

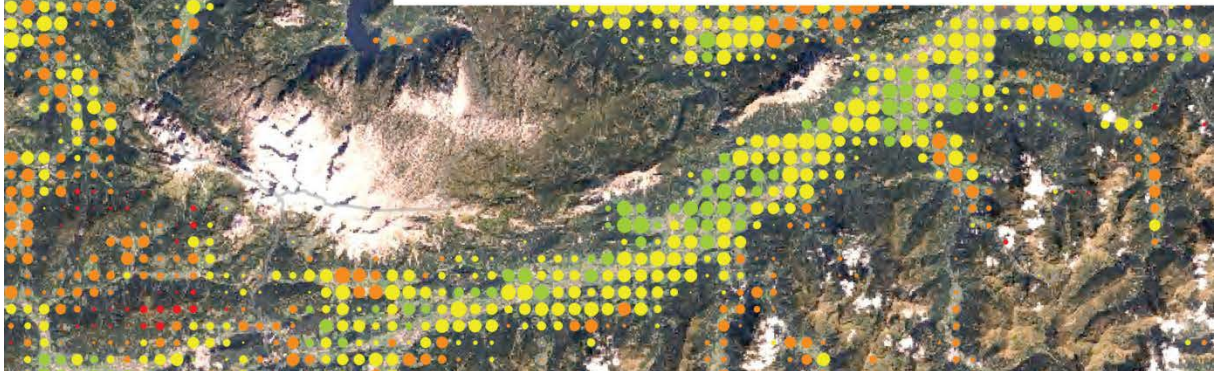
FORSCHUNGSBERICHT SUPGIS
PROJEKT NR. 100310/1

**GIS ALS STEUERUNGS- UND
OPTIMIERUNGSSYSTEM FÜR DIE
NACHHALTIGE NAHRUNGS- UND
ENERGIEVERSORGUNG SOZIALER
GESELLSCHAFTEN**

**SUSTAINABLE SPATIAL SUPPLY OF FOOD
AND ENERGY FOR SOCIAL SOCIETIES
USING GI-SYSTEMS**

**MAG. THOMAS GUGGENBERGER MSC,
HBLFA RAUMBERG-GUMPENSTEIN**

www.raumberg-gumpenstein.at



Forschungsbericht SUPGIS

Projekt Nr. 100310/1

GIS als Steuerungs- und Optimierungssystem für die nachhaltige Nahrungs- und Energieversorgung sozialer Gesellschaften

Sustainable spatial supply of food and energy for social societies using
GI-systems

Projektleitung:

Mag. Thomas Guggenberger MSc, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

ProjektmitarbeiterInnen:

Priv. Doz. DI Dr. Andreas Steinwider, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Mag^a Elisabeth Finotti, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Ingrid Zainer, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektpartner:

Ao. Univ. Prof. Dr. Norbert Bartelme, TU Graz

DI Thomas Pötsch, AWW-Umwelttechnik Wörschachwald

Ernst Nussbaumer, Energieagentur Steiermark Nord, Liezen

Projektlaufzeit:

2008 – 2016

Herausgeber

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein,
A-8952 Irdning-Donnersbachtal
des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Direktor

HR Mag. Dr. Anton Hausleitner

Leiter für Forschung und Innovation

Dipl. ECBHM Dr. Johann Gasteiner

Für den Inhalt verantwortlich

Mag. Thomas Guggenberger MSc
Abteilung für Ökonomie und Ressourcenmanagement
Email: thomas.guggenberger(at)raumberg-gumpenstein.at

Druck, Verlag und © 2016

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein,
A-8952 Irdning-Donnersbachtal
raumberg-gumpenstein.at
ISBN: 978-902849-40-3

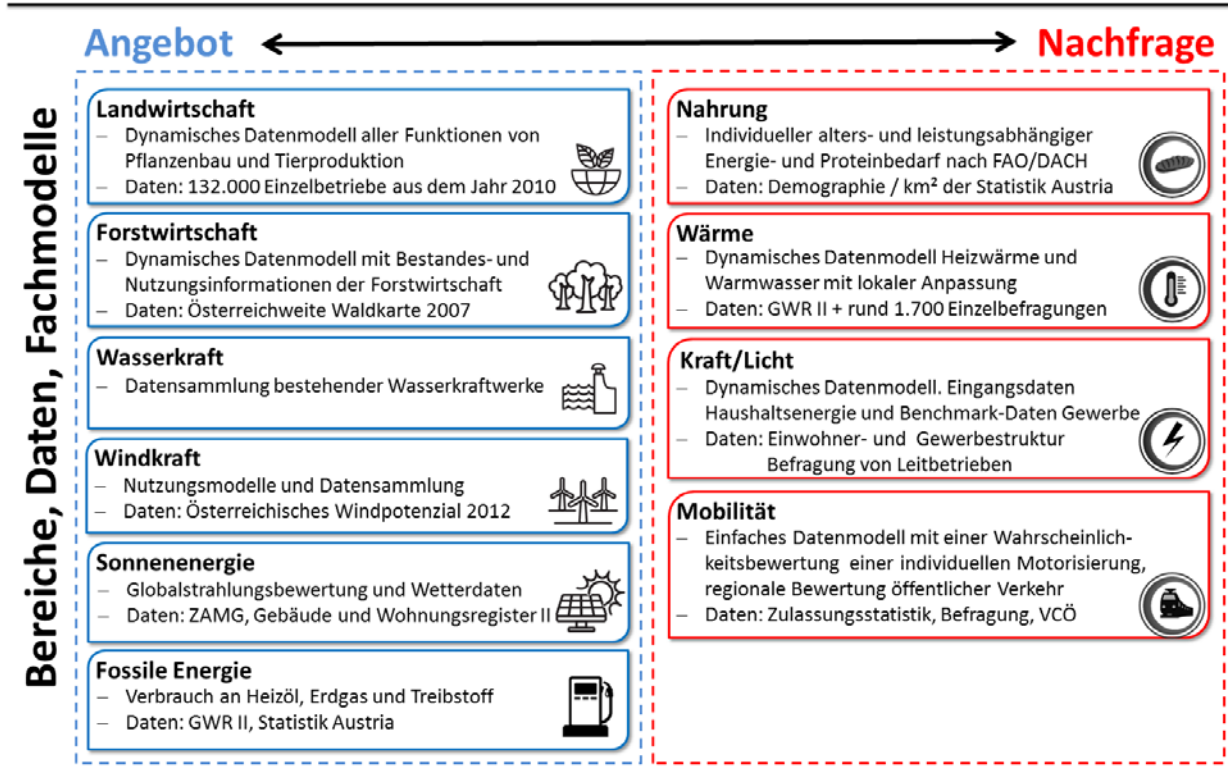
INHALTSÜBERSICHT

Factsheet 1 bis 5	a
Überleitung zur Monographie	k
Vorspann Monographie.....	I
Multiple Ressourcennutzung in kommunizierenden Raumstrukturen - Fokus Energie	1

FACTSHEET 1

Factsheet 1: Multiple Ressourcenausnutzung in kommunizierenden Raumstrukturen - Fokus Energie

Auf welchen Grundlagen und Methoden kann die Bewertung des nationalen Energiebedarfes sachlich aufbauen?



Angebote entstehen lokal pro Flächeneinheit durch das Potenzial P einer Technologie t im Zusammenspiel mit ihrem systembedingten Wirkungsgrad η abzüglich der Vorleistungskosten. Da die Energiesumme E_s gegen 0 strebt, muss sich eine Gesellschaft in Folge über den möglichen individuellen Bruttonutzen D bei einer gegebenen Anzahl von Nutzern N einigen. Nachhaltige Gesellschaften berücksichtigen, dass die Umweltwirkungen limitierend sind.

Nachhaltigkeitsbedingung: U_w vor E_s

Formal

$$\text{Leistungsbilanz } E_s = \sum_{\text{Region } r} \left[\sum_{\text{Technologie } t} ((P_{rt} \eta_t - v_{rt}) \times f) - \sum_{\text{Bedarf } b} \frac{D_{rb}}{\eta_b} N_{rb} \right] \text{ wobei } E_s = 0$$

P = Brutto-Angebot, η = Wirkungsgrad, v = Vorleistung, f = Angebotsfläche, D = Brutto-Nachfrage, N = Nachfrager

$$\text{Umweltwirkungen } U_w = \sum_{\text{Umweltwirkung } u} \sum_{\text{Region } r} \sum_{\text{Technologie } t} I(d_{urt} - h_{urt})$$

d = Schaden des Technologieeinsatzes, h = Sanierungserfolg durch Gegenmaßnahmen

Eine Formel, zwei Länder und ihre Ernährung

Österreich: Ein mäßiges Potenzial wird bei geringem Wirkungsgrad und hohen Vorleistungen zu einem guten Angebot (fleischlastige Mischkost) für wenige Einwohner umgewandelt.

Agrarland: 0,23 ha/Einwohner

Indien: Günstige klimatische Lagen erzeugen hohe pflanzenbauliche Erträge, die in der Regel Vegetarier ernähren. Trotz dieser maximalen Umwandlungseffizienz gibt es zu viele Nachfrager.

Agrarland: 0,14 ha/Einwohner



b

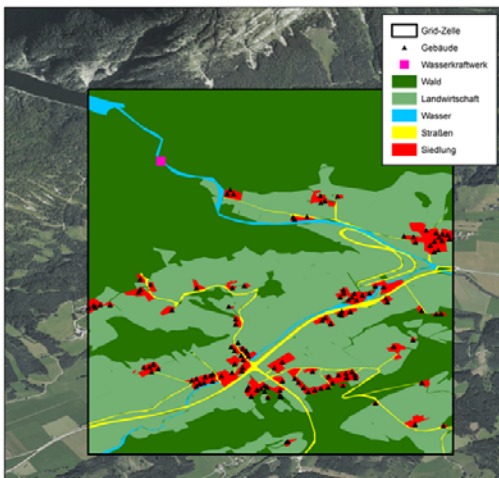
FACTSHEET 2

Factsheet 2: Multiple Ressourcenausnutzung in kommunizierenden Raumstrukturen - Fokus Energie

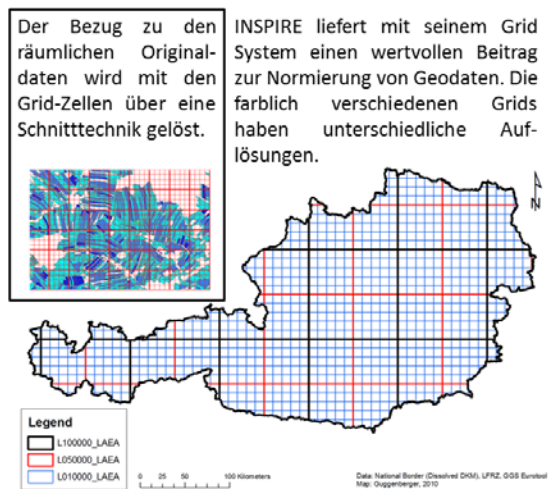
Wie erhält die fachliche Information ihren räumlichen Bezug und wie bilden sich Versorgungsregionen?

Vom Fachmodell zu den Geodaten

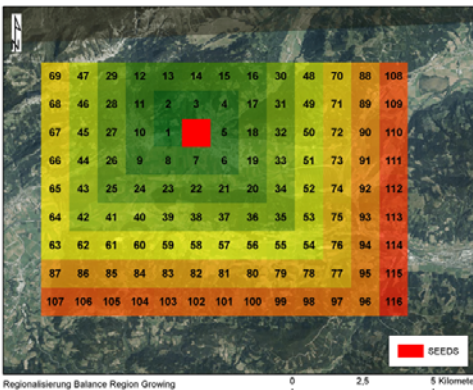
① Angebot und Nachfrage nutzen Berechnungsmodelle mit räumlichem Bezug. Die Prozessmodelle dienen der Berechnung von Endgrößen und ermöglichen die Bewertung und Simulation. **Endgrößen** wie Brennwert der forstlichen Biomasse oder Nahrungswerte der bäuerlichen Produktion **werden über den Raumbezug lokal abgelegt.**



② Alle **Endgrößen werden** innerhalb normierter, quadratischer Polygone - den Grid-Zellen des INSPIRE Geographical Grid Systems – **aggregiert**. Die Grid-Zellen liegen in vielen verschiedenen Auflösungen zwischen 1 ha und 100 km² vor. Innerhalb jeder Zelle können sich Überschüsse und Defizite ergeben. Diese sind der Ausgangspunkt zur Bildung von Versorgungsregionen.

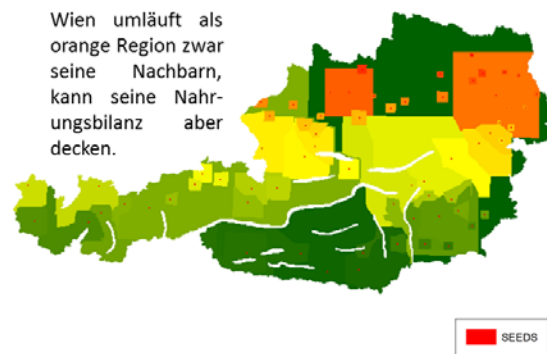


Balance Region Growing



③ Ausgehend von einer **Grid-Zelle** mit besonders hoher Nachfrage (SEED) **werden** benachbarte Zellen so lange zu einer Region **zusammengefügt**, bis das Angebot die Nachfrage abdecken kann. Das ist im oben stehenden vereinfachten Beispiel nach dem Besuch der Grid-Zelle 116 möglich. Eine Versorgungsregion ist entstanden.

④ Je nach lokaler Dichte von Angebot und Nachfrage **bilden** sich für mehrere Seeds konkurrierende **Versorgungsregionen** aus. Diese können sich gegenseitig umlaufen oder durch festgelegte Grenzen (z.B. Hohe Tauern) behindert werden. Eine Überversorgung ist nicht möglich, Defizite zeigen Marktabhängigkeiten.



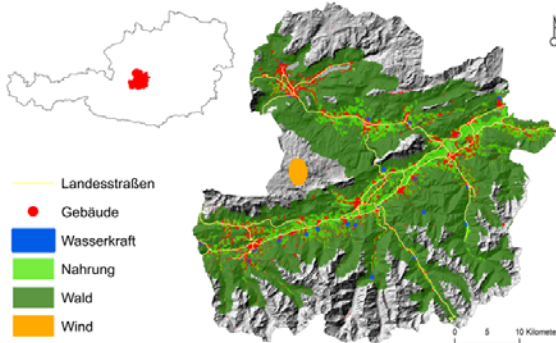
d

FACTSHEET 4

Factsheet 4: Multiple Ressourcenausnutzung in kommunizierenden Raumstrukturen - Fokus Energie

Kann der Beweis für die lokale Umsetzung einer vollständigen Energiewende geführt werden?

Die Ausgangssituation



Energieform	Einheit	Angebot	Nachfrage	Autarkiegrad
Nahrung	TJ _{VE}	146	226	64,6%
Forstliche Bioenergie	GWh	187	242	77,3%
Strom	GWh	210	258	81,4%
Fossile Energie	GWh		795	0,0%

Die Leader Region Ennstal Ausseerland

53 % der Region (Gesamtgröße 1.950 km²) werden von Wald und 10 % von Wirtschaftsgrünland bedeckt. Hochalpine Magerrasen und unfruchtbares Hochgebirge ergänzen die Fläche. Die niederschlagsreiche Region hat im kristallinen Grund (südlich) ein hohes Angebot an Wasserkraft. Potenzialflächen für Windenergie sind verfügbar.

Über 55.000 Einwohner wohnen und wirtschaften in knapp 20.000 Gebäuden. Tourismus, Kleingewerbe und die Landwirtschaft dominieren den Erwerb.

Die aktuelle Nachfrage nach Nahrung, forstlicher Bioenergie und Strom kann zu hohen Anteilen aus der Region gedeckt werden. Die Gesamtautarkie liegt aber bei rund 33 %.

Regional

Die Abbildung zeigt die Regionsbildung bei der Versorgung mit forstlicher Bioenergie. Die ungleichmäßige Verteilung der Nachfrage (Siedlungszentren und große Bioheizwerke) schlägt sich in einem Konkurrenzkampf zwischen den einzelnen Regionen nieder. Schladming etwa (petrolfarbig) weitet sein Versorgungsgebiet weit nach Osten aus. Einzelentwicklungen betreffen immer die gesamte Region.



Forstliche Bioenergie



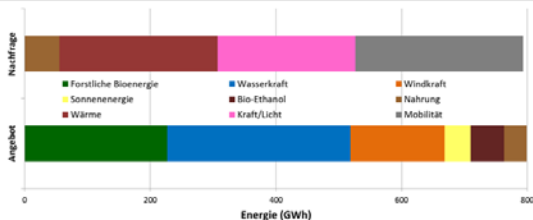
Energiewende 2050

Maßnahmen Energieangebot

- Umsetzung Energiewende Landwirtschaft
- + 10 % Ertragssteigerung der Wälder (Klima)
- + 5 % Schutzwaldnutzung, volle Kleinwaldnutz.
- + 10 % Kleinwasserkraft (Repowering)
- 25 % der Haushalte mit PV-Kleinanlagen
- 60 % Warmwasser mit Solarthermie
- + 150 GWh Windpark Dachstein

Maßnahmen Energienachfrage

- Jährliche thermische Sanierungsrate von Gebäuden 2 %.
- Eingeschränkter Neubau.
- Kraft/Licht und Warmwasserbedarf sinken jährlich um 1 %.
- Reduktion der jährlichen Nachfrage nach Mobilitätsenergie um 1,5 %.
- Schließung von 2 Unternehmen im Baubereich.



Mit einer Einsparung von 41 % an Gesamtenergie und einer Verdoppelung der Produktion an erneuerbarer Energie gleicht sich der Energieumsatz auf einem Niveau von rund 800 GWh aus.

Die gut ausgestattete Testregion zeigt, dass mit anerkannten Maßnahmen aller Art eine vollständige Autarkie möglich ist



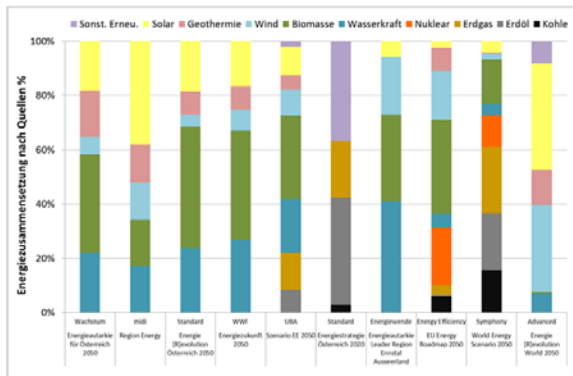
FACTSHEET 5

Factsheet 5: Multiple Ressourcenausnutzung in kommunizierenden Raumstrukturen - Fokus Energie

Wie bettet sich das Ergebnis in den Wissensstand ein, und welche Empfehlungen werden ausgesprochen?

Die Ausgangssituation

Literaturstudie: Energiemix der Zukunft



Werte mit hohem Schwankungsbereich

Abschätzungen über Stellgrößen der Energieplanung sind in hoher Anzahl verfügbar. Häufig zitierte Studien aus Österreich, die gesetzliche Grundlagenstudie der Europäischen Union sowie zwei konträre Studien auf weltweiter Ebenen zeigen große Abweichungen. Das bis 2050 mögliche Energieangebot wird in österreichischen Studien mit 167 bis 302 TWh (+ 80 %) beziffert. Globale Abschätzungen einer konservativen und einer visionären Studie unterschieden sich sogar um 177 %.

Ähnliches gilt für die Bewertung der Energiequellen, wie sie in der nebenstehenden Abbildung zu sehen sind.

Der Kern

Handeln folgt dem Denken

Die Unterschiede in den Studien entstehen durch die Haltungen und Ziele der einzelnen Arbeitsgruppen.

Die intensive Nutzung von Gütern ist die Folge wirtschaftsliberaler Denkkonzepte. Marginale Grenzvorteile sind ihre Treiber.

Die Empathie einer vorsorgenden Gesellschaft ist die Antwort der Energiewende.



Empfehlungen

Sachlich

- Qualität vor Quantität.
- Modernisierung der Konsumgewohnheiten.
- Allgemeine Reduktion des Betriebsmittelimportes und Räumung der Märkte.
- Massive Umsetzungen in den zwei Problemfeldern *Wärmebedarf der privaten Haushalte* und *individuelle Mobilität*.

Räumlich

- Starke Förderung dezentraler Ansätze zur Abdeckung der hohen Variabilität regionaler Lösungsmöglichkeiten.
- Berücksichtigung der räumlichen Konkurrenzwirkung von Großprojekten bei der Bindung von natürlichen Ressourcen im Rahmen von Raumordnungskonzepten.
- Starke Verbindung von ruralen und urbanen Räumen.

Strategisch

- Gesetzliche Regelung marktwirtschaftlicher Kernfragen in der Gütererzeugung.
- Förderung der Eigenverantwortlichkeit und gesellschaftlichen Flexibilität.
- Auflösung dogmatischer Haltungen alle Art.
- Wertewandel zu einer vorsorgenden Gesellschaft

Ja, die Land- und Forstwirtschaft kann bei geänderten Ernährungsgewohnheiten einen Anteil der Energiewende übernehmen. Vor allem müssen aber die Konsummuster und damit die Verbindung zum zwanghaften Wirtschaftswachstum langsam aufgelöst werden.



ÜBERLEITUNG ZUR MONOGRAFIE

Überleitung von Projektantrag 100310/1 mit dem Titel „GIS als Steuerungs- und Optimierungssystem für die nachhaltige Nahrungs- und Energieversorgung sozialer Gesellschaften (SUPGIS)“ zur Dissertation mit dem Titel „Multiple Ressourcennutzung in kommunizierenden Raumstrukturen – Fokus Energie“.

Im Originaltext des Antrages 100310/1 wurde folgende Zielsetzung niedergeschrieben: *SUPGIS begleitet den Ausbau von erneuerbaren Energiequellen als Planungs- und Optimierungswerkzeug. Vor allem die Balance zwischen der Nahrungsproduktion und dem Flächenbedarf für Träger erneuerbarer Energie steht im Zentrum. Durch eine räumlich navigierbare Verbindung der Produzenten von Energie und/oder Nahrungsmitteln über das Straßen-, Bahn- und Stromnetz mit den Konsumenten kann die Auswirkung des steigenden Flächenverbrauches für erneuerbare Energie simuliert werden. Eine Bindung der Standortmöglichkeiten an die individuellen Techniken der Energieproduktion führt zu einer räumlichen Optimierung. Durch die Anwendung wirtschaftlicher, sozialer oder politischer Regeln in diesem Netzwerk wird eine optimierte Regionalisierung der Land-, Forst- und Energiewirtschaft entstehen. Das Ergebnis des angewandten Forschungsprojektes schafft sowohl Diskussionsgrundlagen zur nachhaltigen Entwicklung des ländlichen Raumes, ist aber auch selbst Planungswerkzeug.*

Aus der Sicht der Technologieentwicklung verspricht der Projektleiter die Entwicklung eines Netzinformationssystems, das in seiner Nachvollziehung von Energieströmen zu einer besseren Steuerung der Märkte beitragen kann. Dieses inhaltliche Versprechen war aus der Sicht der Projektlaufzeit leichtfertig, konnte aber inhaltlich bei deutlicher Zeitüberschreitung des Projektes weitgehend gehalten werden. Die einzelnen Aspekte der Zielsetzung konnten entweder direkt, wie geplant, gelöst werden oder mussten alternativen Lösungsansätzen zugeführt werden. Nebenstehende Tabelle zeigt für die Kernaspekte die verwendeten Lösungsansätze und beschreibt kurz allfällige alternative Ansätze.

Aspekt	Lösung
Planungs- werkzeug	<p>Angebot und Nachfrage aller Arten von Energie verschmelzen bisher in der nationalen Planung zu Summenstatistiken, die bestenfalls Auskunft über Export-Importquoten geben. Wir kennen diese Ergebnisse als Eigenversorgungsquoten mit Nahrungsmitteln aller Art oder als nationalen Grad einer autarken Energieversorgung. Diese Summenstatistiken sind im Allgemeinen auch die Grundlage für politische Entscheidungen. Eine räumliche Planung wurde bisher nicht konsistent umgesetzt.</p> <p>Geplanter Ansatz: Das Bundesgebiet wird auf der Grundlage der Vorgaben des INSPIRE Geographical Grid Systems (GGs) in einzelne quadratische Zellen aufgeteilt. Alle Energiearten innerhalb dieser Zellen werden mit ihrem Angebot</p>

	<p>und der Nachfrage erfasst (siehe Dafne 100217/1, Fachatlas Landwirtschaft). Tatsächliche Umsetzung: Der Aspekt der Datenakquisition wurde wie geplant umgesetzt. Die Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft (Nahrung und Wärme) konnte mit den Verwaltungsdaten des BMLFUW und des BFW für das gesamte Bundesgebiet genau bewertet werden. Die Stromerzeugung in Großkraftwerken und die existierenden Windkraftanlagen wurden ebenso verfügbar gemacht. Ein bundesweiter Zugang zu Informationen über Kleinkraftwerke ist nicht verfügbar. Dies gilt auch für das Verbraucherverhalten von konventioneller Energie (Wärme, Strom, Mobilität) in den Siedlungsgebieten von Österreich. Diese für das Projekt kritische Situation wurde durch die Integration von 5 Teilprojekten aus der Serie der Klima- und Energiemodellregionen für das Leader Gebiet Ennstal-Ausseerland behoben (siehe Dafne, Teilbericht I-V zu SupGis).</p> <p>Bewertung der Abweichung: Die Kernfrage einer nationalen Nahrungsversorgung konnte im gesamten Bundesgebiet vollständig geklärt werden. Die Bewertung eines energetischen Gesamtsystems (Nahrung + konventionelle Energie) wurde auf die Testregion Ennstal-Ausseerland beschränkt. Diese Reduktion ist unkritisch im Bereich der ländlichen Siedlungsgebiete. Verallgemeinerbare Aussagen aus der Testregion können in ähnliche Gebiete übertragen werden. Die Interaktion von Großstädten mit dem gesamten Umland in Fragen der konventionellen Energie kann nicht beantwortet werden.</p>
Optimierungswerkzeug	<p>Potenziale und Nachfragen aller Art sind in Österreich nicht gleichmäßig verteilt. Im Bemühen um Ausgleich verteilen die Märkte die verschiedenen Differenzen so um, dass eine annähernd gleichmäßige Versorgung erreicht wird. Nachklassische Märkte folgen hier ihrem Gewinnmaximierungsansatz und verfehlen dabei gelegentlich das gewünschte Optimum. Dies gilt vor allem für eine bessere regionale Nutzung von Ressourcen.</p> <p>Geplanter Ansatz: Die einzelnen Elemente des GGS sollten über das Straßen- und Schienennetz verbunden und nach Kriterien des Routings (kürzester Weg) gerichtet ausgeglichen werden. Eine Optimierung über lokale Märkte wurde angedacht.</p> <p>Tatsächliche Umsetzung: Der Ansatz zur Verwendung von Transportnetzen wurde nach einigen prototypischen Versuchen verworfen. Zum einen konnte die Funktion der Märkte – diese sammeln Angebot und Nachfrage an bestimmten Orten – nicht genau genug beantwortet werden und zum anderen können nicht alle Angebots- bzw. Nachfragepotenziale auch tatsächlich über ein einfaches Netzwerk erreicht werden. Alternativ wurde der Algorithmus <i>Balance Region Growing</i> (BRG) entworfen, der für ausgewählte Startpunkte – etwa die größeren Städte – eigene Versorgungsregionen bilden kann.</p>

	<p>Bewertung der Abweichung: Eine tatsächliche Optimierung im Sinne von lokalen Handlungsempfehlungen wurde nicht möglich. Für die sich nach BRG bildenden Regionen zeigt sich aber klar, wie gut/schlecht eine Versorgung möglich ist. Allfällige Differenzen werden dann ganz allgemein dem Markt überlassen. Die Abweichung in der geplanten Aussagekraft ist nicht groß, methodisch wurde jedoch ein alternatives Konzept angewandt.</p>
Bilanzierung	<p>Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung – im Besonderen sollte hier der Aspekt einer Energiewende berücksichtigt werden – empfiehlt sich eine nationale Analyse der Bereiche Nahrungsversorgung, Strom- und Wärmebereitstellung und Mobilität. Die Bilanzierungspartner Angebot und Nachfrage müssen methodisch mit ihrem gesamten Prozessmodell in eine Bilanzierung eintreten, da die praktischen Handlungsgrößen immer Teilbereiche des Prozesses sind. Zum Verständnis ein Beispiel: Der Wunsch nach mehr Nahrung in einer Region kann nur über Veränderungen im Prozess der Landwirtschaft befriedigt werden. Deren Stellgrößen sind dann etwa die Zufuhr von Betriebsmitteln (etwa Dünger oder Kraftfutter) oder ein alternatives Produktionsverfahren. Erst wenn die ganze Prozesskette durchlaufen wurde, wird das Veränderungspotenzial sichtbar. Die Stellgrößen der Bilanzierung sind somit die einzelnen Einflussfaktoren der Prozesse.</p> <p>Geplanter Ansatz: Für die Bereiche der Nahrungsproduktion wird das auf den einzelbetrieblichen Daten beruhende System AGS (siehe Dafne 10234) verwendet. Für die Forstwirtschaft wird ein einfaches Prozessmodell entworfen. Die Umsetzung alternativer Stromangebote durch Photovoltaik und Windkraft folgt den physikalischen Modellen. Die Wasserkraft wird nicht explizit bewertet.</p> <p>Tatsächliche Umsetzung: Die methodischen Ansätze zur prozessbezogenen Bilanzierung wurden wie geplant umgesetzt.</p>
Verbindung	<p>Der räumliche Ausgleich zwischen Bilanzierungspartnern ist zuerst eine Frage der Distanzen zwischen Angebot und Nachfrage. Modellhaft darf angenommen werden, dass lokale Produkte im Nahrungsbereich auch lokale Anwendung finden. Diese Annahme wird durch die Verarbeitungssysteme des Angebotes und die Marktwirtschaft für viele Produkte extrem stark beeinflusst. Strom, der in Hochleistungskraftwerken gewonnen wird, speist zum Beispiel zumeist das hochrangige Energienetz und kann deshalb nie als lokales Potenzial auftreten. Vielmehr wird die Leistung zu einem Produkt am allgemeinen Markt. Aus diesem bedienen sich lokal die einzelnen Nachfrager. Das ist nicht problematisch, solange sich Angebot und Nachfrage decken. Kritisch wird die Aggregation von Leistungen auf den Märkten, wenn Versorgungsdefizite entstehen. Dann erfolgt fast immer eine (oft ökonomische) Diversifizierung der Nutzer.</p>

	<p>Geplanter Ansatz: Angebot und Nachfrage sollten sich über die tatsächlichen Transportnetze lokal ausgleichen.</p> <p>Tatsächliche Umsetzung: Die Nutzung von Transportnetzen hat sich als zu komplex und nicht wirklich geeignet erwiesen. Alternativ bildet ein neuer Algorithmus (BRG) kleine Versorgungsregionen. Die Regionen werden durch zweidimensionale Aggregationen von Angebot und Nachfrage um einen Kern gebildet. Einzelne Regionen werden dabei nur in kleinen Teilmengen bedient und können so ihre räumliche/stoffliche Konkurrenz auch ausbilden.</p> <p>Bewertung der Abweichung: Der neue Ansatz weicht im Ergebnis kaum vom geplanten Netzinformationssystem ab. Dies deshalb, da zum einen prinzipiell das ganze Land erreichbar ist und zum anderen tatsächliche Schranken (etwa die nicht zugänglichen Bereiche des Hochgebirges) auch in BRG berücksichtigt wurden.</p>
Nahrung	<p>Im Kerninteresse des beantragten Projektes steht die Verlässlichkeit der Nahrungsversorgung für Österreich. Das Angebot liegt in einer hohen Vielfalt vor, kann aber stofflich auf die Größen der verdaulichen Nahrungsenergie und des wirksamen Nahrungsproteins aggregiert werden.</p> <p>Geplanter Ansatz: Alle Output-Größen der INVEKOS-Einzelbetriebe aus dem Jahr 2010 werden mit AGS stofflich bewertet. Über allgemeine Abschätzungen bezüglich der Verarbeitungsverluste bildet sich das lokale Nahrungsangebot. Dieses wird der Energie- bzw. Proteinnachfrage der lokalen Bevölkerung (Anzahl und Altersstruktur wurden von der Statistik Austria bereitgestellt) gegenüber gestellt.</p> <p>Tatsächliche Umsetzung: Die Umsetzung folgt dem geplanten Ansatz vollständig.</p>
Erneuerbare Energie	<p>Die räumliche Konkurrenz zukünftiger Versorgungssysteme der erneuerbaren Energie mit der Nahrungsproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen verpflichtet alle Bewertungssysteme zu einem gemeinsamen Analysekonzept. Die möglichen Nutzungspfade werden lokal stark beeinflusst, weshalb auch regionale Information notwendig ist. Agrarische Biomasse zur Energiegewinnung ist aus Effizienzgründen vor allem ein Thema für die nationalen Gunstlagen. Grünlandgebiete können durch forstwirtschaftliche Planungen betroffen sein. Eine zusätzliche Querverbindung der Regionen hinsichtlich ihrer Produktionsfunktion entsteht durch die Futtergetreideproduktion im Ackerbaugebiet und die Tierhaltung im Grünland.</p> <p>Geplanter Ansatz: Die nicht mit der Nahrungsproduktion konkurrierenden Potenziale der Forstwirtschaft, Wasserkraft und Windenergie sowie die Photovoltaikpotenziale auf bestehenden Gebäuden werden nach ihren physikalischen Möglichkeiten bzw. lokal bestehenden Datenbeständen bewertet. Verschiebungen landwirtschaftlicher Flächen von der Nahrungs- zur</p>

	<p>Energieproduktion finden über allgemeine Verschiebungsvektoren in AGS statt. Die Wirkung ist damit zwar nicht lokal verortet, findet aber ihre regionale Anwendung. Beispiel: Ein möglicher Entschluss, 300.000 Tonnen an Futtergetreide für die Ethanol-Erzeugung zu verwenden, schmälert das Angebot an Futtergetreide für alle tierhaltenden Betriebe. Die Reduktion schlägt sich über die Produktionsfunktion der Landwirtschaft unter Berücksichtigung der Nebenprodukte der Ethanol-Erzeugung auf die Nahrungsproduktion nieder. Das erzeugte Ethanol wird zum zusätzlichen Potenzial erneuerbarer Energie auf dem nationalen Markt.</p> <p>Tatsächliche Umsetzung: Die Umsetzung folgt dem geplanten Ansatz im Nahrungsbereich über die drei definierten Szenarien. Vollständig wird die Bewertung und Versorgung mit erneuerbarer Energie aber nur im regionalen Testgebiet Ennstal-Ausseerland umgesetzt.</p>
Regionalisierung	<p>Allgemeine Informationen über die nationale Nahrungs- und Energieversorgung werden von verschiedenen Institutionen (BMLFUW, Österreichische Energieagentur, Statistik Austria) laufend bereitgestellt. Diese Daten bilden die Grundlage von nationalen Entwicklungszielen, die gelegentlich auch ihren rechtlichen Niederschlag finden. Regionale Handlungsempfehlungen fehlen infolge der nur lokalen Planungsdaten vollständig. Durch die räumliche Aufarbeitung von Angebot und Nachfrage sowie die Bildung möglicher Versorgungsregionen entsteht ein lokal viel schärferes Bild. Dieses ist praktisch besser umzusetzen.</p> <p>Geplanter Ansatz: siehe Verbindungen</p> <p>Tatsächliche Umsetzung: BRG bildet in seiner Anwendung geeignete Versorgungsregionen und zeigt die Folgen verschiedener Szenarien. Die Methode der Regionalisierung wurde weit über die geplanten Möglichkeiten hinaus entwickelt.</p>
Diskussionsgrundlage	<p>Die Datenaufbereitung und die Visualisierung von allfälligen Überversorgungen bzw. Defiziten in den österreichischen Regionen sollen einen hilfreichen Beitrag zur Zukunftsplanung leisten.</p> <p>Geplanter Ansatz: Kartographischer Ansatz der Ist-Situation</p> <p>Tatsächliche Umsetzung: Neben der Ist-Situation wurden drei weitere Szenarien entwickelt, die das Diskussionsspektrum deutlich erweitern. Mit einem Zielhorizont von 2050 wurden im Nahrungsbereich die Möglichkeiten einer linearen Weiterführung der Gegenwart, eine vollständige Umstellung auf biologische Landwirtschaft und ein alternatives Nutzungskonzept mit hohen Anteilen an erneuerbarer Energie (Energiewende) geprüft. Die konventionelle Energieversorgung im Testgebiet berücksichtigt nur die lineare Weiterführung und die Energiewende. Für die Szenarien wurden sowohl fachliche Parameter als auch sich ändernde Stoffströme berücksichtigt.</p>

	Bewertung der Abweichung: Die eingeführten Szenarien fördern die Diskussion über eine zukünftige Ausrichtung der Gesellschaft in Bezug auf die Nahrungs- und Energieversorgung.
--	---



Mag. Thomas Guggenberger MSc (Gis)

**Multiple Ressourcennutzung
in kommunizierenden Raumstrukturen
-
Fokus Energie**

DISSERTATION

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der technischen Wissenschaften
eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Univ. Prof. Dr. Norbert Bartelme
Institut für Geoinformation

Graz, Juni 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Dissertation identisch.

Vorwort

Die Erfahrung der Beziehungen zwischen Mensch und Umwelt wird Kindern, die auf Bauernhöfen aufwachsen dürfen, wie selbstverständlich mitgegeben. Die Wirkung des Wetters und die Gesundheit der Tiere treten dann in den Vordergrund, wenn die Ernte verwüstet wird oder Tiere sterben. Auf dem Bauernhof meiner Kindheit im Kärntner Lesachtal war das nicht anders. Bergbauern sind integrierte Teile der Biosphäre, die Kraft der Natur ist erlebbar. Das Wasser in den Wildbächen, die vom Föhn getriebenen Stürme im Frühling und die Lawinen im Winter sind ungezähmte Formen erneuerbarer Energie, die mein Interesse von Anbeginn an auf sich gezogen haben. Der Respekt im Umgang mit der Natur, aber auch die Neugier in der Nutzung nachhaltiger Energiequellen treiben mich bis heute an. Umfangreiches Wissen, gesammelt in 12 Teilprojekten, ist mit dieser Dissertation verbunden. Der Arbeitszeitraum, der sich über 10 Jahre erstreckt, wurde nur möglich, weil eine Reihe von Personen an den Erfolg einer gesamtheitlichen Betrachtung dieses Themas geglaubt hat.

Es ist mir ein besonderes Anliegen, mich ganz herzlich bei meinen Betreuern und Begutachtern in den Fachdisziplinen Geoinformatik und Landwirtschaft zu bedanken. Herr *Univ.Prof. Dr. Norbert Bartelme, Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe Geoinformation, TU Graz*, hat schon während des Grundstudiums am Universitätszentrum Rottenmann meine Begeisterung für die Geoinformatik geweckt und hat mich während des Arbeitsprozesses angeleitet, ermutigt und unterstützt. Herr *Univ.Doz. Dr. Andreas Steinwider, Institutsleiter Biologische Landwirtschaft, HBLFA Raumberg-Gumpenstein* ist ein Wegbereiter im Bereich der nachhaltigen Landwirtschaft und gibt mit seinem Team im Bereich der biologischen Landwirtschaft laufend neue Impulse.

Der Leitung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, das sind die Herren *HR Dr. Anton Hausleitner* und *HR Dr. Johann Gasteiner*, danke ich für die Unterstützung der Teilprojekte in den letzten Jahren. Das Vertrauen in die Finalisierung wurde durch Terminüberschreitungen auf die Probe gestellt. Die Geduld, die auch von der Forschungsabteilung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft aufgebracht wurde, hat sich in der Fertigstellung des Fachatlases Landwirtschaft, dem Betriebsmanagement-Werkzeug FarmLife und dieser Arbeit bezahlt gemacht. Frau *MR DIⁱⁿ Elfriede Fuhrmann* und Frau *MR DIⁱⁿ Angelika Steger* sei dafür auf das Herzlichste gedankt.

In den externen Teilprojekten LISA und BioSpaceOpt danke ich den Projektleitern. Das sind Herr *DI Gebhard Banko, Umweltbundesamt, Wien* und Herr *Dr. Markus Biberacher, iSpace, Salzburg* mit ihren Teams. Im Rahmen der Projekte konnten einzelne Bausteine für diese Arbeit entwickelt werden. Im Projekt Forschungs- und Erlebniswerkstatt Liezen: Energie hat Frau *Mag^a Elisabeth Finotti, Abteilung für Ökonomie & Ressourcenmanagement, HBLFA Raumberg-Gumpenstein* ein lokales Umsetzungsprojekt im Bildungsbereich geleitet. Die Erfahrungen im Bereich der Kommunikation sind ein hilfreicher Input für diese Arbeit.

IV

Die Erhebungsphase von Energieangebot und Nachfrage im lokalen Testgebiet wurde erst im Rahmen eines Leader-Projektes und durch vier Klima- und Energiemodellregionen möglich. Herr *GF Ernst Nussbaumer, Energieagentur Steiermark Nord, Liezen* hat sich hohe Verdienste um die Weiterentwicklung der Energiewende im Bezirk Liezen erworben. Herr *DI Thomas Pötsch, AWV Umwelttechnik, Tauplitz* war ein verlässlicher und engagierter Projektträger der erwähnten Projekte. Jede Teilregion wurde von einem Regionalmanager unterstützt. Das sind Herr *Architekt Thomas Kopfsgruber* für die Region Ausseerland Salzkammergut, Frau *Mag.^a Nina Sulzenbacher* für die Region Schladming und Herr *Ing. Bernhard Schachner* für die Region am Grimming. Herr *GF Ernst Nussbaumer* hat zusätzlich die Region Gröbming und das Enns-Grimming-Land betreut. Euch allen herzlichen Dank!

Am Ausgangspunkt des Projektes wurde das Thema durch die stoffliche Frage um eine zukünftige Energieversorgung dominiert. Herr *Dr. Markus Herndl, HBLFA Raumberg-Gumpenstein*, hat als zweite entscheidende Größe den Bereich der Umweltwirkungen mitentwickelt. Danke für die Inputs und die vielen Gespräche.

Darüber hinaus danke ich herzlich Herrn *Dr. habil. Jörg Walter*, Physiker und Informatiker mit hellem kritischem Geist, mit dem ich in der räumlichen Analyse verbunden bin. Danke, dass du meine Arbeit abschließend noch einmal gelesen und wichtige Verbesserungen vorgeschlagen hast.

Herzlich danken möchte ich den beiden Lektorinnen dieser Arbeit: Frau *Mag.^a Elisabeth Finotti* und Frau *Ingrid Zainer* aus der eigenen Abteilung der HBLFA. Ihr habt euch viel Mühe mit meinen Texten und Abbildungen gegeben und das, obwohl die Materie für euch nicht alltäglich ist.

Zusammenfassung

Jedes Stück der Erdoberfläche ist in den globalen Energiestoffwechsel eingebunden. Das Geben und Nehmen von Energie betrifft bis zum Zeitalter der Industrialisierung nur die natürlichen Prozesse der Biosphäre. Die Nutzung von Energievorräten und eine neue Geisteshaltung schaffen in den letzten 200 Jahren jene Technosphäre, die sowohl durch das absehbare Ende der fossilen Ressourcen als auch durch ihre Umweltwirkungen zunehmend bedroht ist. Im Glauben an die Absicherung bestehender Wirtschaftsmodelle und in der Hoffnung, die Natur vor zusätzlichen Schäden zu bewahren, forcieren viele Staaten dieser Welt die Erzeugung erneuerbarer Energie. Dies führt an den betroffenen Standorten zu einer multiplen Ressourcennutzung, die oft, aber nicht immer, konfliktfrei gelöst werden kann. Die Möglichkeiten zukünftiger Energiesysteme bilden sich in der Bilanz eines nachhaltigen Angebotes und der damit zu befriedigenden Nachfrage ab. Dieser Zusammenhang kann mathematisch in einem selbständig definierten Gleichungssystem abgebildet werden. Die mögliche Intensität wird durch ökonomische und ökologische Zusatzgleichungen reguliert.

Jedes Subsystem des multiplen Ressourcenangebotes wird mit seinem naturwissenschaftlichen bzw. physikalischen Hintergrund beschrieben. Diese Grundlagen werden mit den notwendigen Daten in Verbindung gebracht, um den Freiraum für mögliche Simulationen zu gewinnen. Geo-Daten spielen dabei eine große Rolle und öffnen das Themenfeld des Raumbezuges. Nicht jede Technologie ist an jedem Standort geeignet und nicht jede steht in Konkurrenz zu anderen. Im Idealfall etablieren sich an den lokalen Standorten Technologien mit optimalem Wirkungsgrad. Dieser Wunsch führt zu einem räumlich vielfältig strukturierten Angebot, das mit der Nachfrage in Beziehung zu bringen ist. Eine Möglichkeit besteht in der Bildung von Versorgungsregionen, wobei für unterschiedliche Energiearten auch verschiedene Regionsgrenzen denkbar sind. Mit dem neu entwickelten Algorithmus Balance Region Growing (BRG) wird eine Lösung angeboten.

Alle Methoden und Werkzeuge werden in zwei Testgebieten zur Anwendung gebracht. Für die Frage der Nahrungsversorgung entsteht ein nationales Testgebiet, in dem ausgehend von der gegenwärtigen Versorgungsbilanz die Szenarien *Lineare Fortschreibung*, *Biologische Landwirtschaft* und *Energiewende* untersucht werden. In der Parametrisierung der Szenarien wird das gegenwärtige Überangebot an Nahrung langsam zugunsten einer gesünderen Ernährung und/oder eines größeren Flächenangebotes für die Erzeugung erneuerbarer Energie verschoben. Eine multiple Untersuchung in einem regionalen Testgebiet vereint den Bedarf nach Nahrung, Wärme, Elektrizität und Mobilität. In der Leader Region Ennstal Ausseerland treffen in der Simulation erstmals alle vier Kernthemen der Energiewende aufeinander.

Die Ergebnisse im Bereich der nationalen Ernährung, sie beruhen auf der Bewertung der Produktionsdaten von 132.000 landwirtschaftlichen Betrieben, fördern einen nationalen Handlungsspielraum zutage, in dem vor allem Futtergetreide der Energienutzung zugeführt werden kann. Diese Maßnahme ist von der dringend notwendigen Rückkehr der Bevölkerung zu einer gesunden, vollwertigen Nahrung zu begleiten. Die alternative Verwertung von Nahrung zu

energetischen Zwecken wird ethisch als weniger kritisch bewertet als die gegenwärtige Strategie von Europa und Nordamerika auf den weltweiten Futtermittel- und Nahrungsmärkten. Die regionale Analyse in der Leader Region Ennstal Ausseerland zeigt, dass neben bedeutenden Einsparungspotenzialen bei Wärme und Mobilität gute Chancen auf einen Potenzialausbau im Bereich der Wind- und Sonnenenergie bestehen. Die lokalen Daten wurden für rund 22.000 Haushalte und 4.800 Unternehmen auf der Basis von 876 erfassten Verbrauchsmustern in Haushalten und 170 persönlichen Befragungen von Unternehmen hochgerechnet. Die Szenarien bestätigen die Chance auf eine unabhängige Energieversorgung im regionalen Testgebiet.

BRG zeigt am Beispiel der Nahrungsversorgung, dass nationale Lösungen nicht mit regionalen Lösungen identisch sein müssen. Städte mit Zugang zu großflächigem Ackerland wie Wien, Linz und Graz können ihre Nahrung im weiteren Umland der Stadt erzeugen. Inner- und südalpinen Städten gelingt dies aus der Sicht der verdaulichen Nahrungsenergie nicht. Dieses Beispiel und eine Vielzahl weiterer Erkenntnisse im innerregionalen Konkurrenzkampf um Ressourcen führen zum Schluss, dass kleine Regionen die besseren Planungsebenen für eine Energiewende darstellen. Die stärkere Empathie der Bevölkerung und die klarere Zielformulierung aus dem eigenen Bereich unterstützen die Entwicklung einer vorsorgenden Gesellschaft. Der Staat als übergeordnete Instanz hat eine lenkende und fördernde Haltung einzunehmen. Empfehlungen für eine geplante Energiewende werden ausgesprochen.

Stichwörter: Regionalisierung, Geoinformation, Energiewende, Nahrungskonkurrenz, Flächenkonkurrenz, Autarkie, Zukunftsplanung

Summary

Each slice of the earth's surface is part of the global energy metabolism. Until the age of industrialisation the giving and receiving of energy has been affecting the natural processes of biosphere, only. During the last 200 years utilisation of energy resources and a new mentality have been creating this "techno-sphere", which is now increasingly threatened by the foreseeable bottom of fossil resources as well as by its environmental impacts. Many nations of this world – believing in the safeguarding of existing economy and hoping to be able to protect nature against additional damages – force production of renewable energy. At the concerned locations this leads to a multiple utilisation of resources, which can often – but not always – be solved without any conflict. Possibilities of future energy systems are reflected in the balance of a sustainable supply and the demand to be satisfied. This relation can mathematically be shown in an independently defined system of equations. The possible intensity is regulated by additional economic and ecological equations. Each sub-system of the multiple resource supply is described by its scientific and physical background. These fundamentals are associated with the necessary data in order to gain an open space for possible simulations. Geo-data play an important role and open the topic "relation of space". Each location has its own possibilities in terms of technology, and they are not always competing with each other. Ideally, at the local positions technologies with optimal efficiency establish per se. This desire leads to a spatially multiplex structured supply, which is to be related with the demand. There is the possibility of the generation of supply regions, whereby different borders (in terms of regions) are imaginable for different types of energy. The newly developed algorithm Balance Region Growing (BRG) offers a solution.

All methods and tools are implemented in two test regions. In terms of food supply a national test region accrues. Starting from the existent supply balance, the scenarios *linear up-dating*, *organic agriculture* and *energy revolution* are investigated, here. In these scenarios the actual oversupply in terms of food is slowly relocated in favour of a healthier nutrition and/or a larger acreage supply for the production of renewable energy. A multiple analysis in the regional test area shows the requirements concerning food, heat, electricity, and mobility. In the simulation these four future stilt of energy revolution hit each other in the *Leader Region Ennstal Ausseerland* for the first time.

The results in terms of national nutrition, which base on the production data of 132,000 farms, find out a national radius of operation. Within this scope of action feed grain can be applied to produce energy, primarily. This measure is to be accompanied by the population's urgently necessary return to healthy wholefood. From the ethic point of view, an alternate utilization of food for energetic purposes is less criticised than the present strategy of Europe and North-America on worldwide markets for feedstuff and food. The regional analysis of the Leader Region *Ennstal Ausseerland* shows good chances to establish energy production in the range of wind power and solar energy besides notable savings concerning heat and mobility. The local data were projected for about 22,000 households and 4,800 business establishments on the basis of 876 captured patterns of

VIII

consumption in households and 170 individual questionings in enterprises. The scenarios affirm the chance for an independent energy supply in the test region.

Using the example of food supply, BRG shows that national solutions do not have to be identical with regional solutions. Towns having direct access to extensive infield, like Vienna, Linz and Graz, can produce their food in the broader surroundings of the town. Inneralpine as well as South-alpine towns do not succeed in this concern from the view of digestible food energy. This example and a lot of further cognitions in the inner-regional competition for resources lead to the conclusion that small regions represent the better planning levels for energy revolution. Population shows more empathy, and the clearer planning arising from the inherent area support the development of a providing society. The federation has to represent the directing and forwarding superior instance. Recommendations for a planned energy revolution are pronounced in the end.

Keywords: Regionalisation, Geo-Informatics, Energy revolution, Competition for food, Competition for land, Autarky, Future strategy

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	III
ZUSAMMENFASSUNG	V
SUMMARY	VII
INHALTSVERZEICHNIS	IX
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN	XIII
ABKÜRZUNGEN	XIX
1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELE	1
1.1 MOTIVATION	2
1.2 TEILPROJEKTE	3
1.3 MULTIPLE RESSOURCENNUTZUNG	5
1.4 KOMMUNIZIERENDE RAUMSTRUKTUREN	7
1.5 BILANZFUNKTIONEN	9
1.5.1 Energetische Bilanzfunktion	9
1.5.2 Bilanzfunktion der Zusatzwirkungen	11
1.6 BEWERTUNGSGRUNDSÄTZE UND EINHEITEN	12
1.7 ZIELE	13
2 ANGEBOT UND NACHFRAGE AN ENERGIE	15
2.1 BEWERTUNG NACHHALTIGER ENERGIERESSOURCEN	17
2.1.1 Die Landwirtschaft	17
2.1.2 Die Forstwirtschaft	52
2.1.3 Die Wasserkraft	64
2.1.4 Die Sonnenenergie	73
2.1.5 Die Windenergie	88
2.2 BEWERTUNG DER ENERGIENACHFRAGE	97
2.2.1 Die Nahrungsnachfrage auf nationaler Ebene	97
2.2.2 Wärme-, Strom- und Mobilitätsnachfrage auf lokaler Ebene	104
3 RÄUMLICHE STRUKTUREN UND ALGORITHMEN	121
3.1 GEOMETRIEN	122
3.1.1 Vektordaten	122
3.1.2 Rasterdaten	123
3.1.3 Vergleich elementarer Datentypen	123
3.2 RAUMKONZEPTE	124
3.2.1 Überführung der Konzepte in einen neuen Algorithmus	124
3.2.2 Geographical Grid System (GGS)	124

3.2.3	Inspire-Richtlinie	125
3.2.4	Transformation.....	129
3.3	ALGORITHMEN ZUR BILDUNG VON REGIONEN	136
3.3.1	Region Growing.....	137
3.3.2	Balance Region Growing (BRG).....	140
3.4	TESTGEBIETE	154
3.4.1	Nationales Testgebiet für die Nahrungsversorgung	154
3.4.2	Regionales Testgebiet Leader Region Ennstal Ausseerland	156
4	SIMULATION.....	158
4.1	WIRTSCHAFTLICHE WACHSTUMSMODELLE	158
4.2	WIRTSCHAFTSWACHSTUM	160
4.3	SZENARIEN.....	162
4.4	PARAMETRISIERUNG	163
4.4.1	Nahrungsversorgung im nationalen Testgebiet.....	163
4.4.2	Wärme, Kraft-Licht und Mobilität im regionalen Testgebiet	172
5	ERGEBNISSE	177
5.1	SZENARIEN ZUR NAHRUNGSVERSORGUNG IN ÖSTERREICH.....	177
5.1.1	Das gegenwärtige Nahrungsangebot.....	177
5.1.2	Die gegenwärtige Nachfrage nach Nahrung	183
5.1.3	Bilanzierung und Regionalisierung in den Szenarien	186
5.2	ENERGIEZUKUNFT IN DER LEADER REGION ENNSTAL AUSSEERLAND	193
5.2.1	Gegenwärtiges Angebot an regionaler Energie.....	193
5.2.2	Gegenwärtige Nachfrage nach Energie.....	198
5.2.3	Bilanzierung und Regionalisierung in den Szenarien	202
5.3	ERKENNTNISSE ZUM EINSATZ DES BALANCE REGION GROWING	213
5.3.1	Stärken	213
5.3.2	Schwächen	218
6	DISKUSSION.....	220
6.1	KONVENTIONELLE ENERGIE.....	221
6.1.1	Energieangebot fossiler und erneuerbarer Energie	221
6.1.2	Energienachfrage in den Sektoren	227
6.1.3	Energie im regionalen Testgebiet	228
6.1.4	Das Wesentliche zur konventionellen Energie.....	229
6.2	ENERGIE AUS BIOMASSE	229
6.2.1	Globale Ernährungssituation.....	230
6.2.2	Nahrungsverluste in der Verwertungskette	233
6.2.3	Bioenergie aus der Landwirtschaft	235
6.2.4	Das Wesentliche zur Energie aus Biomasse	237

XI

6.3	UMWELTWIRKUNGEN ALS WACHSTUMSGRENZE.....	239
6.3.1	Erkenntnisse der Umweltgeschichte	240
6.3.2	Ökobilanzierung als Optimierungswerkzeug	242
6.4	HANDLUNGSFELDER	245
6.4.1	Praktische Handlungsfelder	245
6.4.2	Strategische Handlungsfelder	247
6.5	REGIONEN ALS EINHEITEN MIT ZUKUNFT	250
7	EMPFEHLUNGEN.....	253
7.1	BUNDESVERWALTUNG	253
7.1.1	Ernährungsstrategie.....	253
7.1.2	Erneuerbare Energie.....	254
7.2	REGIONALVERWALTUNG.....	254
7.2.1	Bildung von Regionen	254
7.2.2	Die Region im Staat	256
7.3	GESELLSCHAFT	256
	LITERATUR.....	257

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

Abbildung 1: Dimensionen der Ressourcennutzung.....	7
Abbildung 2: Dynamisches Deckungsmodell RESRO (Biberacher et al., 2010, Abbildung 11).....	8
Abbildung 3: UML-Diagramm des Nahrungsmarktes.....	17
Abbildung 4: UML-Diagramm der inländischen Nahrungsbereitstellung	19
Abbildung 5: Struktur der im INVEKOS-Gis erfassten Feldstücke	28
Abbildung 6: Verteilung der Besatzdichten.....	32
Abbildung 7: Bewertung der Betriebsfläche.....	33
Abbildung 8: Konzentration der Milchquoten pro ha.....	34
Abbildung 9: Verteilung der biologischen Landwirtschaft in Österreich.....	36
Abbildung 10: Modellentwurf der AGS (Guggenberger et al. 2009, Abbildung 1).....	37
Abbildung 11: Systementwurf der AGS	40
Abbildung 12: Bewertung des Brutto-Futterbedarfs als Grundlage für den Ertrag im Grünland.....	42
Abbildung 13: Erhebungsdaten aus der Befragung von Maschinenringen.....	43
Abbildung 14: Konservierung von Grundfutter in Österreich	43
Abbildung 15: Ansätze zur N-Bilanzierung nach (Gutser, 2006).....	46
Abbildung 16: Landwirtschaftliche Produktionssysteme und begleitende Märkte	49
Abbildung 17: Nutzungspfad im Marktfruchtbetrieb	49
Abbildung 18: Nutzungspfad in der Rinderhaltung.....	49
Abbildung 19: UML-Diagramm des Holzmarktes	52
Abbildung 20: Forstliche Nutzungswahrscheinlichkeit und Hangneigung	59
Abbildung 21: Nutzungswille der Waldbesitzer	61
Abbildung 22: Energieholz in Abhängigkeit der Seehöhe.....	63
Abbildung 23: Energieholz und Nutzungstechnik	63
Abbildung 24: UML Energiebereitstellung aus Wasserkraft.....	64
Abbildung 25: Bestehende und geplante Wasserkraftwerke in Österreich.....	65
Abbildung 26: Wasserabfluss nach dem GCRF	68
Abbildung 27: Niederschlagsdaten nach ZAMG.....	68
Abbildung 28: Workflow zur Modellierung von Wasserkraftpotenzialen	69
Abbildung 29: Abflussrichtungen entlang der Geländeoberfläche.....	70
Abbildung 30: Flusslinie als Modellergebnis und amtlicher Flussverlauf	71
Abbildung 31: UML Energiebereitstellung aus Sonnenenergie	73
Abbildung 32: Digitalisierung von Sonnendachflächen	76
Abbildung 33: Dichtkurve der überbauten Gebäude	77
Abbildung 34: Dichtkurve der Sonnendachfläche	77
Abbildung 35: Beziehung zwischen Gebäude- und digitalisierter Sonnendachfläche	78
Abbildung 36: Ausschnitt der Gebäudegrenzen aus der DKM.....	79

Abbildung 37: Workflow der Bewertungsmodelle der Sonnenenergie	80
Abbildung 38: Hybride DTM Struktur (TU Wien, 2014, Abbildung 5.1.).....	83
Abbildung 39: 3D-Vektormodell von Gebäuden (Lüthi, 2015).	83
Abbildung 40: Detektion von Dachflächen (Demir und Baltasavias, 2012)	83
Abbildung 41: Detektion von Dachflächen (Nguyen et al. 2012)	83
Abbildung 42: Horizontabschattung unterschiedlicher Lagen.....	84
Abbildung 43: Strahlungsverteilung in Donnersbach.....	85
Abbildung 44: Globalstrahlung (kWh m ² a) unter gegebenen Bedingungen	86
Abbildung 45: Einfluss einer Drehung der optimalen Anlage um 45° nach Osten	86
Abbildung 46: Dichtekurve der Globalstrahlung (kWh m ² a) bei optimaler Montage.....	87
Abbildung 47: Einfluss von Z0 auf die Windgeschwindigkeit (Wieringa, 1986, Abbildung 1)	89
Abbildung 48: UML Energiebereitstellung aus Windenergie	90
Abbildung 49: Turbulenzen in Abhängigkeit der Höhe (Delauney, 2013).....	92
Abbildung 50: Kennlinien verschiedener Windkraftanlagen.....	92
Abbildung 51: Workflow der Bewertungsmodelle für Windenergie.....	94
Abbildung 52: Potenzielles Windparkgebiet am Dachstein	95
Abbildung 53: UML Nahrungsmarkt.....	97
Abbildung 54: Energiebedarf von Männern und Frauen	102
Abbildung 55: Proteinbedarf von Männern und Frauen	102
Abbildung 56: Zählsprengel der Stadt Schladming	103
Abbildung 57: Logo und Konzept des Energiepfades	105
Abbildung 58: Technisches Konzept der proaktiven Mobilisierung	106
Abbildung 59: Energiebewertung	110
Abbildung 60: Energieerhebungsbogen.....	110
Abbildung 61: Energie-Check	111
Abbildung 62: Box-Plot der Klassen aus den Energiebefragungen.....	115
Abbildung 63: Bruttoinlandsverbrauch an Energie (Statistik Austria, 2015f).....	117
Abbildung 64: PKW-Zulassung in Österreich	119
Abbildung 65: Geographical Grid System GGS.....	127
Abbildung 66: Auflösungen im GGS.....	127
Abbildung 67: Arbeitsmodell der Datentransformation	129
Abbildung 68: Umgang mit verschiedenen Rasterdaten.....	130
Abbildung 69: Schnittführung im GGS und Schnittergebnis	131
Abbildung 70: Vereinfachtes Schema der Datenaufbereitung.....	132
Abbildung 71: Darstellung von Ergebnissen	135
Abbildung 72: Ablauf eines Region Growing Verfahrens (Shih und Cheng, 2005, Figure 2).....	138
Abbildung 73: Algorithm polygon-based regionalisation (Tiede und Strobl, 2006).....	139
Abbildung 74: OTU, Rekursives Datengitter	144
Abbildung 75: Einzelregion und freier Markt.....	146
Abbildung 76: Aspekte zur Definition von Seeds	148

Abbildung 77: Regel-Set der Nachbarschaftsfunktion und Anwendungsbeispiele	150
Abbildung 78: Schattenelemente im BRG.....	151
Abbildung 79: Räumliche Ausbreitungsbarrieren	152
Abbildung 80: Oberfläche einer eigenen Implementierung des BRG	153
Abbildung 81: Nationales Testgebiet.....	154
Abbildung 82: Regionales Testgebiet Leader Region Ennstal Ausseerland.....	156
Abbildung 83: Demographische Verteilung im Testgebiet	157
Abbildung 84: Ertragsentwicklung von Getreide und Mais (Agrarmarkt Austria, 2015b)	165
Abbildung 85: Verteilung des nationalen Nährstoffangebotes in den Nahrungsklassen.....	181
Abbildung 86: Verteilung des Angebotes an verdaulicher Nahrungsenergie in Österreich	183
Abbildung 87: Demographische Verteilung der österreichischen Bevölkerung	184
Abbildung 88: Nährstoffnachfrage in verschiedenen Klassen.....	185
Abbildung 89: Lokale Verteilung der Nachfrage an Nahrung.....	185
Abbildung 90: Abdeckung des Nährstoffbedarfes auf nationaler Ebene.....	187
Abbildung 91: Ergebnis des Algorithmus BRG bei der Bildung von Versorgungsregionen	188
Abbildung 92: Versorgungschancen von Stadtregionen in verschiedenen Szenarien.....	190
Abbildung 93: Versorgungsregionen mit verdaulicher Nahrungsenergie in den Szenarien.....	191
Abbildung 94: Flächenbedarf und Abgrenzungsdifferenzen von Stadtregionen.....	192
Abbildung 95: Agrarstruktur und Nahrungsangebot in der Testregion	194
Abbildung 96: Energieangebot aus Biomasse und bedeutende Einflussgrößen	196
Abbildung 97: Strom aus Wasserkraft	197
Abbildung 98: Nahrungsnachfrage in der Testregion.....	198
Abbildung 99: Nachfrage nach Energie aus Biomasse für die Wärmeerzeugung	199
Abbildung 100: Nachfrage nach Strom	200
Abbildung 101: Verwendung fossiler Energie.....	201
Abbildung 102: Abdeckung des Nährstoffbedarfes im regionalen Testgebiet	203
Abbildung 103: Auswirkung der Energieeinsparung in den Nutzergruppen.....	204
Abbildung 104: Konventionelles Energieangebot in der Region Ennstal Ausseerland.....	205
Abbildung 105: Autarkiegrad und Partizipation an der Stromerzeugung in der Testregion	207
Abbildung 106: Einzugsgebiete kleinregionaler Ernährung in den Szenarien	208
Abbildung 107: Verdauliche Nahrungsenergie in den einzelnen Ortsgebieten	209
Abbildung 108: Versorgungsregionen mit Wärme aus Biomasse	210
Abbildung 109: Energie aus Biomasse in den einzelnen Ortsgebieten	211
Abbildung 110: Ausbreitungsgebiete der Energieversorger	212
Abbildung 111: Marktausbreitung der einzelnen Stromlieferanten.....	212
Abbildung 112: Auswahl einer Seed aus potenziellen Kandidaten	214
Abbildung 113: Entwicklungsdynamik in Versorgungsregionen.....	215
Abbildung 114: Nachfrage nach Siedlungsgebieten.....	216
Abbildung 115: Ergebnis einer Regionalisierung ohne bzw. mit subjektiven Grenzelementen	217
Abbildung 116: Kreisförmige Ausbreitung im BRG.....	218

Abbildung 117: Isolationsgefahr von Regionen	219
Abbildung 118: Energiepotenziale in Österreich und der ganzen Welt im Jahr 2050.....	225
Abbildung 119: Zusammensetzung der Energieversorgung im Jahr 2050.....	226
Abbildung 120: Zukünftige Nachfrage nach Strom.....	226
Abbildung 121: Verteilung des Energieverbrauchs in den Sektoren.....	227
Abbildung 122: Systemdynamische Entwicklung nach Meadows.....	232
Abbildung 123: Bioenergiepotenziale in Österreich.....	236
Abbildung 124: Mögliche Anteile von Land- und Forstwirtschaft im Bioenergiebereich.....	237
Abbildung 125: Wie stellen wir uns die Natur vor? (Winiwarter und Bork, 2015, Seite 160)	241
Abbildung 126: Der landwirtschaftliche Betrieb und sein Inventar	242
Abbildung 127: Bewertung des Treibhauspotenzials von Milchviehbetrieben in Österreich	243
Abbildung 128: Vorgehensmodell Projektmanagement.....	249

Tabellen

Tabelle 1: Grundlegende Forschungsprojekte, die Einfluss auf diese Arbeit nehmen	3
Tabelle 2: Schlagnutzungsarten und –gruppen und deren Flächenanteil in Österreich 2010	29
Tabelle 3: Tierbestand in Österreich (2010)	32
Tabelle 4: Funktionale Beziehungen innerhalb ausgewählter Ertragstafeln.....	58
Tabelle 5: Statistische Parameter (P-Wert, Bestimmtheitsmaß, Streuung)	58
Tabelle 6: Zuwachs und Nutzung im Bezirk Liezen.....	60
Tabelle 7: Anteil von Energieholzsortimenten am Gesamtzuwachs	62
Tabelle 8: Parametrisierung der Globalstrahlungsberechnung (Schaumberger, 2011, Tabelle 17) ..	85
Tabelle 9: Auswirkung des Azimutwinkels auf die Leistung von Photovoltaikanlagen	86
Tabelle 10: Perzentile der Globalstrahlungsverteilung	87
Tabelle 11: Adressstrukturen	108
Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Klassen aus den Energiebefragungen	113
Tabelle 13: Stärken und Schwächen von Geodatentypen.....	123
Tabelle 14: Aufbau des Identifiers für das GGS.....	128
Tabelle 15: Parameter des Nahrungsangebotes „Lineare Fortschreibung“	168
Tabelle 16: Ertragserwartung in der biologischen Landwirtschaft.....	169
Tabelle 17: Parameter des Nahrungsangebotes „Biologische Landwirtschaft“.....	170
Tabelle 18: Parameter des Nahrungsangebotes „Energiewende“	171
Tabelle 19: Parameter des regionalen Energieangebots „Lineare Fortschreibung“ bis 2050	173
Tabelle 20: Parameter der regionalen Energienachfrage „Lineare Fortschreibung“	174
Tabelle 21: Bevölkerungsentwicklung im regionalen Testgebiet.....	174
Tabelle 22: Parameter des regionalen Energieangebots „Energiewende“	175
Tabelle 23: Parameter der regionalen Energienachfrage „Energiewende“	176
Tabelle 24: Nahrungsquellen und deren Verwertungsströme als Mengen	178
Tabelle 25: Nährstoffgehalte einzelner Nahrungsquellen.....	179
Tabelle 26: Nahrungsquellen und deren Verwertungsströme als verdauliche Nahrungsenergie ...	180
Tabelle 27: Versorgung der Wohnbevölkerung in den verschiedenen Szenarien	187
Tabelle 28: Verdauliche Nahrungsenergie im regionalen Testgebiet.....	202
Tabelle 29: Konventioneller Energiebedarf im regionalen Testgebiet	204
Tabelle 30: Konventionelles Energieangebot im regionalen Testgebiet	206
Tabelle 31: Zugriffsgeschwindigkeit BRG	218
Tabelle 32: Eckdaten Nahrungsangebot und Nahrungsverluste in Österreich	233
Tabelle 33: Nachfrageüberschuss als Basis zur Verlustbewertung von Lebensmitteln.....	234
Tabelle 34: Import/Exportbilanz EU 27 an verdaulicher Nahrungsenergie	238
Tabelle 35: Handlungsfelder auf dem Weg zu einer vorsorgenden Gesellschaft in Österreich	245

Abkürzungen

Institutionen

AMA	Agrarmarkt Austria
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
WHO	World Health Organization

Land- und Forstwirtschaft

GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
GVE	Großvieheinheit
INVEKOS	Integriertes Verwaltung- und Kontrollsystem
ÖPUL	Programm für eine umweltgerechte Landwirtschaft
TAFI	Tatsächliche landwirtschaftlichen Fläche
Vfm	Vorratsfestmeter

Ernährung

BMI	Body Mass Index
ME _{VE}	Verdauliche Nahrungsenergie
XP _W	Wirksames Nahrungsproteine

Geoinformation

AGS	Agricultural-Gis-Sphere
ALS	Airborn Laser Scan
BRG	Balance Region Growing
DGM	Digitales Geländemodell
DKM	Digitale Katastralmappe
GCRF	Global Composite Runoff Fields
GGG	Geographical Grid System
GWR II	Gebäude und Wohnungsregister II
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
NPC	National-Processing-Code
OTU	Operational Taxonomic Unit
RESRO	Reference Energy System Regional Optimisation

Einheiten

MJ	Megajoule
GJ	Gigajoule
TJ	Terajoule
PJ	Petajoule
EJ	Exajoule
ZJ	Zettajoule
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kW _{peak}	Nicht normgerechte Leistungseinheit für Photovoltaik in kWh
MWh	Megawattstunde
GWh	Gigawattstunde
TWh	Terawattstunde

1 Problemstellung und Ziele

Was der Titel andeutet, wird im Inhalt klarer. Diese Arbeit zur Ressourcennutzung ist ein Forschungsergebnis zu den natürlichen Möglichkeiten und Grenzen der Gewinnung und Nutzung von erneuerbarer Energie. Der Titel bleibt unscharf, weil diese Arbeit nicht nur einen naturwissenschaftlich-technischen Teil besitzt, sondern allgemeine Lösungen für die räumliche Bewertung und Verteilung sucht. Beide Aspekte sind eine Einheit und müssen gemeinsam wahrgenommen werden. Schon allein die gängige Interpretation der erneuerbaren Energie greift bei Weitem zu kurz.

Intuitiv antworten Menschen in Österreich zu diesem Thema: Strom aus Wasserkraft, Wind und Sonnennutzung sowie Wärme aus Holz. Stimmt, aber das Eigentliche, Ursprüngliche und Erste fehlt. Getreide und Gemüse von unseren Äckern, Obst und Wein aus den günstigsten Anbaulagen. Die Milch der Kühe und das Fleisch der landwirtschaftlichen Tiere sind unsere natürliche, erneuerbare Nahrungsgrundlage und damit der primäre Metabolismus. In den meisten Krisenregionen der Erde zeigt sich, dass der Nahrungsmangel – hervorgerufen durch Überbevölkerung und Bewirtschaftungsfehler, durch Umweltkatastrophen oder gesellschaftliche Umbrüche – die Plage der Bevölkerung ist. Zum Thema des Welthungers besteht schon lange internationale Einigung. Die Lösungen kommen deshalb so schleppend voran, weil die natürliche, räumliche Verteilung von fruchtbaren landwirtschaftlichen Böden nicht homogen ist. Die dringend notwendige räumliche Verbindung im Güterausgleich ist mangelhaft, die emotionale Verpflichtung kann den Raum nicht erfolgreich überbrücken.

Ungeachtet der Selbstverständlichkeit einer verlässlichen Nahrungsversorgung reift seit einem Jahrzehnt die gesellschaftliche Haltung zum Umgang mit fossiler Energie. Die breite mediale und wissenschaftlich geführte Kampagne über die Klimaerwärmung befasst sich vordergründig mit Schuldfragen und Lösungsansätzen zur Erderwärmung. Im Hintergrund werden still die eigentlichen Schlüsselfragen besprochen: Wie können wir die untrennbare Verbindung zwischen Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch auflösen? Die meisten Antworten haben in den letzten 10 Jahren die Technologieträger mit unterschiedlichen Ansätzen zur besseren Nutzung der erneuerbaren Energie gegeben. Investments in Windkraftanlagen und Photovoltaikfarmen haben zwar eine leichte Entlastung gebracht, zeigen aber wieder jenes Muster, das die eigentliche Ursache des Problems ist: Die individuelle Gier des Homo oeconomicus, die wissenschaftlich im nachklassischen Wirtschaftsmodell fast unerschöpfliche Argumente für ihre Existenz findet.

Eine soziale, friedliche Lösung beruht wahrscheinlich auf der Erkenntnis eines gesellschaftlichen Wertewandels. Die Hinwendung zu regionaler Nahrungs- und Lebensqualität etabliert sich langsam in jüngeren Generationen.. Jene Generation, die übermorgen Probleme von gestern lösen wird, hat Anspruch auf umfassende Informationen über die Möglichkeiten. Zumindest im Bereich der Nahrungsversorgung leistet diese Arbeit einen bescheidenen Beitrag. Die entwickelten Bewertungssysteme decken das gesamte Bundesgebiet ab und stellen wegen ihrer hoch

dynamischen Entwicklung auch den Anspruch auf realistische Prognosen in die Zukunft. Für die Chancen im Bereich der Strom- und Wärmeversorgung liegt der Modellierung ein ähnlicher Ansatz zugrunde. Dieser deckt die Leader-Region Ennstal Ausseerland in der Steiermark ab. Die getroffenen Schlüsse können auf andere Regionen übertragen werden. Die Denkkonzepte der naturwissenschaftlichen Bewertungsmethoden und die Verteilungsmodelle der Geoinformatik sind universell, der Titel entspricht dem Ziel dieser Arbeit.

1.1 Motivation

Während der eigenen, langjährigen Arbeit in der naturwissenschaftlichen Forschung wurden viele Projekte von zwei Kernprozessen begleitet. Der erste Bereich ist die multiple Komposition von Faktoren, die von lebenden Systemen oder Produktionsprozessen benötigt werden, der zweite Bereich betrifft die Verwertungsstruktur und die Durchsatzgeschwindigkeit. Während der erste Bereich als Dichte verstanden werden kann, beschreibt der zweite Bereich die Fracht.

Diese universelle Haltung hilft bei der Entwicklung von vernetzten Bewertungssystemen, weil fast alle Teilprozesse ein ähnliches Muster aufweisen. Die Stoffdichte des Bodens sind seine Textur und seine Vielfältigkeit an mineralischen Nährstoffen und organischen Lebewesen, seine Fracht ist die Nährstoffnachlieferung, aber auch die Weiterleitung von Wasser. Pflanzenbestände haben botanische und analytische Stoffdichten, ihre Fracht in der Landwirtschaft ist der Ertrag. Tiere und Menschen benötigen viele verschiedene Nährstoffe, um zu wachsen und gesund zu bleiben. Die Menge der Nahrung ist die Fracht. Diese wirkt sich stark auf die Leistungsfähigkeit aus. Wärme zu Heizzwecken oder industrielle Prozesse können über die Temperatur als Dichte beschrieben werden. Die Summe der verbrauchten Wärme, also die Fracht, hat mit Gebäudegrößen oder dem Produktionsdurchsatz zu tun. Für Strom gilt Ähnliches. Welche Leistung bringt der Strom, und wieviel benötigen wir davon? Wieder Menge und Fracht. Zusätzlich muss erkannt werden, dass alles in allem stark vernetzt erscheint. Im Rahmen dieser Arbeit bildet sich die Frage nach der grundsätzlichen Existenz von Ressourcen in der chemischen und biologischen Verfügbarkeit ab. Die Raumstrukturen können mit der Fracht assoziiert werden. Das Wieviel ist eine Frage des Ortes, wobei damit nicht nur unbedingt die Erdoberfläche gemeint ist. Auch das Volumen eines Verdauungstraktes könnte gedanklich mit einbezogen werden.

Die Motivation dieser Arbeit ist der wissenschaftliche Beitrag zur Bewertung von stofflichen Dichten im Bereich der erneuerbaren Energie und des Austausches der Stoffe als Fracht in nationalen oder regionalen Gebieten. Im Focus stehen das Bilanzergebnis von Angebot und Nachfrage und die Chance auf Eigenversorgung innerhalb der definierten Systemgrenze. Operativ kann das als Ressourcenmanagement verstanden werden.

1.2 Teilprojekte

Diese Arbeit schließt eine in sich greifende Projektkette ab, die in den letzten 12 Jahren die notwendigen Daten und Methoden hervorgebracht hat, um eine umfassende Bewertung von stofflichem Angebot und Nachfrage zu ermöglichen.

Tabelle 1: Grundlegende Forschungsprojekte, die Einfluss auf diese Arbeit nehmen

1.	<p>GIS gestützte Modellierung der Nährstoffbilanzen österreichischer Grünlandbetriebe Projektträger: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Dafne 10234 Laufzeit: 2004 - 2007 Funktion: Projektleiter Abschluss: Forschungsbericht (Guggenberger und Bartelme, 2005)</p>
2.	<p>Entwicklung landwirtschaftlicher Geodaten Projektträger: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Dafne 10217 Laufzeit: 2007 - 2012 Funktion: Projektleiter Abschluss: Fachatlas Landwirtschaft (Guggenberger <i>et al.</i>, 2012a, 2012b)</p>
3.	<p>GIS als Steuerungs- und Optimierungssystem für die nachhaltige Nahrungs- und Energieversorgung sozialer Gesellschaften Projektträger: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Dafne 10310 Laufzeit: 2008 - 2016 Funktion: Projektleiter Abschluss: Dissertation und Forschungsbericht (in Veröffentlichung)</p>
4.	<p>Energiewende Ennstal Projektträger: Energieagentur Steiermark-Nord, als Vertretung der Leader-Region Enns-Grimming-Land Laufzeit: 2009-2011 Funktion: Wissenschaftlicher Leiter Abschluss: Forschungsbericht (Guggenberger und Nussbaumer, 2012, Guggenberger <i>et al.</i>, 2011)</p>
5	<p>Land Information System Austria Projektträger: Konsortium mit einer Finanzierung durch ESA, FFG, ASAP und BMVIT Laufzeit: 2010-2011 Funktion: Projektmitarbeiter Abschluss: Forschungsbericht (Banko <i>et al.</i>, 2010)</p>

- 6 Regional integrative assessment of bioenergy utilisation paths based on spatial aspects – development of a model framework and a case study
Projektträger: Konsortium unter der Führung der Research Studios Austria, mit einer Finanzierung durch den Klima- und Energiefond
Laufzeit: 2010-2011
Funktion: Projektmitarbeiter
Abschluss: Forschungsbericht (Biberacher *et al.*, 2011)
-
- 7 Forschungs- und Erlebniswerkstatt Liezen: Energie
Projektträger: AWT Umwelttechnik GmbH mit einer Finanzierung des BMVIT
Laufzeit: 2010-2011
Funktion: Projektmitarbeiter
Abschluss: Forschungsbericht (Finotti *et al.*, 2012)
-
- 8 Klima- und Energiemodellregion Schladming
Projektträger: Energieagentur Steiermark-Nord, mit einer Finanzierung durch den Klima- und Energiefond
Laufzeit: 2011-2013
Funktion: Wissenschaftlicher Leiter
Abschluss: Forschungsbericht (Guggenberger *et al.*, 2013c)
-
- 9 Klima- und Energiemodellregion Ausseerland/Salzkammergut
Projektträger: Energieagentur Steiermark-Nord, mit einer Finanzierung durch den Klima- und Energiefond
Laufzeit: 2012-2014
Funktion: Wissenschaftlicher Leiter
Abschluss: Forschungsbericht (Guggenberger *et al.*, 2013b)
-
- 10 Klima- und Energiemodellregion Eisenwurzen
Projektträger: Energieagentur Steiermark-Nord, mit einer Finanzierung durch den Klima- und Energiefond
Laufzeit: 2012-2014
Funktion: Wissenschaftlicher Leiter
Abschluss: Forschungsbericht (Guggenberger *et al.*, 2013a)
-
- 11 Klima- und Energiemodellregion Gröbming
Projektträger: Energieagentur Steiermark-Nord, mit einer Finanzierung durch den Klima- und Energiefond
Laufzeit: 2013-2015
Funktion: Wissenschaftlicher Leiter
Abschluss: Forschungsbericht (in Veröffentlichung)
-
- 12 Klima- und Energiemodellregion Liesing/Paltental
Projektträger: Energieagentur Steiermark-Nord, mit einer Finanzierung durch den Klima- und Energiefond
Laufzeit: 2014-2016
Funktion: Wissenschaftlicher Leiter
Abschluss: Forschungsbericht (in Veröffentlichung)

In den Projekten 1, 2, 3, 5 und 6 wurden die landwirtschaftlichen und räumlichen Methoden erarbeitet, bei den Projekten 4, 7, 8, 9, 10, 11 und 12 wurden Werkzeuge zur Bewertung der regionalen Energieversorgung entwickelt und die regionalen Daten erhoben.

1.3 Multiple Ressourcennutzung

Der Arbeitsschwerpunkt der stofflichen Dichte wurde in 1.1 erörtert. Die nationale Betrachtung kennt eine breite Palette unterschiedlicher Nachfragen, die gemeinsam zu befriedigen sind. Diese Nachfragen können aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht mit ökonomischen Wachstumsmodellen (siehe 4.1) gut bewertet werden. Je nach Ansatz unterscheiden sich die Ergebnisse der Wachstumsmodelle. Die Unterschiede werden dabei weniger vom mathematischen Regelwerk als von den definierten Systemgrenzen bestimmt. Sektorale Analysen der Volkswirtschaft, z.B. die Input-Output-Analyse, zielen in ihrer Nachfrage auf die direkte lokal zu erzielende Primärleistung. Der Bergbau liefert dabei die industriellen Rohstoffe, die Landwirtschaft die Nahrung, die Wasserkraft den Strom und so weiter. Die nationale Gesetzgebung zeigt, dass dieser ökonomische Zugang sehr einseitig ist. Naturschutzflächen etwa dienen keiner sektoralen Leistung, sondern sind Ausdruck einer gesellschaftlichen Haltung im Umgang mit der Natur. Dies gilt auch für alle anderen nicht oder wenig produktiven Flächen, die mit rechtlichen Nutzungseinschränkungen belegt wurden.

Diese Tatsache führt mit einer vertikalen Betrachtung zur ersten Dimension der multiplen Ressourcennutzung bzw. -nachfrage: Ein frei zu definierendes Stück Land kann durch eine Nutzungsstrategie vollkommen gebunden werden oder in einer geschachtelten (kaskadischen) Nutzung mehrere Nutzungszwecke erfüllen. Ein aktiver Steinbruch wird durch die dort stattfindenden Aktivitäten im Tagebau vollkommen gebunden, während die Landwirtschaft durch die Bildung der Kulturlandschaft noch Vorteile für den Tourismus bringen kann. Kaskadische Nutzungen in der Erzeugung von Primärprodukten sind selten, viel eher treten Nutzungskonflikte aller Art auf. Friktionsfrei kann im Bereich der erneuerbaren Energie – zumindest auf den ersten Blick – nur die Nutzung von Sonnendächern und die Gewinnung von Tiefenwärme gelingen. Alle anderen Varianten stören entweder die bestehende sektorale Leistung oder kollidieren mit der gesellschaftlichen Haltung. Gelegentlich werden solche Haltungen aber überwunden, und aus einem zuerst kritisch bewerteten Stausee wird eine erneuerbare Energiequelle, die auch dem Tourismus oder dem Naturschutz dient. Eine vertikale Staffelung erfährt auch die Nachfrage, die innerhalb kleiner räumlicher Einheiten nach optimalen Lösungen für die Nutzung sucht. Auch hier zeigen Nutzungsketten ihre Stärken: Industrieabwärme dient der Heizung von Wohngebäuden. Viele Roh- und Verbundstoffe werden inzwischen einer weiteren Verwertung zugeführt. Die vertikalen Fragen der multiplen Ressourcennutzung werden sehr stark von der lokalen Disposition und den technologischen Möglichkeiten bestimmt. Diese Frage stärkt das Konzept der Regionalisierung. Die zweite Dimension der multiplen Ressourcenausstattung betrifft die horizontale Betrachtung der zur Verfügung stehenden Ressourcen: Innerhalb der definierten Systemgrenzen – zumindest wenn diese nicht sehr eng gesteckt wurden – gilt der komparative

Vorteil des individuellen Standortes (Mankiw, 2001). Dies bedeutet, dass Güter dort produziert werden sollen, wo die Fähigkeiten der Produzenten oder die Vorteile des Standortes eine hohe Effizienz erwarten lassen. Die Güter können dann über Märkte ausgetauscht werden. In Summe kann so eine volle Palette an Gütern angeboten werden. Im Sektor der Land- und Forstwirtschaft, dieser bedeckt gemeinsam 80 % des Bundesgebietes, ist dieser Grundsatz nicht immer aufrecht zu erhalten. Obst- und Weinbau folgen der Forderung ebenso wie der Gemüseanbau und spezielle Marktfrüchte wie Kürbis, Bohnen und einige Ölfrüchte. Diese hochwertigen Güter genießen auch in der vertikalen Betrachtung oft den Vorzug. Für die Getreidearten löst sich die Forderung langsam auf, und im Grünland kann die Forderung nicht mehr aufrechterhalten werden. Im Grünland ersetzt der Wiederkäuer als landwirtschaftliches Nutztier die Forderung nach dem komparativen Vorteil und erzeugt aus minderwertigem Gras hochwertige Nahrungsmittel. Die Massenmärkte des Ackerbaus und die Tierhaltung haben eine sehr starke stoffliche Verschränkung. Diese wird in Kapitel 2.1.1 noch dargestellt. Zumindest für den Massenmarkt der Landwirtschaft löst sich die zweite Dimension der multiplen Ressourcenausstattung vollständig im Markt auf. Ähnliches gilt für die Forstwirtschaft, die vom ertragreichen Laubwald bis zum Qualitätsholz der Gebirgskiefer ein breites Ressourcenspektrum bereithält, aber faktisch extrem von der Holzindustrie gesteuert wird. Andere Sektoren folgen fast zwingend dem Standortvorteil. Mineralien sind an ihre Vorkommen gebunden, die Gewinnung größerer Mengen an Strom aus Wasserkraft und Wind ist untrennbar mit den Potenzialen verbunden. Die dritte Dimension der Ressourcenausstattung betrifft die Wandelbarkeit von Ressourcen: Auch wenn die ersten zwei Dimensionen einen starken Hinweis auf eine prädestinierte Nutzung anzeigen, kann die technologische Wandelbarkeit doch zu einer geänderten Nutzung führen. Getreide kann als Nahrung, Futter oder als Ausgangsprodukt für Ethanol dienen. Holz kann Baustoff oder Brennmaterial sein. Wandelbar ist vieles, die Würdigkeit bestimmt der Marktpreis des Endproduktes. Als letzte Dimension verbleibt der zeitliche Aspekt: Diese spielt bei Lagergütern wenig Rolle, wird aber bei verderblichen Gütern oder direkten Bereitstellungsketten (z.B. Strom) extrem wichtig.

Eine kleinräumige Abbildung des Angebots und der Nachfrage aller sektoralen Güter ist nicht möglich. Selbst die nationale Gesamtrechnung wird von der Statistik Austria nur in mehrjährigen Intervallen erstellt. Trotzdem werden alljährliche Betrachtungen über den Güterstrom auf Basis der ökonomischen Transferzahlungen erstellt und als Bruttonationalprodukt veröffentlicht. Diese Bewertung bildet die Grundlage für die Prognosen des Wirtschaftswachstums und beeinflusst die Nation bis hin zur Zinspolitik der Nationalbank. Im Themenfeld der erneuerbaren Energie können wir dem Beispiel folgen und auf eine starke Differenzierung der Güter innerhalb einer Nutzungsgruppe verzichten. Alle Erträge der Landwirtschaft leisten ihren lokalen Beitrag zur Bereitstellung von verdaulicher Nahrungsenergie und können addiert werden. Alle Formen von Wärmequellen der erneuerbaren Energie können zu einer potenziellen Wärmequelle und alle Stromlieferanten zu einem Angebot an Kraft und Licht vereint werden. Für Strom und Wärme lässt diese Methode keinen Widerspruch erwarten. Bei der Nahrung muss berücksichtigt werden, dass die Betrachtung der Energie oder gegebenenfalls auch des Proteins keine gesunde Mischkost

erwarten lässt. Ein theoretisches Konzept einer vollständigen Autarkie ohne Märkte kann für Nahrung nicht realisiert werden. Das ist bekannt, wird hier aber nicht weiter verfolgt.

Räumliche Einheit	Horizontale Nachfrage nach Gütern im Primärsektor der Urproduktion														
	Milch	Fleisch	Getreide	Obst	Gemüse	Kurz- umtrieb	Energie- holz	Qualitäts- holz	Wasser- kraft	Wind- energie	Sonnen- energie	Bergbau	Umwelt- schutz	Kultur- land- schaft	Infra- struktur
1kmN2804E4794	X	X												X	
1kmN2676E4734			X			X								X	X
1kmN2807E4639									X				X	X	
1kmN2685E4428				X										X	
1kmN2748E4547					X									X	
1kmN2790E4618											X				X
1kmN2620E4649	Volkswirtschaftliches Angebot und Nachfrage										X	X			
...															

Räumliche Einheit	Wandelbarkeit von Ressourcen					
	Getreide als ... Nahrung	Vieh- futter	Rohstoff Industrie	Haus- halte	Strom für ... Gewerbe	Mobilität
1kmN2804E4794	X					
1kmN2676E4734		X	X			
1kmN2807E4639					X	X
1kmN2685E4428	X					
1kmN2748E4547	X					
1kmN2790E4618				X		
1kmN2620E4649	Technologie					
...						

Summenfunktion			
Nahrung	Wärme	Kraft/Licht	Mobilität
MJ VE		kW	
X			
	X	X	X
X			
X			
	X	X	
Vereinfachung			

Vertikale Nachfrage nach Gütern	
1kmN2807E4639	
Wasserkraft	X
Umweltschutz	X
Kulturlandschaft	X
...	
Kaskaden und Konflikte	

Abbildung 1: Dimensionen der Ressourcennutzung

Zusammenfassend ergibt sich aus den Betrachtungen zur multiplen Ressourcennutzung ein räumlich geprägtes Bild mit einer möglichen, aber nicht zwingenden komparativen Disposition (Milchproduktion im Grünland) einzelner Güter an den beobachteten Standorten. Mehrfach geeignete Standorte können ihren Vorteil über Nutzungskaskaden verwerten oder müssen Konflikte auflösen. Diese treten vor allem dann auf, wenn gesellschaftliche Werte mit den Ansprüchen einer sektoralen Bereitstellung von Gütern kollidieren. Damit eine regionale Bewertung überhaupt möglich wird, werden die eingehenden Sektorleistungen in dieser Arbeit in wenige energetische Kenngrößen zusammengeführt und als Summe weiter verrechnet.

1.4 Kommunizierende Raumstrukturen

Abbildung 1 zeigt in den verschiedenen Tabellenköpfen die schrittweise Umwandlung von Gütern in Leistungsgrößen. In den Zeilen der einzelnen Tabellen werden räumliche Elemente mit ihrem Identifier aufgeführt. Der Identifier 1kmN2620E4649 beschreibt eine räumliche Einheit die als quadratisches Polygon ausgeführt wird und die ihren Ursprung beim Koordinatenpaar N2620/E4649 hat. Die Kantenlänge beträgt 1 km. Die praktisch genutzten räumlichen Einheiten werden unter 3 noch ausführlich dargestellt. Das einzelne räumliche Element ist Teil einer Volkswirtschaft, die in Summe alle Angebote oder die Nachfrage abbildet. Diese Sicht bildet sich in der nationalen volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ab. Sie ignoriert die räumliche Frage vollständig und akzeptiert die Bundesgrenze als einzige räumliche Umrandung nur zum Zweck der Bewertung von Importen und Exporten. Diese vereinfachte Weltansicht wird in Kapitel 6 noch zur

Diskussion gestellt. Die Bildung von Regionen – das ist die Aggregation einzelner räumlicher Einheiten zu einem größeren Gebilde – wird von vielen Aspekten beeinflusst. Regionen haben historische Wurzeln mit starker sozio-kultureller Prägung (Weichhart, 2015). Philosophisch und psychologisch leitet sich die Region von einem Zugehörigkeitsgefühl, einer Identität, ab. Diese entsteht durch die Suche von sich selbst in anderen und spannt sich über eine breite Palette von Themen. Einzelne Themen können bei einer Person zu unterschiedlichen räumlichen Definitionen führen. Praktisch bestätigt sich diese Aussage auch in den sehr aktiven Elementen der Gebietskörperschaften und Entwicklungsregionen. Regionen als aggregierte Raumstrukturen werden von der Identität ihrer Bewohner getragen und erfahren deren Innovations- und Wirtschaftskraft. Regionen sind modern.

Raumstrukturen sind als Elemente von Regionen ebenso wenig statisch wie die Regionen selbst. Die in Abbildung 1 dargestellte Dimension erzwingt eine Kommunikation (lat. *communicatio*, Mitteilung) über den Umgang mit überschüssigen Gütern. Unter der Annahme, dass alle Raumstrukturen mögliche Defizite ausgleichen wollen, fließen die Güter vom räumlichen Überschuss zu den Defiziten. In der Alltagspraxis übernimmt der Markt mit seinen Transport- und Verarbeitungsmöglichkeiten die Aufgabe der Güterverteilung. Eine genaue Rekonstruktion der tatsächlichen Aktivitäten zwischen kommunizierenden Raumstrukturen besteht demzufolge in einer genauen Buchhaltung von Frachtmengen, die sich über alle Arten von Transportwegen vom Produzenten zum Kunden verschieben. In kleinem Maßstab wurde dieser – aus wissenschaftlicher Sicht führende – Ansatz als *Reference Energy System Regional Optimisation* (RESRO) bereits erfolgreich implementiert (Biberacher *et al.*, 2010, Biberacher *et al.*, 2011, Hausl *et al.*, 2012).

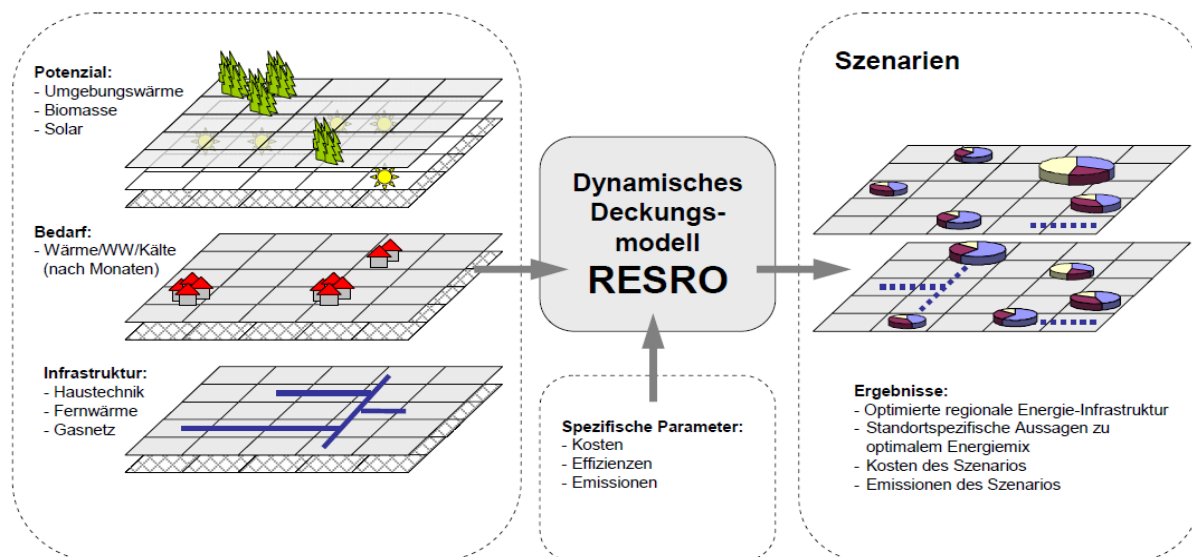


Abbildung 2: Dynamisches Deckungsmodell RESRO (Biberacher et al., 2010, Abbildung 11)

RESRO wurde in Projekt 6 aus Tabelle 1 erfolgreich verwendet, ist aber für die eigenen Ziele und den Zweck dieser Arbeit zu komplex. RESRO wird üblicherweise in kleinen Regionen modelliert. Diese Regionsgrenze soll mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Algorithmus des Balance Region Growing (siehe 3.3.1) gefunden werden. Hier gilt als kommunizierendes Element nicht die

stoffliche Genauigkeit eines Optimierungsmodells, sondern eine energetische Bilanzfunktion (siehe 1.5), die den Ausgleich von Angebot und Nachfrage im Rahmen der Möglichkeiten abdecken will. Kommunizierende Raumstrukturen können im technischen Sinn ein kleinregionales Gesamtmodell wie RESRO sein. Dieses Modell bildet den Transport von Gütern hervorragend ab. Auf der vorgelagerten Ebene, diese sucht die möglichen Grenzen von Kleinregionen, ermöglicht die reine Nachbarschaft auch ohne Transportnetze die Auswertung von Bilanzierungsfunktionen. Das entspricht einer räumlichen Kommunikation, die durch das gemeinsame Grenzpolygon ausgedrückt werden kann.

1.5 Bilanzfunktionen

1.5.1 Energetische Bilanzfunktion

Die ökonomisch in dieser Arbeit mehrfach angesprochene Gegenüberstellung von Angebot und Nachfrage findet ihre Fortsetzung in der energetischen Bilanzfunktion für erneuerbare Energie. Die allgemeine Formulierung

Formel 1: Grundsatzformulierung der energetischen Bilanzfunktion

$$\text{Angebot} = \text{Nachfrage} + \varepsilon$$

kann aus der Sicht des gesellschaftlichen Wunsches in eine Ungleichung abrutschen, wenn das Angebot abfällt oder die Nachfrage sprunghaft steigt. Was in der allgemeinen Konsumtheorie wenig problematisch erscheint, kann bei der Nahrungsversorgung Hunger (ε) bedeuten. Der Begriff „Nachfrage“ scheint hier etwas deplaciert und sollte bei der Bewertung der Nahrungsversorgung durch den Begriff „Bedarf“ ausgetauscht werden. Eine Umwandlung in eine Ungleichung ist aber nicht möglich. Die universale technische Formulierung der Bilanzfunktion lautet:

Formel 2: Technische Formulierung der energetischen Bilanzfunktion

$$E_s = \sum_{Region\ r} \left[\sum_{Technologie\ t} ((P_{rt} \eta_t - v_{rt}) \times f) - \sum_{Bedarf\ b} \frac{D_{rb}}{\eta_b} N_{rb} \right] \text{ wobei } E_s = 0$$

wobei

E_s	=	Nationale Energiebilanz aller Energieformen t innerhalb der Systemgrenze s
r	=	Region
t	=	Technologie
P_{rt}	=	Nachhaltiges Bruttoangebot
η_t	=	Wirkungsgrad für Technologie t (Angebotsseite)
η_b	=	Wirkungsgrad für Nachfrage b (Nachfrageseite, Aufwand daher im Nenner)
v	=	Vorleistung
f	=	Fläche
b	=	Bedürfnisse
D_{rb}	=	Einzelbedarf
N_{rb}	=	Nutzer

Aus der Gegenüberstellung des gesamten Bedarfes und der gesamten Nachfrage einer aus Teilregionen gebildeten Nation entsteht unter Berücksichtigung der Bedeutung einzelner Technologien eine gegen 0 strebende Bilanzsumme für erneuerbare Energie. Die Angebotsseite

einer begrenzten Anzahl an Technologien bildet sich in einer passenden, beschränkten Anzahl an Nachfragen ab. Systemisch bedingt erzeugt eine anbietende Technologie ein Bruttoangebot P , das auf der Angebotsseite auf einen bekannten Einzelbedarf D trifft. Sowohl Angebot als auch Nachfrage sind verlustbehaftet und müssen ihren Wirkungsgrad η_t bzw. η_b $[0,1]$ berücksichtigen. Das Energieangebot muss zusätzlich Vorleistungen für den eigenen Bedarf abziehen. Die endgültige Leistung auf der Seite des Angebots entsteht durch eine Vervielfachung über die Fläche f , während die endgültige Nachfrage durch die Anzahl der Nutzer N bestimmt wird.

Die unterschiedlichen Größen der Formel bilden einige nennenswerte Aspekte mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ab:

1. Forschung und Entwicklung bei allgemeinen Energiequellen: Das wissenschaftliche Themenfeld der Physik entwickelt mit den verbundenen technischen Wissenschaften neue Verfahren und bewirkt die Nutzung von I . Zusätzlich steigert der Erfindergeist die Wirkungsgrade auf beiden Seiten der Bilanz und reduziert die Vorleistungen für die Energieerzeugung.
2. Landwirtschaftliche Forschung und gesellschaftliche Haltung bei der Nahrung: Die landwirtschaftlichen Kulturtechniken gehören zu den ältesten Entwicklungen der Menschheit. Die moderne Forschung befasst sich mit der Veränderung von Wirkungsgraden und dem Bedarf an Vorleistungen inklusive der folgenden Umweltwirkungen. Die Gesellschaft adaptiert die Art der Nahrung in Bezug auf den Wirkungsgrad.
3. Potenzialfläche und Nutzer: bilden sich über die Entwicklung einer Gesellschaft im Hinblick auf das Technologieverständnis und die Populationsgröße. Zusätzlich führt die Gleichung wegen ihrer gegen 0 strebenden Definition zu folgenden gesellschaftlichen Wirkungen:
 4. Hunger: Entsteht durch die Reduktion der Potenzialfläche (Raumnutzung oder Umweltwirkung), den volatilen Wirkungsgrad bei der Nahrungsproduktion (Dürre, Schädlinge, ...) oder die zu stark steigende Zahl an Nutzern. Das lokale Nahrungsverhalten beeinflusst den Hunger über w_n der einzelnen Regionen.
 5. Energiemangel: Durch das Scheitern einer Technologie im Angebotsportfolio sinkt das Angebot. Der mögliche Energieverbrauch i pro Nutzer h sinkt.

Kapitel 2 führt in den technologischen Hintergrund von Formel 2 ein, bearbeitet die Kenngrößen aber in jener Nomenklatur, die für die Technologie typisch ist. Jede Technologie besitzt ein mehr oder weniger komplexes Sub-System, das auf den Faktor I wirken kann. Besonders gut ausgeprägt und deshalb für Simulationen gut geeignet ist das landwirtschaftliche Modell der Agricultural-Gis-Sphere (siehe Kapitel 2.1.1.5.1). Dieses Modell erlaubt die Modifikation von Inputgrößen, die über verschiedene naturwissenschaftliche Produktionsfunktionen den Output für Pflanzenbau und Tierzucht mit allen Folgen im Produktionskreislauf verändern können. Die technologischen Modelle für die Produktion von Strom aus Wasser- und Windkraft sowie aus Sonnenenergie bleiben auf der bekannten technologischen Ebene. Variiert wird hier nicht I sondern die mögliche Potenzialfläche f .

1.5.2 Bilanzfunktion der Zusatzwirkungen

Die in Formel 2 parametrisierte Umwandlung von Energie hat mehrere Zwillingsfunktionen die nicht innerhalb der Gleichung - oft nicht einmal in einem gemeinsamen Gleichungssystem - dargestellt werden können. Eine simple Begleitfunktion ist die ökonomische Bewertung die mit ihren Wertseinheiten eine gemeinsame Funktion von Angebot und Nachfrage bilden kann. Sie beeinflusst im Besonderen den nachhaltigen Impuls I und die Nachfrage i , wirkt sich aber auch auf alle anderen Faktoren aus. In Summe aller ökonomischen Wirkungen bestätigt sich das Grundkonzept aus Formel 1. Nachfrage und Angebot lösen sich so auf, dass nur jene Impulse umgesetzt werden, die auch bezahlt werden können. Potenzieller Strom aus Photovoltaikanlagen wird nicht erzeugt, wenn er nicht bezahlt wird. Die Tragödie der ökonomischen Begleitfunktion ist die Ignoranz (vorerst) kostenloser Güter. Natürliche öffentliche Güter wie reine Luft, sauberes Wasser, fruchtbarere Boden, konstantes Klima, Ruhe, Sicherheit, Gemeinschaft und weitere mehr sind kostenlos solange sie in ihrer elementaren Qualität unbegrenzt verfügbar sind. Kosten fallen oft erst im Sanierungsfall an und müssen dann nicht von den Verursachern, sondern von der Gesellschaft getragen werden. Grund genug der energetischen Bilanzfunktion eine zweite, verbindliche Funktion der Umweltwirkungen zur Seite stellen.

Formel 3: Bewertung der maximal zulässigen Umweltwirkung

$$UW_t < UV_\infty$$

wobei

UW	=	Summe aller Umweltwirkungen in allen Regionen und Technologien
UV	=	Maximal verträgliche Summe der Umweltwirkungen

Der einzuhaltende Mindeststandard einer Begleitformel für Umweltwirkungen bei der Erzeugung aller Arten erneuerbarer Energie ist simpel. Die Summe aller Umweltwirkungen UW zu jedem Zeitpunkt t muss kleiner sein als die langfristig festgelegte Maximalmenge UV .

Formel 4: Summenfunktion der Umweltwirkungen

$$UW = \sum_{\text{Umweltwirkung } u} \sum_{\text{Region } r} \sum_{\text{Technologie } t} I (d_{urt} - h_{urt})$$

wobei

UW	=	Summe aller Umweltwirkungen in allen Regionen und Technologien
u	=	Umweltwirkung (z.B. Treibhausgase, verschmutztes Wasser, ...)
r	=	Region
t	=	Technologie
I	=	Nachhaltiger Impuls
d_{urt}	=	Höhe des Schadens der durch eine Technologie in einer Region möglich ist
h_{urt}	=	Wiederherstellungsrate des Schadens durch die Natur oder Technologien

Die Summe der Umweltwirkungen bildet sich aus der Summe der pro Impuls erzeugten Umweltwirkungen. Die Wirkung pro Einheit I wird vom Parameter, der Region und der Technologie bestimmt. Heilung ist möglich. Formel 2 muss in einer nachhaltigen Gesellschaft zwingend die Bedingungen von Formel 3 erfüllen.

1.6 Bewertungsgrundsätze und Einheiten

Angebot und Verbrauch werden an ihrem Entstehungsort bilanziert. Dieser Ort ist für das Angebot an Nahrung das landwirtschaftliche Feldstück und für die Nahrungsnachfrage der Wohnsitz der beobachteten Bevölkerung. Forstliche Biomasse wird dem lokalen Waldstück zugeordnet, die Verbrennung von Biomasse den Öfen in den Privathaushalten. Dies gilt auch dann, wenn die Wärme tatsächlich in zentralen Versorgungsanlagen entsteht. Wasserkraft wird am Standort des Krafthauses zugeordnet und Windenergie am Standort des Windparks. Strom und Wärme aus der Sonnennutzung werden dem Standort des Kollektors zugeordnet. Die Nachfrage an Kraft/Licht und Wärme der Privathaushalte wird am Wohngebäude verortet, der gewerbliche Energieverbrauch an der Adresse des Unternehmens. Das Gleiche gilt für den Bedarf an Mobilität. Angebot und Nachfrage werden sowohl in ihrer Leistungs- als auch in ihrer Arbeitseinheit verwendet. Arbeitseinheiten werden durch die Zeitangabe (Kurzformen: h=Stunde, a=Jahr; im Textfluß: pro Stunde, pro Jahr) erkennbar.

- Das Angebot und die Nachfrage an Nahrungsenergie werden in der Einheit **Verdauliche Energie in Megajoule** (MJ_{VE}) angegeben.
- Das Angebot und die Nachfrage an Nahrungsprotein werden in der Einheit **Wirksames Protein in kg** (kg XP_W) angegeben.
- Alle anderen energetischen Nachfragen und Angebote werden in der Einheit für Leistung, das ist **Kilowatt kW**, angegeben.

Die SI-Einheit für Kraft, Newton, wird durch den Kraftaufwand für die Beschleunigung einer Masse in einer Zeiteinheit bestimmt. Der Kraftaufwand von 1 Newtonmeter, besser die Arbeit dafür, bildet die Basiseinheit der Energie und heißt Joule. Die Einheit Joule wird heute aber nicht nur für die Arbeit verwendet, sondern auch für Wärmemengen. Im Zusammenhang mit der Ernährung lebender Organismen wird diese Wärme durch den metabolischen Stoffwechsel freigesetzt. Die SI-Einheit für Leistung, Watt, beschreibt den Energieumsatz pro Zeiteinheit. Ein Watt entspricht der Leistung von einem Joule pro Sekunde. Die Einheit Newton definiert im gesamten Zusammenhang die Kraft, die durch die Normeinheit Joule als feste Größe fixiert wurde. Die Leistungseinheit Watt ergänzt den zeitlichen Aspekt. Die einzelnen Größen lassen sich einfach umrechnen.

Formel 5: Zusammenhang zwischen Kraft, Energie und Leistung

$$1 \text{ Newton} - \text{Meter} = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ Watt} - \text{Sekunde}$$

Der zeitliche Aspekt der Leistung wird in dieser Arbeit sehr häufig von der Sekunde durch eine Multiplikation mit 3.600 auf die Stunde ausgedehnt. Beeinflusst durch die unterschiedlichen Größenangaben für die Wärme bzw. Arbeit ergibt sich für die gängigen Größen Megajoule (MJ) und Kilowattstunde (kWh) ein Faktor von 3,6 MJ/kWh bzw. von 0,27 kWh/pro MJ.

1.7 Ziele

Die vorliegende Arbeit verfolgt diese Teilziele:

1. Systematische Aufbereitung der land- bzw. forstwirtschaftlichen Grundlagen im Bereich der Bereitstellung von Nahrung und Wärme aus Biomasse sowie die Einbettung in die räumliche Datenwelt
2. Systematische Aufbereitung der physikalischen Grundlagen für die Stromproduktion und Wärmegewinnung durch Sonnenenergie sowie die Erzeugung von Strom aus Wasser- und Windkraft.
3. Bewertung des Nahrungsbedarfs der Bevölkerung auf der Basis medizinischer Erkenntnisse
4. Bewertung des Energiebedarfes an Kraft/Licht, Wärme und Mobilität im Rahmen einer umfangreichen Feldstudie
5. Integration aller Eingangsmodelle in die fachliche Basis der Geoinformatik
6. Entwicklung eines eigenen Algorithmus für die Bildung von Versorgungsregionen auf der Basis der energetischen Bilanzfunktion
7. Darstellung des Ist-Bestandes in der Nahrungsversorgung auf nationaler Ebene
8. Darstellung der gegenwärtigen Versorgungskraft der erneuerbaren Energien in einem regionalen Testgebiet
9. Simulation der linearen Vorführung von Ernährung und Energiebilanz
10. Simulation einer vollständigen Umstellung der Ernährung auf biologisch erzeugte Produkte
11. Simulation eines Veränderungsszenarios im Sinne der Energiewende
12. Ableitung von gesellschaftlichen Handlungsempfehlungen

2 Angebot und Nachfrage an Energie

Modelle sind beschränkte Abbildungen der Wirklichkeit (Stachowiak, 1973). Die Summe aller Wirklichkeiten ist nicht greifbar. Die eigene Wahrnehmung erzeugt immer ein individuelles Bild der Wirklichkeit. Die Differenz beschreibt die historische Erkenntnis in ihrer gegenwärtigen Deutung: „Ich weiß, dass ich nichts weiß!“ (*Platon 428-348 v. Chr., Apologie des Sokrates 22c–d*).

Die Realität erzwingt Modelle. Wenn nicht die Wirklichkeit beschrieben werden kann, dann zumindest jener Teil davon, den wir als „Universe of Discourse“ (UoD) kennen (Bartelme, 2005). Modelle erfassen die deutlich sichtbaren Objekte und Funktionen des UoD. Die Sichtbarkeit steht in enger Verbindung zur eigenen Kompetenz. Messwerte festigen die Aussagekraft von Modellen und schließen die sektorale Lücke zur Wirklichkeit. In ihnen festigen sich Aussagen und Streubreiten gleichzeitig. Modellbildner gewinnen Sicherheit. Ein hohes Maß an Informationen aller Art steigert diesen Effekt, benötigt aber höhere Performance in der Modellanwendung.

Modellierung benötigt Pragmatismus. Modellierung kann die Kritik des möglicherweise fehlerhaften Handelns und Wertens nicht zurückweisen. Sie stellt aber noch immer die bessere Alternative zu Handlungslosigkeit dar. Zukunftsfragen benötigen Entscheidungen. Modelle – im Besonderen jene, die in die Zukunft zeigen – liefern Argumente für diese Entscheidungen.

Dieses Kapitel befasst sich im Datenbereich mit Bereitstellung und Nachfrage verschiedener Energiearten. Der Aufbau des Kapitels folgt der eigenen Fachkompetenz, die im land- und forstwirtschaftlichen Bereich höher ist, als in den technischen Bereichen der Energieerzeugung. Das subjektive Ranking der Modellsicherheit in Bezug auf die Verlässlichkeit der Endergebnisse der Ist-Situation stellt sich etwas anders dar:

1. Energieangebot der Wasserkraft: kann als Potenzial physikalisch modelliert werden. Die mittlere Jahresleistung der einzelnen Kraftwerke wird aber nachgefragt.
2. Angebot der Windenergie: Windkraftwerke folgen ebenso wie die Wasserkraft physikalischen Grundgesetzen. Für die Bewertung des Energieinputs steht qualitativ hochwertiges Datenmaterial zur Verfügung. Die Anzahl an Windkraftwerken ist überschaubar. Deren Leistung kann individuell erhoben und verortet werden.
3. Nahrungsbereitstellung durch die Landwirtschaft: Dieser Prozess beruht auf einer Bottom-Up-Modellierung, in die eine extrem hohe Anzahl an Echtdateien der Verwaltung einfließen. In diesem Bereich kann auf eine breite fachliche Ausbildung und wissenschaftliche Erfahrung zurückgegriffen werden.
4. Nahrungsnachfrage durch die Gesellschaft: Obwohl die Variabilität der individuellen Nachfrage hoch ist, entsteht innerhalb einer Gesellschaft doch eine durchschnittliche Verlässlichkeit. Die summierte Nährstoffnachfrage kann außerdem mit der nationalen Nährstoffbilanz verglichen werden.

5. Biomasseangebot aus der Forstwirtschaft: Die Ertragsfeststellung und Erntewahrscheinlichkeit können gut abgebildet werden. Gegenwärtig bietet der hohe Preis mehr Sicherheit über die tatsächliche Nutzung der Potenziale.
6. Angebot der Sonnenenergie: Die physikalischen Grundlagen können gut bewertet werden. Die Aspekte der Geoinformatik konnten – innerhalb des Testgebietes - durch das hohe Investment in die manuelle Digitalisierung von Sonnendachflächen unterstützt werden. Offen bleibt die Lokalisierung der gegenwärtigen Nutzungssituation.
7. Nachfrage nach Strom: Strom wird von Gewerbebetrieben in prozessspezifischen Bedarfsbreiten verwendet. Nur die Erhebung der Prozesse führt zu brauchbaren Ergebnissen. Die hohe Anzahl an Betrieben macht eine individuelle Bewertung – diese wäre aber unbedingt notwendig – auf nationaler Ebene unmöglich. Innerhalb des Testgebietes konnte aber durch die Kombination von Modellbetrieben mit individuellen Erhebungen ein akzeptabler Grad an Sicherheit erreicht werden. Dies gilt auch für den Strombedarf der Haushalte.
8. Nachfrage nach Wärme: leidet in der Bewertung unter den gleichen Schwächen wie die Nachfrage nach Strom und wurde der gleichen Lösung zugeführt. Zusätzlich schwankt die Wärmenachfrage der Wohnbevölkerung deutlicher als die Stromnachfrage.
9. Nachfrage nach Mobilität: Die Analyse von Straßennetzen, Nutzungsmöglichkeiten und Kapazitäten genießt in der Geoinformatik große Bedeutung. Das Glanzstück unseres Technologiezweiges ist die Entwicklung von Routing-Systemen, die heute ganz selbstverständlich in unterschiedlichsten Technologien von Millionen von Menschen verwendet werden. Die Modellierung der individuellen Nutzung ist hingegen unmöglich. Persönliche und berufliche Aspekte der individuellen Mobilität sind ebenso hoch, wie die verschiedenen Mobilitätsvarianten und deren Energiebedarf. Zwei vergleichbare Einwohner einer Region können sich in der Mobilitätsnachfrage um Potenzen unterscheiden, wenn eine Person die Welt mit dem Flugzeug erkundet.

Die Bewertung der realisierten Modellansätze und ihrer Daten hat dazu geführt, dass die Bilanzierung und Simulation im Themengebiet Nahrung auf nationaler Ebene zuerst umgesetzt werden. Alle anderen Fragen werden innerhalb eines großräumigen Testgebietes bilanziert und simuliert. Durch diese Maßnahme kann mehr Zeit in eine tatsächliche Erfassung der Daten und damit in eine höhere Sicherheit der Aussagen investiert werden.

Bilanzierung und Simulation sind nicht zwingend an räumliche Aspekte gebunden. Am Beispiel der Simulation der Klimaerwärmung wird das leicht verständlich. Im Vordergrund steht die Beweisführung über die Tatsache, dass der CO₂-Gehalt der Atmosphäre steigt. Das kann mit Messreihen dargestellt werden. Wird die Tatsache akzeptiert, dass sich das Klima erwärmt, müssen umgehend Handlungsoptionen analysiert werden. Diese können – wieder im Sinne der Bilanzierung – nur Reduktions- oder Anpassungsszenarien mit dringend notwendigen Umsetzungskonzepten sein. Psychologisch wird Handlungsdruck bei globalen Problemen nur durch die eigene Betroffenheit ausgelöst. Die räumliche Darstellung der Auswirkungen spricht für den Betrachter eine deutlichere Sprache: „Hier, in den Alpen, wohnst du also. Das bedeutet, dass

es bei dir in 100 Jahren keine Gletscher mehr gibt. Wahrscheinlich wird es auch sehr trockene Sommer geben, dafür kannst du im Frühjahr und Herbst mit extremen Niederschlägen rechnen!“ Die räumliche Darstellung zeigt den Grad der lokalen Wirkung.

Dieses Kapitel wendet sich nach der Analyse von Angebot und Nachfrage den notwendigen räumlichen Konzepten zur Darstellung der Daten zu. Nach der Bearbeitung weniger Grundlagen werden das rechtliche Konzept der europäischen Geodatenpolitik und seine verbindlichen räumlichen Strukturen vorgestellt. Bestehende Daten müssen in genormte Strukturen konvertiert werden. Der letzte große Block beschreibt die Möglichkeiten einer Regionalisierung von Bilanzierungskonzepten. Dafür wird ein adaptierter Algorithmus vorgestellt.

2.1 Bewertung nachhaltiger Energieressourcen

2.1.1 Die Landwirtschaft

Nahrung ist Frieden. Jede Demokratie der Welt sichert ihren inneren Frieden durch eine ausreichende Nahrungsversorgung. Die Landwirtschaft zählt zum primären Wirtschaftssektor und hat in vielen OECD-Ländern volkswirtschaftlich eine geringe Bedeutung. Dennoch regelt der Gesetzgeber in vielen Staaten die Landwirtschaft sehr genau. Diese Regeln kümmern sich immer um die Sicherung des Nahrungsangebotes, um die marktwirtschaftlichen Aspekte oder um den Umgang der Landwirtschaft mit den natürlichen Ressourcen der Umwelt. Dieses Kapitel zeigt Modelle und Daten, die eine Bewertung der bedeutendsten Aspekte einer nationalen Landwirtschaft – in Kapitel 4 wird das nationale Testgebiet noch genauer definiert – ermöglichen. Die Struktur ist so granular, dass sie gut für Simulationen geeignet ist.

2.1.1.1 Gesamtmodell

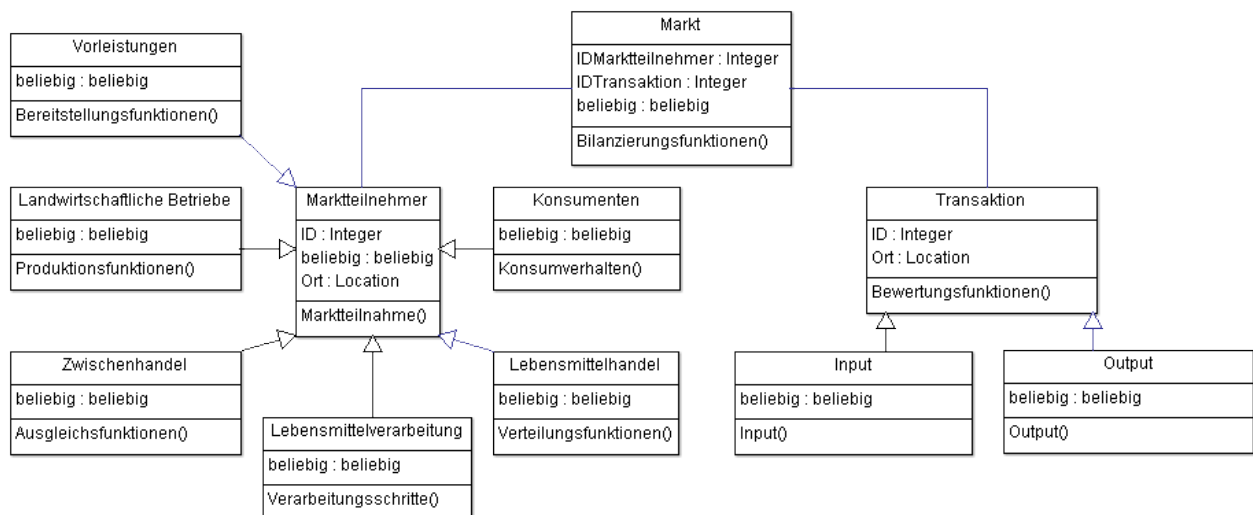


Abbildung 3: UML-Diagramm des Nahrungsmarktes

Für eine gesamtheitliche Beschreibung der landwirtschaftlichen Stoffströme muss der Markt umfassend betrachtet werden. Als Grobkonzept zeigt Abbildung 3 ein UML-Schema der

bedeutendsten Bereiche. Am Markt befinden sich unterschiedliche Marktteilnehmer. Diese können identifiziert und parametrisiert werden. Ihr gemeinsames Funktionskonzept ist die Fähigkeit zur Marktteilnahme. Spezialisierte Marktteilnehmer sind Konsumenten mit dem Bedarf an Nahrungsmitteln, und ihre direkten Dienstleister sind die Verteilermärkte im Lebensmittelhandel. Das Konsumverhalten und die Verteilerfunktionen befinden sich nicht in linearer Abhängigkeit, sondern werden von einem wechselseitigen Wirkungsgefüge laufend modifiziert. Ein großer Teil des grundlegenden Nahrungsbedarfes wird von der nationalen Lebensmittelverarbeitung bereitgestellt. Markenartikel und Spezialitäten ergänzen das Nahrungsangebot mit Gütern aus aller Welt. Zwischen den Urproduzenten von Rohstoffen in der Landwirtschaft und der Lebensmittelverarbeitung hat sich bei verschiedenen Produkten ein Zwischenhandel etabliert. Die Ausgleichsfunktionen dieses Zwischenhandels sind umso mächtiger, je unkomplizierter die Handelsware ist. Milch etwa, wird direkt vom Bauernhof in die Lebensmittelverarbeitung gebracht, bei Fleisch ist ein Zwischenhandel mit Mast- und Zuchttieren möglich, kann aber, da die Tiere weiter gefüttert werden müssen, nur kurz andauern. Bei pflanzlichen Produkten gestaltet sich die Zwischenhandelskette einfacher. Getrocknetes Getreide, die Massenfrucht im Ackerbau, kann sehr lange verlustfrei gelagert werden. Öl- und Eiweißfrüchte sind bedingt haltbar. Gemüse und Obst muss frisch verarbeitet oder durch spezielle Techniken haltbar gemacht werden.

Die Besonderheit am landwirtschaftlichen Zwischenhandel ist seine starke innerlandwirtschaftliche Ausprägung. Viele pflanzliche und tierische Produkte sind Teil einer Nutzungskaskade. Der bei weitem größere Anteil an pflanzenbaulichen Früchten wird von Tieren gefressen, Zucht- und Masttiere werden zwischen spezialisierten Betrieben verschoben. Innerbetriebliche Leistungen wie die Milch für Jungtiere oder der Bedarf an Zuchttieren ergänzen die Marktverschiebungen. Landwirtschaftliche Betriebe benötigen zusätzliche Vorleistungen von langfristigen Gütern wie Maschinen und Gebäude. Variable, an die Produktionsfunktion gekoppelte, Güter sind vielfältig. Fossile Treibstoffe und Strom sichern die mechanischen und thermischen Prozesse. Saatgut, Handelsdünger und Pflanzenschutzmittel (PSM) steigern den Ertrag im Pflanzenbau. Tierhaltende Betriebe verwenden spezifische Futtermittel aus transnationalen Quellen und der Tiermedizin. Jeder der angesprochenen Marktteilnehmer ist in der Lage, beliebige wechselseitige Transaktionen durchzuführen. Diese können bewertet und als Input und Output klassifiziert werden. Alle Bilanzierungsfragen und alle ableitbaren Kennzahlen können aus der Summe der Transaktionen am Markt abgelesen werden. Amtliche Interessenten können das Marktmodell gesamtheitlich untersuchen, benötigen dafür aber sowohl die vollständigen Aufzeichnungen des Steuerwesens als auch die landwirtschaftlichen Verwaltungsdaten. Im vorliegenden Analysefall können nur die landwirtschaftlichen Verwaltungsdaten genutzt werden. Die Transaktionsliste des gesamten Marktes ist also nicht gemeinsam verfügbar. Dieser Aspekt engt die Analyse der tatsächlichen Nahrungsbereitstellung am gesamten Markt auf Aussagen zur potenziellen inländischen Nahrungsbereitstellung ein.

2.1.1.2 Naturwissenschaftlicher Hintergrund

2.1.1.2.1 Übersicht

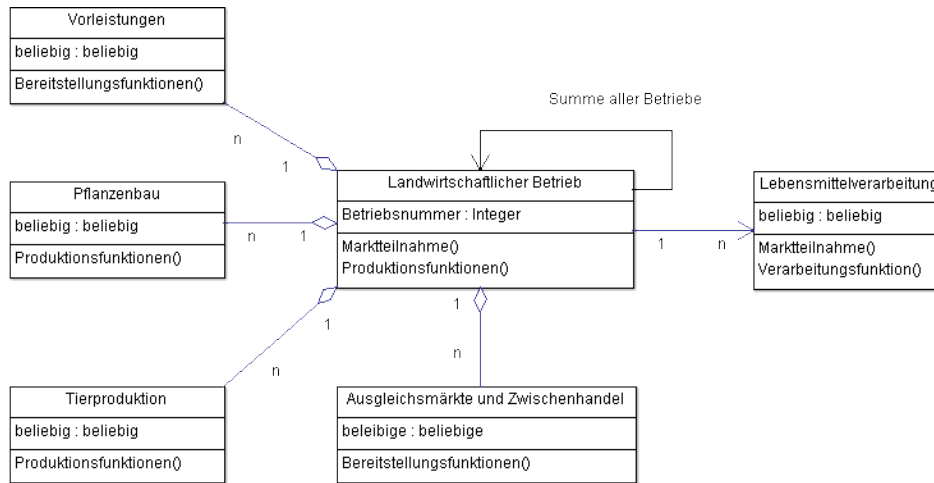


Abbildung 4: UML-Diagramm der inländischen Nahrungsbereitstellung

Für die Analyse der potenziellen inländischen Nahrungsbereitstellung wird das Gesamtkonzept aus Abbildung 3 nun auf jene Bereiche eingeschränkt, die mit Daten bzw. fachlichen Modellen aufbereitet werden können. Im Fokus der Analyse liegt der landwirtschaftliche Betrieb, der als spezialisierter Marktteilnehmer Waren und Dienstleistungen aus Vorleistungs- und Ausgleichsmärkten sowie dem landwirtschaftlichen Zwischenhandel bezieht. Die Beherrschung seiner Produktionsfunktionen im Umgang mit Pflanzen und Tieren macht ihn nach erfolgreicher Arbeit zum Partner für die unterschiedlichen Märkte. Die Summe aller Bezüge und Leistungen der landwirtschaftlichen Betriebe definiert die potenzielle inländische Nahrungsbereitstellung. Alle in Abbildung 4 beteiligten Akteure führen Transaktionen durch, diese wurden hier aber nicht mehr explizit dargestellt. Einen ersten Eindruck über die tatsächliche Komplexität der Datenbereitstellung bzw. Modellierung bieten die Ergebnisse des Projektes Dafne 10234 „GIS gestützte Modellierung der Nährstoffbilanzen österreichischer Grünlandbetriebe“ (Guggenberger und Bartelme, 2005). Diese Arbeiten wurden vertieft und fanden in einem landwirtschaftlichen Gesamtmodell, der Agricultural-GIS-Sphere (AGS), siehe 2.1.1.5.1, ihren Abschluss (Guggenberger *et al.*, 2009a, 2009b). Eine weitere Parametrisierung wurde im Projekt Dafne 100217/1 „Entwicklung landwirtschaftlicher Geodaten“ durchgeführt (Guggenberger *et al.*, 2012a, 2012b). Die folgenden Unterkapitel bereiten nun Schritt für Schritt das Grobkonzept aus Abbildung 4 vor.

2.1.1.2.2 Pflanzenbau

Der Ursprung der landwirtschaftlichen Produktion ist die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Grundstücke. Aus der Sicht der Geoinformatik sprechen wir von Polygonen im Landschaftsrelief, die mit Lageparametern und vertiefenden Attributen ausgestattet sind. Aus Sicht der Naturwissenschaft ist die landwirtschaftliche Fläche ein Mikrokosmos für sich. Seine Mechanismen

beginnen tief im Boden und prägen von dort aus ein reichhaltiges Leben an Fauna und Flora. Seine mechanische Struktur, die Kleinlebewesen und Nährstoffkreisläufe bilden im Laufe der Zeit jene Fruchtbarkeit aus, die einen beliebigen Rohboden von fruchtbaren, landwirtschaftlichen Böden unterscheidet. Diese naturgegebene Leistung ist die Grundlage des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus. Alljährlich bedienen sich die österreichischen Landwirte dieser Ausstattung und kultivieren an den Standort angepasste Nutzpflanzen. Das Spektrum an individuellen Arten oder Artengemeinschaften ist grundsätzlich groß. Die praktischen Vermarktungs- und Konsumstrukturen reduzieren das breite Spektrum aber auf jene einjährigen Nutzpflanzen, die einen speziellen Lieferbedarf am effektivsten befriedigen können. Die Märkte verlangen nach Stärke, die im Wesentlichen von sechs Kulturpflanzen (vier Getreidearten, Körnermais, Kartoffel) geliefert wird. Die Ölnachfrage wird im Inland von drei Ölfrüchten (Sonnenblume, Raps und Sojabohne) und die Nachfrage nach pflanzlichem Eiweiß in der Tierhaltung von zwei Eiweißfrüchten (Ackerbohne und Erbse) abgedeckt. Zucker wird in Österreich nur mehr von der Zuckerrübe geliefert. Bei mehrjährigen Pflanzenbeständen oder Pflanzengemeinschaften ist die Vielfalt etwas höher. Eine besondere Stellung hat hier das Dauergrünland, das an zunehmend ungünstigeren Standorten die einjährigen Ackerkulturen ersetzt. Dauergrünland begründet die Haltung von Wiederkäuern. Diese befriedigen letztlich gemeinsam mit den Tierarten der Veredelung die Marktnachfrage nach Protein (Milch, Fleisch). Der Begrifflichkeit der Kulturpflanze folgend, wird die Wahl der Nutzpflanze durch die landwirtschaftliche Kulturtechnik ergänzt. Dieser Begriff steht für die Gesamtheit an Einzelmaßnahmen, die durch die landwirtschaftliche Gesellschaft im Verlauf der Jahrtausende entwickelt wurde. Die Kernkonzepte der Kulturtechnik befassen sich mit der Anreicherung von Nährstoffen im Boden, den richtigen Aussaat- und Ernteterminen sowie der Auswahl von Pflanzenmischungen, der Bewässerung sowie dem Schutz der Pflanzen vor Schädlingen und Krankheiten. Alle Kulturmaßnahmen haben ein gemeinsames Ziel: die Steigerung der Erträge für eine Vergrößerung der Population oder, umgekehrt betrachtet, die Reduktion von Hunger innerhalb der bestehenden Population (Sieferle *et al.*, 2006). Das Maßnahmenspektrum der Kulturtechnik in der vorindustriellen Landwirtschaft beruhte auf der Nutzung von Synergien innerhalb der natürlichen landwirtschaftlichen Prozesse. Spätestens seit den 50iger Jahren des letzten Jahrhunderts werden diese Synergien durch chemische Prozesse von außen unterstützt oder sogar verdrängt. Aus der Sicht der Nachhaltigkeit bedenklich, macht diese Entwicklung die Modellierung bzw. Simulation von Erträgen in dieser Arbeit aber erst möglich.

Auf der ursprünglichen Basis der historischen Kulturtechniken wäre dies wegen des hohen Interaktionsgrades zwischen den verschiedenen Anwendungen fachlich nicht zu bewerkstelligen. Im Bereich der biologischen Landwirtschaft kehrt das alte Wissen derzeit langsam wieder auf die Bauernhöfe zurück. Für die Parametrisierung der Bestandes- und Simulationsgrößen im Pflanzenbau werden folgende Teilmodelle und deren Datengrundlage benötigt:

- Feldstück- bzw. Schlagpolygone mit der aktuellen Pflanzenart oder Artengemeinschaft.
- Geländemodell und langjährige Klimadaten zur Parametrisierung des Standortes.

- Aspekte zu Managementmaßnahmen im Düngebereich bzw. Informationskonzept für die Interaktion zwischen Wirtschaftsdüngeranfall und Düngung in tierhaltenden Betrieben.
- Ertragsinformationen aus dem Erfassungsnetz der Statistik Austria zur Bewertung der Masseerträge aus dem Acker-, Obst-, Wein- und Gemüsebau.
- Informationskonzept für eine Abschätzung des Futterbedarfes an Grund- und Kraftfutter für Wiederkäuer auf landwirtschaftlichen Betrieben mit Dauergrünland.
- Qualitätsinformationen zur Nährstoffdichte in den einzelnen Pflanzenarten oder Artengemeinschaften.
- Informationen zum Einsatz und zur Wirkung von Pflanzenschutzmitteln.

Alle Teilaspekte können – mit Ausnahme des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln – vorbereitend für die Bilanzierung und Simulation bereitgestellt werden. Die in den Teilmodellen abgehandelten Prozesse bauen auf Daten auf, die lokal sehr präzise verortet werden können.

2.1.1.2.3 Tierproduktion

Die Spezifika des Verdauungstraktes des modernen Menschen zeigen die Prädestination des Homo sapiens für eine omnivore Ernährungsweise. Die Art der Schneide- und Eckzähne, die Funktion des einhöhligen Magens mit seiner enzymatischen Eiweißspaltung sowie die enzymatische Spaltung von Lipiden haben deutliche Ähnlichkeit mit fleischfressenden Primaten. Fleisch bzw. Milch hat im Allgemeinen eine hohe Energiedichte und im Speziellen hochwertige Aminosäuren, beides ein Vorteil für dynamische, leistungsorientierte Evolutionskonzepte. Die moderne Gegenwartsgesellschaft überspannt die Nachfrage nach Nahrung aus der Tierproduktion aus der Sicht der Ernährungswissenschaft deutlich, wird aber in Kombination mit der Entwicklung der technischen Medizin im Durchschnitt so alt wie noch nie. Die Nachfrage kann zudem ökonomisch so günstig wie noch nie befriedigt werden.

Die Tierhaltung in der österreichischen Landwirtschaft spaltet sich in zwei Teilbereiche auf. Wie unter 2.1.1.2.2 dargestellt, bedingt das Vorkommen von Dauergrünland die Haltung von Wiederkäuern. Die Masse des Grünlandfutters wird von Milchkühen und deren Nachkommen verwertet. Das dominierende Produkt ist die Milch. Fleisch fällt von extensiven Aufzuchttrindern, Schafen und Ziegen an. Im zweiten Zweig der Tierhaltung, der Veredelung, dominiert die Verwertung von Stärke aus dem Ackerland. Mit den dafür gut geeigneten Schweinen und dem Geflügel, aber auch mit Mastrindern erzeugt die Veredelung den größeren Anteil am nationalen Fleischaufkommen.

Ähnlich der Kulturtechnik im Pflanzenbau beherrschen tierhaltende Betriebe eine Reihe von Techniken für die optimale Ernährung und Haltung ihrer Tiere. Die Masse der Tiere befindet sich körperlich in einem statischen Leistungszustand und hat weder Mobilitäts- noch körperliche Arbeitsaufgaben. Eine temporäre Ausnahme bildet die Weide- bzw. Alpengszeit von Rindern und die ganzjährige Nutzung von Reitpferden. Die Nutztierhaltung hat in Österreich somit per Definition schon eine klare Vorstellung von der Endnutzung einer Tierklasse. Von einem Mastschwein etwa wird angenommen, dass es nach seiner Frühphase bei der Muttersau sehr schnell

in eine Mastphase überführt wird. Dort richtet sich das gesamte Fütterungskonzept an möglichst hohen täglichen Zunahmen an Fleisch aus. Bei Muttersauen hingegen spielt nach der Aufzucht vor allem die Fertilität eine entscheidende Rolle. Die Fütterung in der Tragezeit ist wichtig, insgesamt gewinnen vor allem aber Managementaspekte an Bedeutung. In Summe aller Tierarten kann mit 9 verschiedenen parametrisierten Fütterungsmodellen das Auslangen gefunden werden. Dies ist wieder ein Vorteil, der die Simulation von Veränderungsdynamiken erst ermöglicht. Für die Parametrisierung der Bestandes- und Simulationsgrößen in der Tierhaltung werden folgende Teilmodelle und deren Datengrundlage benötigt:

- Beschreibung der Tierbestände nach Art und Größe
- Beschreibungen zum Leistungsverhalten der Tiere auf dem Betrieb. Dieses wird in der Milchproduktion über die Abliefmengen an die Molkerei erkennbar. Im Bereich der Fleischproduktion kann eine Klassifizierung über den Spezialisierungsgrad des Betriebes in Kombination mit verfügbaren Fachdaten (Arbeitskreisergebnisse der Landwirtschaftskammern) verwendet werden.
- Ergebnisse der pflanzenbaulichen Modelle im Sinne der Futterbereitstellung am Betrieb
- Berechnung des leistungsorientierten Futterbedarfes und Bilanzierung der notwendigen Futterzukäufe im Getreide- und Eiweißbereich
- Berechnung der Nährstoffausscheidungen als Eingangsgröße für die pflanzenbauliche Simulation

Alle Teilaspekte können vorbereitend für die Bilanzierung und Simulation bereitgestellt werden. Die in den Teilmodellen abgehandelten Prozesse bauen auf Daten auf, die lokal sehr präzise verortet werden können.

2.1.1.2.4 Vorleistungen

Der dritte Bereich der Grobanalyse in Abbildung 4 sind die für die landwirtschaftliche Produktion notwendigen Vorleistungen. Im Gegensatz zu allen anderen Markt- und Kompetenzteilnehmern im Grobkonzept hat sich dieser Bereich erst in den letzten 100 Jahren entwickelt. Als Vorleistungen definieren wir fixe und variable Produktionsmittel, die aus anderen Wirtschaftssektoren importiert werden müssen. Die vorindustrielle Landwirtschaft konnte ihre externe Abhängigkeit auf die Verwendung geringer Mengen an Metall reduzieren. Alle Gebäude wurden aus der eigenen Ressourcenausstattung errichtet, die Arbeitskraftausstattung der Höfe orientierte sich an der möglichen Nahrungsbereitstellung. Die Selbstversorgerhöfe erzeugten zusätzlich alle Ausstattungen der Landwirtschaft, aber auch des täglichen Lebens, selber. Es herrschte nicht nur im Nährstoffbereich eine vollkommene Kreislaufwirtschaft sondern auch im marktwirtschaftlichen Kosmos dieser Gesellschaftsstrukturen. Die Fruchtbarkeit der Lage bestimmte Wohlstand und Lebenserwartung aller.

Die gegenwärtigen Vorleistungsmärkte sind die praktische Antwort auf das historische Zerbrechen dieser ursprünglichen Strukturen. Mit dem Eintritt der Gesellschaft in das industrielle Zeitalter verliert die Landwirtschaft als Arbeitgeber zunehmend an Bedeutung. Die gesellschaftlich und sozial minder gestellten Landarbeiter wandern in die neuen Industriebetriebe ab. Die Lücke in der

landwirtschaftlichen Arbeitskraftausstattung wird zunehmend größer. Nach dem Ende des zweiten Weltkrieges schließen spezialisierte Maschinen diese Arbeitskraftlücke und treiben die Arbeitsleistung dank der Energiebereitstellung durch fossile Kraftstoffe bis zum heutigen Tage stetig nach oben. Ein historisches Flächenmaß aus den fruchtbaren Ackergebieten Süddeutschland, das Tagwerk, benennt die an einem 12-14-stündigen Arbeitstag bearbeitbare Fläche mit 2.500 bis 3.600 m². Die Schichtung der einzelnen Feldarbeitsgänge führt dazu, dass für den schwierigsten Arbeitsgang, das Pflügen, drei bis vier Wochen zur Verfügung stehen. Unter optimalen Bedingungen konnte eine Feldarbeitskraft mit ihrem Ochsespann also etwa 5 ha bester Ackerfläche bewirtschaften. Mittlere Betriebe in diesen Ackerbaulagen verwenden beim Pflügen heute mindestens einen 5-scharigen Pflug und haben dabei eine Stundenleistung von etwa 2 ha. Mit allen Vorbereitungs- und Wartungsarbeiten können von einem Fahrer mit einem 150 PS-Traktor und seinem Pflug bis zu 350 ha bearbeitet werden. Das ist 70mal so viel wie früher. Diese enorme Effizienzsteigerung ist aber nur dann möglich, wenn Maschinen die Handarbeit vollständig ersetzen können.

In den inneralpinen Grenzertragsflächen, die wegen ihrer Steilheit oft mit kleinen Spezialmaschinen bearbeitet werden müssen, erreicht der Steigerungsfaktor oft nur das 4- bis 8-fache. Ähnliches wie im Bereich der Außenmechanisierung könnte an dieser Stelle auch über die Gebäudenutzung und deren Innenmechanisierung ausgeführt werden. Alle fixen Betriebsmittel, das sind die Maschinen und Gebäude, kommen aus der metallverarbeitenden Industrie und der Bauwirtschaft. Die in Punkt 2.1.1.2.2 beschriebenen Waren der chemischen Industrie, gemeint sind die Handelsdünger und die Pflanzenschutzmittel, erweitern das Angebot der Vorleistungsmärkte. Das aus dem Ausland importierte Handelsfutter, siehe 2.1.1.2.3 wird ebenfalls über die Vorleistungsmärkte bezogen. In allen Produkten steckt biogene oder fossile Energie, am meisten in den Energieträgern, das sind der elektrische Strom und der Kraftstoff, die von der Landwirtschaft benötigt werden. Diese Energie bestimmt mit den natürlichen Ressourcen das Ausmaß der nationalen Nahrungsproduktion.

Für die Parametrisierung der Bestandes- und Simulationsgrößen in den Vorleistungsmärkten werden folgende Teilmodelle und deren Datengrundlage benötigt:

- Bewertung der einzelnen Feldarbeitsgänge am landwirtschaftlichen Betrieb unter Berücksichtigung der Feldarbeitstage
- Mechanisierungsmodell, das aus der nationalen Standardmechanisierung abgeleitet werden kann
- Kraftstoffbedarf in Abhängigkeit der Feldarbeitsgänge und des Mechanisierungsmodells
- Gebäudebedarf in Abhängigkeit des Mechanisierungsmodells
- Gebäudebedarf in Abhängigkeit der Struktur in der Tierhaltung
- Strombedarf in Abhängigkeit der Tierhaltung bzw. der Endverarbeitung von Marktfrüchten
- Bewertung von zugeführtem Saatgut und Handelsdünger

Alle Teilaspekte können vorbereitend für die Bilanzierung und Simulation bereitgestellt werden. Die in den Teilmodellen abgehandelten Prozesse bauen auf Daten auf, die lokal sehr präzise verortet werden können.

2.1.1.2.5 Ausgleichsmärkte und Zwischenhandel

Vorleistungen müssen von außen zugeführt werden, Ausgleichsmärkte und Zwischenhandel bilden die internen landwirtschaftlichen Transfermärkte. Bedingt durch die Spezialisierung von Pflanzenbau und der Tierproduktion häufen sich lokal eine Reihe von landwirtschaftlichen Produkten an. Diese finden oft bereits in kurzer Transportdistanz ihre Abnehmer und nur geringe Mengen müssen über größere Strecken transportiert werden. Die in 2.1.1.2.2 besprochene Stärke aus der pflanzenbaulichen Produktion wird in der Landwirtschaft im großen Stil an die Tierproduktion weitergereicht. Geringe Mengen werden direkt in industriellen Prozessen weiterverarbeitet. Nur sehr hochwertige Stärke gelangt als Brot- oder Braugetreide direkt zum Menschen. Das Stroh aus dem Getreideanbau wird als Einstreu für die Rinderhaltung ins Grünlandgebiet transportiert, junge Mastkälber im Gegenzug wieder als Fleischproduzenten in die Rindermastbetriebe in Ackerbaulagen verbracht usw. Der Zwischenhandel ist von einer sehr hohen Transaktionsfrequenz geprägt und drückt dabei die Spezialisierung in der modernen Landwirtschaft aus. Spezialisierte Betriebe nutzen ihren komparativen Vorteil (Mankiw, 2001). Sie produzieren in jenem Segment, in dem sie die größten Marktvorteile haben. Dabei folgen sie oft der Maxime der Gewinnmaximierung. Die Grundlast der Produktion soll durch höhere Leistungsdichte besser auf die einzelne Leistungseinheit verteilt werden. Dieses Prinzip ist so lange erfolgreich, bis das interne Optimum des Systems überschritten wird.

Für die Parametrisierung der Bestandes- und Simulationsgröße in den Ausgleichsmärkten und im Zwischenhandel werden folgende betriebliche Überschüsse bzw. Defizite bewertet werden:

- Der Grundfuttermarkt bildet bei tierhaltenden Betrieben die Übereinstimmung zwischen den Teilleistungen aus dem Punkt 2.1.1.2.2, dem Pflanzenbau und dem Teilbedarf aus dem Punkt 2.1.1.2.3 der Tierproduktion ab. Der Grundfuttermarkt ist eine Domäne der Wiederkäuerhaltung und bildet neben Dauergrünland auch Feldfutter- und Silomaisproduktion ab.
- Der Kraftfuttermarkt bildet die gleiche Bilanz für mögliche Futtergetreide, Öl- und Eiweißfuttermittel ab. Während Getreide ohne Produktionszwischenschritt in den Kraftfuttermarkt eintritt, werden vor allem bei den Ölfrüchten nur jene Anteile in den Kraftfuttermarkt aufgenommen, die nach der Extraktion des Öls verbleiben.
- Der Markt der biogenen Rohstoffe für die Industrie wird durch spezielle Feldfrüchte, zum Beispiel Stärkeindustriekartoffel, oder durch die gezielte Verwertung anderer Stoffe aufgefüllt. Ein Beispiel dafür ist die Produktion von Ethanol aus Getreide oder Körnermais. Auch hier bereichern wieder die biogenen Abfälle den Kraftfuttermarkt.
- Der Strohmarkt wird direkt von der nationalen Strohernte beliefert.

- Der Verlustmarkt wird aliquot von allen Märkten beliefert und stellt je nach Betrachtungsweise entweder eine natürliche Reserve für biologische Prozesse oder ein Optimierungspotenzial dar.
- Die Nahrungsmärkte werden von den Endprodukten des Pflanzenbaus und der Tierproduktion beliefert.

Alle Stoffströme des einzelnen landwirtschaftlichen Betriebes können in den aufgezählten Stoffströmen abgebildet werden. Die Betriebsanteile am Markt sind auch räumlich zu verorten. Der Markt selber wird durch die Summe der Transaktionen gebildet, seine Verortung entsteht aus der Summe der einzelnen Handelsplätze innerhalb der Systemgrenze.

2.1.1.3 Potenzielle Simulationsgrößen

Die landwirtschaftliche Nahrungsbereitstellung der Gegenwart ist ein Mischprozess naturwissenschaftlicher Prägung mit starken Treibern aus der Industrie. Der Wirkungsanteil vieler Parameter ist bekannt oder kann zumindest für eine Simulation ausreichend gut von Modellen abgeleitet werden. Folgende Einzelparameter bzw. Parameter mit additiver Wirkung können aufgezählt werden:

- Bestandsgröße der landwirtschaftlichen Fläche: Die günstige gesamtgesellschaftliche Entwicklung seit dem zweiten Weltkrieg führt zu einer nicht zu bremsenden Nachfrage nach Industrie-, Siedlungs- und Verkehrsflächen. Diese Flächen liegen oft in den Gunstlagen im Umfeld der bestehenden Städte und Industrieanlagen. Die Versiegelung dieser Flächen reduziert den lokalen Ertrag und damit den Marktanteil in allen betroffenen Märkten auf null. Die gegenwärtige Entwicklung kann in akzeptablem Zeitraum auch extrapoliert werden.
- Klimatische Einflüsse im Hinblick auf Trockenheit bzw. Nässe oder lokale Extremereignisse: Die Auswirkungen lokaler Wetteranomalien können inzwischen gut parametrisiert werden. Die lokalen Landwirtschaftskammern beobachten seit Jahren den Zusammenhang zwischen Klimaeinflüssen und Ertragserwartungen. Dieser Aspekt ist auch im Hinblick auf die Erwärmung des Weltklimas von Bedeutung und wurde sowohl im globalen Maßstab vom Weltklimarat (IPCC) als auch im europäischen Kontext modelliert.
- Ertragsdynamik, die durch die nationale Zufuhr an Handelsdüngern – bevorzugt im Ackerbau – ausgelöst wird: Handelsdünger hat eine überaus positive Wirkung auf die Ertragserwartung von Kulturpflanzen. Gaben in der Höhe der nationalen Empfehlungen – diese werden an den zu erwartenden Ertrag und bei exakteren Ansätzen an die bestehenden Nährstoffniveaus angepasst – haben stofflich katalytische Wirkungen (BMLFUW, 2006). Die Mehrproduktion an Biomasse, Bioenergie oder an gebundenen Nährstoffen ist dann oft höher als die zugeführte Menge.
- Ertragsdynamik, die durch die nationale Zufuhr von externen Futtermitteln – bevorzugt in der Tierhaltung – ausgelöst wird: Ähnlich der Wirkung von Handelsdünger können tierhaltende Betriebe über die Zufuhr von Futtermitteln eine positive Nährstoffdynamik einleiten. Obwohl der Zweck des Futtermittelzukaufs in der Tierernährung liegt, wird doch der weit größere und sehr wachstumsfördernde Teil an Nährstoffen wieder über Kot und Harn ausgeschieden. Ein

Zukauf von Futtermitteln am Betrieb entspricht deshalb auch immer einem Zukauf von Dünger.

- Veränderungen im gegenwärtigen Produktionsgefüge durch die Verschiebung der Märkte: Im letzten Jahrzehnt bereits zu beobachten und dem Willen der Produzenten erneuerbarer Energie in die Zukunft folgend, besteht ein ungebrochenes Interesse an Veränderungen in der Feldnutzung und in der Endverwertung von Produkten aus den landwirtschaftlichen Zwischenmärkten. Diese Nachfrage schwingt immer im Einklang mit der ökonomischen Bewertung fossiler Energie. Die bedeutendste pflanzenbauliche Verschiebung der letzten zwei Dekaden war die Umwandlung von Ackerflächen in Kurzumtriebswälder. In der stofflichen Verschiebung auf den Futtermittelmärkten war vor allem eine Verknappung in der Verfügbarkeit von Maissilage und Futtergetreide zu bemerken. Diese wurde durch eine Verwertung von Maissilage in Biogasanlagen und die Produktion von Ethanol hervorgerufen. Alle Prognosen, die vor oder im Beobachtungszeitraum aufgestellt wurden, haben sich nicht erfüllt. Darauf wird im Abschnitt der Parametrisierung einer Simulation noch näher eingegangen.
- Ertragsdynamik durch grundlegende Managemententscheidungen: Landwirtschaftliche Betriebe gehen zunehmend von der am Beginn des Kapitels dargestellten historischen Entwicklung wieder ab und besinnen sich der ursprünglichen holistischen Werterhaltung gegenüber der Natur. Dies hat deutliche Auswirkungen auf die Erträge der Betriebe.
- Veränderung durch ökonomische Einflüsse: Ein zweiter Bereich von extremen Managementänderungen entsteht durch die anhaltenden niedrigen ökonomischen Erträge in Folge der niedrigen Preise für landwirtschaftliche Produkte. Kleine Betriebe – bevorzugt im extensiven Berggebiet – verändern ihr Produktionsprofil von der Milchproduktion zur extensiven Haltung von Mutterkühen, Schafen oder Ziegen. Dieser Schritt senkt die Produktivität massiv, häufig verlassen die Folgegenerationen den Hof. Diese Entwicklung ist in den Alpen in Norditalien und in Frankreich weitgehend abgeschlossen, in der Schweiz, in Bayern und in Österreich stemmt sich die Gesellschaft im Rahmen der Kulturlandschaftserhaltung noch dagegen.
- Veränderungen durch soziale Einflüsse: Ein dem vorherigen Punkt ähnliches Szenario wird sehr oft durch eine Veränderung im Bildungsniveau der bäuerlichen Familien ausgelöst. Kinder von bäuerlichen Familien erreichen heute in der Regel ein Bildungsniveau (allgemein oder handwerklich), das über demjenigen ihrer Eltern steht. Sie steigen höher in die Erwerbslaufbahn ein und haben später bei kleinen Betrieben folgenschwere Entscheidungen zu treffen.

Aus der Auflistung der Vektoren lassen sich vier Themenkreise isolieren, die bei der späteren Simulation angesprochen werden können (aber nicht müssen):

1. Veränderungen in der Fruchtbarkeit des Standortes
2. Veränderungen im Management landwirtschaftlicher Betriebe und Änderungen im Einsatz externer Betriebsmittel
3. Veränderungen in der sozialen und ökonomischen Struktur der landwirtschaftlichen Betriebe
4. Veränderungen im Verwertungspfad der Flächen und Produkte

In den Wirtschaftswissenschaften würde der Aspekt der Kosten- und Erlösgrößen als zusätzlicher Punkt erscheinen. Wir können aber davon ausgehen, dass die drei faktischen Aspekte immer mit ökonomischen Entscheidungen verbunden sind.

2.1.1.4 Datengrundlagen

Die Datenbestände der Landwirtschaft sind umfangreich, und eine vollständige Analyse der einzelnen Parameter würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Deshalb wurden die Aufbereitung der landwirtschaftlichen Daten aus dem Jahr 2010 und die dafür notwendigen Fachmodelle, die im nächsten Kapitel erläutert werden, in einer eigenen umfangreichen Publikation selbständig vom Autor dieses Werkes abgehandelt. Der Fachatlas Landwirtschaft stellt in einem Berichtsteil und einem Tabellenteil die einzelnen Parameter genau vor und zeigt dabei sowohl eine einfache statistische Klassifikation als auch umfangreiches Kartenmaterial (Guggenberger *et al.*, 2012a, 2012b). Das eigentliche Thema dieser Arbeit, die multiple Ressourcennutzung im Raum und die dabei durchgeführten Simulationen kommen nicht ohne Erklärung der Parameter aus, weshalb doch einige Aspekte des Fachatlas Landwirtschaft hier eingebaut wurden. Diese Bereiche zeigen Daten und Methoden, müssen aber auch bereits kurz als Ergebnis interpretiert werden. Das könnte von Lesern als methodischer Fehler betrachtet werden. Die tatsächliche Ergebnisinterpretation der Arbeit wird sich auf die räumlichen Verteilungsmethoden und die Ergebnisse der Szenarien beziehen. Für das Verständnis der Datenstruktur ist zusätzlich von Bedeutung, dass das Modell zur Bereitstellung von Nahrung durch die Landwirtschaft

1. Daten aus dem Erfassungsjahr 2010 verwendet und
2. seine Modellierung auf Ebenen des Einzelbetriebes durchführt.

2.1.1.4.1 Räumliche Daten

2.1.1.4.1.1 Feldstück- und Schlagpolygone mit ihrer Schlagnutzung

Landwirtschaftliche Betriebe definieren natürliche räumliche Einheiten als Feldstück mit spezifischem Namen. Ein nahe beim Hof gelegener Acker könnte etwa den Feldstücknamen „Hofacker“ tragen. Ungeachtet der Größe können auf einem Feldstück ein oder mehrere landwirtschaftliche Kulturarten angebaut werden. Jede einzelne abgrenzbare Kulturart innerhalb des Feldstückes trägt die Bezeichnung Schlag, der Begriff Kulturart verschwindet in der Modellbeschreibung und wird ab dem Moment der räumlichen Zuordnung als Schlagnutzung bezeichnet. Neben den Nutzungseinheiten existiert noch das Grundstück als rechtliche Besitzgröße. Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Einheiten wurde bei der funktionalen Beschreibung

des elementaren Bewertungsmodells, der Agricultural-Gis-Sphere im Kapitel 3.2, umfassend dargestellt (Guggenberger und Bartelme, 2005).

Die Verfügbarkeit von räumlich exakten und thematisch granularen Landbedeckungsdaten ist keine Selbstverständlichkeit, sondern beruht auf rechtlichen Grundlagen der Europäischen Union im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP). Diese sieht als Grundlage des Förderungswesens eine sich jährlich wiederholende, räumliche Beweisführung über die Flächen, deren Größe und Lage sowie deren Nutzung vor (809/2014/EU, 2014). Im Vergleich zur Analyse anderer Landbedeckungsklassen in Österreich verfügt die Landwirtschaft über das beste Datenmaterial (Stemberger *et al.*, 2012).

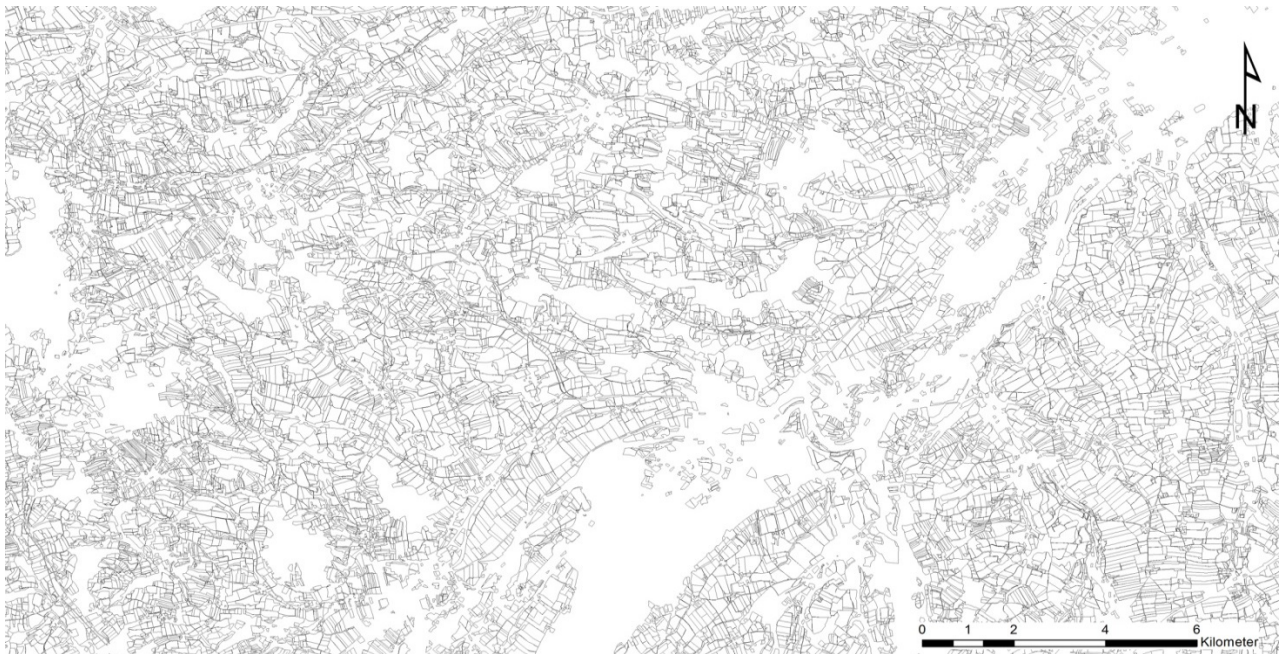


Abbildung 5: Struktur der im INVEKOS-Gis erfassten Feldstücke

Die Erfassung der Feldstücks- und Schlagpolygone ist vom einzelnen Betrieb selbst zu verantworten. Die Behörde, das ist die Agrarmarkt-Austria in Wien, hat für die Erfassung im Rahmen des E-Government ein Web-Gis zur Verfügung gestellt. Dieses trägt den Namen INVEKOS-Gis und verfügt über alle notwendigen Funktionen, um räumliche Daten zu erfassen, zu validieren und gegebenenfalls zu verändern (Agrarmarkt Austria, 2015a). Seit die klare gesetzliche Regelung bezüglich der Förderauszahlung seitens der EU besteht, haben sich die einzelnen Länder und ihre Partner (BEV, BMLFUW) auf eine regelmäßige systematische Befliegung geeinigt. Dies gewährleistet die notwendige Aktualität der zugrundeliegenden Orthofotos. Ein vollständiger Datensatz über die im Jahr 2010 erfassten 1.000.721 Feldstückpolygone wurde dem Forschungsprojekt durch das Landwirtschaftliche Rechenzentrum zur Verfügung gestellt. Ein kleiner Ausschnitt dieses Datenbestandes wird in Abbildung 5 dargestellt. Alle Daten mit nationaler Abdeckung, das betrifft auch die folgenden Geodatenätze, liegen in einer Lambert-Projektion vor. Genauer als MGI-Austrian-Lambert (EPSG-Code 31287) bezeichnet, erreicht diese winkeltreue Schnittkegelprojektion für ganz Österreich betrachtete akzeptable Verzerrungen (Imrek, 2012). Die beiden Schnittkreise liegen auf 46° bzw. 49° Nördlicher Breite, leicht südlich bzw. nördlich der

Bundesgrenze. Die einzelnen Polygone werden mit ihrem Flächeninhalt beschrieben. Nicht an die Geometrie gebundene Flächenabzüge für nicht landwirtschaftliche Nutzung können zusätzlich berücksichtigt werden, um die tatsächliche landwirtschaftliche Fläche (TAFL) zu berechnen.

Formel 6: Berechnung der TAFL

Tatsächliche landwirtschaftliche Fläche (TAFL) ha =

Feldstücksgeometrie – Flächenanteil mit nicht landwirtschaftlicher Nutzung

Tabelle 2: Schlagnutzungsarten und –gruppen und deren Flächenanteil in Österreich 2010

BROTGETREIDE (G1)	FUTTERGETREIDE (G2)	ÖLFRÜCHTE (G4)	FELDGEMÜSE GARTENBAU (G5)
12,9 %	8,9 %	5,3 %	0,4 %
AMARANTH	SOMMERGERSTE	LEINDOTTER	BLUMEN UND ZIERPF. (BZ)
BUCHWEIZEN	SOMMERHAFER	MARIENDISTELN	BZ IM FOLIEN-TUNNEL
EMMER ODER EINKORN	SOMMERMENGGETR.	ÖLKÜRBIS	BZ IM GEWÄCHSHAUS
HIRSE	SOMMERTRITICALE	ÖLLEIN	ERDBEEREN
QUINOA	WINTERGERSTE	SENF	FELDGEMÜSE (FG) EINKULT.
SOMMERDINKEL	WINTERTRITICALE	SOJABOHNEN	FG EINKULTURIG 1 ERNTE
SOMMERHARTWEIZEN		SOMMERMOHN	FG EINKULTURIG MEHR E.
SOMMERROGGEN	EIWEISSPFLANZEN (G3)	SOMMERRAPS	FG EINLEGE GURKEN
SOMMERWEICHWEIZEN	0,8 %	SOMMERRÜBSEN	FG FRISCHMARKT
SORGHUM	ACKERBOHNEN	SONNENBLUMEN	FG MEHRKULTURIG
WINTERDINKEL	BITTERLUPINEN	SONSTIGE	FG OHNE ERNTE
WINTERHAFER	KICHERERBSEN	SPEISEKÜRBIS	FG VERARBEITUNG
WINTERHARTWEIZEN	KÖRNERERBSEN	WINTERMOHN	FG VERARBEITUNG EINKULT.
WINTERMENGGETREIDE	LINSEN	WINTERRAPS	FG VERARBEITUNG MEHRKT.
WINTERROGGEN	SOMMERWICKEN	WINTERRÜBSEN	GEMÜSE IM FOLIEN-TUNNEL
WINTERWEICHWEIZEN	SÜSSLUPINEN		GEMÜSE IM GEWÄCHSHAUS
	WINTERWICKEN		
FELDFUTTER (G6)	KARTOFFEL/ RÜBEN (G7)	KÖRNERMAIS (G8)	SONSTIGES ACKERLAND (G10)
6,0 %	0,8 %	1,6 %	2,9 %
FUTTERGRÄSER	FRÜHKARTOFFELN	KÖRNERMAIS	HEIL- UND GEWÜRZ- PFLANZEN
GRÜNSCHNITTROGGEN	FUTTERKARTOFFELN	MAIS CORN-COB-MIX	SOMMERKÜMMEL
KLEE	FUTTERRÜBEN	ZUCKERMAIS	WINTERKÜMMEL
KLEEGRAS	SAATKARTOFFELN		JOHANNISKRAUT
LUZERNE	SPEISEINDUSTRIE- KARTOFFELN	SILOMAIS (G9)	HEILPFLANZEN
SONSTIGES FELDFUTTER	SPEISEKARTOFFELN	7,3 %	GEWÜRZPFLANZEN
SUDANGRAS	STÄRKEINDUSTRIE- KARTOFFELN	SILOMAIS	FLACHS (FASERLEIN)
WECHSELWIESE (EGART, ACKERWEIDE)	TOPINAMBUR	GRÜNMAIS	HANF
WICKEN - GETREIDE GEMENGE	ZUCKERRÜBEN		HOPFEN
			HAUS / GEMÜSEGARTEN

Für jedes Feldstück werden eine oder mehrere Schlagnutzungen definiert. Diese können bei der Beantragung aus einer Liste ausgewählt werden. Für eine qualitative Beschreibung werden ähnliche

Schlagnutzungsarten zu Schlagnutzungsgruppen zusammengefasst. In Summe wurden 2,77 Millionen ha an TAFL erhoben. Der Datensatz im INVEKOS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) trägt die Bezeichnung L037.

2.1.1.4.1.2 *Digitales Geländemodell BEV*

Für einige Teilmodelle, etwa die Abschätzung unterschiedlicher Konservierungstechniken von Wiesenfutter, benötigt die AGS das digitale Geländemodell des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen in Wien. Dieses Modell beruht auf der Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern, die mit einer hohen Überlappung im mittleren Maßstab 1:15.000 geflogen wurden. Die einzelnen Bilder stützen sich an Festpunkten. Die einzelnen Höhen wurden maschinengestützt (Leica BC3) in einem 50 Meter Raster ausgelesen (Franzen und Mandlbürger, 2003). Markante Änderungen im Geländeverlauf wurden zusätzlich erfasst. Nach einer homogenen Verteilung der Erfassungspunkte und der Berücksichtigung der markanten Geländepunkte war ein neues, hybrides Geländemodell verfügbar (Bartelme, 2005). Der derzeit häufig verwendete Datensatz wurde nach der Methode der linearen Prädiktion mit einer Auflösung von 10 Metern aus den ursprünglichen Daten ausgelesen. Seit September 2015 steht das neue österreichische Geländemodell, ebenfalls mit einer Auflösung von 10 Metern zur Verfügung (Geoland, 2015). Dieses Modell beruht auf einer Auswertung von Last-Pulse-Messungen auf der Basis des Airborne-Laser-Scanning (ALS). Dieser Datensatz wird das DGM in Zukunft ersetzen.

2.1.1.4.1.3 *Klimadaten*

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) unterstützt nationale Forschungsprojekte mit Datensätzen über das langjährige Klima in Österreich. Eine aktuelle Fassung liegt im Projekt ÖKLIM 1971-2000 in 19 wichtigen Rasterdatensätzen vor (Hiebl *et al.*, 2011). 9 Datensätze zeigen unterschiedliche Varianten der Temperaturbewertung, 5 Datensätze befassen sich mit dem Niederschlag. Weitere drei Datensätze beschreiben die Schneehöhe und abschließende zwei Datensätze die Sonnenscheindauer. Mit einer Auflösung von 50 Metern sind die Datensätze an das originale DGM gut angepasst. Die Messung von Klimadaten nach internationalen Standards ist die Grundlage jedes nationalen Messnetzes. ÖKLIM vereinigt alle nationalen Stationen mit den Stationsnetzen der Nachbarländer. Diese Maßnahme sichert eine korrekte geostatistische Analyse innerhalb des gesamten Bundesgebietes. Durch die Integration der Daten aus Nachbarländern erreicht die geostatistische Analyse nun auch in den Grenzregionen die notwendige Qualität.

2.1.1.4.1.4 *Elektronische Bodenkarte*

Bodendaten spielen in den landwirtschaftlichen Modellen der AGS derzeit keine besonders große Rolle. Im Zusammenhang mit den Klimadaten und den Daten der gegenwärtigen Schlagnutzung könnten aber im Rahmen von Simulationen Ansätze zur Modellierung von Ertragsverschiebungen umgesetzt werden. Die dabei verwendeten Wachstumsmodelle benötigen jedenfalls mindestens die grundlegenden Bodeninformationen der elektronischen Bodenkarte E-BOD (Schneider *et al.*,

2001). Der derzeit verfügbare Geodatenatz der E-BOD kann kostenlos bezogen werden und hat eine Auflösung von 1 km² (Bundesamt für Wald, 2007). In weiterführenden Projekten hat sich gezeigt, dass elektronische Bodenkarten grundsätzlich gut für die Modellierung geeignet sind (Beichler und Bernsteiner, 2010).

2.1.1.4.2 Landwirtschaftliche Daten

2.1.1.4.2.1 *Anzahl und Vollständigkeit in der Betriebserfassung und Klassifizierung*

Insgesamt wurden 132.021 faktische von 172.650 rechtlich landwirtschaftlichen Betrieben, das sind rund $\frac{3}{4}$, im Untersuchungsjahr 2010 vollständig bewertet. Diese Betriebe verfügen in Summe über 2,88 Millionen ha an landwirtschaftlicher Kultur- bzw. Almfläche (BMLFUW, 2013). Davon konnten 2,77 Millionen ha, das sind 96 % der verfügbaren Daten, auch über die Feldstückpolygone des AMA-GIS (Tool der Agrarmarkt Austria zur Digitalisierung landwirtschaftlicher Flächen) erfasst und weiterverarbeitet werden. Die von der Statistik Austria im Rahmen der Agrarstrukturerhebung 2010 ermittelte Fläche beträgt 2,88 Millionen ha (Statistik Austria, 2015b). Dies zeigt, dass die große Lücke von rund $\frac{1}{4}$ der Betriebe auf die Flächenbewirtschaftung geringe Auswirkung hat. Diese Betriebe sind Kleinstbetriebe oder Betriebe nach rechtlichen Strukturen ohne Flächenwirkung. Die bedeutendste Gruppe der bewerteten Betriebe sind die rund 70.000 überwiegend grünlanddominierten Bauernhöfe. Dieser Gruppe folgen die rund 48.000 ackerbaudominierten Betriebe. Neben rund 6.000 Almbetrieben bewirtschaften noch über 5.000 Weinbaubetriebe die nationale Kulturlandschaft. Die Verwertung pflanzenbaulicher Produkte in der Tierhaltung wird von Wiederkäuern dominiert. Die grünlanddominierten Betriebe werden mit Rindern, Pferden, Schafen und Ziegen genutzt. Im Ackerbaugebiet wirtschafteten 2010 noch rund 11.000 Schweineproduzenten. Etwa 18.000 Betriebe haben kein eindeutiges Produktionsziel und werden als Mischbetriebe bezeichnet. Diese Betriebe bewirtschaften die landwirtschaftliche Fläche in relativ kleinen Strukturen. Nach der pflanzenbaulichen Bewirtschaftung verfügen reine Grünlandbetriebe über 11,5 ha Betriebsfläche. Dies entspricht auch der mittleren Fläche im Weinbau. Mit abnehmendem Ackeranteil steigert sich die Flächenverfügbarkeit für reine Ackerbaubetriebe auf 31,9 ha. Nach der Verwertung betrachtet verfügen Milchviehbetriebe über rund 19,8 ha Betriebsfläche. Veredelungsbetriebe im Wiederkäuerbereich liegen darunter. So verfügen Mutterkuhbetriebe im Schnitt über 12,8 ha und Halter von Pferden, Schafen und Ziegen nur über 5,6 ha. Schweinemäster wirtschaften 2010 im Schnitt mit 24,1 ha.

2.1.1.4.2.2 *Tierbestände in Österreich*

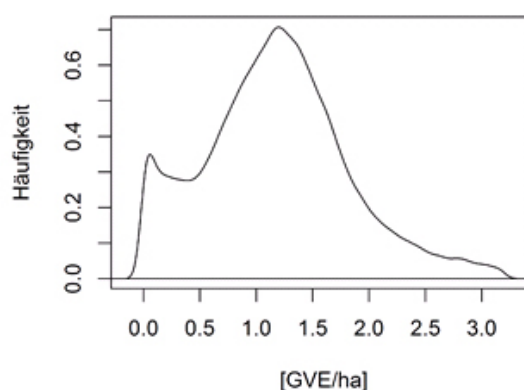
Drei von vier österreichischen Betrieben halten in Summe über 2 Millionen Großvieheinheiten (GVE) verschiedener Arten landwirtschaftlicher Nutztiere. Eine produktionsbezogene Klassifikation der Betriebe zeigt, dass 74,5 % des Gesamttierbestandes – mit extrem hohem Anteil an Rindern – in den Klassen der Milchvieh- und Mutterkuhhaltung sowie der Rindermast zu finden sind. In der Produktionsklasse Schweinemast/Schweinezucht finden wir 18,2 % des Gesamttierbestandes. Pferde-/Schaf-/Ziegenbetriebe halten 5,5 % der Tiermasse. Etwa 1,4 % entfallen auf die Geflügelmast und 0,3 % auf andere Tiere. Die in Tabelle 3 dargestellten

Großvieheinheiten (GVE, wobei eine GVE rund 500 kg Lebendmasse entspricht) sind das Zählergebnis des Tierbestandes zu den Erfassungstichtagen. Tierarten mit einer unterjährigen Lebensdauer werden durch diese Tabelle in der Jahressumme des Lebendgewichtes nicht richtig abgebildet. Ein Mastplatz in der Schweinemast wird pro Jahr 2,5-mal belegt, ein Mastplatz in der Geflügelmast bis zu 7mal. Der nationale Jahrestierbestand liegt deshalb um etwa 25 % über dem Stichtagsbestand. Die Datensätze im INVEKOS tragen die Bezeichnung L005 (Tierliste) und L048 (Rinderdaten).

Tabelle 3: Tierbestand in Österreich 2010

Tierart	Bestand	
	GVE	%
Pferde	58.810	2,9
Rinder	1.520.694	74,5
Schweine	371.274	18,2
Schafe	43.862	2,2
Ziegen	9.224	0,5
Geflügel	29.182	1,4
Sonstige Tiere	6.999	0,3
Summe	2.040.046	100,0

Abbildung 6: Verteilung der Besatzdichten



Die unter 2.1.1.4.2.1 bereits angedeutete Beziehung zwischen Tierbeständen und den Betriebsflächen der tierhaltenden Betriebe ist von großer Bedeutung für die Simulation von Veränderungsszenarien. Entspricht der Bestand den natürlichen Möglichkeiten eines Standortes – wir sprechen dann von standortgerechter Landwirtschaft – wird eine Veränderung externer Faktoren wenig Einfluss auf das Endergebnis bringen. Die Besatzdichte, ausgedrückt in GVE/ha ist eine erste Kennzahl für die Beschreibung der Tier-Flächen-Beziehung. Wir sehen in Abbildung 6 ein erstes Maximum des Tierbesatzes bei einem Wert von rund 0,2 GVE/ha. Dieses Maximum wird durch die in Summe große Anzahl an Betrieben mit Kleintierhaltung erzeugt. Ab diesem Wert steigt die Dichte bis etwa 1,3 GVE/ha und sinkt von dort an wieder. Der Kurventeil im Bereich der höheren Dichten ist nicht linear, sondern läuft fast exponentiell aus. Die Besatzdichten über 1,3 sinken dabei rasch und erreichen bei 1,7 GVE/ha den Anteil des ersten Maximums der Kleintierhalter. Der Anteil von Betrieben mit einem Tierbesatz von über 2 GVE/ha beträgt ca. 18 %, über 2,5 GVE/ha finden sich weniger als 1/10 der Betriebe. Neben dem Tierbesatz – wie wir wissen ist dies eine stark managementbeeinflusste Größe – kann die Herdengröße bestimmt werden.

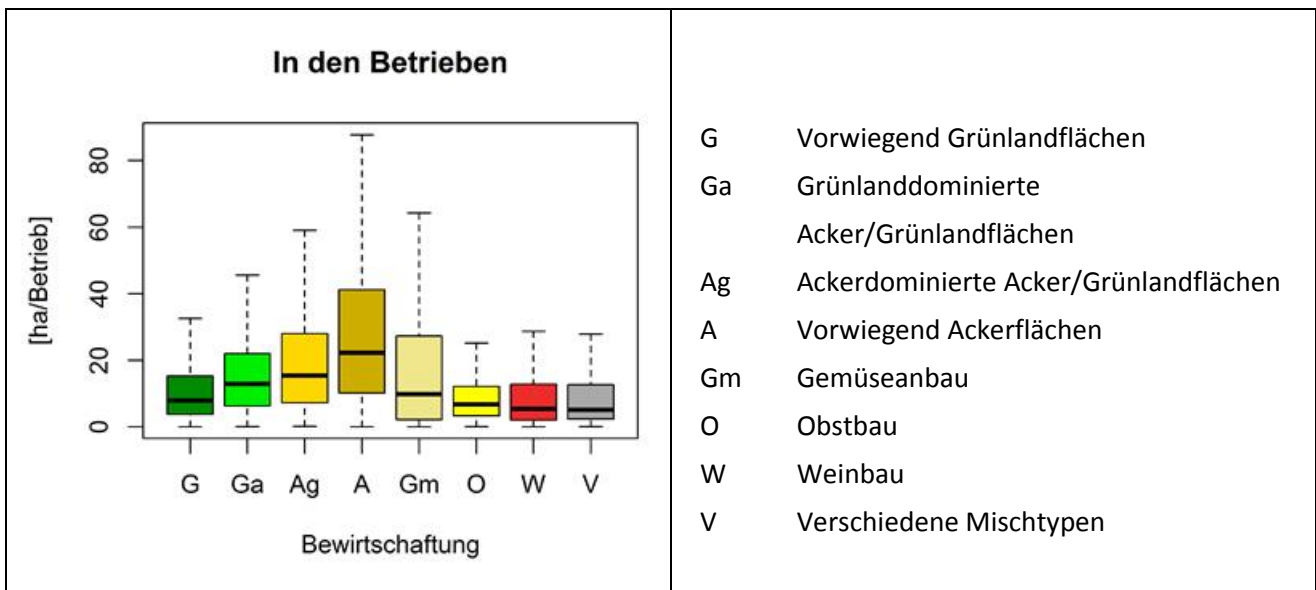


Abbildung 7: Bewertung der Betriebsfläche

Abbildung 7 zeigt uns, dass reine Grünlandbetriebe weniger Fläche pro Betrieb bearbeiten als die reinen Ackerbaubetriebe. Dazwischen liegen die Übergangsklassen. Reine Grünlandbetriebe halten im Mittel rund 15 GVE, reine Ackerbaubetriebe mit 29 GVE fast das Doppelte. Dazwischen reihen sich Grünland-Ackerbaubetriebe bzw. Acker-Grünlandbetriebe mit 23 bzw. 24 GVE ein.

2.1.1.4.2.3 Ertragsleistung in der Milchproduktion

36.596 landwirtschaftliche Betriebe in Österreich, das sind 29 % aller Betriebe, verfügen 2010 über eine Milchquote, wobei 34.466 Betriebe ihre Milch auch direkt an einen Milchverarbeitungsbetrieb weiterleiten. Die hier pro Jahr verarbeitete Menge beträgt 2,78 Milliarden kg Milch. Ergänzt durch die Futtermilch für Kälber, die Direktvermarktungsanteile, den Eigenverbrauch sowie die unvermeidlichen Verluste ergibt sich eine Gesamtleistung aller österreichischen Milchkühe von 3,28 Milliarden kg Milch. Der Datensatz der Milchquoten trägt im INVEKOS die Bezeichnung E002 Milchquoten.

Formel 7: Berechnung der Milchleistung pro Kuh

$$\begin{aligned}
 \text{Jahresmilchleistung Betrieb (l)} = & \\
 & \text{Abliefermenge an Molkerei (l)} \\
 & + \text{Kontingente der Hofvermarktung (l)} \\
 & + 320 \text{ Aufzucht-kälber (n)} \\
 & + 800 \text{ Milchmastkälber (n)} \\
 & + 270 \text{ Familienmitglied (n)} \\
 & + 0,5 \text{ Nächtigung Tourismus (n)} \\
 & + 1 \% \text{ Schwund}
 \end{aligned}$$

Die zuordenbare Referenztiermenge der Milchkühe beträgt 532.700 Tiere. Die durchschnittliche Leistung der nationalen Milchkuhherde beträgt im Jahr 2010 somit 6.157 kg Milch pro Tier und Jahr und liegt damit um 684 kg unter dem Herdenschnitt der Milchleistungskontrolle (-10 %). Wird

die Leistungsanalyse um die nationale Mutterkuhherde mit einer angenommenen Leistung von 3.500 kg erweitert, sinkt die Milchleistung aller Muttertiere auf 5.283 kg pro Jahr.

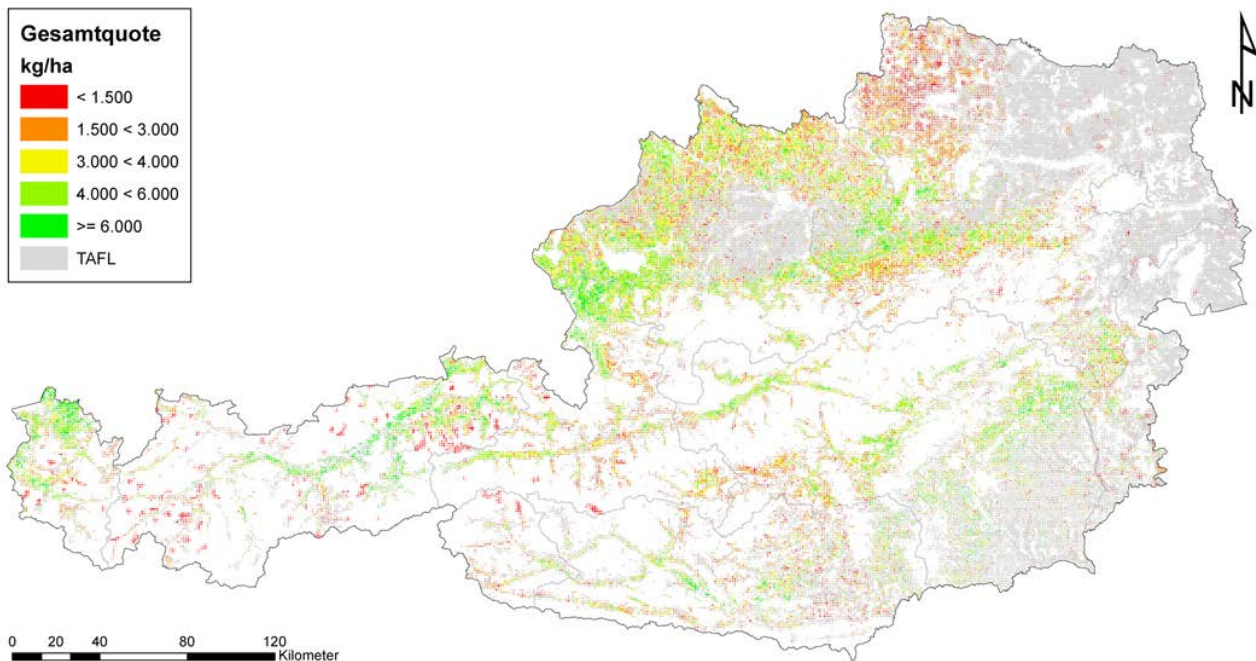


Abbildung 8: Konzentration der Milchquoten pro ha

Bei der Festlegung der Simulationsparameter im späteren Verlauf dieser Arbeit sind folgende Entwicklungen von Bedeutung:

- Im 15-jährigen Schnitt verlassen alljährlich 3,7 % der Milchviehbetriebe ihren Betriebszweig. Optional wechseln diese Betriebe in die Fleischproduktion mit Mutterkühen, die inzwischen aber auch sinkende Bestandszahlen zeigt. Der Bestand an Milchkühen reduziert sich im 15-jährigen Schnitt mit 1,1 % pro Jahr etwas langsamer, auf den verbleibenden Betrieben findet eine Konzentration statt.
- Die 2010 noch geltende Quotenregelung, jeder Betrieb durfte nur eine festgelegte Menge Milch abliefern, ist Ende 2014 ausgelaufen. Bereits 2010 wurde diese Quote, trotz ökonomischer Strafen, um 6,6 % überschritten. Mit Beginn 2015 haben Betriebe, die eine Intensivierungsstrategie geplant haben, höhere Mengen an Futter, bevorzugt Futtergetreide, zugekauft und den Milchmarkt rasch übersättigt. Die Milchpreise sind bis zur Jahresmitte 2016 auf ein historisches Tief gefallen. Die Fruchtbarkeit des Standortes unterscheidet die Milchbauern. 44 % der Milch stammt aus den Gunstlagen der Acker-Grünlandgebiete, 25 % aus den besseren Grünlandstandorten und 31 % aus dem benachteiligten Berggebiet. Je schlechter die Produktionsbedingungen hinsichtlich Ertrag der Felder und Größe der Betriebe, umso deutlicher spüren die bäuerlichen Familien die fehlenden Einnahmen aus dem Milchverkauf. Eine neue Welle der Extensivierung der Nahrungsproduktion rollt derzeit in die Gunstlagen der Milchwirtschaft. Es ist zu erwarten, dass das Produktionspotenzial der in Abbildung 8 rot gekennzeichneten Gebiete tendenziell in Richtung der grün gefärbten Gebiete

abwandern wird. Bleiben wird nur, wer sich erfolgreich von den Massenmärkten differenzieren kann.

2.1.1.4.2.4 *Managementaspekte im Programm für eine umweltgerechte Landwirtschaft (ÖPUL)*

Die unter 2.1.1.4.1.1 bereits einmal erwähnte gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union bringt noch einen zweiten Aspekt in das landwirtschaftliche Datenmodell der Agricultural-Gis-Sphere ein. Der ursprüngliche Fokus, die Steigerung der Leistungsfähigkeit mit stärkerer Marktpräsenz und Marktsteuerung wurde im Laufe der Zeit durch den zweiten Bereich (2. Säule) „Förderung und Entwicklung des ländlichen Raumes“ ergänzt. Rund 50 % der Mittel aus der 2. Säule fließen seit geraumer Zeit zur Entwicklung einer standortgerechten Landwirtschaft in Österreich in das ÖPUL-Programm. Dafür stehen im Schnitt der Jahre zwischen 500 – 600 Millionen € zur Verfügung, die in ein breites Spektrum an Themenfeldern investiert werden. ÖPUL stemmt sich mit seinen Mitteln gegen die wirtschaftlichen Zwänge freier Märkte. Die Übernutzung pflanzenbaulicher Gunstlagen oder die Kompetenz zur Produktion mit günstigen Stückkostenkurven führt unweigerlich zu negativen Effekten, den Umweltwirkungen. Was in der Volkswirtschaftslehre für allgemein produzierende Unternehmen noch als externer Effekt (Externalität) bezeichnet wird, trifft in der Landwirtschaft die Betriebe weltweit auf kurzem Weg. Der Einsatz von zu hohen Mengen an Hilfsstoffen aller Art (vor allem Handelsdünger und Pflanzenschutzmittel) und die Auswirkungen der Technisierung auf die Raumstruktur und die Bodengesundheit stören das Gefüge von Boden und Pflanzen weit hinein in die natürliche Struktur von Fauna und Flora. Über diese Problematik legt sich vielerorts noch die Tierproduktion, die durch ihre Stoffströme weiter naturwissenschaftliche und ethische Effekte auslöst. Im schlimmsten Fall wandelt sich eine Agrargesellschaft zu einer verarmten Landbevölkerung mit hohen Abhängigkeiten zu weltweit agierenden Konzernen. Wie weit sich der Gesamteffekt entwickelt, hängt entscheidend von nationalen Grundwerten und dem Wissen über die Wirkungen ab.

ÖPUL hat die Mittel, um alle bisher beschriebenen Aspekte und Zusammenhänge wirksam zu fördern und wird von der Landwirtschaft gerne angenommen. Von den rund 126.000 hier untersuchten Betrieben nehmen 78 % in irgendeiner Weise an Programmen zur Reduktion von Dünger und Pflanzenschutzmitteln teil. Über 78 % der Betriebe in den betroffenen Ackerbauregionen schützen ihren Boden vor Erosion. Über 50 % der tierhaltenden Betriebe mit Rindern, Schafen oder Ziegen sorgen für Auslauf und Weide. Mehr als 56 % sorgen sich um das Kulturlandschaftsbild. Über 15 % der Betriebe verfolgen in allen Aspekten einen gesamtheitlichen Ansatz und wirtschaften als Biobauern. Ob die Bauernhöfe insgesamt aus tiefstem Herzen naturnah wirtschaften, oder ob sie die Maßnahmen einfach beantragen müssen, um das ökonomische Ergebnis sicher zu stellen, bleibt unbeantwortet. Jedenfalls kompensiert in vielen Fällen das Fördergeld aus ÖPUL die Ignoranz (Preiswahrheit) der Märkte und der Gesellschaft. Der Datensatz der Managementaspekte trägt im INVEKOS die Bezeichnung L008. Die bekannteste Maßnahme im ÖPUL ist die biologische Landwirtschaft. Die teilnehmenden Gebiete werden in Abbildung 9 dargestellt.

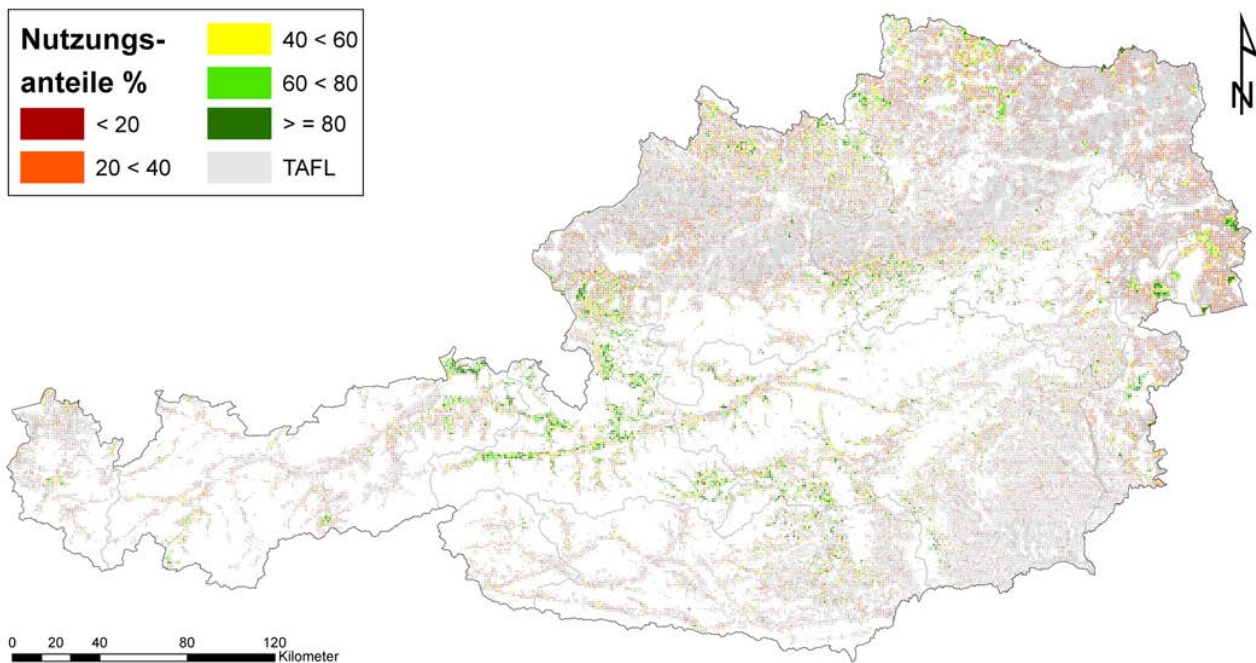


Abbildung 9: Verteilung der biologischen Landwirtschaft in Österreich

2.1.1.5 Bewertungsmodelle

2.1.1.5.1 Die Agricultural Gis-Sphere

Die Modellbildung beruht auf den Betriebsberechnungskonzepten der Agricultural-GIS-Sphere (AGS), welche als Vorleistung für dieses Projekt zwischen 2006 und 2009 fertig gestellt wurden. In den Folgejahren mehrfach auf wissenschaftlichen Fachtagungen vorgestellt und dort mit den Experten auch ausgiebig diskutiert, vernetzt die AGS alle Basisdaten und enthält alle weiterführenden Modelle (Guggenberger *et al.*, 2009a, 2009b). Alle Basisdaten, das sind die Geo- und die Fachdaten aus 2.1.1.4, werden von der AGS aufgenommen und in den Fachmodellen weiterverarbeitet. Dafür wurde auch ein eigenständiger Softwareentwurf entwickelt.

2.1.1.5.1.1 Fachmodell

Vertiefend erklärt Abbildung 10 die einzelnen Teilprozesse innerhalb der AGS. Gemeinsam mit den notwendigen Daten und der Beschreibung des Grobkonzepts in 2.1.1.1 können die einzelnen Teilprozesse isoliert und beschrieben werden. Folgende Aufgaben müssen in der AGS für die dynamische Modellierung gelöst werden. Die Nummerierung der Aufzählung entspricht den Ziffern in Abbildung 10.

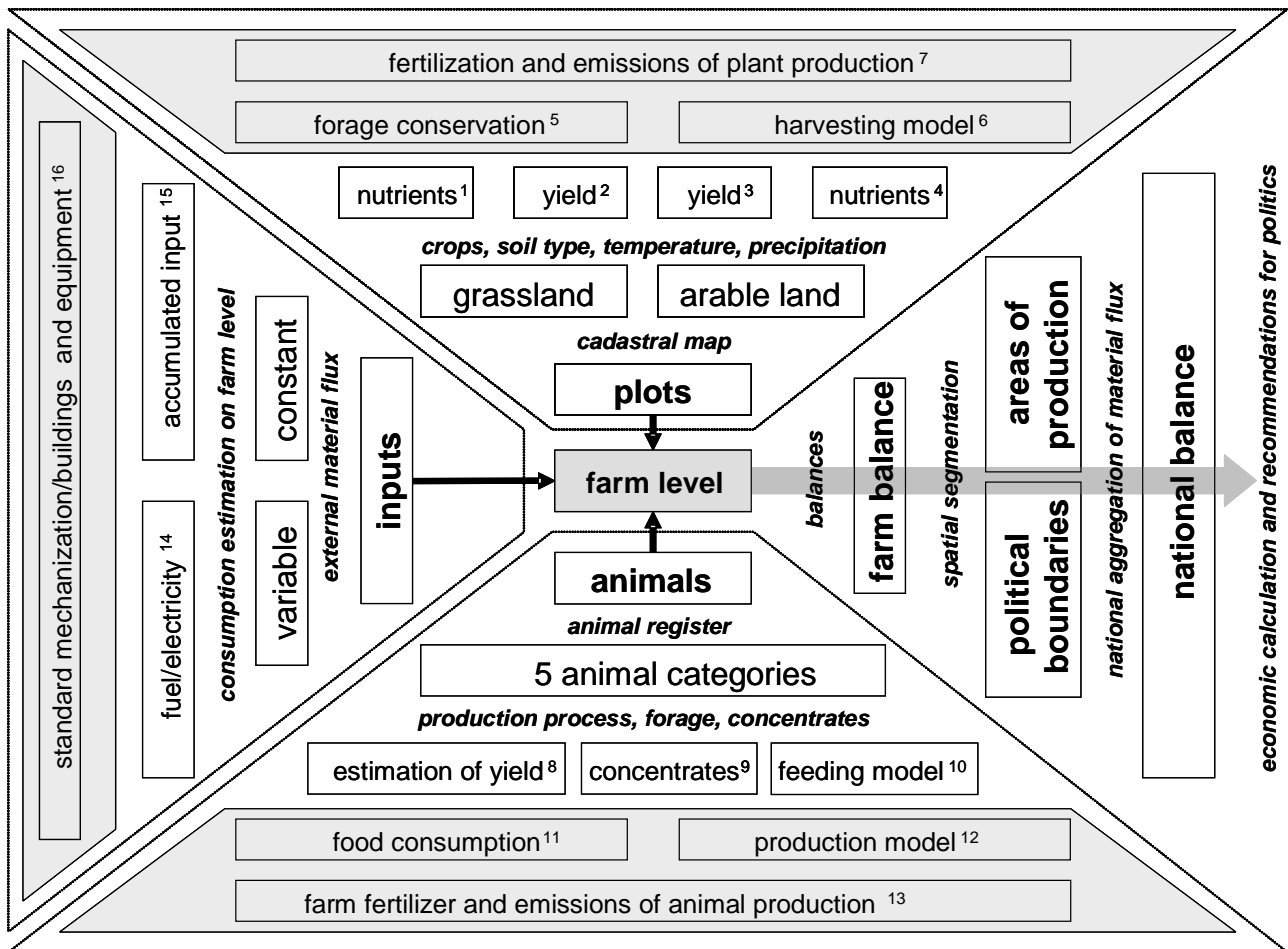


Abbildung 10: Modellentwurf der AGS (Guggenberger et al. 2009, Abbildung 1)

1. Bewertung der Nährstoffkonzentration in den Grundfuttermitteln aus den Grünlandgebieten: Guggenberger und Bartelme, 2005 beschreiben ein multiples Schätzmodell, welches auf 13.000 chemisch untersuchten Futtermitteln des Futtermittellabors Rosenau der Niederösterreichischen Landwirtschaftskammer aufbaut. Eine nähere Beschreibung findet sich unter 2.1.1.5.3.
2. Pflanzliche Erträge im Grünland: Dieser auch für pflanzenbauliche Ertragsmodelle sehr schwer zu bestimmende Wert wurde als Maximalbedarf an Grundfutter von ausgewählten, leistungswilligen Betrieben bestimmt. 2.1.1.5.3 wird auf die Bestimmung noch näher eingehen.
3. Pflanzliche Erträge im Ackerbau: Die Statistik Austria ist historisch mit der Erfassung von Erträgen in Österreich beauftragt. Diese Aufgabe wird für die Schlagnutzungsarten des Ackerbaus sehr genau erfüllt und alljährlich in einem eigenen Ertragsnetz abgearbeitet (Statistik Austria, 2007). Die Ertragsdaten wurden von der Statistik Austria zur Verfügung gestellt.
4. Bewertung der Nährstoffkonzentration in den Schlagnutzungsarten des Ackerbaus: Die pflanzenbaulichen Früchte wurden auf der Basis einer Futterwerttabelle der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft (DLG) und aus nicht veröffentlichten Ergebnissen des Futtermittellabors Rosenau bewertet (DLG, 1997)

5. Ernte und Konservierung von Grundfutter: Ernte und Konservierung von Grundfutter haben Einfluss auf die Nährstoffkonzentration und die Höhe der Ernteverluste. Deren Bewertung wird in Kapitel 2.1.1.5.3 vertieft.
6. Ernte und Konservierung im Ackerbau: Die Erträge der Schlagnutzungsarten im Acker-, Obst und Weinbau werden so angegeben, dass bereits die Ernteverluste sowie alle Pflanzenteile, die nicht ertragsbringend sind, abgezogen wurden. Für die Ernte von Getreide muss allerdings zum Reinertrag die Strohernte wieder hinzugefügt werden. Dies gilt aber nur dann, wenn das Stroh auch tatsächlich abgeführt wird. Dies ist bei viehlosen, biologischen Ackerbaubetrieben schwer vorstellbar. Für alle anderen wurden die allgemeinen Erfahrungen über die nationale Strohernte unterstellt (Dissemond und Zaussinger, 1995).
7. Düngung im Pflanzenbau: Die Eckpunkte für die Düngung im Pflanzenbau spiegeln die Information aus der Schlagnutzung, die betriebliche Verfügbarkeit von Wirtschaftsdünger, die Angaben zu Verichtsmaßnahmen im ÖPUL und die national gültigen, fachlichen Grundlagen zur Düngung. Genauere Informationen – auch im Hinblick auf die geplante Simulation – liefert das Kapitel 2.1.1.5.4.
8. Bewertung der Ertragsleistung in der Milch- bzw. Fleischproduktion: Die Ansätze zur Milchproduktion wurden unter 2.1.1.4.2.3 bereits vorgestellt. Die Fleischproduktion wird auf Basis von nationalen Ergebnissen der Betriebszweigauswertung berechnet. Für die Fleischproduktion spielen die definierte Tierart, deren Lebendgewicht zum Schlachtzeitpunkt, die Umtriebe pro Stallplatz und Jahr und der Fleischanteil am Schlachtkörper eine Rolle.
9. Kraftfutterangebot an die landwirtschaftlichen Nutztiere: Aus den potenziell am Markt verfügbaren Einzelkomponenten – diese reichen von reinen Produkten wie Getreidekörnern bis zu den Abfällen der Lebensmittelindustrie – wurde für jede Tierart eine wahrscheinliche Nährstoffkomposition ermittelt (Steinwigger *et al.*, 2011).
10. Fütterungsmodelle: Die Futtermenge, die von Tieren in Abhängigkeit ihrer Leistung aufgenommen wird, folgt den funktionalen Konzepten der Rationsberechnung. Diese berücksichtigen die Ertragsleistung der Tiere und alle Aspekte der angebotenen Futtermittel. Kapitel 2.1.1.5.2.1 stellt die Zusammenhänge genauer dar.
11. Grundfutterbedarf in der Fütterung: Kann aus dem Fütterungsmodell abgeleitet werden.
12. Betriebsinternes Produktionsmodell: Die Ergebnisse des Fütterungsmodells werden mit dem potenziellen Angebot an Futter verglichen. Abweichungen an Grund- und Kraftfutter werden auf externen Märkten abgearbeitet (siehe Abbildung 4).
13. Wirtschaftsdüngeranfall und Emissionsbewertung: Die biologischen Prozesse in der Tierernährung haben sich evolutionär nicht an Leistungsgedanken gegenwärtiger Tierhalter orientiert, sondern dienen den Tieren für eine sichere, langjährige Reproduktion. Der Wirkungsgrad ist gering, überflüssige Stoffe werden wieder ausgeschieden. Diese Ausscheidungen spielen im Gesamtkreislauf von Düngung, Wachstum, Ernte und Fütterung aber eine große Rolle. Begleitende Emissionen werden als Umweltwirkungen wahrgenommen. Die Berechnung der Nährstoffausscheidungen folgt einem grundlegenden Statement der

europäischen Staatengemeinschaft (European Commission, 1999) und wird in Kapitel 2.1.1.5.4 genauer dargestellt.

14. Kraftstoff- und Strombedarf: Die energetischen Vorleistungen werden über die Struktur der Feldbewirtschaftung und der Tierhaltung bestimmt. Der Kraftstoffbedarf kann über die Angaben des Dieselbedarfes bei einer unterstellten Standardmechanisierung bewertet werden (KTBL, 2009). Für den Strombedarf liegt eine umfangreiche Studie der Universität für Bodenkultur vor (Hopfner *et al.*, 1999).
15. Energiebindung in landwirtschaftlichen Maschinen und Gebäuden: Der Energieaufwand im Betriebsinventar an Maschinen und Gebäuden muss bei der Bewertung der landwirtschaftlichen Effizienz in Kapitel 2.1.1.5.5 berücksichtigt werden. Die Energiegehalte für die elementaren Stoffgruppen (mehrere Metalle, Kunststoffe, Beton, Ziegel, Glas, ...) wurden der Ecoinvent-Datenbank entnommen (Ecoinvent, 2011).
16. Betriebsinventar an Maschinen und Gebäuden: Die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen sowie die Haltung von Tieren benötigen eine an den Betrieb angepasste Ausstattung an Maschinen und Gebäuden. Modelle für eine Standardmechanisierung in der Landwirtschaft liegen vor (Greimel *et al.*, 2002). Die für die Tierhaltung notwendigen Stallflächen können aus der Fachliteratur und den gesetzlichen Vorlagen abgeschätzt werden (834/2007/EU, 2007, BGBl. 485/2004 i.d.g.F., 2004, BMFLUW, 2013).

2.1.1.5.1.2 *Softwareentwurf*

Die über 132.000 vollständig zu bewertenden Betriebe stellten das fachliche Konzept der AGS bereits in der Planungsphase in Frage. Die vielen Datenquellen und Teilmodelle führten bereits bei der Abschätzung der Laufzeitkomplexität zu einem Verhalten, das mit den üblichen Werkzeugen der Datenbankmodellierung nicht zu bewältigen ist. Als größtes Problem konnte die nicht konstante Zeit für Schreibzugriffe in den Datenbanken isoliert werden. Das Kernproblem liegt dabei nicht im physikalischen Schreibverhalten der Speichermedien, sondern im Zeitbedarf für die laufende Neuordnung von Indizes.

Als finale Lösung wurde statt einem herkömmlichen Datenbankprojekt eine selbständige Lösung mit einem objektorientierten Entwurfsmuster entwickelt. Datenzugriffe auf die Primärdaten werden dabei ausschließlich im Lesezugriff durchgeführt. Der Aufwand für die interne Sortierung der Objekte wird nur einmal beim Aufbau der Grunddaten benötigt. Spätere Zugriffe können direkt auf der Ebene von Speicheradressen erfolgen. Das ist die schnellste aller denkbaren Möglichkeiten. Die Laufzeitkomplexität wurde durch diese Maßnahmen konstant und hat sich dank des technologischen Fortschrittes zwischen 2009 und 2014 mehr als halbiert. Der objektorientierte Aufbau ermöglicht neben den dynamischen Datenmodellen aber auch eine gute Einbindung von verschiedensten externen Quellen und Methoden. Ein Beispiel dafür ist die Einbindung der gesamten Arc-Objects-Bibliothek (Esri, 2012). Abbildung 11 und die dort zitierte Publikation gehen näher auf das Konzept der Verbindung von Geo- und Fachdaten über mehrere Schichten ein.

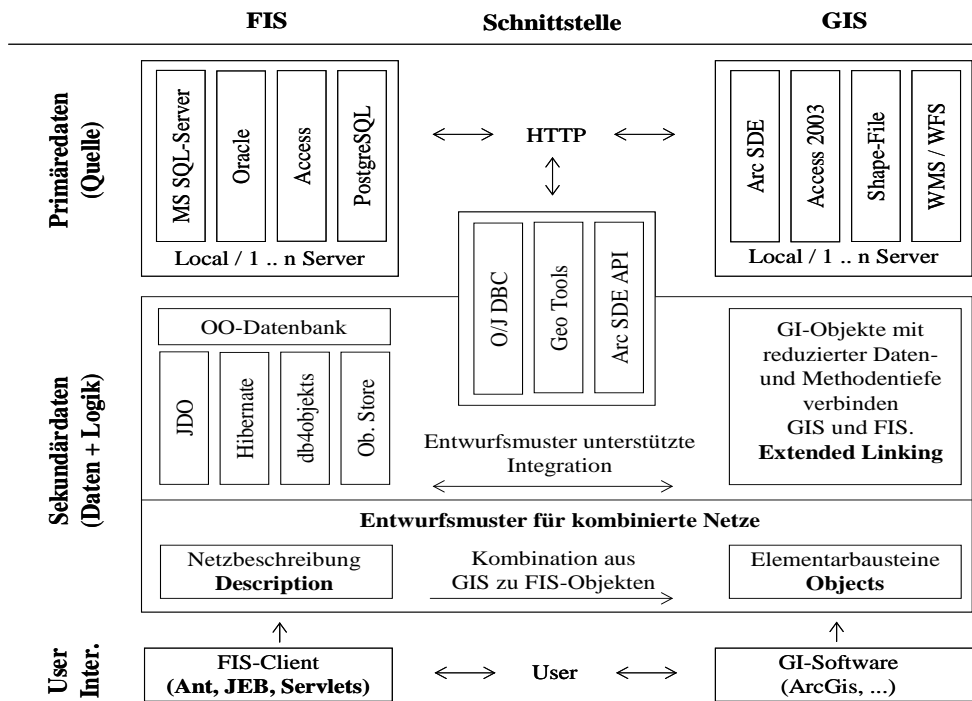


Abbildung 11: Systementwurf der AGS

2.1.1.5.2 Futtermittel- und Nährstoffbedarf in der Tierproduktion

Die Modelle zur Bewertung des Nährstoffbedarfes in der Tierhaltung – wir konzentrieren uns dabei in erster Linie auf den Energie- und Proteinbedarf – kennen mehrere Individualgrößen. Deren Summe bildet den Betriebsbedarf ab, wobei zuerst die Hauptklassen der einzelnen Individuen zu untersuchen sind (Bottom-Up-Verfahren). Die Ergebnisse der Berechnung des Nährstoffbedarfs hängen von der lokalen Qualität des Futters ab, der Ertrag im Grünland orientiert sich im Gegenzug auch an den Wirtschaftsdüngern der Wiederkäuer. Diese wechselseitigen Abhängigkeiten werden in iterativen Berechnungszyklen aufgelöst. Die Veränderungsdynamik wird für den Ausstieg aus der Berechnung verwendet. Für die Kernaufgabe, die Feststellung nationaler Futter- und Nährstoffmengen aller landwirtschaftlichen Nutztiere, wird auf die aktuellen Vorgaben der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie zurückgegriffen (GfE, 1996, 1998, 1995, 1999, 2003, 2001, 2006). Deren Tabellen wurden in leistungsbezogene Funktionen umgewandelt und durch verschiedene Datenbestände der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft erweitert (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2011a, 2007, 2011b, 2011c). Nationale Arbeiten zur Futteraufnahmeschätzung, zum Nährstoffbedarf und zur mittleren Leistung einzelner Tierklassen unterstützen das Funktionskonzept (Bellof, 2008, Fleckvieh Austria, 2006, Gruber et al., 2006, Hois, 2004, Sommer et al., 2004, Steinwider et al., 2006, Wöllinger, 2004).

Für Rinder, Schweine, Pferde, Schafe, Ziegen und Geflügel wurde je Unterklasse (z.B. Kalbinnen 1 – 2 Jahre) ein lineares Gleichungssystem mit drei Gleichungen aufgestellt. Jede Gleichung löst seine Zielgrößen (Futteraufnahme, Energiebedarf, Proteinbedarf) nach dem Muster der Determinanten und berechnet so variable Mengen an Grundfutter, Energiekraftfutter und Proteinkraftfutter. Die Zielgrößen sind weitgehend leistungsorientiert, die Nährstoffkonzentrationen

im Futter wurden zum Teil aus der Ertragsschätzung und zum Teil aus einer externen Datenquelle (Steinwigger et al., 2011) übernommen. Diese Quelle dient in einem zyklischen Verfahren auch zur Abgleichung der singulären Berechnungen mit der nationalen Kraftfuttersumme. Die Ergebnisse werden somit dem Stand des Wissens und der praktischen Umsetzung gerecht. Die Berechnungsmodule stellen zusätzlich die Nettofuttermenge zur Abschätzung der Grünlanderträge zur Verfügung.

Die dynamische Abschätzung von Futtermitteln auf der Basis von geschätzten Ertragsleistungen kann auch gegenläufig bespielt werden. Aus geringeren Inputmengen – Ergebnisse einer Parametrisierung von Szenarien – kann die noch mögliche Ertragsmenge abgeleitet werden.

2.1.1.5.3 Ertrag und Nährstoffkonzentration im Pflanzenbau

Die Ertragsfähigkeit landwirtschaftlicher Flächen wird durch ein breites Spektrum an Faktoren beeinflusst. Lokale Standortbedingungen sind stark klimatisch und bodenspezifisch bestimmt. Der anthropogene Einfluss findet sich in der Kulturtechnik und der jahreszeitlichen Anbau- und Erntedynamik auf den Betrieben. Die Vielzahl an Faktoren spannt Ertragsbereiche von wenigen hundert kg an biogener Trockenmasse (T) im Almbereich bis zu 20 Tonnen Trockenmasse pro ha beim Anbau von Zuckerrüben in den besten Lagen Österreichs auf.

Die Bewertung der Trockenmasseerträge der AGS wird diesem breiten Spektrum durch zwei methodische Ansätze gerecht. Der erste Ansatz ist die regionale Erhebung von Erntedaten durch die Statistik Austria. Der seit 1871 durchgängig erhobene Datenbestand dient der Berechnung der nationalen Versorgungsbilanz bzw. der Erstellung der landwirtschaftlichen Gesamtrechnung als Teil der Volkswirtschaftsbewertung und ist gesetzlich verankert (BGBl. 163/1999, 2000). Die Erhebung erfasst kleinräumig in 2.700 Berichtsgebieten, diese sind oft deckungsgleich mit Gemeindegrenzen, eine hohe Anzahl an pflanzenbaulichen Schlagnutzungen, die der Tabelle 2 entsprechen. Die Primärdaten der Statistik Austria für das Jahr 2010 wurden nicht auf Gemeindeebene, sondern aggregiert auf Kleinproduktionsgebiete ausgeliefert. Mit diesen Daten wurde ein hierarchischer Entscheidungsbaum aufgespannt, der seine Informationen regional in der kleinstmöglichen Einheit wiedergibt. Die Erhebungen der Statistik Austria wurden für die Ertragsdefinition aller Marktfrüchte und von Gemüse, Obst und Wein verwendet.

Die enge Bindung zwischen dem Grundfutterbedarf von Rinderherden auf Grünlandbetrieben und den zwangsweise notwendigen Erntevorräten ermöglicht bei entsprechend leistungswilligen Betrieben eine indirekte Bewertung. Wir sprechen hier vorerst nicht vom tatsächlichen Grünlandertrag, sondern von einer potenziellen Nettofuttermenge aus 2.1.1.5.2. Diese Menge wird für die Ertragsbewertung noch durch unvermeidbare Verluste im Stall, am Lager und bei der Ernte ergänzt und als Bruttofutterbedarf bezeichnet. Aus der Grundgesamtheit aller grundfutterverzehrenden Betriebe wurden 15.649 Betriebe ausgewählt. Diese Betriebe bewirtschaften mindestens 80 % der Fläche als Grünland, haben aber einen Silomaisanteil unter 10 %. Zugleich liegt der Mindesttierbesatz zwischen 0,8 GVE/ und 2,0 GVE/ha. Die Betriebe müssen Milch an die Molkerei abliefern und eine Milchleistung von mindestens 4.500 kg Milch aufweisen.

In drei iterativen Rechenzyklen darf ein interner Bereich zwischen 2.000 und 12.000 kg Futterbedarf pro ha nicht unter- bzw. überschritten werden. Die Nettofuttermenge wird durch zwei Erweiterungsfunktionen zur Bruttofuttermenge. Die erste Funktion beschreibt die Futterreste im Stall in % im Grenzwertintervall 6,5 – 9,0 % ($y = 10,8 - 0,0006 * \text{Nettofutterbedarf kg/ha}$). Die zweite Funktion fasst Extensivierungsverluste, Lagerverluste und Ernteverluste im Grenzwertintervall 15 – 25 % ($y = 32,1 - 0,0024 * \text{Nettofutterbedarf kg/ha}$) zusammen. Die ausgewählten Betriebe sind als Grundgesamtheit über ganz Österreich verteilt. Ihre Ergebnisse fließen in eine geostatistische Analyse ein, die für ganz Österreich eine kontinuierliche Ertragsoberfläche aufspannt. Aus dieser können die Ersatzwerte für alle Betriebe außerhalb der Grundgesamtheit entnommen werden.

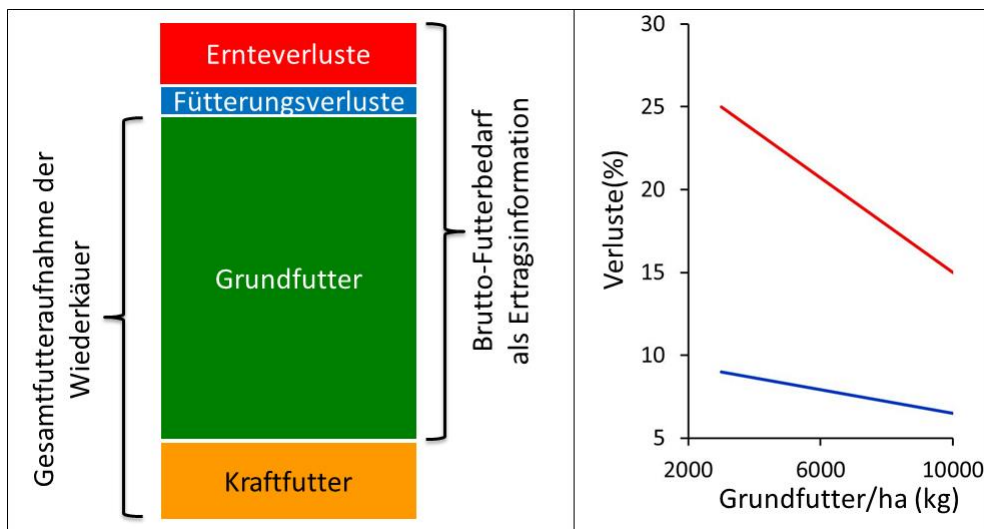


Abbildung 12: Bewertung des Brutto-Futterbedarfs als Grundlage für den Ertrag im Grünland

Die Ertragshebung der Statistik Austria 2010 und die Modellierung eines Bruttofutterbedarfes über den Herdenbedarf ausgewählter Betriebe führen zu plausiblen Ertragsmengen. Diese Mengen stellen bei Marktfrüchten, Obst und Wein schon weitgehend reine Produkte dar, die unter Verwendung diverser Datenquellen auch direkt mit Nährstoffkonzentrationen versehen werden können.

Diese Aussage gilt nur sehr bedingt für Grünlandkonserven. Deren Nährstoffkonzentration ist sehr stark von der physiologischen Reife der Pflanze zum Zeitpunkt der Ernte und von der Art der Konservierung abhängig. Für die Modellierung der Konservierung wurde 2007 eine Befragung aller Maschinenringe in Österreich bezüglich des geschätzten Ernteanteils an Silagen im Grundfutter in gut befahrbaren Lagen durchgeführt (Guggenberger, 2006a). Diese Information fügt sich ebenso wie die Hangneigung der Feldstücke und spezielle Schlagnutzungsinformation sowie ausgewählte Informationen aus den ÖPUL-Maßnahmen (Weide, Silageverzicht) zu einem Bewertungsmodell zusammen. Dieses Modell bewertet Grünfutter als Weide mit einem Index 1, Grassilage mit 2 und Heu mit 3. Unten stehende Abbildung 14 zeigt die nach dieser Methodik als (Alm)Weideflächen in Tirol, Salzburg und Kärnten erfassten Futterflächen in blauer Farbe. Gelb und grün zeigen die von Silage dominierten Flächen, während orange bis braun zunehmend als Heu konserviert wird. Die stetige Klassifikation zwischen reiner Weide und reiner Heuwerbung mit der bedeutenden

Zwischenklasse der Konservierung als Silage weist der Weide einen Anteil von 24 %, der Silage einen Anteil von 50 % und der dominanten Heuwerbung einen Anteil von 26 % zu. Als Ergebnis der ersten beiden Schritte im pflanzenbaulichen Ertrags- und Nährstoffmodell liegen für jeden Betrieb nun jene Stoffmengen vor, die entweder dem Verkauf oder der Veredelung zugeführt werden.

Wie hoch schätzen Sie die Grassilageanteile der einzelnen Schnitte auf den technisch gut silierbaren Flächen ihres Maschinenringes?

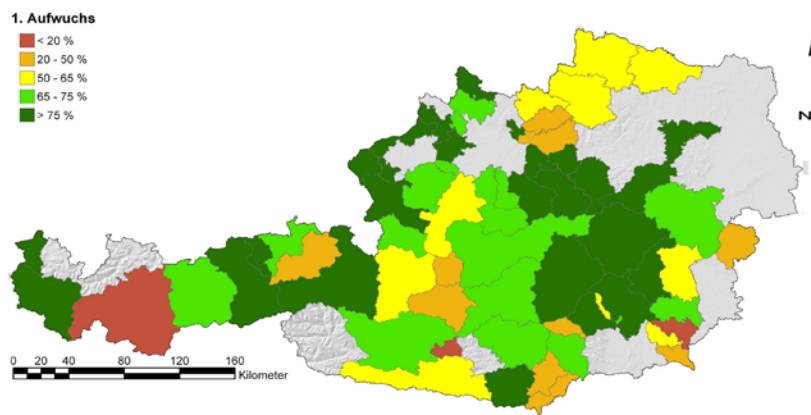


Abbildung 13: Erhebungsdaten aus der Befragung von Maschinenringen

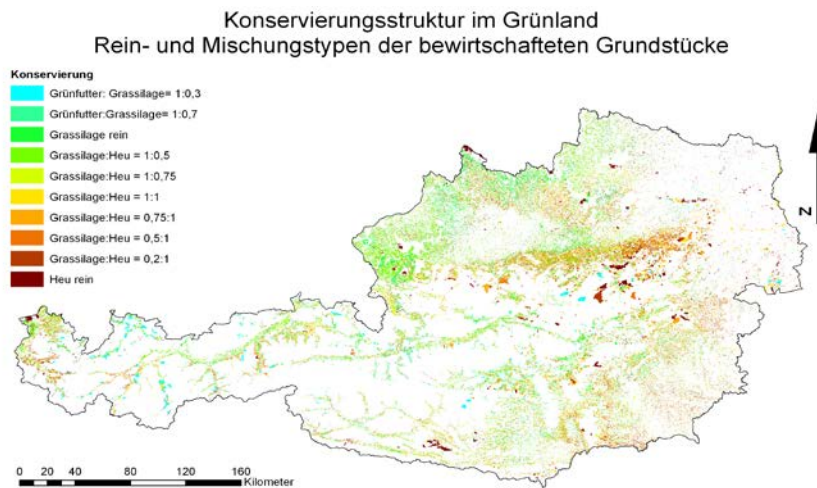


Abbildung 14: Konservierung von Grundfutter in Österreich

Als finaler Schritt verbleibt noch die Definition von Nährstoffkonzentrationen, die den Übergang von quantitativen Masseströmen zu qualitativen Wertgrößen ermöglichen. Wie schon beim Ertrag werden zwei unterschiedliche Techniken eingesetzt, um eine finale Beurteilung zu ermöglichen. Marktfrüchte, Gemüse, Obst und Wein erhalten ihre Werte aus einer relationalen Beziehung zu Futterwerttabellen. Diese Tabellen in ihrer Urform sind Werk der Gesellschaft der Ernährungsphysiologie der landwirtschaftlichen Nutztiere (DLG, 1960, 1997, 2012) oder der humanen Ernährung (Heseker, 2012). Unterschiedliche Werke beschreiben dabei die Hauptnährstoffe (Weender) und die Mengen bzw. Spurenelementgehalte. Das Grundfutter aus dem Grünland und aus dem Silomaisanbau wird nach einer anderen Technik bewertet. Diese Technik

sichert im Ursprung nationales Datenmaterial des Futtermittellabors Rosenau, führt dieses einem statistischen Modell zu und überträgt die Erkenntnisse auf betriebspezifische Daten. Die verwendeten Daten bilden zugleich den Ursprung der nationalen Futterwerttabellen für das Grundfutter (Resch et al., 2006, Wiedner et al., 2001). Ausgehend von einer großen Datensample des Futtermittellabors Rosenau wurde ein komplexes Regressionsmodell entwickelt. Mit diesem kann für alle landwirtschaftlichen Betriebe mit Grundfutterflächen eine Schätzung des Nährstoffgehaltes vorgenommen werden. Wir schließen also mit einem Regressionsmodell auf gesuchte Größen. Die verwendeten Größen beschreiben einerseits den Standort (GIS) oder sie sind Einflussgrößen des Managements. Die Summe der Parameter scheint geeignet, um sowohl die lokale Fruchtbarkeit als auch den Betriebseinfluss zumindest annähernd zu beschreiben. Bei großer Streuung kann das Modell die Parameter in unterschiedlicher Genauigkeit schätzen. R^2 liegt für die Trockenmasse etwa bei 87,3 %, für Rohprotein bei 71,7 %, für die Rohfaser bei 56,7 % und für Rohasche bei 63,4 %. Die Werte der Mengenelemente sind für Calcium 49,9 %, Phosphor 40,8 %, Magnesium 32,3 % und für Kalium 62,9 % (Guggenberger und Bartelme, 2005, Guggenberger et al., 2008). Die Umsetzung der Nährstoffberechnung über diese komplexe Regressionsformel führte in einigen wenigen Fällen zu Ergebnissen außerhalb des empirischen Beobachtungsrahmens. Aus diesem Grund wurde für jeden Parameter die maximale Streubreite über die doppelte Standardabweichung begrenzt. Die granulare Struktur von Erträgen und Nährstoffen zeigt in Simulationen der Landnutzungsform sehr rasch und detailgetreu das Potenzial der Veränderungen. Die Reduktion der Ernährungsleistung kann an den lokalen Betrieben abgelesen und auf nationalen Ebenen summiert werden.

2.1.1.5.4 Nährstoffkreislauf Stickstoff

Grund und Boden sind die wichtigsten Produktionsgrundlagen des Landwirts. Der Grund im Sinne des Besitzes regelt den Umfang der Produktion, der Boden stellt die Grundlage für das Pflanzenwachstum dar. Die richtige Bewirtschaftung der Grundstücke führt zu guten Bodenstrukturen und ausreichenden Nährstoffverfügbarkeiten für angepasste pflanzenbauliche Erträge. Aus dem Wunsch, diese auch langfristig zu erzielen, wird das Gedankengut der Nachhaltigkeit geboren und in der landwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft ausgedrückt. Dieses Konzept fordert eine standortangepasste Produktion, in der keine Nährstoffe verloren gehen (Hess, 1997). Erst durch die Produktion von synthetischen Düngern und die kostengünstige Mobilität von Futtermitteln konnte die Kreislaufwirtschaft in Richtung einer Ertragssteigerung durchbrochen werden. Die Landwirte folgten nach und nach den Gesetzmäßigkeiten der Marktwirtschaft, die bei höheren Stückmengen eine Reduktion der Fixkosten und damit einen gestiegenen finanziellen Ertrag versprechen (Mankiw, 2001). Dies ist auch das Hauptargument der intensiven Landwirtschaft. Realisieren lässt es sich langfristig nicht, da die Ertragssteigerung nur den Marktdruck erhöht.

Alle bisher dargestellten Daten sind direkt oder indirekt Teil des landwirtschaftlichen Nährstoffkreislaufs. Dieses Kapitel verbindet nun alle Teilaspekte erstmals zu einem

Produktionskreislauf und verfolgt dabei eine Bottom-up-Strategie. Berechnet wird grundsätzlich auf Betriebsebenen. Die für den Kreislauf notwendigen Größen werden als Wirtschaftsdünger in Kapitel 2.1.1.5.2 und als Ertragsgröße in 2.1.1.5.3 errechnet. Zusätzlich wird noch eine Abschätzung über den Einsatz von Handelsdünger durchgeführt und die symbiontische N-Bindung durch die Pflanzen bewertet. Im Kreis geführt wird hier der Stickstoff (N). Seine elementare Bedeutung in Pflanzenbau und Tierzucht machen ihn zu einem der am besten geeigneten Parameter zur Beschreibung der biologischen Aktivität; seine Flüchtigkeit in das Grundwasser und in die Atmosphäre führt gelegentlich zu Problemen. N wird, wenn immer möglich, von der Biosphäre gebunden und geht, wenn im Überschuss (immer deutlich merkbar), verloren. In der Luft riechen wir dann den Ammoniak, im Grundwasser finden wir Nitrat.

Die Nährstoffbilanzen landwirtschaftlicher Betriebe können grundsätzlich auf der Feld/Stall-Basis oder auf Hoforbasis berechnet werden (Gutser, 2006, Hege, 1995, Hess, 1997, Pötsch, 1998). Erstere untersucht die Bilanzierungszusammenhänge der landwirtschaftlichen Fläche mit den Entzugsparametern (Ertrag und Nährstoffgehalt, Auswaschung) und den Parametern der Zufuhr (Mineraldünger, wirtschaftseigener Dünger, symbiontische N-Bindung, Mobilisation, Deposition). Im exaktesten Fall dieser Bilanzierung wird der einzelne Bewirtschaftungsschlag im Rahmen einer Düngeplanung zum Zielgebiet der Bilanzierung. Fallweise werden aber auch gleichartige Schläge gemeinsam untersucht. Wird eine Hoftor-Bilanz erstellt, ist immer der landwirtschaftliche Betrieb als gesamte Einheit von Interesse. Da weder die betriebseigenen Futtermittel noch der Wirtschaftsdünger bekannt sein müssen, stellt diese Form eine „Black-Box“ dar, welche interne Zusammenhänge des Betriebes kapselt. Der Vorteil dieser Bilanzierungsart liegt in der leichteren Erhebung der betrieblichen Entzugsmengen über landwirtschaftliche Produkte sowie der zugeführten Mengen an Futter- und Düngemitteln. Die Grenzen dieser Methode liegen aber dort, wo spezielle betriebsinterne Kenntnisse benötigt werden. AGS liefert diese modellierten Inputs, die für Grünlandbetriebe bereits in Anwendung gebracht wurden (Guggenberger, 2006a, 2006b).

Gutser (2006) zeigt eine besonders übersichtliche Darstellung der Bilanzierungsvarianten in Abbildung 15. In vier Detailabbildungen werden dabei die allgemeinen Nährstoffflüsse im landwirtschaftlichen Betrieb (1), die Betriebsbilanz nach der Hoftor-Bilanz (2), die Flächenbilanz nach der Feld/Stall-Methode (3) und die Schlagbilanz (4) dargestellt. Die wichtigsten belegbaren Nährstoffströme sind der Zukauf von Futtermitteln, Dünger, Saatgut und Vieh sowie der Verkauf von Produkten. Der Anfall der Düngermengen kann nach dem Berechnungsmodell der Europäischen Kommission dynamisch geschätzt werden (European Commission, 1999). Für die Schätzung der symbiontischen N-Bindung durch Leguminosen liegt eine große Anzahl von Untersuchungen vor (Boller und Nösberger, 1987, Gruber et al., 2000, Lüscher, 1989, Milimonka et al., 1996, Pötsch, 1998). Von Bedeutung ist hier das quantitative Niveau, die Verdrängung von Leguminosen durch die N-Düngung und die Bindungskapazität der einzelnen Leguminosen. Problematisch erweist sich die lokale Schätzung der Nachlieferung von Stickstoff aus dem Boden. Dieses kleine Wunder stellt für sich ein eigenes Modell dar, das stark von bodenkundlichen Aspekten, den klimatischen Langzeitbedingungen, dem aktuellen Wetter und dem Status des

gesamten Nährstoffpools im Boden abhängt. Ähnliches gilt für die Lieferung von Stickstoff aus der Luft (Deposition) und die N-Auswaschung in das Grundwasser.

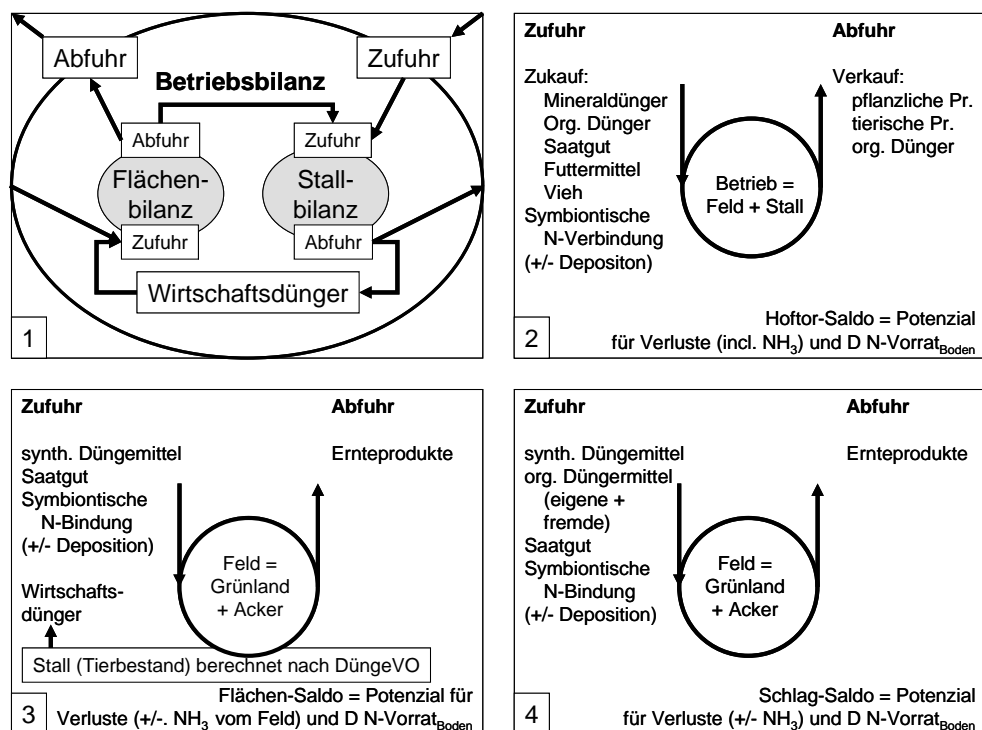


Abbildung 15: Ansätze zur N-Bilanzierung nach (Gutser, 2006)

Eine nähere Betrachtung wird an dieser Stelle auf die Bewertungen im Rahmen von „Livestock Manures“ gelegt (European Commission, 1999). Die N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung werden im Rahmen des EK-Modells durch eine additive Bewertungskette abgebildet (Formel 8).

Formel 8: Bewertung N-Dünger nach EK, 1999

$$N_{Manure} = Diet_{Intake} \cdot Diet_{N-Concentration} - Product_{Amount} \cdot Product_{N-Concentration} - Losses_{Building, Storage, Grazing}$$

Die N-Aufnahme der einzelnen Tierkategorien kann aus 2.1.1.5.2 abgeleitet werden. Die Produktmenge wurde für die Milchproduktion zum Teil in 2.1.1.4.2.3 abgebildet. Die Rohleistung der Milch wird noch um die Tränkemilch, den Eigenverbrauch und unvermeidliche Verluste ergänzt. Da im INVEKOS keine Tabelle für die Fleischleistung der Tierarten vorliegt, wurde diese aus den Tierklassen in Ergänzung mit nationalen Mittelwerten für Mast-/Lebensdauer und Ausschachtung berechnet. Den Rohmengen wurden eine tierspezifische Fett/Fleisch-Verteilung und ein spezifischer N-Gehalt des Gewebes unterstellt. Als unvermeidbare Verluste am Lager wurden von EK für Rinder 10 %, für Schweine 25 %, für Geflügel 30 %, für Schafe, Ziegen und Pferde 10 % von den ausgeschiedenen N-Mengen festgelegt. Die Ergebnisse der N-Ausscheidungen wurden mit dem nationalen Aktionsprogramm Nitrat (CELEX Nr. 381L0676, 2012) und der 6. Richtlinie für sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) verglichen. Tierartspezifische Abweichungen sind festzustellen, diese halten sich aber im Rahmen einer

natürlichen Verteilung. Weitere unvermeidbare Verluste ergeben sich bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger. Diese wurden, in Anlehnung an die Richtlinien für sachgerechte Düngung mit Gülle, mit 13 % bewertet (BMLFUW, 2006). Eine vollständige Feld/Stall-Bilanz kann den standortgerechten Umgang mit N nach folgender Formel beschreiben, wobei die fett gedruckten Bestandteile hier modelliert wurden:

Formel 9: N-Feld/Stallbilanz

$$\begin{aligned}
 \text{Bilanz}_{\text{Feld/Stall}} = & \text{Düngung}_{\text{Wirtschaftsdünger+Handelsdünger}} \\
 & + \text{Symbiontische Bindung}_{\text{Leguminosen}} \\
 & + \text{Nachlieferung aus dem Boden}_{\text{Mobilisation}} \\
 & + \text{Nachlieferung aus der Luft}_{\text{Deposition}} \\
 & - \text{Entzug durch die Pflanzen}_{\text{Erntegut} \times \text{N-Konzentration}} \\
 & - \text{Auswaschung}_{\text{Grundwasser}}
 \end{aligned}$$

Die N-Nachlieferung wird stark von der bodenkundlichen und pflanzenbaulichen Historie des Standorts, sowie dem aktuellen Witterungsverlauf beeinflusst. Die Spanne der gemessenen Bereiche ist weit, die 6. Richtlinie für eine sachgerechte Düngung sieht rund 100 kg N/ha/a als mittleres langfristiges Stickstoffnachlieferungspotenzial an. Für die Summe aller Eintragspfade der atmosphärischen Deposition liegen in Österreich einige Untersuchungen vor, die in einem Bereich zwischen 10 und 15 kg N/ha/a liegen (Pötsch, 1998, Smidt und Obersteiner, 2005). Für die Schweizer Ballungsräume wurde aber auch mehr als das Doppelte dieses Wertes gemessen (Bundesamt für Umwelt, 2010). Die N-Auswaschung wurde von Pötsch (1998) für Grünland mit 5 kg N/ha/a angegeben. Im Ackerbau ist auf leichten Böden in niederschlagsreicheren Regionen aber ein Vielfaches möglich.

2.1.1.5.5 Energetische Bewertung der Stoffflüsse

Der im vorigen Kapitel besprochene Stickstoff steht als Parameter einer an den Standort angepassten Landwirtschaft exemplarisch für das Nährstoffmanagement. Das in diesem Kapitel dargestellte Energieflussmodell beschreibt viel stärker die Ressourcenabhängigkeit und die Effizienz der Betriebe in ihren Produktionssystemen. Die in Abbildung 4 eingeführten Märkte werden mit den Informationen der pflanzenbaulichen und tierischen Fachmodelle befüllt und um die Vorleistungen ergänzt. Vier bedeutende Bereiche werden im Modell bewertet. Diese sind:

1. Die stoffliche Fracht: Die bewerteten Materialien werden dafür zuerst nach ihrer natürlichen Menge bestimmt und dann um den Wasseranteil korrigiert. Die verbleibende stoffliche Fracht wird als Trockenmasse mit ihrem Gewicht in Tonnen angegeben. Diese rein quantitative Aussage verliert dann ihre Bedeutung, wenn unterschiedliche Stoffe über räumliche Einheiten aggregiert werden. Deshalb wird das Stoffgerüst in Punkt 2-4 in qualitative Größen umgewandelt und kann so räumlich bewertet werden.
2. Der Brennwert: Die einfachste Energiebestimmung organischer und anorganischer Stoffe ist deren Verbrennung. Im Bombenkalorimeter werden solche Stoffe bei Sauerstoffatmosphäre und hohem Druck verbrannt. Die entstehende Wärme wird von einem flüssigen Medium

aufgenommen. Aus dem Grad der Erwärmung kann auf den Energiegehalt – nun eine qualitative Größe – geschlossen werden. Für pflanzliche Stoffe kann die Gesamtenergie auch aus den Rohnährstoffen berechnet werden (DLG, 1997). Die dazu verwendete Formel lautet:

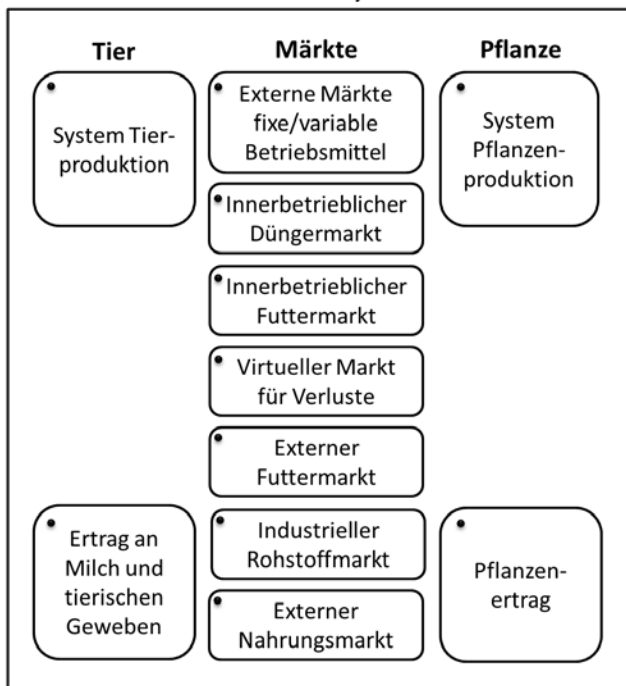
Formel 10: Berechnung des kalorimetrischen Brennwertes

$$\begin{aligned} \text{Gesamtenergie MJ} = & \\ & 0.0239 \text{ Rohprotein} \\ & +0.0398 \text{ Rohfett} \\ & +0.0201 \text{ Rohfaser} \\ & +0.0175 \text{ Stickstofffreier Extrakt} \end{aligned}$$

Die Faktoren zeigen, dass Fett die höchsten Brennwerte anzeigt und in den N-freien Extraktstoffen (oft finden sich hier Stärke und Zucker) die geringste Brennenergie zu finden ist. Rohprotein verbrennt etwas energiereicher als die Baustoffe der Pflanzen in der Rohfaser.

3. Die Nahrungsenergie: Noch viel deutlicher wird der Unterschied in der Wirkung der einzelnen biologischen Stoffgruppen unserer Nahrung, wenn man den Pfad der thermischen Verbrennung verlässt und die Verwertung durch unterschiedliche Nutzer analysiert. Entscheidend für die Effizienz der Verwertung von Stoffen durch Lebewesen ist die individuelle Fähigkeit, Nährstoffgruppen zu spalten. Wiederkäuer sind hervorragend an die Verwertung von rohfaserreicherem Gras angepasst. Sie besitzen ein mehrhöhliges Verdauungssystem mit einem großen ersten Magen, dem Pansen. In diesem wird das vielfach mechanisch vorbereitete Futter durch Bakterien so für die Tiere aufbereitet, dass auch bei schlechten Grasqualitäten ein Überleben möglich ist. Wenn sich Menschen, aber auch Schweine, rein vegetarisch ernähren, müssen hohe Qualitäten und Stoffdichten an pflanzlicher Nahrung bereitgestellt werden. Diese finden sich nicht in der Struktur der Pflanze sondern immer in den Speicherorganen oder Samen. Noch dichter ist die stoffliche Dichte in tierischen Geweben oder in Milch. Zwischen dem thermischen Potenzial einer Nahrungsquelle und dem tatsächlichen Nährwert liegt eine Bewertung, die den Wirkungsgrad im Rahmen der Ernährung anzeigt. Solche Wirkungsgrade können indirekt über die nicht verwerteten, also ausgeschiedenen Stoffe berechnet werden. Der Wirkungsgrad variiert je nach Nahrungsquelle, erreicht aber nie das thermische Potenzial. Die Nahrungsenergie wird in GJ_{VE} angegeben.
4. Das Nahrungsprotein: Protein ist zwar auch Teil der Energiebewertung, hat aber wegen seiner Fähigkeit, bedeutende Aminosäuren zu liefern, noch eine weiterführende Bedeutung in der menschlichen Ernährung. Das Nahrungsprotein wird in kg angegeben.

Landwirtschaftliche Produktionssysteme und ihre Märkte



Parameter: Quantitativ als Gewicht
 Qualitativ als Brennwert, Nahrungsenergie und Rohprotein

Abbildung 16: Landwirtschaftliche Produktionssysteme und begleitende Märkte

Nutzungspfad: Marktfruchtbetrieb

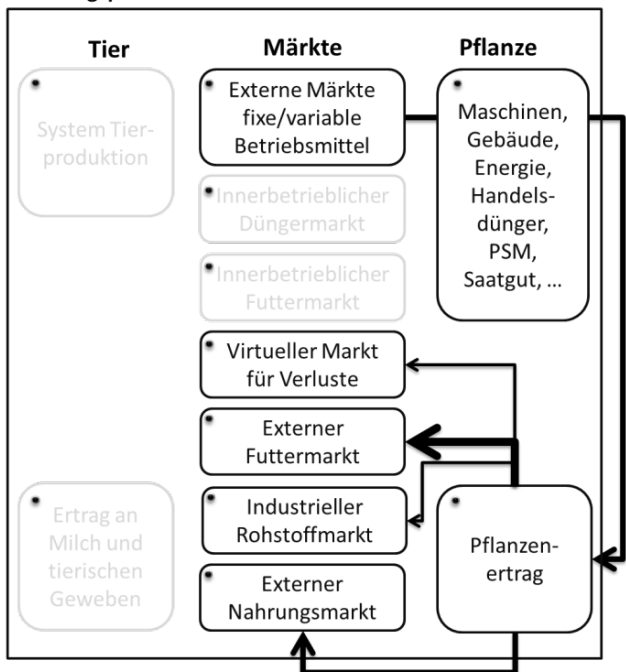


Abbildung 17: Nutzungspfad im Marktfruchtbetrieb

Nutzungspfad: Rinderhaltung

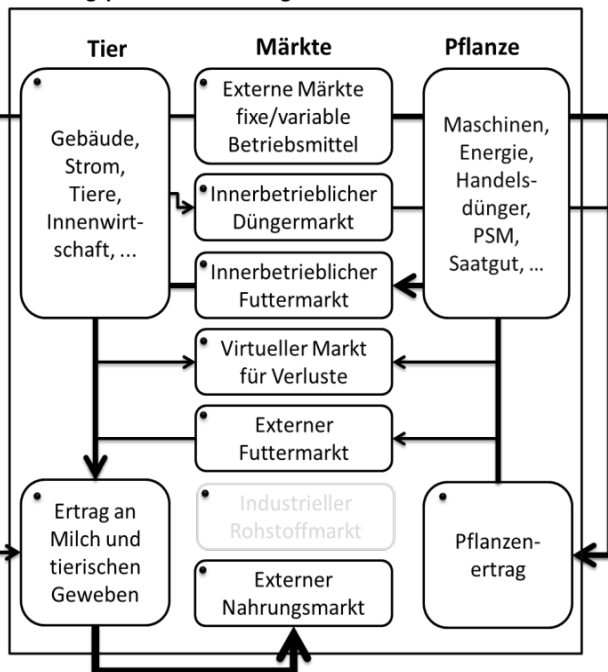


Abbildung 18: Nutzungspfad in der Rinderhaltung

Mit den vier genannten Parametern können grundsätzlich zwei unterschiedliche Bewertungen umgesetzt werden:

1. Bewertung der allgemeinen Effizienz eines Produktionssystems auf der Ebene der Gesamtenergie: Auf dieser Ebene können alle an der landwirtschaftlichen Produktion beteiligten Stoffe bewertet werden. Brennwertenergie trägt jeder Stoff direkt oder indirekt als Vorleistung in sich. Brennwertenergie steckt in Pflanzen, Milch und tierischen Geweben ebenso wie im Diesel und in der Vorleistung für die Produktion von Maschinen und Gebäuden. Der Strombedarf lässt sich von Wattstunden auf Joule umrechnen ($1 \text{ Wh} = 3.600 \text{ J}$). Die bedeutendsten Bereiche wurden bei der Beschreibung der AGS in 2.1.1.5.1 angeführt. Die Effizienz wird als Koeffizient zwischen Input und Output berechnet.
2. Angaben über die Produktionsleistung an Nahrungsenergie: Für die Bewertung werden mehrere Ebenen angelegt. Diese sind die Milch- und Fleischproduktion und die pflanzliche Nahrungsenergie aus dem Getreidebau sowie von Obst, Gemüse und Weinbau.

Die in Abbildung 4, dem UML-Diagramm der Nahrungsbereitstellung, bereits grob definierten Märkte werden in Abbildung 16 gemeinsam mit den landwirtschaftlichen Produktionssystemen noch genauer aufgelöst. Zwei von 20 möglichen Nutzungspfaden werden in Abbildung 17 und Abbildung 18 genauer dargestellt:

- Nutzungspfade im Marktfruchtbetrieb: Auf Basis der Schlagnutzungsinformationen und der davon abgeleiteten Produkte benötigen landwirtschaftliche Betriebe verschiedene Hilfsmittel und Verbrauchsgüter von externen Märkten. Als fixe Ausstattung werden Maschinen nach Vorgabe von Standardmechanisierungskatalogen an die Betriebsgröße und die lokalen Feldarbeitstage angepasst. Diesen Maschinen werden aliquote Gebäudestrukturen zugeteilt. In Verbindung mit der Schlagnutzungsinformation wird der Saatgutbedarf festgestellt, und in Anlehnung an Kapitel 2.1.1.4.2.4 und 2.1.1.5.4 werden Handelsdüngermengen berechnet. Die pflanzenbaulichen Erträge aus Kapitel 2.1.1.5.3 werden nach einem Nutzungsmodell mit Verlusten versehen und in Abhängigkeit der Ausgangslage verschiedenen Endmärkten zugeteilt. Körnermais etwa wird über den Futtermittelmarkt abgeführt, Stärkekartoffel über die industrielle Verwertung. Gemüse, Obst und Wein sowie verschiedene Brotgetreide reichern den externen Nahrungsmarkt direkt an. Interne Zyklen sind nicht notwendig.
- Nutzungspfade der Rinderhaltung: Die Besatzdichten landwirtschaftlicher Nutztiere aus 2.1.1.4.2.2, die Leistung der Milchproduktion aus 2.1.1.4.2.3 sowie die Fleischproduktion sind die entscheidenden Treiber für die tierische Leistungserstellung. Gemäß 2.1.1.5.2 zieht das System Tierproduktion Grund- und – bei eigenem Anbau – auch Kraftfutter vom innerbetrieblichen Futtermarkt. Externe Futtermärkte werden zusätzlich angesprochen. Die für die Tierproduktion notwendigen Gebäude, der Strombedarf sowie die Innenmechanisierung werden über die Herdenbeschreibung abgerufen. Als Leistungen erstellt das System Tierproduktion Produkte für den externen Nahrungsmarkt sowie Wirtschaftsdünger für den innerbetrieblichen Düngemarkt. Der Austausch von Zuchttieren auf eigenen Märkten wurde

nicht berücksichtigt. Der pflanzenbauliche Aspekt in diesem komplexeren Modell definiert seine Schlagnutzungen wieder aus 2.1.1.4.1.1. Von externen Märkten werden Maschinen, Diesel, eventuell auch Handelsdünger und Saatgut geliefert. Der interne Wirtschaftsdüngermarkt ergänzt die Düngermengen am Feld. Alle Inputgrößen dienen der Produktion pflanzenbaulicher Erträge, die im Falle von Rinderbetrieben fast immer an den internen Futtermarkt geliefert werden.

Die gezeigten Nutzungspfade wurden im System Agricultural GIS Sphere (AGS) dynamisch implementiert. Dieser Aspekt ermöglicht eine Simulation sich ändernder Input/Output-Ströme im Gesamtkonzept. Das Parameterset einiger Simulationen wird in Kapitel 5 vorgestellt.

2.1.2 Die Forstwirtschaft

Holz ist vielseitig. Als dauernd verholzte Pflanzen konservieren Bäume die Leistung ihrer alljährlich erbrachten Photosynthese in ihrer Sprossachse, dem Stamm. Dieser kann, bei entsprechender Ausformung, multipel verwertet werden. Als Konstruktions- und Baumaterial bildet Holz eine natürliche, endlose Ressource mit äußerst geringen Umweltwirkungen. Dieser Aspekt wird zunehmend von Bedeutung, da Holz als Baumaterial eine langjährige CO₂-Senke darstellen kann. Am Ende der kaskadischen Nutzung als Wertstoff steht die Verbrennung. Dort vereint sich das Altholz mit den nicht werthaltigen Baumanteilen wie Ästen, Wurzelstöcken und dergleichen. Gemeinsam sprechen wir letztlich vom forstlichen Energieholz. Dieses Kapitel zeigt Modelle und Daten, die eine Bewertung der bedeutendsten Aspekte einer lokalen Forstwirtschaft ermöglichen. In Kapitel 4 wird ein bedeutender Teil des Bezirkes Liezen in der Steiermark als Testgebiet definiert. Die Struktur ist so granular, dass sie gut für Simulationen geeignet ist.

2.1.2.1 Gesamtmodell

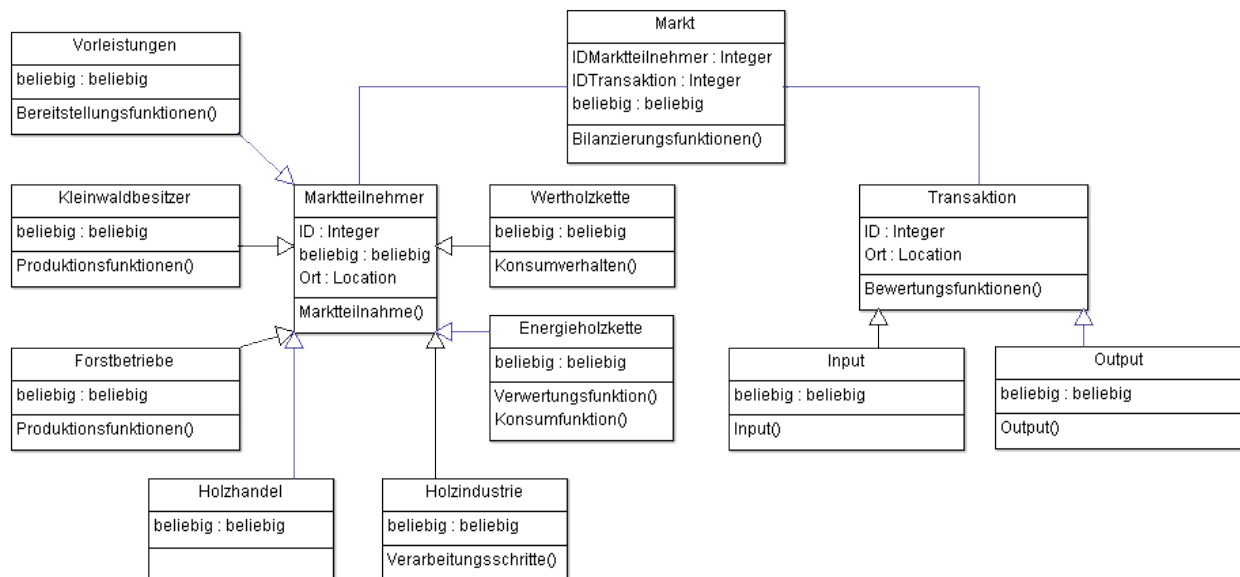


Abbildung 19: UML-Diagramm des Holzmarktes

Ähnlich dem Nahrungsmarkt soll Abbildung 19 für den Holzmarkt eine erste Gesamtübersicht ermöglichen, um dann im nächsten Kapitel ein Grobmodell der Bewertungsansätze und des Datenbedarfes zu zeigen. Am Holzmarkt befinden sich wenige eindeutige Teilnehmer, die klare Funktionen wahrnehmen. Der bedeutendste Unterschied zur Landwirtschaft: Die Forstwirtschaft kommt ohne interne Verwertungszyklen aus. Die Marktteilnahme der Endprodukte zerfällt bei der Holznutzung in zwei Konsumfunktionen. Die klarer definierbare Nutzung ist die Energieholznutzung, wobei etwa die Hälfte des verfügbaren Holzes thermisch verwertet wird (Strimitzer, 2014). Energieholz wird entweder in der eigenen Feuerstätte oder in größeren Heizwerken verbrannt. Die dabei auftretenden Energieholzformen sind vorgefertigt und an die Feuerstätte angepasst. In Heizwerken wird ausschließlich Hackgut verwertet, Kleinfeuerstätten verwenden Scheitholz oder Holzpellets. Für die spätere Bewertung dieser Konsumfunktion im

Energieholzbereich ist deshalb ein Datensatz über die Ausstattung der Wohngebäude mit Feuerstätten von großer Bedeutung. Konsumenten beteiligen sich aber auch an der Wertholzkette. Eine Massendifferenzierung auf dieser Ebene ist nicht möglich, die Transaktionen sind weitgehend unbekannt. Fast immer bereitet die Holzindustrie – zu dieser gesellen sich in letzter Zeit immer mehr Fertighausfirmen – den Rohstoff Holz zu verschiedensten langlebigen Konsumgütern auf. Große Sägewerke sind integrierter Teil der Holzindustrie. Sie beziehen ihre lokale Rohware entweder direkt von den Kleinwaldbesitzern oder den Forstbetrieben. Die Betriebsstruktur könnte dabei nicht unterschiedlicher sein. 1% an Großbetrieben bewirtschaftet die Hälfte der Waldfläche. Die andere Hälfte teilen sich 143.500 Betriebe auf. (Bundesamt für Wald, 2015). Die innovative Holzindustrie in Österreich und die hohe Akzeptanz von großen Biomasseheizwerken benötigt aber zusätzlich Importholz, das in einem Ausmaß von rund 31% an der Gesamtholzaufbringung beteiligt ist (Strimitzer, 2014). Die Vorleistungen in Forstbetrieben weichen deutlich von jenen der landwirtschaftlichen Betriebe ab. Forstbetriebe kennen keine prozessgesteuerten Anpflanzungen, Veredelungen und Wachstumszyklen unter Einsatz von Saatgut, Dünger, und dgl. Die wesentliche Vorleistung im modernen Forstbetrieb ist ein für Lastkraftwagen geeigneter Forstweg. Dieser ist der zentrale Punkt der Bringung mit unterschiedlichsten Maschinen, die alle von fossiler Energie angetrieben werden. Die Transaktionsliste des gesamten Marktes ist – ebenso wie bei der Landwirtschaft - nicht verfügbar. Dieser Aspekt engt die Analyse der tatsächlichen Bereitstellung am gesamten Markt auf Aussagen zur potenziellen Nutzungsmenge an forstlicher Bioenergie ein.

2.1.2.2 Naturwissenschaftlicher Hintergrund

Im Gegensatz zur Landwirtschaft benötigt die Forstwirtschaft keine weitere Spezifikation auf den Märkten. Viel bedeutender sind die natürlichen Einflüsse auf das Waldwachstum. Die lokale Wachstumsdynamik der Individuen orientiert sich an den Standortbedingungen, wobei neben der Nährstoffversorgung vor allem die Temperaturverhältnisse eine entscheidende Rolle spielen (Hermes, 1955, Körner, 1998, Paulsen et al., 2000). Mit zunehmender Höhe reduziert sich in Folge der sinkenden Jahresdurchschnittstemperatur die Vegetationszeit. Knapp unter einer Seehöhe von 2.000 Meter finden sich im Projektgebiet die letzten Bäume (Baumgrenze), die geschlossene Waldnutzungsgrenze liegt aber deutlich tiefer (Guggenberger, 2008). Eine geschlossene Waldecke wäre in vielen österreichischen Regionen das Klimax-Stadium. Tatsächlich wird der Wald im Hochgebirge durch natürliche Freiflächen (Lawinenrinnen, Felswänden, ...) und in den Tälern durch alle Arten von anthropogenen Rodungsinseln unterbrochen. Da sich die Temperatur als entscheidender Parameter herauskristallisiert hat, könnte ein grobes Schätzmodell der forstlichen Biomasse auf dem Höhenmodell einer Region aufbauen. Für diese Vorgehensweise wäre eine Wachstumsfunktion zu erstellen, die in Österreich unter Berücksichtigung der forstlichen Ertragstabeln zu errichten wäre (Ritter von Guttenberg, 1915). Diese Funktion könnte über ein digitales Höhenmodell ausgebreitet und um die Nicht-Wald-Flächen bereinigt werden. Diese Technik hätte zwei entscheidende Nachteile: Erstens wäre sie rein theoretisch und würde auch den Besonderheiten der lokalen Standortbedingungen (Mikroklima, ...) wenig gerecht werden und zweitens würde sie die Managementtätigkeit des Menschen nicht berücksichtigen. Durch die

Verfügbarkeit der österreichweiten Waldkarte (ÖWK) (Bauerhansl et al., 2007), einem Datenverbund aus einem Fernerkundungsdatensatz (NASA, 2013) und den Messpunkten der Österreichischen Waldinventur (Bundesamt für Wald, 2013), muss der funktionelle Ansatz nicht mehr weiter verfolgt werden. Auf dem Fundament des lokal weitgehend bekannten Holzvorrates kann die forstliche Nutzungskette bewertet werden.

In diese Bewertung müssen drei Aspekte eingebracht werden:

1. **Rechtliche Aspekte:** Die Waldnutzung unterliegt in Österreich einer strengen gesetzlichen Grundlage (Forstgesetz, 1975), die sowohl die Walddefinition als auch die Nutzungsbedingungen umfasst. Im Projektgebiet wird die allgemeine Nutzung durch ausgeprägte Schutzfunktionen räumlich deutlich eingeschränkt. Diese Einschränkung betrifft aber vor allem Wälder in geringer Ertragslage. Weitere gesetzliche Nutzungseinschränkungen sind nicht vorgesehen.
2. **Praktische/Ökonomische Grenzbedingungen:** Für die praktische Nutzbarkeit der Wälder spielen mehrere Aspekte eine große Rolle. Um den einzelnen Baum zu pflegen und zu ernten muss die Erreichbarkeit gegeben sein. Diese ist einerseits in einen makrodynamischen Effekt der Erschließung der Wälder über Forststraßen und in einen mikrodynamischen Effekt der möglichen Pflege-/Erntetechnik zu unterteilen. Beide Aspekte sind eng mit den ökonomischen Chancen der Waldbewirtschaftung verbunden.
3. **Managementtätigkeit:** Ungeachtet der aufgezählten Aspekte spielt die innere Haltung der Waldbesitzer für die tatsächliche Pflege/Ernte eine entscheidende Rolle. Waldflächen im Projektgebiet werden wohl mit den unterschiedlichsten intrinsischen Haltungen bewirtschaftet. Die Spanne beginnt beim intensiv bewirtschafteten Wald als Lebensgrundlage der Besitzer und endet beim einzelnen desinteressierten Kleinwaldbesitzer ohne Handlungsambitionen. Dazwischen angesiedelt sind die Besitzer großer, geschlossener Flächen, die eine gemischte Managementtätigkeit (Forst, Jagd, Wertsicherung von Kapital, ...) anwenden.

Das Grobkonzept zur Abschätzung der Nutzung wird in Formel 11 dargestellt.

Formel 11: Potenzielle Jahresnutzung in der Forstwirtschaft

$$\text{Jahresnutzung pro Fläche} = \frac{\text{Holzvorrat}}{0,5 \text{ Umtriebsdauer}} \times \text{Nutzbarkeit} \times \text{Nutzungswille}$$

2.1.2.3 Potenzielle Simulationsgrößen

Für eine Simulation bieten sich zwei Teilbereiche an:

1. Der erste Teilbereich betrifft die prinzipielle Nutzung von Flächen als Forstflächen. Im Rahmen der fortschreitenden Extensivierung der Landwirtschaft könnten ehemalige, extensive Wiesenflächen und Almen in Forstflächen umgewandelt werden. Deren Nutzungspotenzial ist vorerst zwar hoch, eine tatsächliche Nutzung liegt aber wegen der notwendigen Umtriebszeit weit in der Zukunft, auf jedem Fall aber außerhalb jedes Simulationszeitraumes. Umgekehrt

könnte eine extrem steigende Nachfrage innerhalb kürzerer Zeit zu einem deutlich höheren Einschlag führen. Dies ist möglich und seit dem Anstieg der Holzpreise seit 2010 auch tatsächlich geschehen.

2. Der zweite Teilbereich betrifft die Parameter in Formel 11. Das Waldwachstum selbst kann nur durch einen Anstieg der Temperatur gefördert werden. Die Nutzbarkeit ist wegen des gut ausgebauten Forstwegenetzes in Österreich und den vielen technischen Möglichkeiten schon in einer gegenwärtigen Bewertung sehr hoch. Nur der dritte Parameter, das ist der Nutzungswille, kann über das Verhalten der Kleinwaldbesitzer auch praktisch angehoben werden.

2.1.2.4 Datengrundlage

2.1.2.4.1 Landbedeckung

Zur Absicherung und Prüfung des Hauptdatenbestandes der ÖWK wird ein bestehender Datensatz des EU-Projektes Alpinet Gheep verwendet (Guggenberger et al., 2008). Es handelt sich dabei um ein Spot-5-Satellitenbild vom 20. Juli 2003, welches nach der Methode der überwachten Klassifikation interpretiert wurde. Die Auflösung der Satellitenbilddaten beträgt 10 Meter.

2.1.2.4.2 Holzvorrat

Der österreichische Holzvorrat wird periodisch auf der Grundlage von § 130, Abs. 1, Z. 2 Forstgesetz 1975, i.d.g.F. und von § 4 Abs. 1, Z.1 des Agrarrechtsänderungsgesetzes 2004 durch das Bundesamt für Wald erhoben. Die aktuell vorliegenden Daten stammen aus der Periode 2007 - 2009 (Lackner und Schadauer, 2011). Als räumliches Untersuchungsgebiet gilt die Erhebungseinheit „Trakt“. Ein Trakt ist ein quadratisches Polygon mit einer Kantenlänge von 200 Metern, welches exakt in die Haupthimmelsrichtungen orientiert ist. Diese Flächen sind als Dauerprobenflächen definiert und ermöglichen die Entwicklung von Zeitreihen. Die Trakte selber werden im Abstand von 3,89 km homogen über das Bundesgebiet verteilt (Hauk und Schadauer, 2009). Die Datenerhebung innerhalb der Trakte folgt normierten Vorgaben, die Daten werden für die Veröffentlichung auf verschiedene räumliche Ebenen aggregiert. Die kleinste mit dem Projekt assoziierte Ebene ist die Bezirksforstinspektion Liezen, die dem politischen Grenzpolygon des Verwaltungsbezirkes entspricht. Das vergleichsweise kleinräumige Projektgebiet geht somit in der Inventur unter. Dieses Problem wurde allerdings vom Bundesamt für Wald inzwischen durch die Veröffentlichung der ÖWK basierend auf der Österreichischen Waldinventur behoben (Bauerhansl et al., 2007). Die ÖWK entsteht durch eine methodische Überlagerung von Bildern der Fernerkundung mit den Informationen der Waldinventur. Mit Methoden der Fernerkundung wurden an den Zentralpunkten der Probenflächen spektrale Informationen aus Landsat-7 Satellitenbildern (NASA, 2013) und nationalen Orthofotos entnommen. Die Satellitenbilder stammen aus einer Erfassungskampagne in den Jahren 2000 - 2003. Unterschiedliche Helligkeitswerte, die in Folge verschiedener Expositionen entstehen, wurden in einem Vorbereitungsschritt radiometrisch korrigiert (Erdaş, 2010). Die Informationen der Fernerkundung wurden mit den lokalen Waldarten und deren Holzvorrat erweitert. Nach der Methode k-nearest-neighbour (kNN) wurde das Punktgerüst mit seinen Informationen auf die gesamte Fläche ausgebreitet. Der Bewertungsprozess

großräumiger Fernerkundungsprojekte im alpinen Bereich wird häufig durch Bildlücken (Bewölkung) gestört. Für dieses Problem müssen ebenso Lösungen gefunden werden wie für die Unterschiede zwischen Landbedeckung und Landnutzung. Fernerkundungsprozesse liefern vordergründig immer Landbedeckungsinformationen, während die Landnutzung durch die sachlichen Regeln der Waldinventur beschrieben wird. Letztlich konnte von der Projektgruppe aber ein Geodatensatz vorgelegt werden, welcher in seiner Flächenausbreitung nahe der terrestrischen Erhebung der Waldinventur angesiedelt ist. Diese Daten liegen in einer nationalen Projektion mit der Originalauflösung des Satellitenbildes (30 Meter) vor.

Folgende Parameter können der ÖWK entnommen werden:

- Holzvorrat pro Zelle in Vorratsfestmeter
- Baumartenklasse pro Zelle in der Abstufung Nadelwald, Nadel-/Laubwald, Laub-/Nadelwald, Laubwald, ohne auf einzelne Baumarten einzugehen.

2.1.2.4.3 Nicht-Wald

Da die österreichweite Waldkarte aus dem Jahr 2003 stammt und in den letzten 10 Jahren einige großflächige Veränderungen in Folge von Starkwindereignissen zu verzeichnen waren, wurden die Nicht-Wald-Flächen im Waldgebiet manuell digitalisiert.

Folgender Parameter wurde erhoben:

- Logischer Wert über die Information der Nicht-Wald-Fläche

2.1.2.4.4 Geländemodell

Siehe 0 Für jedes Feldstück werden eine oder mehrere Schlagnutzungen definiert. Diese können bei der Beantragung aus einer Liste ausgewählt werden. Für eine qualitative Beschreibung werden ähnliche Schlagnutzungsarten zu Schlagnutzungsgruppen zusammengefasst. In Summe wurden 2,77 Millionen ha an TAFL erhoben. Der Datensatz im INVEKOS (Integriertes Verwaltung- und Kontrollsystem) trägt die Bezeichnung L037.

Digitales Geländemodell BEV.

Folgende Parameter wurden erhoben/abgeleitet:

- Seehöhe in Meter
- Geländeneigung

2.1.2.4.5 Leitfunktion des Waldes

Die Leitfunktion des Waldes folgt dem Datensatz der Abteilung 7 Landes- und Gemeindeentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation des Landes Steiermark.

Folgender Parameter kann genutzt werden:

- Leitfunktion des Waldes

2.1.2.4.6 Wegenetz

Das Wegenetz hat seinen Ursprung im Geodatenatz der Open-Street-Map. Über das Datenportal „download.geofabrik.de“ wurde eine aktuelle Version des nationalen Wegenetzes angefordert (Geofabrik, 2013). In diesen Daten finden sich neben den tatsächlichen Wegen auch Wegstrukturen der Freizeitgestaltung (Wanderwege, Mountainbike, ...). Diese wurden aus dem Datensatz entfernt. Zusätzliche Wege wurden nach einer Vollständigkeitsprüfung auf Basis des aktuellen österreichischen Luftbildes eingezeichnet.

Nutzbarer Geodatenatz:

- Linienstruktur des Wegenetzes ohne Bewertung der Wegfunktion

2.1.2.4.7 Waldbesitzer

Das Projektgebiet wird im Rückzugsraum der hochalpinen Landschaft von sehr wenigen Besitzern bewirtschaftet. Im Bereich der Tallagen bzw. im nördlichen Bereich finden sich zunehmend Besitzungen von landwirtschaftlichen Betrieben und Agrargemeinschaften. Der Kleinwaldanteil dürfte gering sein. Für eine erste Bewertung wurden die Besitzverhältnisse nach Rücksprache mit den Bürgermeistern der Gemeinden grob digitalisiert. In einem Folgeschritt wird dieser Datensatz durch eine klassifizierte digitale Katastralmappe ersetzt.

Grob festgelegte Parameter:

- Waldbesitzerklassen (Große Forstbetriebe, Agrargemeinschaften, Kleinwald)

2.1.2.5 Bewertungsmodell

2.1.2.5.1 Holzzuwachs pro Jahr

Der aktuelle Holzzuwachs pro Jahr kann als Maßzahl für eine nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes verstanden werden. Wälder wachsen jedoch nicht linear, sondern folgen einer Wachstumskurve mit einem baumartenspezifischen Kulminationspunkt, der sich mit der Höhenlage verschiebt (Sterba und Eckmüller, 2009a, 2009b). Für ein tatsächliches Nutzungsmodell müssen solche Funktionen verwendet und der Wald nach den verschiedenen Bewirtschaftungszeiträumen unterteilt werden. So fallen die Segmente der Durchforstung und der Ernte sprunghaft – wie es der Wirklichkeit entspricht – an. Dieser Ansatz ist für das vorliegende Projekt zu speziell, weshalb der Wald mit dem mittleren Holzzuwachs bewertet wird. Unter Annahme einer normalverteilten Wachstumskurve kann dazu die Masson'sche Hiebsatzformel (Mantel, 1959) verwendet werden. Für deren Anwendung muss aber im Projektgebiet die lokale Umtriebszeit geschätzt werden.

Formel 12: Masson'sche Hiebsatzformel

$$\text{Endnutzungshiebsatz} = \frac{\text{Holzvorrat}}{0,5 \text{ Umtriebszeit}}$$

Um eine lokale Schätzung der Umtriebszeit zu ermöglichen, wurde in einem ersten Ansatz so vorgegangen, dass für die Hauptbaumart Fichte in Abhängigkeit der Seehöhe eine Oberhöhe bei

mittlerem Ertragsniveau definiert wurde. Bäume im oberen Waldbereich (rund 1.700 Meter) erreichen nur mehr die untersten Klassenangaben des Site-Index. Das sind im Kalk 14,1 Meter im Alter von 100 Jahren und in Silikat 12,9 Meter im Alter von 100 Jahren. Für die untere Grenze in Tallagen wurden Oberhöhen von 24,6 Meter im Kalk und 24,1 Meter im Silikat gewählt. Diese Auswahl erfolgte über die Angaben der Waldinventur der Bezirksforstinspektion Liezen, die für den Wirtschaftswald einen mittleren Zuwachs von $6,8 \pm 0,6$ Vorratsfestmeter (Vfm) pro ha und Jahr und für die Schutzwälder einen Zuwachs von $3,8 \pm 0,5$ Vfm pro ha und Jahr angibt. Sinngemäß gleich wurde mit Laubbäumen, diesmal mit der Buche als Hauptart, verfahren. Die Spanne der Oberhöhen reicht hier von 19,6 Meter in 1.400 Meter Seehöhe bis 24,6 auf 600 Meter Seehöhe. In den Datensatz wurden die Parameter Seehöhe, Baumalter, Holzvorrat pro ha in Vfm und Holzzuwachs in Vfm aufgenommen. Mit einer einfachen multiplen Regression wurde folgender Zusammenhang ermittelt (StatPoint, 2009):

Tabelle 4: Funktionale Beziehungen innerhalb ausgewählter Ertragstafeln

Baumart	Parameter	Formel
Fichte	Alter	$35,0045 + 0,0676898 * \text{Seehöhe} + 0,000289909 * \text{Holzvorrat}^2 - 24,5239 * \text{Grundgestein}$
Buche	Alter	$-9,51619 + 0,0412058 * \text{Seehöhe} + 0,000589005 * \text{Holzvorrat}^2$

Tabelle 5: Statistische Parameter (P-Wert, Bestimmtheitsmaß, Streuung)

Baumart	Parameter	Seehöhe	Holzvorrat ²	Grundgestein	R ²	SE
Fichte	Alter	0,000	0,000	0,000	78,615	28,029
Buche	Alter	0,000	0,000	-	88,654	12,431

Aus dem Holzvorrat der österreichweiten Waldkarte und der geschätzten Umtriebszeit wurde mit der Masson'schen Hiebsatzformel der mittlere jährliche Ertrag berechnet.

2.1.2.5.2 Technische/Rechtliche Nutzungswahrscheinlichkeit

2.1.2.5.2.1 Auswirkung der Schutzwaldfunktion

Waldflächen in der Leitfunktion Schutzwald, Kampfzone und Nicht-Wald werden von der Projektgruppe mit einer Nutzungswahrscheinlichkeit von 20 % bewertet.

2.1.2.5.2.2 Auswirkung der Hangneigung auf die technische Nutzbarkeit

Der maßgeblich berücksichtigte Faktor für die Nutzungswahrscheinlichkeit wird von der Geländeneigung beeinflusst. Dies kapselt einerseits die Dichte des zu erntenden Holzes pro Grund- und Oberflächeneinheit und den technischen Aufwand für die Bringung. Je steiler das Gelände, umso weniger Holz muss mit steigenden Kosten geerntet werden. Dieser Zusammenhang kann in einer Sigmoidfunktion abgebildet werden, wobei die volle Nutzung bis etwa 20° Hangneigung möglich ist. Ab 85° Hangneigung findet keine Nutzung mehr statt. Dazwischen verläuft, wie in Abbildung 20 gezeigt, eine approximierte, lineare Funktion, die verschiedene Bringungstechniken

repräsentiert (Hasenauer und Kindermann, 2006, Raab et al., 2002). Die tatsächlichen Nutzungstechniken sind:

- Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten, Traktor
- Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten bzw. Raupenharvester
- Motormanuelles Fällen und Aufarbeiten, Seilbahn
- Motormanuelles Fällen, Seilbahn (Vollbäume)

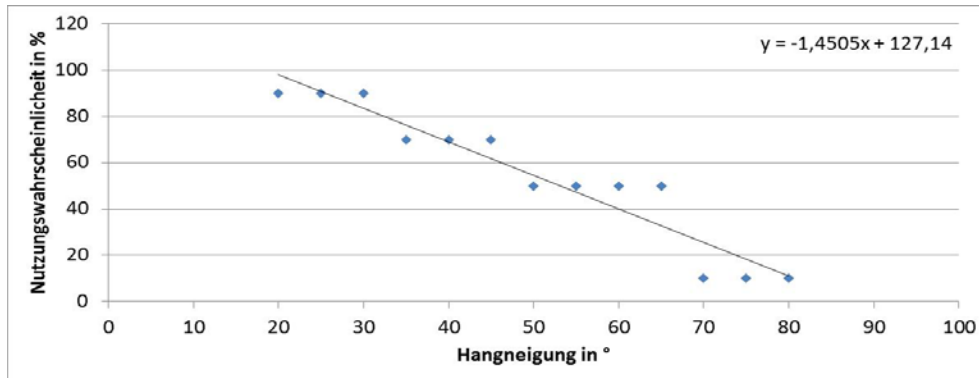


Abbildung 20: Forstliche Nutzungswahrscheinlichkeit und Hangneigung

2.1.2.5.2.3 Auswirkung des Wegenetzes auf die technische Nutzbarkeit

Ungeachtet der tatsächlichen Nutzung wird Wald nur dann bewirtschaftet, wenn er an eine geeignete Transport-Infrastruktur angebunden ist. Wie die technische Nutzbarkeit, bildet auch die Distanz zur Forststraße eine sigmoide Kurve, die bis zu einer Distanz von 200 Metern keine Nutzungseinschränkung definiert. Ab dieser Marke sinkt diese aber stetig und erreicht bei 900 Metern – laut Auskunft eines großen lokalen Forstunternehmers – den Nullpunkt. Die Distanz zwischen dem Forstweg und der Waldzelle wird in einem ersten Schritt mit einem multiplen Ringpuffer (Intervall 50 Meter) bewertet. Der tatsächliche Wert einer Zelle wird abschließend mit einer einfachen Winkelfunktion bestimmt.

Formel 13: Winkelfunktion zur Berechnung der Geländedistanz

$$\text{Distanz im Gelände} = \frac{\text{Distanz Basis}}{\text{Cosinus (Hangneigung)}}$$

2.1.2.5.2.4 Gesamtnutzbarkeit

Die technische/rechtliche Nutzungswahrscheinlichkeit der Waldzelle wird nach dem Minimumprinzip der Einzelfaktoren bestimmt. Gültig wird somit die niedrigste Nutzungswahrscheinlichkeit.

2.1.2.5.2.5 Nutzungswille

Die Österreichische Waldinventur drückt den Nutzungswillen der Waldbesitzer über das Verhältnis des jährlichen Zuwachses zur jährlichen Nutzung im Ertragswald aus. Die Inventur bietet dabei mehrere Typen von Waldbesitzern an. Im Bezirk Liezen ernten die Besitzer größerer Waldeinheiten

über 200 ha, derzeit mehr als pro Jahr zuwachsen kann. Eine sehr starke Nutzung (3-facher Zuwachs) haben die Waldbesitzer im Segment zwischen 200 - 1000 ha. Die Großwaldbesitzer ernten in etwa den tatsächlichen Zuwachs, wobei die Bundesforste eher ein Nutzungsszenario gewählt haben. Einzig die (bäuerlichen) Kleinwaldbesitzer nutzen die Waldreserven noch nicht vollständig. Die gegenwärtigen Nutzungsdaten sprechen nicht automatisch für einen Raubbau am Forst, da in den vergangenen zwei Jahrzehnten durchaus Reserven angelegt wurden.

Tabelle 6: Zuwachs und Nutzung im Bezirk Liezen

Österreichische Waldinventur - Bezirksforstinspektion Liezen - Ertragswald

Gesamtzuwachs					Zuwachs/ha		
			1000 vfm	%			vfm/ha
Kleinwald	220	±	43	39,6	8,5	±	0,8
200 - 1000 ha	20		-	3,6	-		-
> 1000 ha	151	±	36	27,1	6,2	±	1,0
Geb. K.	107	±	31	19,3	6	±	1,0
Betriebe	278	±	46	49,9	6,3	±	0,7
ÖBf AG	58	±	19	10,5	4,9	±	0,9
Gesamt	556	±	53	100	6,8	±	0,5
Gesamtnutzung					Nutzung/ha		
			1000 vfm	%			vfm/ha
Kleinwald	124	±	40	21	4,8	±	1,3
200 - 1000 ha	61		-	10,3	-		-
> 1000 ha	148	±	58	25,1	6,2	±	2,9
Geb. K.	150	±	51	25,4	8,3	±	1,9
Betriebe	359	±	90	60,8	8,2	±	1,8
ÖBf AG	108		-	18,2	9	±	4
Gesamt	591	±	113	100	7,2	±	1,3
Nutzungsgrad							%
Kleinwald							56
200 - 1000 ha							305
> 1000 ha							98
Geb. K.							140
Betriebe							129
ÖBf AG							186
Gesamt							106

Neben diesen – generalisierten – Ergebnissen wurden zwei Großunternehmen im Naturpark Sölktäler zu ihrem jährlichen Holzeinschlag befragt. Gemeinsam bewirtschaften diese Betriebe rund 25 % der Waldfläche und fallen wegen ihrer Größe in die Klasse der Betriebe über 1.000 ha. Gemessen am nutzbaren Ertrag der hohen Bonitäten in den Gunstlagen bestätigen diese Betriebe das Inventurergebnis.

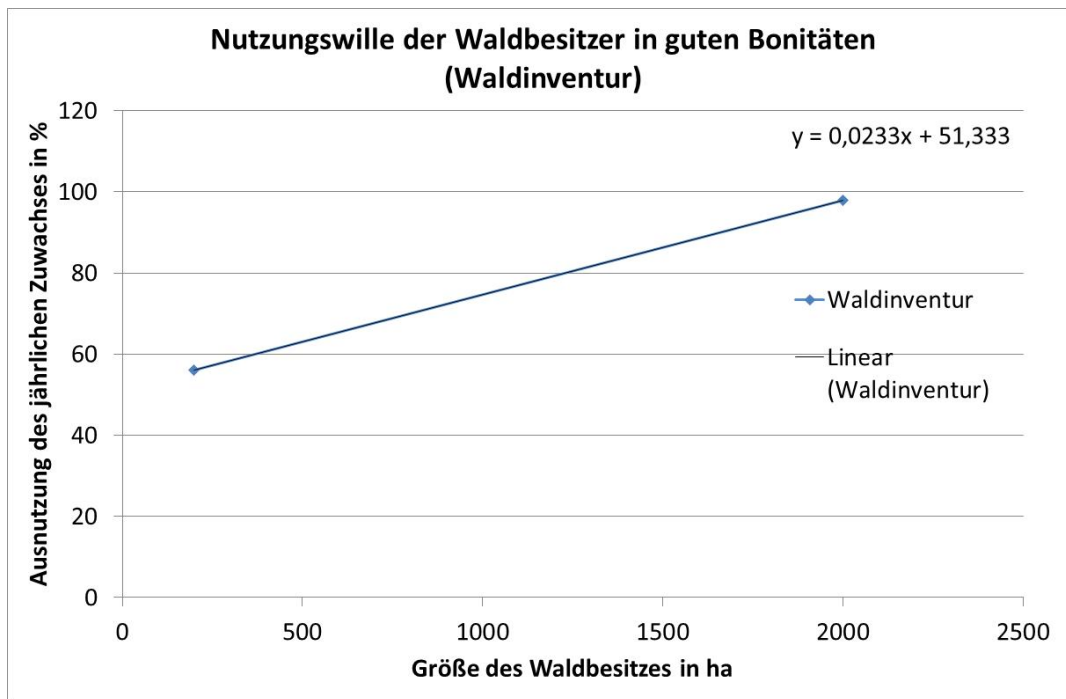


Abbildung 21: Nutzungswille der Waldbesitzer

2.1.2.5.2.6 Anteil Energieholz

Wie die Nutzungswahrscheinlichkeit wird auch der Anteil an Energieholz von einer Reihe von Faktoren beeinflusst. Der zentrale Punkt für die Anteile an Energieholz bei der Endnutzung hängt von der Ausformbarkeit der geernteten Bäume ab. Laubbäume erreichen im Untersuchungsgebiet selten eine Wuchsform, die eine Ausformung als Bloch zulässt, weshalb sie, unabhängig von ihrem Auftreten, innerhalb der Fichtenbestände oder als Begleithölzer mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Energieproduktion verwendet werden. Diese Aussage wird durch die geringe lokale Häufung der Laubwaldbestände bestärkt. Nadelwaldbestände durchlaufen im Idealfall im Laufe eines Umtriebes mehrere Pflegezyklen, in denen der anfangs noch dichtere Jungbewuchs nach und nach aufgelichtet wird. Die Zopfstärken dieses Durchforstungsholzes liegen in der Regel deutlich unter den Bedürfnissen der Sägeindustrie, weshalb Durchforstungsholz als potenzielle Quelle für die Energieproduktion betrachtet werden kann. Im Jahr 2011 wurden 31 % des Holzeinschlages durch diese Vornutzung geerntet (Prem, 2012). Wird ein Nadelbaum am Ende seines Lebenszyklus gefällt, ergeben sich in der Regel folgende Schnittteile. Am stärkeren Ende des Stammes findet sich gelegentlich bereits degeneriertes Holz, welches als Braunblock nicht stofflich genutzt werden kann. Anschließend finden sich mehrere Abschnitte mit gering konischem Verlauf, die als Qualitätsholz Verwendung finden. Sobald der Stamm einen Mindestdurchmesser unterschreitet, finden sich wieder Sortimente der energetischen Verwendung. In Tabelle 7 wird dargestellt, wie breit das Feld an Angaben zum Anteil des Energieholzes am Gesamtzuwachs ist. Diese Breite wird kaum durch die verwendeten Daten, sondern vielmehr durch die unterstellten Nutzungsketten beeinflusst.

Tabelle 7: Anteil von Energieholzsortimenten am Gesamtwuchs

Parameter		Werte	Anteile am Zuwachs	Quelle
Zuwachs	Vfm	30.000.000	100	(Bundesamt für Wald, 2013)
Nutzung	Vfm	25.000.000	83	(Bundesamt für Wald, 2013)
Einschlagsmeldung				(Prem, 2012)
	Sägerundholz %	49		
	Industrieholz %	15	39	
	Energetische Nutzung %	24		
Energieholz Biomassestudien				
	WWF	10.500.000	35	(Hirschberger, 2006)
	HOBi WB	10.100.000	34	(Schadauer und Neumann, 2008)
Biomasseziele - Holz				(Jauschnegg und Pfemeter, 2012)
	2005	16.000.000	53	
	2010	17.000.000	57	
	2015	20.000.000	67	
	2020	20.000.000	67	

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden die angeführten Aspekte zur Beurteilung des Energieholzanteils eher defensiv bewertet. Der ökologisch besonders wichtige Anteil an Totholz sollte ebenso wie die Biomasse des Nadel- und Blattwerkes im Wald verbleiben. Beide Fraktionen bieten nur ein geringes Energiepotenzial, leisten aber stofflich bzw. biologisch wertvolle Beiträge. Da im Gegensatz zur sachlichen Betrachtung auf nationaler Ebene auch ein räumliches Modell im Bezirk Liezen implementiert wird, muss der Höhengradient zusätzliche Berücksichtigung finden. Die für die Bildung von qualitativen Sortimenten wichtigen Merkmale leiden mit zunehmender Seehöhe. Die Stämme der Bäume werden immer kürzer und abholziger. Außerdem nimmt der Anteil an Ästen auf den verbleibenden Stämmen deutlich zu. Dieser Aspekt findet in der Zunahme des Energieholzes entlang des Höhengradienten seine Berücksichtigung (Abbildung 22). Neben der Baumart und den Wachstumsfaktoren wird nicht nur die Nutzungswahrscheinlichkeit durch die Nutzungstechnik beeinflusst, sondern auch der Anteil an Energieholz. Je steiler das Gelände, umso eher können qualitative Sortimente nicht gut geborgen werden und es treten Bringungsschäden am Holz auf. Außerdem werden ab einer Neigung von etwa 45° häufig ganze Stämme mit der Seilbahn auf den Forstweg gebracht. Das Astmaterial wird bei dieser Technik mitgeborgen und meistens zu Hackgut weiterverarbeitet (Abbildung 23). Das Ab-/Zuschlagssystem wird über die linearen Basisfunktionen gelegt und kippt diese so, dass begünstigte Ertragswälder geringere und Schutzwälder höhere Energieholzanteile ausweisen.

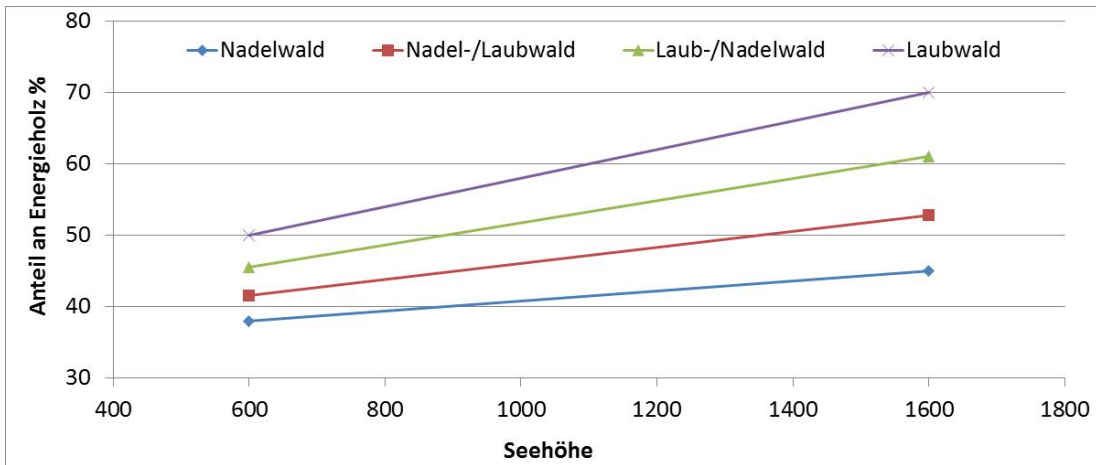


Abbildung 22: Energieholz in Abhängigkeit der Seehöhe

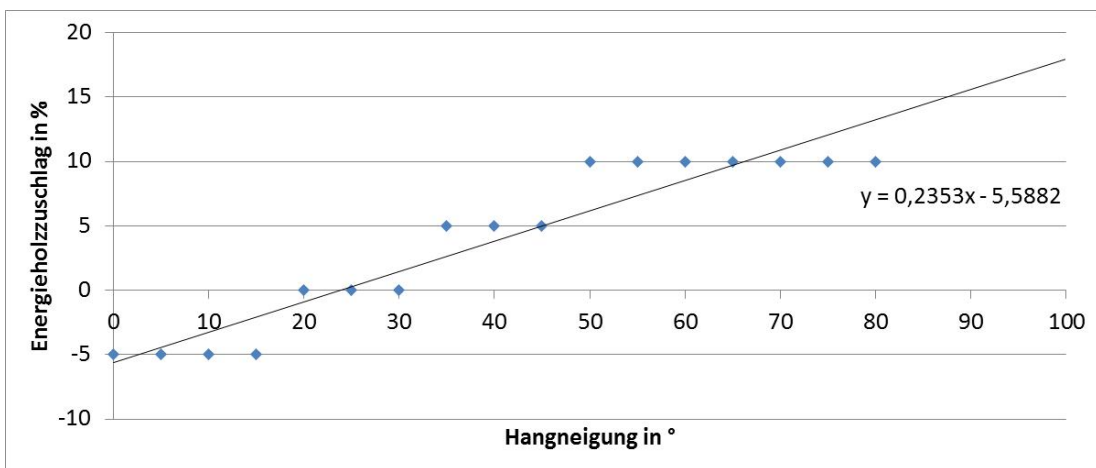


Abbildung 23: Energieholz und Nutzungstechnik

2.1.3 Die Wasserkraft

Elektrische Energie ist die Zukunft. Die Welt befindet sich auf dem Weg in ein postfossiles Zeitalter. Die Verbrennung als Standardmethode zur Freisetzung von Energie wird durch die Umwandlung natürlicher Energiequellen in elektrischen Strom verdrängt. Dessen genaue Regelbarkeit und die geringen Verarbeitungsverluste führen rasch zu einer Effizienzsteigerung der Energiebereitstellung. Die Frage des Speichers muss in intelligenten Stromnetzen (Smart-Grid) nicht zwingend gelöst werden. Die elektrische Energie aus Wasserkraft ist die in Österreich bereits umfassend realisierte Komponente der Energiezukunft. In diesem Kapitel werden die bedeutendsten Aspekte zur Verwendung elektrischer Energie sowie die Methoden zur Abschätzung des Wasserkraftpotenzials vorgestellt.

2.1.3.1 Gesamtmodell

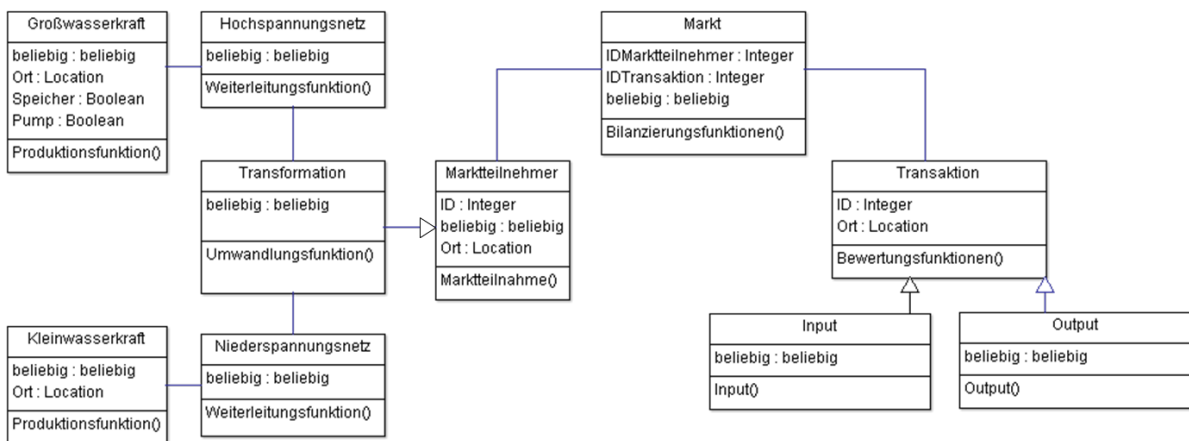


Abbildung 24: UML Energiebereitstellung aus Wasserkraft

Die Struktur der Energiebereitstellung aus Wasserkraft in Abbildung 24 unterscheidet sich vom Aufbau der land- und forstwirtschaftlichen Strukturen. Als technische Disziplin bleibt die Stromproduktion aus Wasserkraft einer kleinen Gruppe gut vernetzter Experten vorbehalten. Die in dieser Gruppe zu bewältigenden Disziplinen sind umfangreich. Kraftwerke, ungeachtet ihrer Größe, sind kostenintensive Bauwerke mit speziellen technischen Anforderungen, die viele nationale Rechtsmaterien berühren. Staatliche Interessen – eine sichere und günstige Stromversorgung kann als solche betrachtet werden – müssen zusätzlich berücksichtigt werden. Zwischen den rund 4.000 Wasserkraftwerken in Österreich und den unzähligen Abnehmern am Markt befindet sich eine klare technische Struktur. Die Kraftwerke erzeugen den Strom und speisen ihn in das Nieder- bzw. Hochspannungsnetz ein. Lokal erzeugter Strom für das Hochleistungsnetz hat wenig regionale Relevanz, sondern stellt eine nationale Ressource dar. Strom im Niederspannungsnetz versorgt das regionale Gewerbe und die Haushalte über lokale Transformationsstationen.

Welcher Anteil aus dem Hochleistungsnetz lokal verbraucht wird, kann bestenfalls über die Differenz zwischen Gesamtbedarf und lokaler Aufbringung abgeschätzt werden. Die räumliche

Verteilung von Wasserkraftwerken in Österreich und deren Bauweise wird durch das Gewässernetz vorgegeben. Mit Ausnahme des Nordöstlichen bzw. Südöstlichen Flach- und Hügellandes verfügen viele Regionen über ein Wasserkraftpotenzial (WWF, 2011). Dieses ist allerdings nicht gleichmäßig verteilt. 80 % der in Abbildung 25 rot gefärbten Punkte sind Kleinwasserkraftwerke mit einer Leistung unter 10 Megawatt. Diese erzeugen in Summe nur 7,2 % des nationalen Wasserkraftstromes von rund 41 Millionen MWH (Bittermann, 2015).

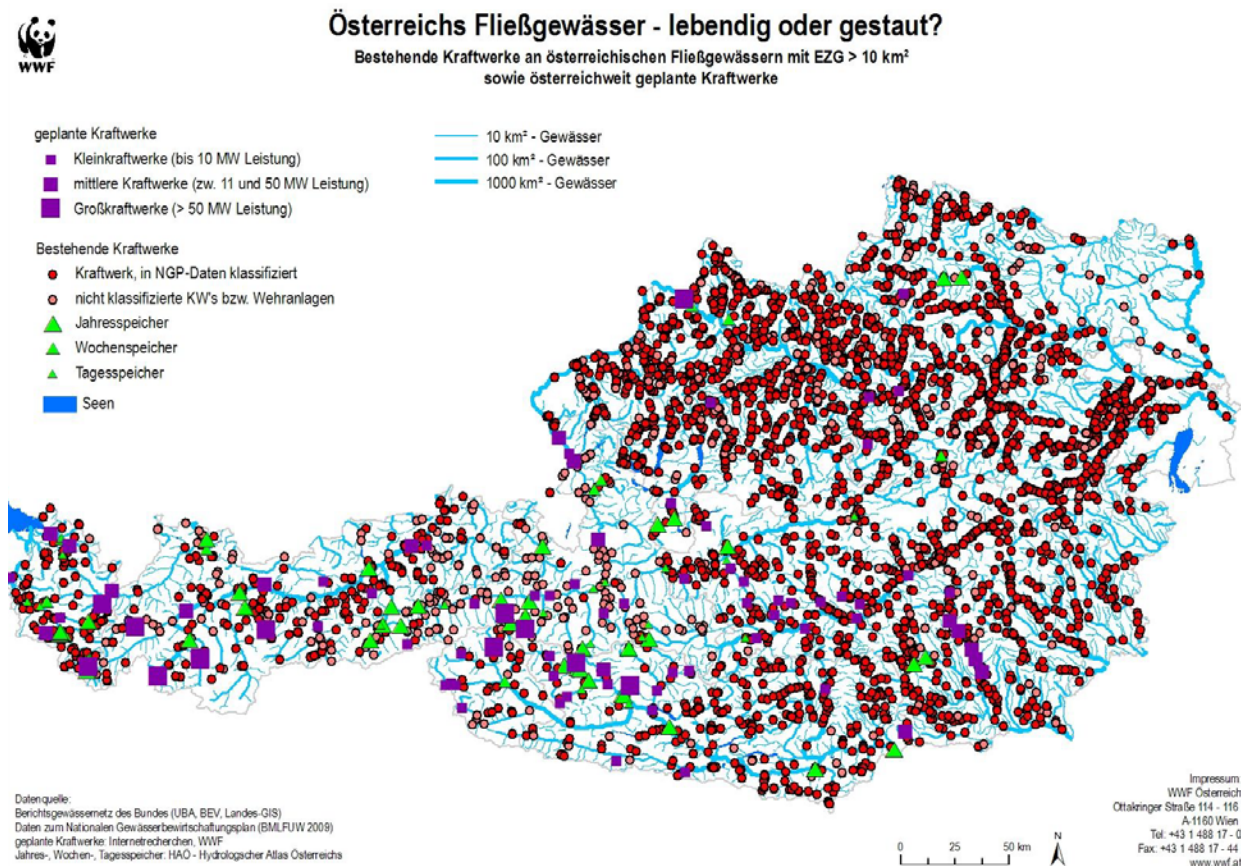


Abbildung 25: Bestehende und geplante Wasserkraftwerke in Österreich

Die Transaktionsliste der Energiemärkte ist nicht verfügbar. Für die Datenaufbereitung im Rahmen der Analyse von multiplen Ressourcen in räumlichen Strukturen konnten jedoch geeignete Maßnahmen gefunden werden.

2.1.3.2 Physikalischer Hintergrund

Die elektrische Leistung eines Wasserkraftwerks zum Zeitpunkt t kann nach Formel 14 abgeleitet werden (Giesecke *et al.*, 2014). Für bestehende Wasserkraftwerke bilden dabei die technischen Bestandsgrößen p , Δh und g Konstanten aus. Nur der aktuelle Wasserdurchsatz V ist variabel und führt bei maximalem Aufkommen zur sogenannten Engpassleistung. Diese elektrische Maximalleistung wird im Jahresschnitt deutlich unterschritten, da die maximale Wassermasse meist nur kurzzeitig genutzt werden kann.

Formel 14: Physikalische Formel zur Berechnung der elektrischen Leistung von Wasserkraftwerken

$$E_t = V \eta \Delta h g$$

wobei

E_t	=	Elektrische Leistung (kW) zum Zeitpunkt t
V	=	Volumen des Wasserdurchsatzes (m^3/s) = Fluss
η	=	Wirkungsgrad der Turbine und des Generators (%)
Δh	=	Höhenunterschied zwischen Einlauf und Turbine (m)
g	=	Erdbeschleunigung 9.81 (m/s^2)

Erbauer von Wasserkraftanlagen betrachten deshalb die zum Zeitpunkt t verfügbare Wassermenge V als entscheidende technische Größe für die rechtliche Umsetzbarkeit eines geplanten Projektes. Diese Größe muss für die Realisierung eines Projektes durch ein zertifiziertes technisches Büro langjährig bestimmt und dem Antrag zur Errichtung einer Wasserkraftanlage (Land Kärnten, 2012) beigelegt werden.

Die Errichtungspraxis bzw. der Istbestand an Wasserkraftwerken eröffnet im Grobkonzept der Modellierung zwei grundlegend unterschiedliche Konzepte:

1. Erhebungsansatz: Die Anzahl der zu beobachtenden Kraftwerke ist klein genug, um die langjährige Leistung der Kraftwerke abzufragen. Vor allem der Aspekt des geringen Leistungsanteils der Kleinkraftwerke fördert diesen Ansatz. Zudem sind Informationen über die leistungsfähigen Kraftwerke des „Verbunds“ und der einzelnen Energiegesellschaften der Bundesländer leicht zu organisieren. Die so erhobenen Zahlen bieten für Experten aber geringe Ansätze zur Simulation beliebiger Szenarien.
2. Modellierungsansatz: Dieser Ansatz folgt dem regionalen Niederschlag und dessen Abflussverhalten über die Geländeoberfläche. Mit Grenzwerten parametrisierte Modelle zeigen potenzielle Standorte für Wasserkraftwerke auf und bewerten deren Potenzial. Dieser Ansatz ist günstig, wenn die Planung in wenig erschlossenen Regionen stattfindet oder die Eingangsgröße des Niederschlages in Klimaszenarien variiert werden soll. Die bewerteten Potenziale sind technisch gut nachvollziehbar, können aber deutlich die bestehende Ist-Situation verfehlen.

2.1.3.3 Potenzielle Simulationsgrößen

Die Parametrisierung der Energieversorgung aus der Wasserkraft wird in dieser Arbeit nur im regionalen Testgebiet durchgeführt. Dort wurde Ansatz 1 aus dem Grobkonzept, das ist der Erfassungsansatz, umgesetzt. Innerhalb des Testgebietes sind alle Standorte der Wasserkraftwerke, deren Alter und das Jahresarbeitsvermögens bekannt. Für die Simulation der Eingangsgrößen können folgende Korrekturen auf den Jahresdatensatz angebracht werden:

1. Aufteilung des Jahresarbeitsvermögens in ein Sommer- und ein Winterhalbjahr und Veränderungen in Folge der Klimaveränderung: Bedingt durch die Schneeschmelze bzw. das Niederschlagsverhalten steht im Frühjahr und Sommer ein deutlich höheres natürliches

Wasserkraftpotenzial zur Verfügung als im Herbst und im Winter. Die Differenzierung der beiden Bereiche birgt Flutrisiken in der niederschlagsreichen Zeit und stärkere Dürrephasen im Süden der Alpen (Italian Ministry for the Environment Land and Sea, 2010). Über die zukünftige Entwicklung gibt es folgende Meinung: Einige Expertengruppen gehen davon aus, dass die Winterniederschläge um bis zu 9,5 % zunehmen werden, während die Sommer- und Herbstniederschläge bis zu 12,7 % abnehmen könnten (Loibl *et al.*, 2007). Zugleich nehmen viele Gruppen an, dass die deutlicheren Temperaturunterschiede im Sommer zu vermehrten regionalen und großflächigen Starkniederschlagsereignissen führen werden (IPCC, 2014). Die lokalen Extremereignisse können bei einer Simulation nicht berücksichtigt werden, da eine lokale Parametrisierung nahezu unmöglich ist. Eine Leistungsverschiebung in den Winter ist leicht umzusetzen.

2. Neubau von Wasserkraftwerken: Im Testgebiet befinden sich einige Neubauprojekte in Planung. Der Bau einiger Projekte ist – zumeist aus ökonomischen Gründen in Folge hoher Restwasserbescheide – äußerst ungewiss.
3. Repowering bestehender Anlagen: Viele Wasserkraftwerke im Testgebiet sind alt und können in ihrer Leistung durch technische Modernisierung gesteigert werden.

2.1.3.4 Datengrundlage

2.1.3.4.1 Erfassungsdaten bestehender Wasserkraftwerke

Die Anzahl an Wasserkraftwerken ist beschränkt, eine individuelle Erhebung ist machbar. Als Position gilt das Krafthaus, in dem die Turbine den Generator antreibt. Für jeden Standort sollte das ungefähre Alter der Anlage, die mittlere Jahresleistung in kWh sowie die Turbinenart erfasst werden.

2.1.3.4.2 Geländemodell

Siehe 2.1.1.4.1.2.

2.1.3.4.3 Niederschlagsdaten auf Messwertbasis

Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) betreibt das größte Messnetz für Niederschläge in Österreich. Diese Daten wurden bisher in verschiedenen Projekten von unterschiedlichen Forschungsgruppen von den Stationsdaten mit geostatistischen Modellen und Modellen der Meteorologie in Flächendaten umgewandelt (Abbildung 27). Einen älteren Stationsdatensatz stellt das Projekt *ALP-IMP* frei zur Verfügung (Böhm *et al.*, 2001). Diese und weitere Daten wurden im Projekt *HISTALP* zu einem Grid mit einer Auflösung von 5 Gradminuten umgewandelt (Böhm *et al.*, 2009). Dieses steht ebenso kostenlos auf der Projekthomepage zur Verfügung (ZAMG, 2008). Ein weiterer bestehender Datensatz befindet sich im hydrologischen Atlas Österreich (Skoda und Lorenz, 2007). Alle Aspekte der Aufbereitung von Stationsdaten zu temporalen Oberflächendaten wurden in der sehr empfehlenswerten Inauguraldissertation „Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Grünland“ beschrieben

(Schaumberger, 2011). Der dort angeführte Ansatz wäre auch für die Modellierung von Wasserkraftpotenzialen wünschenswert, sprengt aber die hier gebotenen Möglichkeiten bei Weitem.

2.1.3.4.4 Wasserabfluss in die Fließgewässer

Die Niederschlagsdaten stellen einen Eingangsdatensatz dar, der in Verbindung mit den hydrologischen Abflussdaten der Flüsse eine Bewertung der lokalen Abflussmengen ermöglicht. Dieser für die Modellierung sehr bedeutende Datensatz kann aus dem Global Composite Runoff Fields (GCRF) in einer räumlichen Auflösung von 30' kostenlos bezogen werden (Fekete *et al.*, 2000). Die Autoren haben diesen Datensatz als Disaggregation aus den Abflussdaten der 9.252 weltweit verteilten hydrologischen Messstellen und den Einzugsgebieten der 6.152 betroffenen Flüsse berechnet.

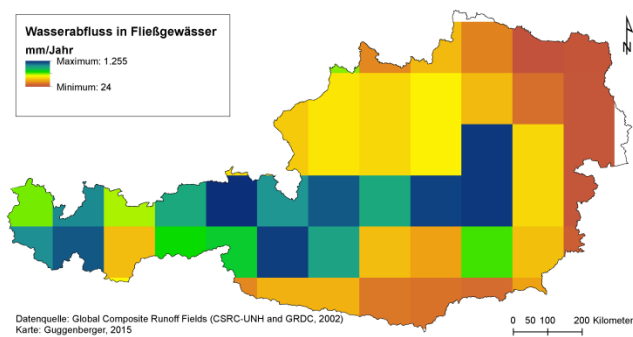


Abbildung 26: Wasserabfluss nach dem GCRF

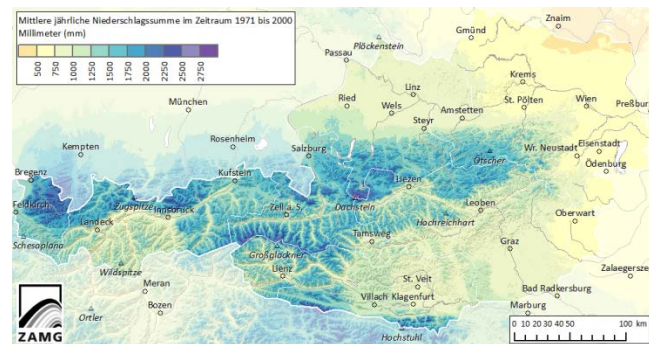


Abbildung 27: Niederschlagsdaten nach ZAMG

Die Disaggregation folgt gedanklich der Modellbeschreibung unter 2.1.3.5, berücksichtigt aber zusätzlich noch die lokale Wasserbilanz, die in ihrer Urform in Formel 15 dargestellt wird (Thorntwaite, 1948, Thorntwaite und Mather, 1955).

Formel 15: Einfache Grundformel der Wasserbilanz

$$R = P - E - \frac{\partial W}{\partial t}$$

wobei

R	=	Wasserbilanz in mm pro Tag
P	=	Niederschlag in mm pro Tag
E	=	Verdunstung in mm pro Tag
$\frac{\partial W}{\partial t}$	=	Änderung in der Bodenwasserbilanz mm pro Tag

Das nationale Ergebnis der Disaggregation von GCRF unter Berücksichtigung der Wasserbilanz (Abbildung 26) deckt sich teilweise mit der Erwartungshaltung an die nationale Niederschlagssituation (Abbildung 27). Die Trockengebiete im Osten und südlich der Alpen wurden erkannt. Die Analyse des Niederschlagsgeschehens in den Nordstaulagen wurde nicht vollständig abgebildet. Besonders interessant sind die Skalenweiten der Legenden. Während die

Niederschlagsverteilung im Bereich zwischen 250 und 3.000 mm liegt, wurde aus den Abflussdaten nur ein Überschuss in der Wasserbilanz zwischen 25 und 1.250 mm berechnet. Der nationalen Durchschnittsniederschlagsmenge von 1.170 mm (Österreichische Wasserwerke, 2015) steht ein GCRF - Durchschnittsabfluss von 490 mm (Geostatistischer Mittelwert der Daten) gegenüber. Das sind 41 %.

2.1.3.5 Bewertungsmodell

Auch wenn im Simulationsvorhaben eine eigene Modellierung des Geländeabflusses nicht notwendig ist, soll doch die Standardmethode für die Potenzialabschätzung dargestellt werden. Das Kapitel der Modelle kann so auch als geschlossene Dokumentation für die Bewertung unterschiedlicher Energiearten dienen.

2.1.3.5.1 Workflow

Die Ausgangssituation der Potenzialbewertung der Wasserkraft ist die Bestimmung der lokal am Gelände abfließenden Wassermenge. Diese Informationen können eventuell dem GCRF-Datensatz entnommen oder in eigenen klimatologischen Berechnungen ermittelt werden. Stehen diese Werte fest, kann über das DGM mit geeigneten Werkzeugen die Abflussrichtung bestimmt werden. Die dynamische Aggregation von Abflussmengen über die Abflussrichtung ermöglicht die Bewertung des Wasserdurchflusses an beliebigen Stellen des sich ergebenden Flusslaufes. Mit den zusätzlichen technischen Informationen eines potenziellen Kraftwerkes kann eine Leistungsberechnung durchgeführt werden. Die mögliche Jahresleistung im Verhältnis zu den Baukosten bildet die ökonomische Grundlage für eine Eignungsbewertung. Zusätzlich beeinflussen noch sachliche und rechtliche Aspekte die endgültige Entscheidung für einen Kraftwerksbau.

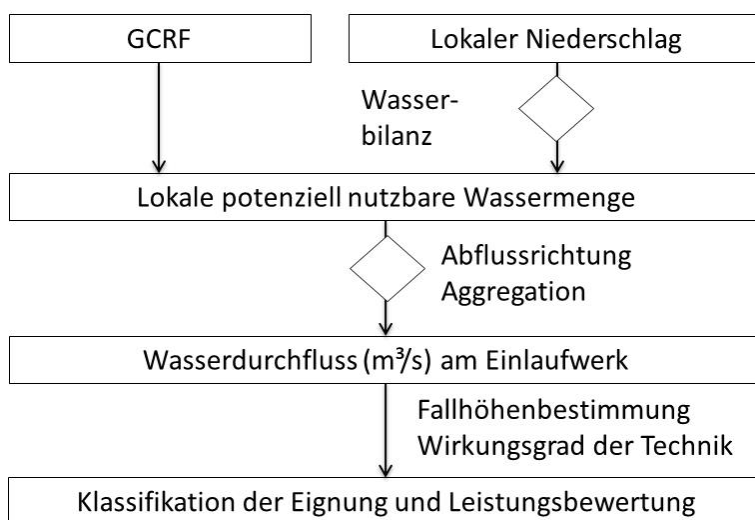


Abbildung 28: Workflow zur Modellierung von Wasserkraftpotenzialen

2.1.3.5.1.1 Überarbeiten der Eingangsdaten

Ausgangsdatensatz für die Modellierung des Wasserkraftpotenzials entlang der Abflussrinnen ist ein möglichst fein aufgelöstes Geländemodell. Dieses wird der Realität entsprechend nicht immer

ein eindeutiges Gefälle aufweisen, sondern gelegentlich auch von Senken oder völlig flachen Bereichen durchsetzt sein. Beide Bereiche stören die eindeutige Zuordnung der Abflussrichtung und müssen durch räumliche Interpolationen korrigiert werden. Korrekturalgorithmen beachten den Umgebungsbereich der nicht eindeutigen Stellen und überbrücken diese Bereiche durch Randinterpolationen.

2.1.3.5.1.2 Bestimmen der Abflussrichtung

Ein sehr einfacher Algorithmus vergleicht für jede Zelle des DHM die angegebenen Seehöhen der acht umgebenden Nachbarzellen. Nach der Korrektur der Flachstücke und Senken kann für jede Zelle die tiefer liegende Nachbarzelle bestimmt und eine eindeutige Abflussrichtung eingetragen werden. Deren Wert hängt von der betroffenen Nachbarzelle ab. Die vergebenen Werte folgen einer quadratischen Funktion von 1^2 bis 1^8 . Die Indexvergabe beginnt bei der östlichen Zelle und setzt sich von dort im Uhrzeigersinn fort. Abbildung 29 zeigt einen kleinen Ausschnitt um den Talschluss des Kleinsölktales in der Steiermark ($47^\circ 20' 35''$ Nördliche Breite, $13^\circ 55' 28''$ Östliche Länge). Das sich teilende Tal zweigt am Kraftwerkspunkt Sagschneider in südöstlicher Richtung in das Schwarzenseeetal ab. An der nach Osten exponierten Talflanke kann die numerische Bestimmung der Abflussrichtung gut erkannt werden. Alle Bereiche fließen entweder direkt nach Osten, nach Süd-Osten oder nach Süden ab.

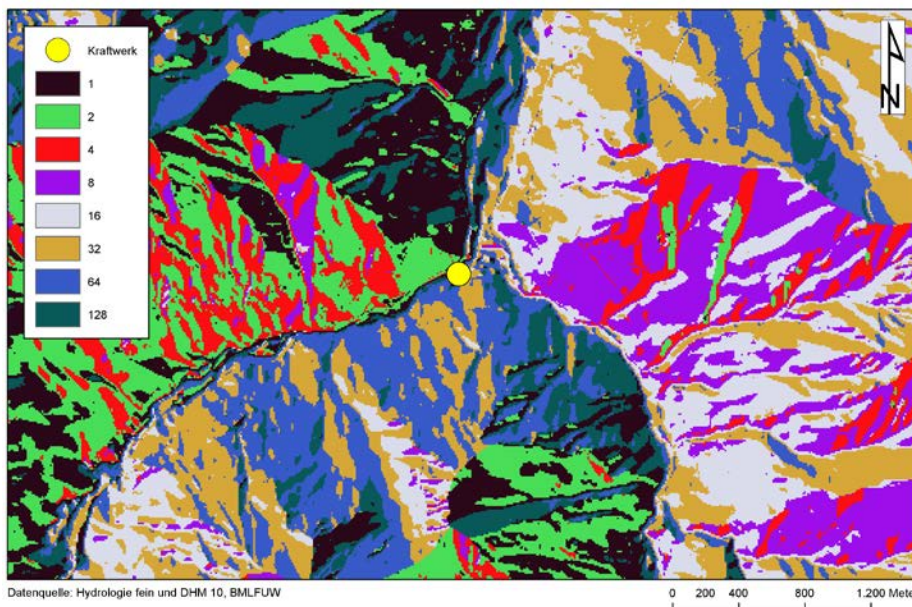


Abbildung 29: Abflussrichtungen entlang der Geländeoberfläche

2.1.3.5.1.3 Aggregation entlang der festgelegten Abflussrichtung

Zellen in Rasterdatensätzen haben einen eindeutigen Index für ihre Zeile und Spalte. Gemeinsam mit dem Datensatz der Abflussrichtung lässt sich für jede Zelle leicht feststellen, welchen Index sie trägt und in welche Zelle sie entwässert. Diese Beziehung kann als Adjazenzmatrix aufgelöst und mit der Abflussrichtung als gerichteter Graph dargestellt werden (Meijer, 2012, Sedgewick, 2002). Dieser Graph kann von jeder Stelle aufsteigend auf die ihm zugeordneten Elemente untersucht werden.

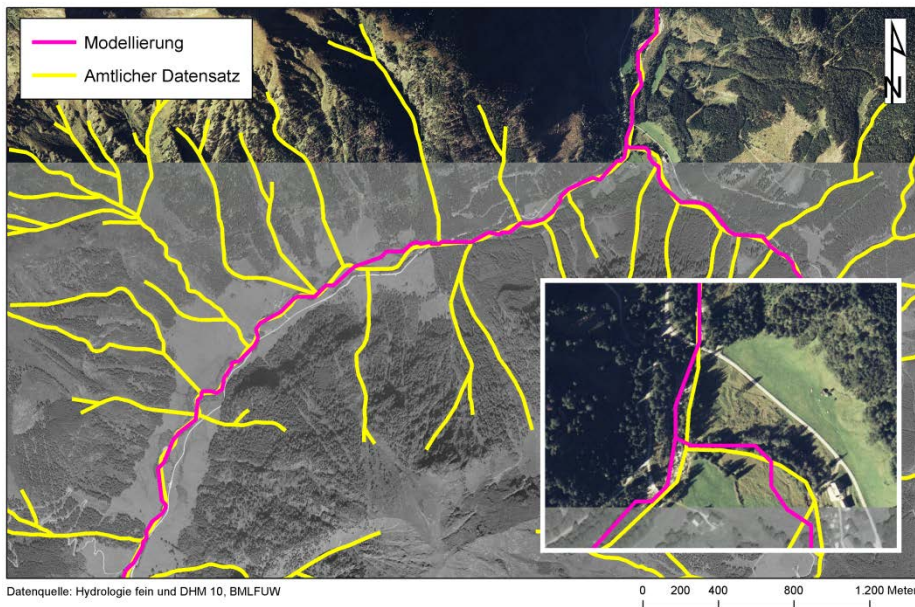


Abbildung 30: Flusslinie als Modellergebnis und amtlicher Flussverlauf

Abbildung 30 zeigt in Magenta ein erstes Ergebnis der Auswertung des gerichteten Graphen. Beginnend in der maximalen Tiefe des Graphen wurde für eine hohe Anzahl von Knoten die Anzahl der Vorgängerknoten gezählt. Dargestellt wurden hier nur jene Knoten, die einen subjektiv festgelegten Maximalwert überspringen konnten. Als Auswirkung der überarbeiteten Eingangsdaten und der Höhenabweichung zwischen der Realität und dem Geländemodell weicht dieses Abflussgerinne vom optisch festgelegten Verlauf des Kleinsölkbaches ab. Im kleineren Bildabschnitt in Abbildung 30 zeigt sich, dass diese Abweichung deutlich zu groß ist, um mit einem modellierten Flussgerinne in der Alltagspraxis der Verwaltung zu arbeiten. Für das Ziel der lokalen Addition von Wassermengen ist die Genauigkeit aber ausreichend.

Der für die Festlegung des Flussgerinnes verwendete gerichtete Graph kann durch die Integration der lokalen Niederschlagsmenge an einem Punkt in einen gerichteten, gewichteten Graph umgewandelt werden. Nun wird nicht mehr die Anzahl der Vorgängerknoten bestimmt, sondern die Summe der Niederschläge auf den Knoten. Als Resultat kann die Abflussmenge direkt aus den Ergebnissen abgelesen werden. Das mögliche Volumen V aus Formel 14 ist bestimmt, alle anderen Größen können in der Planungsarbeit technisch ermittelt werden.

2.1.3.5.2 Evaluierung

Für den in Abbildung 29 und Abbildung 30 verwendeten Planungsansatz kann eine einfache Evaluierung des Modellansatzes mit den Ergebnissen eines Umsetzungsprojektes durchgeführt werden.

- Eine Projektgemeinschaft nimmt im Oktober 2013 am Abfluss des Schwarzenseebaches ein Kleinwasserkraftwerk in Betrieb, das mit einer Diagonalturbine (Wirkungsgrad ~75 %) (Geppert, 2013) auf eine Ausbauleistung von 1,2 MW geplant wurde. Der Höhenunterschied zwischen Einlaufbauwerk und Turbine beträgt 44,3 Meter. Tatsächlich soll eine Leistung von 1 MW erreicht werden.

- Am Standort des Einlaufwerkes beträgt die zuordenbare Talfläche nach der in 2.1.3.5.1 vorgestellten Methode rund 56,7 km² und besteht aus zumeist hochalpinem Gelände. Die Analyse wurde ungewichtet mit den Werkzeugen der ESRI-Toolbox *Hydrology* praktisch durchgeführt (Maidment und Djokic, 2000). Das GCRF nimmt an dieser Stelle einen Run-Off-Wert von 1.154 mm/Jahr an; aus der lokalen Niederschlagskarte kann ein mittlerer Jahresniederschlag zwischen 1.800 und 2.500 mm/Jahr abgelesen werden (Gis Steiermark, 2015). Verwendet wurde wegen des hohen alpinen Anteils ein Jahresniederschlag von 2.200 mm.

Formel 16: Bewertung nach GCRF

$$E = \frac{56,7 \times 1.154 \times 1.000 \times 1}{354 \times 24 \times 60 \times 60} \times 0,8 \times 44,3 \times 9.81 = 0,721 \text{ MW}$$

Formel 17: Bewertung nach absolutem Niederschlag

$$E = \frac{56,7 \times 2.300 \times 1.000 \times 1}{354 \times 24 \times 60 \times 60} \times 0,8 \times 44,3 \times 9.81 = 1,4 \text{ MW}$$

Formel 18: Bewertung nach Zielleistung

$$E = \frac{56,7 \times 2.100 \times 1.000 \times 0,7}{354 \times 24 \times 60 \times 60} \times 0,8 \times 44,3 \times 9.81 = 1 \text{ MW}$$

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen aus Formel 16 bis Formel 18 zeigt:

1. Das GCRF zeigt zu geringe Werte an.
2. Würde der gesamte Jahresniederschlag durch das Kraftwerk laufen, würde die Ausbaupazität überschritten.
3. Können 70 % der Niederschläge zur Stromerzeugung genutzt werden, wird die Jahreszielgröße von 1 MW erreicht. Dies ist durchaus realistisch, da das Kraftwerk für die Nutzung der temporär höheren Wassermengen im Frühjahr und bei Niederschlägen ausgerichtet wurde.

Die Modellierung von Standortpotenzialen kann in Folge der Evaluierung durchaus als erfolgreich angesehen werden. Potenzielle Interessenten müssen für gute Niederschlagsdaten sorgen und werden nur bei globalen Planungen auf das GCRF zurückgreifen. Das hohe Kostenrisiko und die rechtliche Abwicklung eines Projektbaues in Österreich machen eine mehrjährige Abflussmessung am Standort unbedingt notwendig. Dieser Erkenntnis folgt diese Arbeit und verwendet für die Simulation ausschließlich die an dem Standort erhobenen Daten.

2.1.4 Die Sonnenenergie

Die Sonne ist die universelle Energiequelle. In ihrem Inneren verschmelzen im Rahmen einer thermonuklearen Reaktion leichtere zu schwereren Atomkernen. Diese Fusion ist mit Massedefekten behaftet (Rice *et al.*, 1949). Diese sind Auslöser der Energiefreisetzung unter extremen Bedingungen. Wasserstoffbrennen etwa benötigt 200 Millionen bar Druck und bis zu 15 Millionen Grad Kelvin. Solche Bedingungen können energiebringend nur durch hohe Gravitation und Masseverdichtung im Inneren von Sternen entstehen. Das Verhältnis zwischen der Masseumsetzung und der Freistellung von Energie ist enorm (Haubold und John, 1982). 40 Gramm dieses geeigneten Ausgangsmaterials liefern als Massedifferenz den jährlichen Primärenergieinput Österreichs. Diese Effizienz beflügelte immer wieder Wissenschaftler, im Versuch kontrollierte Kernfusionsreaktoren zu entwickeln (Milch, 2006). Die entwickelten Ansätze haben aber die Laborbedingungen nie verlassen. Lediglich eine unkontrollierte Form mit kriegerischem Hintergrund wurde entwickelt (Shepley und Blair, 1955).

Die Distanz von rund 150 Millionen Kilometern zwischen Sonne und Erde sowie der Aufbau der gesamten Erdatmosphäre schützen uns vor der enormen Energiefreisetzung auf der Sonnenoberfläche, die 10^{23} kW beträgt (Bischof und Gocht, 1984). Diese Ausgangsstrahlung von rund 62.900 kW/m² reduziert sich bis zur Grenze der Erdatmosphäre auf 1.367 W/m² (Duffie und Beckman, 2013). Wieviel Energie auf der Erdoberfläche als sogenannte Globalstrahlung praktisch genutzt werden kann, hängt von der geographischen Breite, der Seehöhe, dem aktuellen Klima und der lokalen Abschattung ab. Die Berechnung der Globalstrahlung kann unter 2.1.4.5.3 nachgelesen werden.

2.1.4.1 Gesamtmodell

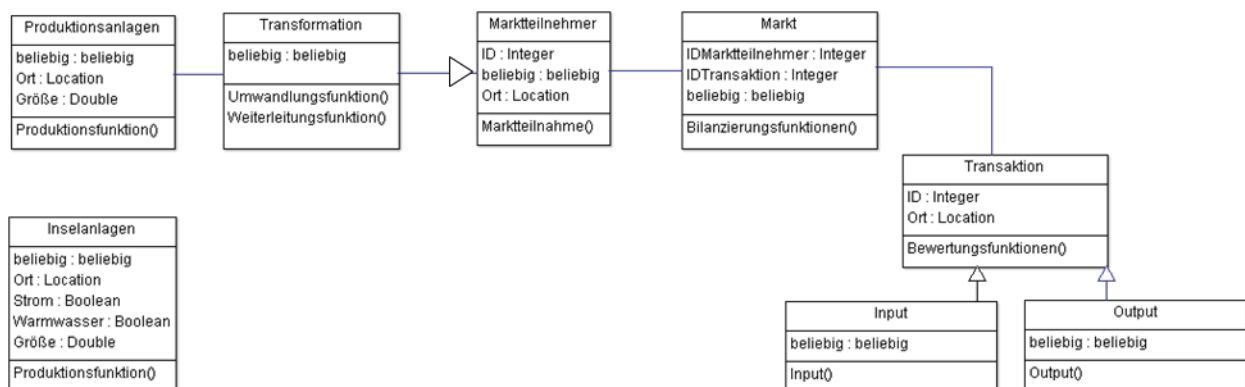


Abbildung 31: UML Energiebereitstellung aus Sonnenenergie

Sonnenenergie wird im wirtschaftlichen Gesamtmodell (Abbildung 31) in zwei Nutzungspfaden verwertet. Produktionsanlagen aller Art nutzen in modernen Photovoltaikanlagen den photoelektrischen Effekt (Einstein, 1905). Diese Anlagen sind bodengebunden in großen Einheiten

oder auf bestehenden Gebäudestrukturen zu finden. In allen Bauformen muss der entstehende Gleichstrom erst in Wechselstrom umgewandelt werden. Die Dynamik der Verbreitung von Photovoltaikanlagen wird von ökonomischen Modellen bestimmt. Zwischen dem Jahr 2000 und 2007 wurden in Deutschland Anlagen mit einer Leistung von 1 MW-Peak installiert. Zwischen 2007 und 2010 wurden zusätzliche 6 MW-Peak als Folge der guten Förderungssituation und der hohen Einspeisevergütung gebaut. Diese Förderungen wurde 2012 zurückgenommen, seither stagniert der Markt (Bundesverband Solarwirtschaft Deutschland, 2013). Für Anlagen, die die Leistung der Sonne selber verwerten oder für Inselanlagen – diese sind an kein Netz angeschlossen – gelten andere Baugründe. Ihre Errichtung ist oft die Konsequenz einer gesamtheitlichen Betrachtung eines Bauprojektes, das auf eine nachhaltige und selbstbestimmte Lebensweise der Bewohner ausgerichtet ist. In diesem Fall werden kleine Photovoltaikanlagen mit einer Leistung in Nähe des jährlichen Stromverbrauches oder thermische Solaranlagen mit einer Leistung im Bereich des Warmwasserbedarfes errichtet. Beide Arten der Selbstversorgeranlagen benötigen entsprechenden Platz auf der Grundfläche der Wohnungs- oder Eigenheimbesitzer. Selten werden dafür die Gärten geopfert, da diese fast immer kreativer Gestaltungsraum und Naherholungsbereich der Menschen sind. Die notwendigen Dacheinheiten können, wenn geeignet, aber sehr gut kaskadisch genutzt werden. Das ist auch der Grund, warum die Modellbeschreibung auch die Analyse von Dachlandschaften einbezieht.

2.1.4.2 Physikalischer Hintergrund

Die elektrische Leistung von Photovoltaik kann nach Formel 19 abgeleitet werden (Hofierka und Kanuk, 2009).

Formel 19: Physikalische Formel zur Berechnung der elektrischen Leistung von Photovoltaikanlagen

$$E = A_e E_e G$$

wobei

E	=	Elektrische Arbeit pro Jahr (kWh/a)
A _e	=	Fläche der Anlage (m ²)
E _e	=	Umwandlungseffizienz der verwendeten Technologie (%)
G	=	Nutzbare Globalstrahlung pro m ² und Jahr(kWh/m ² /a)

Planungsbüros zur technischen Umsetzung von Photovoltaikanlagen können zwei, unter Umständen auch alle drei Variablen von Formel 19 beeinflussen. A_e wird dann eine bewegliche Größe, wenn die Anlage nicht an spezielle Objekte gebunden ist. Dies gilt für Freiflächenanlagen bzw. für Anlagen, die auf eigenen oder fremden Großdächern errichtet werden. Ein beliebtes Modell für die Flächenvariabilität ist die Entwicklung von Gemeinschaftsprojekten, die – solange noch genügend freie Dächer verfügbar sind – die Anlage auch auf die Dachgröße anpassen kann. E_e ist als Umwandlungseffizienz immer eine variable technische Größe, die aber mit der ökonomischen Planung von Anlagen in Verbindung steht. Das Spektrum an Technologie ist weit. Die bestehenden, unabhängig nach Standardverfahren (STC) getesteten Systeme werden mit ihren Kennzahlen fortlaufend im *Journal of Photovoltaics* publiziert (Green *et al.*, 2015). Die am Markt

dominierenden Systeme haben unter STC-Bedingungen (Temperatur 25°, Einstrahlung 1.000 Watt, Luftmasse 1,5) einen Wirkungsgrad zwischen $20,8 \pm 0,6$ % für polykristalline Siliziummodule und $25,6 \pm 0,5$ % für monokristalline Siliziumzellen. Als letzte Variable verbleibt die nutzbare Globalstrahlung G am lokalen Standort als fixe, unbeeinflussbare Größe. Die Bewertung der Globalstrahlung wird unter 2.1.4.5 noch genauer besprochen. Die Nutzung der Sonnenenergie ist eine der Allgemeinheit zugängliche Technologie. Im Gegensatz zur Wasserkraft ist ein Erhebungsansatz zwar möglich – dieser wird etwa von Behörden in Österreich verwendet – für eine großflächige Bewertung ist aber einem Modellierungsansatz der Vortritt zu geben.

2.1.4.3 Potenzielle Simulationsgrößen

Erstmals besteht für eine potenziell verwendbare Energiequelle im Rahmen der Arbeit kein sicherer, räumlicher Datensatz. Die final verwendete, sehr einfache Bewertung der aktuellen Sonnenkraftnutzung hat Einfluss auf die Simulation. Folgende Aspekte können verwendet werden:

1. Steigerung des lokalen Nutzungsgrades für Photovoltaikanlagen im Rahmen der langjährigen nationalen Entwicklungsdynamik: Im Jahr 2001, dem ersten Jahr mit einem national wirksamen Ökostromgesetz, welches die Erzeugung von Strom in Photovoltaik fördern konnte, waren in Österreich Anlagen mit einer Leistung von $6,1 \text{ MW}_{\text{peak}}$ installiert. Bis zum Ende des Jahres 2014 konnte die installierte Leistung auf $785 \text{ MW}_{\text{peak}}$ gesteigert werden (Biermayr *et al.*, 2015). Dies entspricht einem langjährigen Zuwachs von $52 \text{ MW}_{\text{peak}}$ pro Jahr. Dieser Zuwachs erfolgte zuerst überproportional stark, stagniert aber seit einigen Jahren als Konsequenz der aktuellen Förderungssätze für die Errichtung einer Anlage auch in Österreich. Für eine Simulation der Zukunft wird deshalb mit der Hälfte des langjährigen Mittels gerechnet. Ausgehend vom aktuellen Potenzial entspricht dies einem jährlichen Gesamtzuwachs von 3 % – einer Zahl, die sich im Bereich der Modernisierung von Gebäudestrukturen befindet.
2. Steigerung der lokalen Nutzungsgrade für thermische Solaranlagen im Rahmen der langjährigen nationalen Entwicklungsdynamik: Wie unter 1 wird auch für die Solarthermie eine langjährige Wachstumsrate festgelegt. Diese geht von einer installierten Fläche von 2 Millionen m^2 Kollektorfläche im Jahr 2001 aus und erfährt – diesmal weitgehend linear – eine langjährige Steigerung von 180.000 m^2 . Das sind 3,7 %, die in der Planung einer langjährigen Entwicklung berücksichtigt werden können.

2.1.4.4 Datengrundlage

2.1.4.4.1 Manuelle Digitalisierung von Dachflächen

Dächer, mit der Ausnahme von Flachdächern, bestehen in unserer Baukultur immer zumindest aus zwei Segmenten mit unterschiedlicher Exposition. Die Komplexität von Dachflächen lässt sich allerdings beliebig steigern. Zunehmend stört der immer besser ausgebaute Dachraum mit seinen Fenstern und Gaupen die Homogenität großer Dachflächen. Dazu kommen noch diverse Entlüftungsrohre und fast immer ein Kamin.

Was in der automatisierten Analyse schwierig ist, erkennen auch Menschen ohne baufachliche Ausbildung intuitiv. Auf dem Erfassungsbildschirm eines Arc-Gis 10.2 wurde eine durchsichtige

Folie aufgebracht, die aus der Bildschirmmitte beginnend zwei Orientierungslinien auf die aktuellen Luftbilder des BEV einblendet. Die zwei Linien schließen den 90° Winkel eines optimal ausgerichteten Sonnendaches ein. Wenn die Linie der Flächennormalen innerhalb des Orientierungswinkels liegt, wurde die verfügbare Dachfläche im Richtungssegment Süd-West bis Süd-Ost digitalisiert, sonst nicht (Abbildung 32). Immer digitalisiert wurden Flachdächer. Nach dieser Regel wurden im Rahmen der lokalen Testgebiete dieser Arbeit 14.018 Dachsegmente erfasst. Davon befinden sich 8.595 im Kerngebiet der Simulation und bedecken eine Fläche von 912.000 m².



Abbildung 32: Digitalisierung von Sonnendachflächen

Für noch offene Gebiete im Kernbereich der Simulation wurde nach einer Methode gesucht, um numerisch von den digitalisierten Dächern auf die noch offenen Bereiche zu schließen. Die Arbeitstheorie lautete: *Für übliche Bauformen in der Testregion existiert eine wie immer auch geartete Beziehung zwischen den überbauten Gebäudegrundflächen und der Chance auf einen Anteil an Sonnendachfläche.* Diese Annahme fußt empirisch auf der Beobachtung, dass das Geländere relief im regionalen Testgebiet sehr häufig eine Dachausrichtung gegen Süden zulässt und dieses bauhistorisch auch genutzt wurde.

Dieser Versuch wurde so umgesetzt:

1. Jedem Dachelement wurde ein Gebäude aus dem amtlichen Datenbestand des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR II, siehe 2.1.4.4.2) zugeordnet. Dafür wurde eine multipler Ringpuffer (5 Meter Ringe) um den Meldepunkt des GWR II gelegt, der eine maximale Ausdehnung von 25 Metern erreicht hat. Die Dachelemente wurden mit den Ringen verschnitten und das Gebäude mit der minimalen Distanz zugeordnet.

2. Aus dem GWR II wurde die überbaute Gebäudefläche ausgelesen. Diese zeigt die Grundfläche an, die vom Gebäude versiegelt wird. Nicht enthalten sind die allseitig vorhandenen Dachüberstände, die bei Dächern im ländlichen Raum gelegentlich sehr deutlich ausfallen.
3. Mit einem Statistikprogramm (Statgraphics Centurion XI) wurde eine simple Regression gerechnet. Dafür wurde das Datenmaterial sowohl für die überbaute Gebäudefläche als auch für die Sonnendachflächen auf unter 200 m² eingeschränkt. In diesem Bereich liegen die meisten Einzelgebäude der Region.

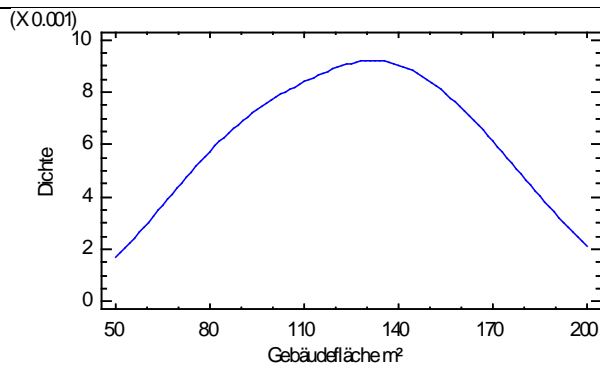


Abbildung 33: Dichtkurve der überbauten Gebäude

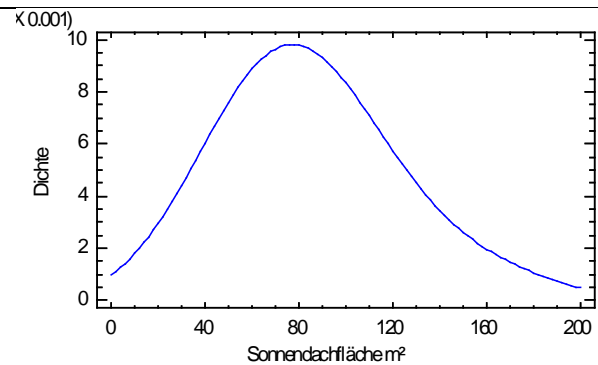


Abbildung 34: Dichtkurve der Sonnendachfläche

Als Ergebnis der statistischen Auswertung kann für Gebäude, die eine Dachfläche mit einer Flächennormalen zwischen Süd-West und Süd-Ost aufzuweisen haben, Folgendes festgehalten werden: Sowohl die überbaute Gebäude- als auch die Sonnendachfläche sind weitgehend normal verteilt. Dem arithmetischen Mittelwert der überbauten Gebäudefläche von $127 \text{ m}^2 \pm 35,7 \text{ m}^2$ steht eine Sonnendachfläche von $85 \text{ m}^2 \pm 36,0 \text{ m}^2$ gegenüber. Würden alle Gebäude über ein Satteldach verfügen, würden wir eine Sonnendachfläche von rund 63 m^2 erwarten. Durch die Möglichkeit eines Dachüberstandes und einen nicht definierten Anteil an Flachdächern – diese nutzen die volle Fläche – steigt der Wert plausibel über den minimalen Erwartungswert.

Trotzdem scheidet der Versuch einer Hochrechnung von der überbauten Gebäudefläche auf das Sonnendachpotenzial an der hohen Streuung. Es konnte kein statistisches Modell gefunden werden, das die beiden Variablen, auch unter zusätzlicher Verwendung von Daten aus dem GWR II, gültig erklären könnte. Nur zur Demonstration wird eine einfache Regression dargestellt, die zwar einen verdichteten Kern aufweist, die aber wegen der Umgebungsstreuung nur einen Korrelationskoeffizienten von 0,28 erreicht (Abbildung 35).

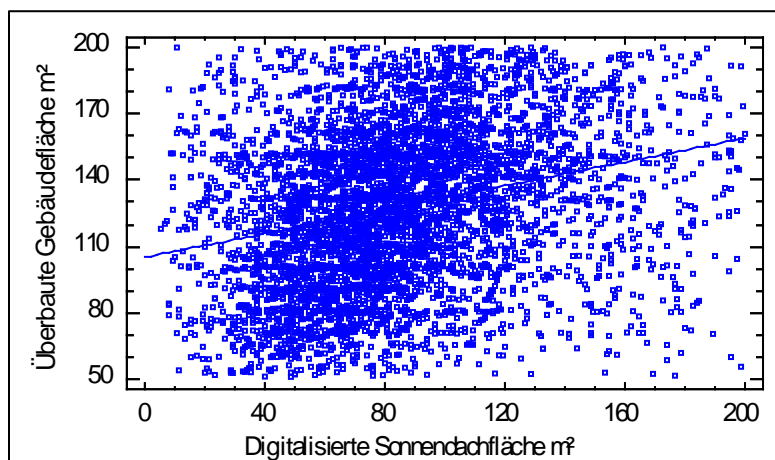


Abbildung 35: Beziehung zwischen Gebäude- und digitalisierter Sonnendachfläche

Der vorliegende manuell erstellte Datensatz gibt keine Auskunft über die tatsächlich bestehenden Anlagen. Um eine Abschätzung über die mögliche Anlagendichte im Testgebiet zu erhalten, wurden zwei von 42 analysierten Gemeinden als Stichprobe erhoben. Die beiden Stichproben sind räumlich voneinander unabhängig und ergeben einen Anteil von 13,37 % bzw. 13,20 %. Fast alle thermischen Solaranlagen (91%) befinden sich auf Wohnhäusern. Siedlungsbauten sind so gut wie nie mit thermischen Solaranlagen ausgestattet, Photovoltaikanlagen im Testgebiet können vor allem im Bereich landwirtschaftlicher Gebäude gefunden werden. Mit dieser Erkenntnis wird ein Ist-Datensatz für die Simulation erstellt.

2.1.4.4.2 Der Meldepunkt des Gebäude- und Wohnungsregisters II (GWR II)

Die Bauämter der amtlichen Verwaltung führen seit der Großzählung der Statistik Austria im Jahr 2001 in Österreich ein amtliches Melderegister für Gebäude auf. Dieses enthält eine Reihe von Fachdaten über die Baustruktur, die Ver- und Entsorgung, aber auch über räumliche Aspekte. Die Verortung wurde als Meldepunkt des Objektes im GWR II bereits im vorhergehenden Kapitel angesprochen. Ein Meldepunkt besteht aus einem Koordinatenpaar (Rechtswert, Hochwert) und dem dazu gehörenden Meridianstreifen (M28, M31, M34) im Bundesmeldenetz. Die Angaben von Koordinaten im Bundesmeldenetz erfolgen in Metern, wobei der Koordinatenursprung auf El Hierro (Kanarische Inseln) liegt. Diese Maßnahme ermöglicht eine vollständige Abbildung von Österreich in drei Streifen. Damit die Koordinatenpaare nicht künstlich erhöht werden, wurde sowohl für die Rechtswerte, als auch für den Hochwert eine Standardkorrektur eingeführt.

2.1.4.4.3 Digitales Geländemodell

Das DGM, wie unter 0 beschrieben, dient der Globalstrahlungsberechnung und ermöglicht eine Berücksichtigung der großräumigen Geländeabschattung im Jahresverlauf.

2.1.4.4.4 Gebäudeaußengrenzen aus dem digitalen Kataster

Gebäudeaußengrenzen sind in der digitalen Katastralmappe (DKM) eingetragen (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2012). Über das Datenfeld „Nutzungsart“ lässt sich mit der Kennung „Gebäude“ eine Datenabfrage gestalten, die insgesamt etwas mehr als 3,76 Millionen

Objekte selektiert. Diese Objekte haben im Schnitt eine Grundfläche von rund 171 m² und bedecken fast 1 % des Bundesgebietes. Abbildung 36 zeigt einen beliebigen Ausschnitt im ländlichen Raum. Die dargestellten Polygone demonstrieren bereits die hohe Komplexität von Gebäudemodellierungen. Die Formen sind nur selten einfache Rechtecke, sondern bestehen zumeist aus verschachtelten Polygonen, die zum Teil, etwa in Straßenverläufen, auch als Approximation an Kurven gesehen werden können. Den Polygonen fehlen Informationen über die Art der Dächer bzw. der Giebelelemente, Exposition oder andere Dacheinrichtungen sowie über die Dachhöhe. Außerdem zeigt der empirische Vergleich zwischen aktuellen Luftbildaufnahmen und der DKM im ländlichen Bereich, dass viele Objekte (noch) nicht erfasst wurden.

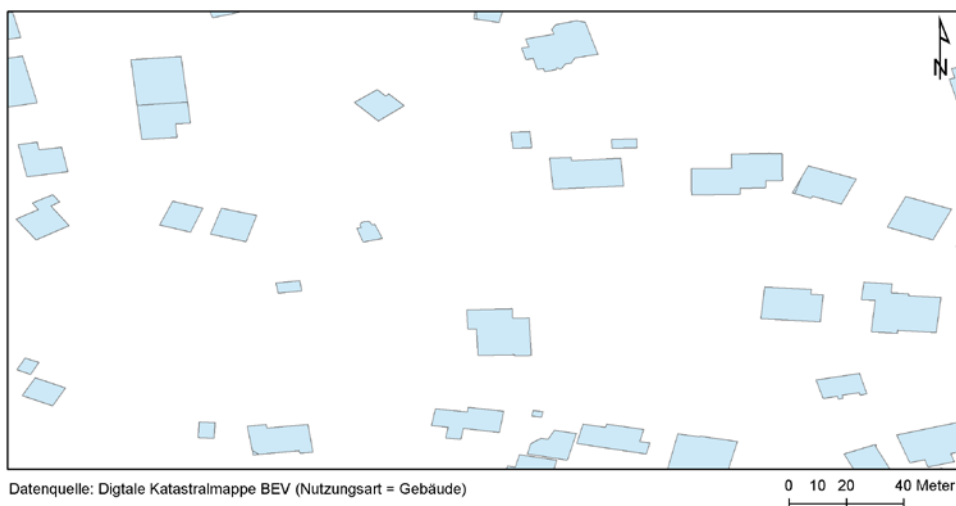


Abbildung 36: Ausschnitt der Gebäudegrenzen aus der DKM

2.1.4.4.5 Höhen der nationalen Airborne Laserscan Daten

Für ganz Österreich wurden in den letzten Jahren mittels Airborne Laser Scan (ALS) Höhenpunkte erstellt. Vorreiterdaten aus Städten verfügen über eine hohe Punktauflösung von 15-20 Punkten/m², im ländlichen Raum wurde die Punktwolke mit 4 Punkten/m² erstellt. Für die Modellierung von Dachlandschaften sind die ALS-Daten von besonderer Bedeutung, da ihre Last-Pulse-Daten als einzige Quelle zur Bestimmung der Dachneigung verwendet werden können. Modellhafte Ansätze werden unter 2.1.4.5 beschrieben.

2.1.4.4.6 Spektrale Informationen aus Datensätzen der Fernerkundung

Viele Dächer in Österreich wurden mit speziellen Dachmaterialien eingedeckt. Diese Materialien können zum Teil aus hochwertigen Datensätzen der Fernerkundung spektral bestimmt werden. Aufgrund des im Vergleich zur Landschaftsanalyse doch recht feinen Analysebedarfes müssen aber Bilder mit höchster Auflösung verwendet werden (Banko *et al.*, 2010). Für Österreich stehen hier flächendeckende Orthofotos zur Verfügung. Zusätzliche Pléiades-Daten (Auflösung 70 cm, 4 Kanäle zwischen 430 und 950 nm) werden für kommerzielle Nutzer derzeit im größeren Ausmaß erfasst (CNES, 2011). Ob diese tatsächlich einen Beitrag zur Segmentierung leisten können, muss sich im Projekt LISA noch zeigen.

2.1.4.5 Bewertungsmodell

2.1.4.5.1 Workflow

Die Bewertungsmodelle zur Klassifikation von Standorten für Photovoltaik und thermische Solaranlagen folgen einem linearen Konzept. Ein erster umfangreicher Schritt ist die Suche nach potenziell nutzbaren Flächen. Diese Feststellung kann bei Großanlagen durchaus ohne Anwendung eines Modells getroffen werden. Ehemalige Mülldeponien oder Bergbaugebiete sind Freiflächen, die eindeutig erkennbar sind. Deren Besitzer sind oft Interessenten für die solare Energienutzung. Im Siedlungsbereich verbleibt eine hohe Anzahl an kleinen Dachflächen für die autarke Energienutzung durch die Besitzer. Hier können automatische Detektionsprozesse in Gang gesetzt werden. Für potenzielle Entwicklungsflächen müssen für die Bewertung des Globalstrahlungspotenzials noch Exposition und Neigung bestimmt bzw. festgelegt werden. Unter Anwendung lokal optimierter Strahlungsfaktoren (Schaumberger, 2011), kann eine Globalstrahlungsberechnung durchgeführt werden. Die Klassifikation der Ergebnisse folgt oft dem Vorschlag von Expertengruppen (Kreuzer, 2013).

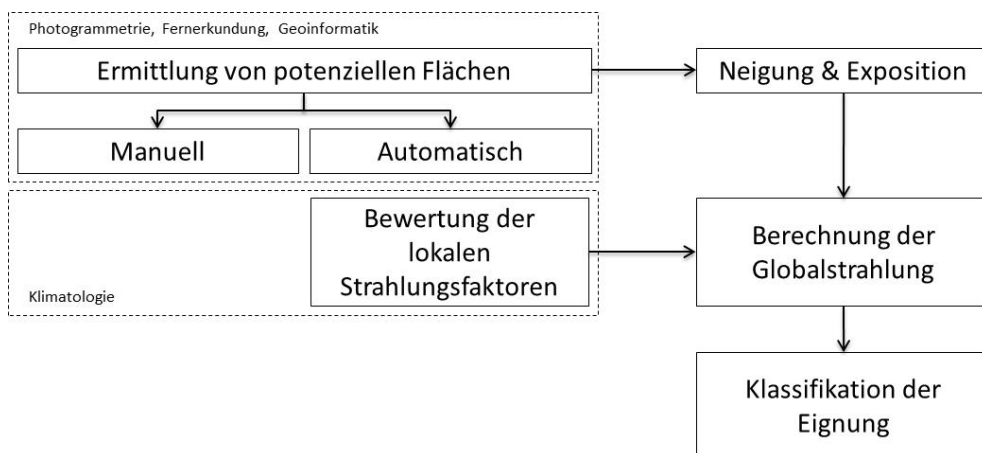


Abbildung 37: Workflow der Bewertungsmodelle der Sonnenenergie

2.1.4.5.2 Analysemethoden zur Ermittlung von Dachflächen

Bereits bei der manuellen Erfassung von Dächern wird die Herausforderung einer automatisierten Erfassung erkennbar. Dächer sind keine kontinuierliche Landbedeckungskategorie wie etwa die Vegetation. Wenn wir in der Lage sind, Grünland in Fernerkundungsdaten zu erkennen, so öffnet sich das meiste Wissen im Augenblick des Erkennens. Grünland ist naturwissenschaftlich im Rahmen seiner Streubreite definiert. Nehmen wir etwa die Höhe des Bestandes: Gras kann nicht über seine natürliche Wuchshöhe hinaus wachsen. Außerdem ist Grünland in seinem Ausbreitungsgebiet eine dominante Landbedeckung, die vielleicht sogar fast 100 % der lokalen Landfläche bedeckt.

Dachflächen sind anders: Zum Einen sind sie verhältnismäßig klein und ein Erfassungsirrtum hat verhältnismäßig größere Auswirkungen, die dann noch im Fokus größeren Interesses liegen. Zum Anderen ist die Ausführung von Dächern geometrisch variabel und kann mit vielen verschiedenen

Materialien umgesetzt werden. Dazu kommt im Gegensatz einer einfachen Vegetationsklasse noch der Aspekt der Höhe. Es ist nicht nur die Art und Lage, die ein Dach entscheidend prägen, sondern auch seine Höhe. Ein achteckiges Dach am Dorfplatz könnte ohne Höhenangabe sowohl ein Pavillon als auch ein Kirchturm sein. Ein Pavillon könnte eine Photovoltaikanlage tragen, ein Kirchturm nicht.

Die Erwartungshaltung einer 100%igen Erkennung von Dachflächen oder anderen kleinteiligen Landschaftsstrukturen kann nicht erfüllt werden. Die Gründe dafür liegen in der Komplexität der Strukturen und der Vermischung von spektralen Signaturen auf kleinem Raum. Zusätzlich stehen nicht immer die optimalen Daten zur Verfügung (Sohn und Dowman, 2007).

Folgende Aspekte müssen bei der Modellierung von Dachflächen berücksichtigt werden:

- Die Formen der Dachflächen sind geometrische Vielecke.
- Neben der Form beschreibt vor allem die lokale Ausführung in Neigung und Ausrichtung ein Dachelement.
- Ein Dach besteht aus einer beschränkten Anzahl verschiedener Baumaterialien. Diese können jedoch auch in anderer Form verwendet werden (Asphalt am Flachdach).
- Dächer beschatten sich gegenseitig.
- Dächer können durch andere Klassen überdeckt werden (z.B. Bäume).

Die aufgezählten Aspekte können durch unterschiedliche Verfahren mit ihren Eingangsdaten individuell unterstützt werden. In der Kombination von Katastergrenzen mit ALS-Höhen und der spektralen Information aus Luft- und Satellitenbildern entstehen hybride Bewertungsmodelle mit hohen Erkennungsraten (Awrangjeb *et al.*, 2010, Demir und Baltasavias, 2012, Johnson und Xie, 2013, Lemp und Weidner, 2005, Nguyen *et al.*, 2012).

2.1.4.5.2.1 *Spektrale Analyse*

Die spektrale Analyse ist ein Kernwerkzeug der Photogrammetrie und Fernerkundung (Albertz, 2001). Das Erkennen von verschiedensten Landbedeckungsklassen – auch von Dächern – ist sowohl aus hochauflösenden IR-Orthofotos (Demir und Baltasavias, 2012) als auch mit Fernerkundungssensoren möglich (Lemp und Weidner, 2005). Die dabei verwendeten Ansätze versuchen sowohl eindeutig erkennbare Landbedeckungsklassen aus dem Bereich „nicht Dach“ auszuschließen als auch eindeutige Signaturen von Dacheindeckungen, z. B. Kupferblech zu erkennen. Demir und Baltasavias, 2012, etwa bereiten ihre IR-Orthofotos mit dem Werkzeug Erdas Imagine (Erdas, 2010) auf und trennen mit dem NDVI und einem Isodata-Clustering die Vegetation aus dem Bildbereich. Die so erhaltenen Gebäudedaten wurden zu 91% richtig abgebildet. Weiter entwickelte Ansätze versuchen nicht nur eine Differenzierung der Signatur, sondern erstellen bereits einfache Objekte (Tzotsos *et al.*, 2011). Lemp und Weidner, 2005 bzw. Johnson und Xie, 2013 segmentierten ihre Sensordaten mit einem Region-Growing-Algorithmus. Diese Technik beruht auf der Analyse von möglichst heterogenen Objekten. Parameter zur Absicherung der Heterogenität liefern neben den spektralen Signaturen auch die entstehenden Objekte selbst. Eine Erwartungshaltung an Gebäude aus dem Region-Growing-Algorithmus ist etwa, dass möglichst

homogene, glatte Objekte entstehen. Alternative Ansätze aus dem Bereich der Geographic Object-Based image analysis (GOBIA) verwenden andere Ansätze, die sich auf signifikante Elemente von gesuchten Objekten spezialisieren (Blaschke, 2010). Ein sehr verbreiteter Zugang ist die Detektion von Kantenlinien, etwa nach dem Canny-Algorithmus (Awrangjeb *et al.*, 2010). Aus diesem können – wieder mit unterschiedlichsten Methoden – Dachelemente aufgebaut werden. Die spektrale Analyse von Sensordaten im Gebäudebereich ist in modernen Systemen keine reine zweidimensionale Technik mehr, sondern unterstützt durch ihre Strukturanalysen bereits die Entwicklung von dreidimensionalen Modellen.

2.1.4.5.2.2 *Analyse von Punktwolken aus dem Airborne Laser Scanning (ALS)*

ALS-Punktwolken können in zwei Grenzschichten differenziert werden. Aus den korrigierten Last-Pulse-Daten kann ein modernes Geländemodell – ein Digital Terrain Model (DTM) – abgeleitet werden. Die korrigierten First-Pulse-Daten ermöglichen die Erstellung eines Oberflächenmodells (DOM), (Wehr und Lohr, 1999). Sowohl DTM als auch DOM zeigen für geschlossene Objekte kleinräumig homogene Messwerte, die im Grenzübergang zwischen Gebäude und Umland deutlich springen (Vosselman und Maas, 2010). Objekte, die der Laserstrahl zum Teil durchdringen kann, wie etwa Bäume, zeigen kleinräumig ein sehr unruhiges Messergebnis.

Die Analyse des DOM – Dachflächen sind ein Teil dieser Oberfläche – wird meist über die Analyse von Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Messpunkten geführt. Für die Prüfung dieser Beziehung werden beliebige Vielecke aus benachbarten Punkten gebildet und funktional auf die eindeutige Bildung einer ebenen Fläche geprüft. Bei einem unregelmäßigen Dreiecksnetz kann eine einfache lineare Funktion verwendet werden (Nguyen *et al.*, 2012). Scop++ 5.5 bildet Vierecke und verwendet für die Analyse der Nachbarschaftsbeziehungen eine rotierende mathematische Funktion (Bell-Kurve) (TU Wien, 2014). Aus dem räumlichen Schnitt zwischen homogenen Flächen können Schnittlinien abgeleitet werden. Die Verwendung spezieller Funktionen bzw. Analysetechniken für die Nachbarschaftsbeziehungen bzw. der Schnitt der Teilergebnisse erhöhen die Genauigkeit für gesuchte Objekte (Vosselman *et al.*, 2004). Die im Wesentlichen immer über Vektorberechnungen geführte Analyse der ALS-Daten kann als Ergebnis in einen kontinuierlichen Rasterdatensatz umgewandelt werden. Vektor- und Rasterdaten erzeugen gemeinsam ein hybrides Ergebnis (Abbildung 38). Eine Ausnahme bildet Software zur Analyse von Gebäuden. Diese erzeugt aus den mathematischen Ergebnissen ein echtes 3D-Vektormodell. Die Qualität der ALS-Daten sowie das Ausmaß der zusätzlich integrierten Daten ermöglicht unterschiedlich genaue Darstellungen der Gebäudeobjekte. Für die Normierung von 3D-Stadtmodellen hat CityGML mehrere Ebenen der Genauigkeit definiert. Die 3D-Objekte in Abbildung 39 entsprechen einem mittlerer Detaillierungsgrad (Gröger und Plümer, 2012).

<p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> — CU (computing unit) ○ Grid points — Break line — Border line — Single point — Triangulation — Contour line 	
<p>Abbildung 38: Hybride DTM Struktur (TU Wien, 2014, Abbildung 5.1.)</p>	<p>Abbildung 39: 3D-Vektormodell von Gebäuden (Lüthi, 2015).</p>

2.1.4.5.2.3 Auswertungskonzepte

Einfache Konzepte zur Analyse von Dachflächen können mittels spektraler Analyse oder der Bewertung von ALS-Daten umgesetzt werden. Professionelle Systeme (Hexagon AB, 2015, TU Wien, 2014) aber auch fortgeschrittene Forschungsgruppen verwenden beide Ansätze gemeinsam und ermöglichen oft noch die Integration anderer Daten, etwa die Grenzpolygone aus dem Vermessungskataster.

<p>Flowchart for roof detection using Image Data and LiDAR Data:</p> <ul style="list-style-type: none"> Image Data: Multispectral classification → Building class; DTM & DOM generation → DTM & DOM → nDOM; NDVI → Vegetation class. LiDAR Data: Filter to LiDAR DTM → Building + Trees; Tree detection. Integration: Building class and nDOM → Approach 1; DTM & DOM and nDOM → Approach 2; Vegetation class → Approach 3; Building + Trees and Tree detection → Approach 4. Final step: Combination of the result. 	<p>Flowchart for roof detection using LiDAR, Roof prints, and Aerial photos:</p> <ul style="list-style-type: none"> LiDAR: First pulses, Last pulses → Extraction → Analysis. Roof prints and Aerial photos → Verification → Analysis. Analysis: Tree over roofs, Single roof planes, Complex roof planes. Tree over roofs: Tree crown matching, Canopy and tree height regression → Tree raster. Single roof planes and Complex roof planes: Plane segregation, Single Value Decomposition, TIN-Methods for fit heights → Building raster.
<p>Abbildung 40: Detektion von Dachflächen (Demir und Baltasavias, 2012)</p>	<p>Abbildung 41: Detektion von Dachflächen (Nguyen et al. 2012)</p>

Unterschiedliche Autorengruppen haben 2012 die in Abbildung 40 und Abbildung 41 dargestellten Auswertungskonzepte entwickelt und erfolgreich angewandt. Demir und Baltasavias, 2012, verwenden Luftbilddaten für eine spektrale Klassifikation und vergleichen das Ergebnis mit den Dachflächen, die aus dem LiDAR eindeutig ermittelt werden konnten. Für eine korrekte Bewertung musste die mögliche Überdeckung der Dächer durch Bäume berücksichtigt werden. Nguyen et al. 2012 hat einen ähnlichen Arbeitsprozess entwickelt. Die Validierung der Dächer wird hier aber mit einem objektorientierten Segmentierungsansatz nach den Dachstrukturen umgesetzt.

2.1.4.5.3 Berechnung der Globalstrahlung

Die Globalstrahlungsanalyse kann technisch einfach mit Werkzeugen aus der *Spatial-Analyst-Toolbar* in Arc-Gis 10.2 der Firma ESRI umgesetzt werden (Esri, 2008). Im Bereich *Solar Radiation* steht mit dem Werkzeug *Point Solar Radiation* ein geeignetes Werkzeug, mit dem Meldepunktes des GWR II die benötigten lokalen Koordinaten zur Verfügung. Photovoltaikanlagen auf Hausdächern für die Globalstrahlungsbewertung als Punktobjekt zur approximieren, ist in Anbetracht der geringen räumlichen Größe – wir sprechen zumeist von Anlagen mit weniger als 100 m² - zulässig. Ein zusätzlicher Vorteil des verwendeten Werkzeuges ist seine Leistungsfähigkeit sowie die Option, die Strahlungsberechnung am Zielpunkt auf eine durch Neigung und Ausrichtung definierte Zielfläche auszurichten.

Folgende Datensätze/Parameter müssen dem Werkzeug zur Verfügung gestellt werden:

1. Digitales Geländemodell: Dieses wird für die Berechnung der Horizontabschattung des untersuchten Standortes verwendet. Wie in Abbildung 42 dargestellt, beeinflussen umliegende Berge die potenzielle Sonnenscheindauer eines beliebigen Standortes. Im linken Bereich der Abbildung liegt der untersuchte Punkt in einem Tal, das sich nach Süden und Westen hin weit öffnet. Der Horizont ist fast vollständig frei und die Sonne kann auch bei niedriger Höhe ihren Beitrag zur Globalstrahlungssumme leisten. Der Punkt im rechten Bildbereich liegt in einem Tal, das sich von Süden nach Norden erstreckt. Der gesamte von der Sonne abdeckbare Bereich von Ost über Süd nach West ist im Vergleich zur linken Abbildung deutlich eingeschränkt. Inwieweit die Sonne zum Zeitpunkt t tatsächlich hinter dem Horizont liegt, kann in Abbildung 43 studiert werden. Die linke Abbildung, diese zeigt die direkte Strahlung, die auf eine Sichtverbindung zwischen Sonne und Beobachtungspunkt angewiesen ist, liegt monatelang unter dem Horizont, und der Standort bleibt völlig im Schatten.

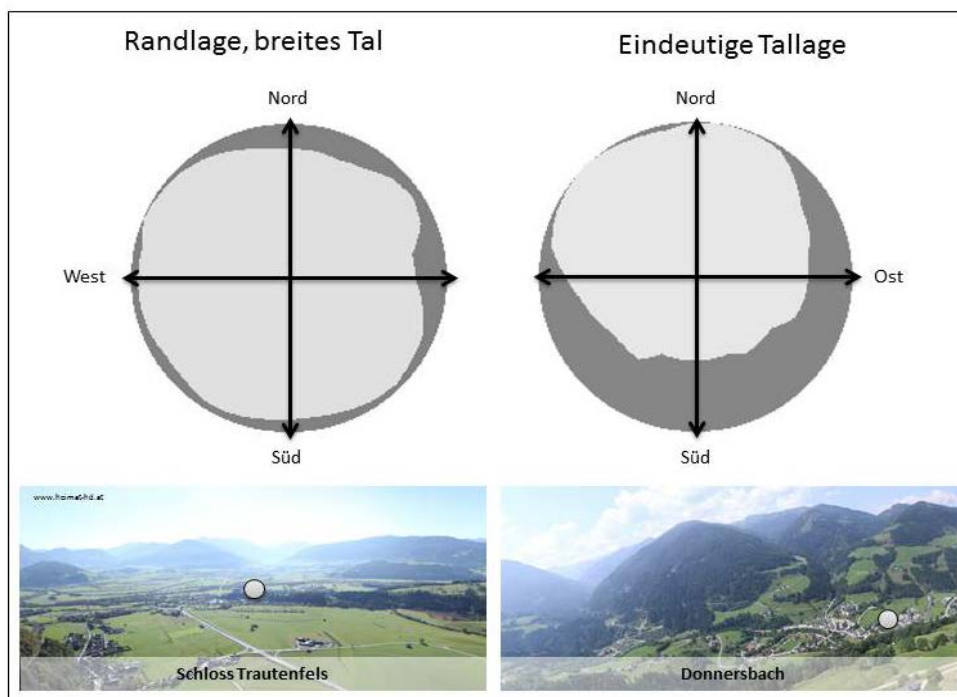


Abbildung 42: Horizontabschattung unterschiedlicher Lagen

2. Analysepunkte: können aus dem Datensatz der Meldepunkte im GWR II entnommen werden.
3. Angaben zur Strahlungsverteilung: Wenn die Sonnenstrahlung mit einer Leistung von 1.367 W/m^2 vom Rand der Atmosphäre weiter in Richtung Erde vordringt, reduziert sich ihre Strahlungskraft zunehmend. Rund 30 % der Strahlung werden von der Atmosphäre, den Wolkenoberflächen oder der Erdoberfläche wieder in das Weltall reflektiert. 19 % werden von der Atmosphäre und den Wolken aufgenommen. Der Rest von 51 % kann auf der Erde absorbiert werden (Pidwirny, 2006). Ob die Strahlung als direkte Strahlung (*Arc-Gis: Transmittivity*) oder als diffuse Strahlung (*Arc-Gis: Diffuse Proportion*) verwertet wird, hängt stark von den klimatischen Bedingungen am Standort ab. Wird der Himmel im Jahresverlauf von wenigen Wolken beeinflusst und bleibt der Wasserdampfgehalt niedrig – etwa in der Wüste – kann deutlich mehr Strahlung direkt auf die Erdoberfläche dringen als in feuchten klimatischen Staulagen. Dort wird die Strahlung diffus zerstreut und trägt so zur Globalstrahlung bei.

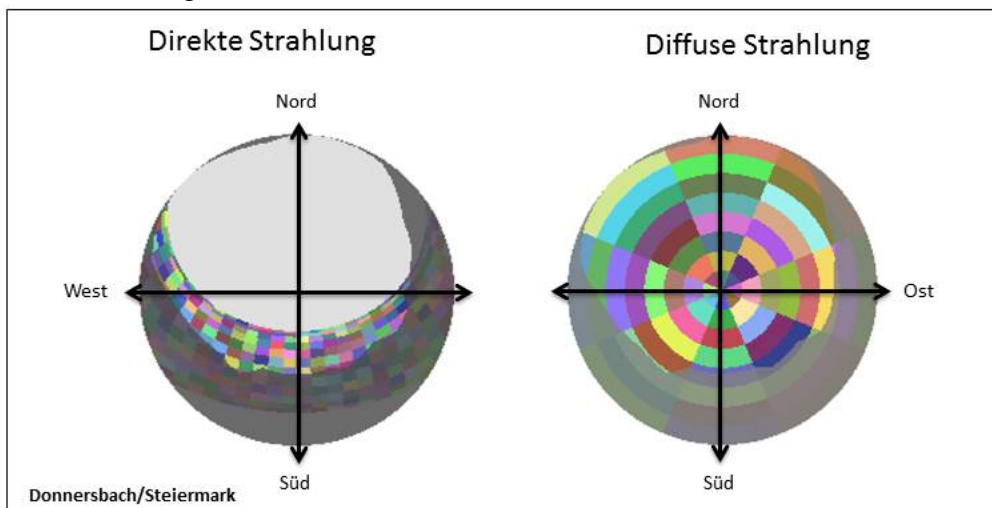


Abbildung 43: Strahlungsverteilung in Donnersbach

Wissenschaftlich gesicherte Grundlagen über die lokale Beziehung zwischen direkter und diffuser Strahlung sind der Ausgangspunkt für eine gültige Globalstrahlungsberechnung. Schaumberger, 2011, hat beide Parameter mit Messwerten der ZAMG für Österreich berechnet. Deutlich zeigt Tabelle 8 die hohe Bedeutung der diffusen Strahlung in den Sommermonaten. Da der Beitrag der einzelnen Monate zur Jahresenergiesumme nicht gleich ist, wurden aus den Monaten April bis September Parametermittelwerte berechnet und in die Funktion Point Solar Radiation eingesetzt. Diese betragen 0,57 für die diffuse Strahlung und 0,39 für die direkte Strahlung.

Tabelle 8: Parametrisierung der Globalstrahlungsberechnung (Schaumberger, 2011, Tabelle 17)

	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun	Jul.	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Diffuse Proportion	0,45	0,55	0,55	0,55	0,6	0,6	0,5	0,55	0,6	0,5	0,45	0,45
Transmittivity	0,55	0,5	0,45	0,4	0,35	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,55	0,45

4. Neigung und Ausrichtung: Die Globalstrahlungsberechnung für Photovoltaik und thermische Solaranlagen kann von folgender Annahme ausgehen: Die technische Errichtung der Anlagen kann durch die Auswahl eines geeigneten Daches bis zu einem gewissen Grad und durch die Neigung der Anlage auf ihrer Konstruktion sehr genau beeinflusst werden. Die Projektionsfläche der Funktion *Point Solar Radiation* ist in unserem Fall also nicht das lokale Gelände sondern eine fixes Zahlenpaar, das die Ausrichtung (Azimut) und Neigung der Anlage angibt. Im Idealfall zeigt die Flächennormale der Anlage genau nach Süden und die Neigung von fix installierten Anlagen beträgt 30° . Dies hat, wie Abbildung 44 zeigt, deutliche Vorteile für die mögliche Leistung der Anlage. Nur wenige der 23.511 geprüften Meldepunkte erreichen die Globalstrahlungsleistung einer optimalen Installation.

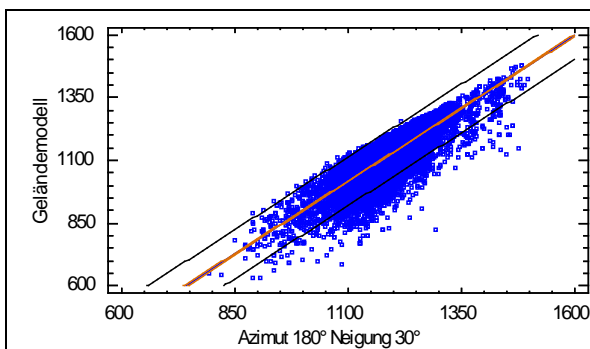


Abbildung 44: Globalstrahlung (kWh m² a) unter gegebenen Bedingungen

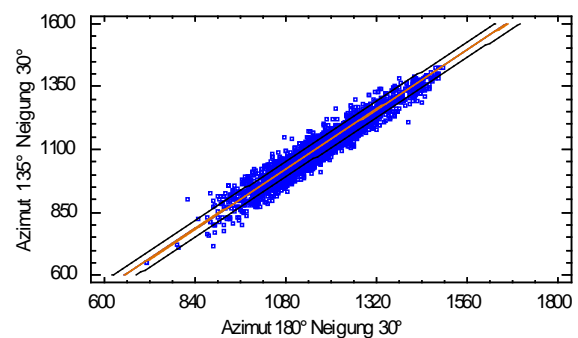


Abbildung 45: Einfluss einer Drehung der optimalen Anlage um 45° nach Osten

Die Prüfung einer Abweichung der optimalen Anlage um je 45° bzw. 90° nach Westen bzw. Osten ergab einen zunehmenden Leistungsverlust bis maximal 16,3 % (Tabelle 9). Die Leistung in Richtung Westen fällt etwas geringer ab. Dies entspricht gut der Form des Testgebiets, das im Osten von Bergen begrenzt wird, aber in Richtung Süd-West frei weiterläuft.

Tabelle 9: Auswirkung des Azimutwinkels auf die Leistung von Photovoltaikanlagen

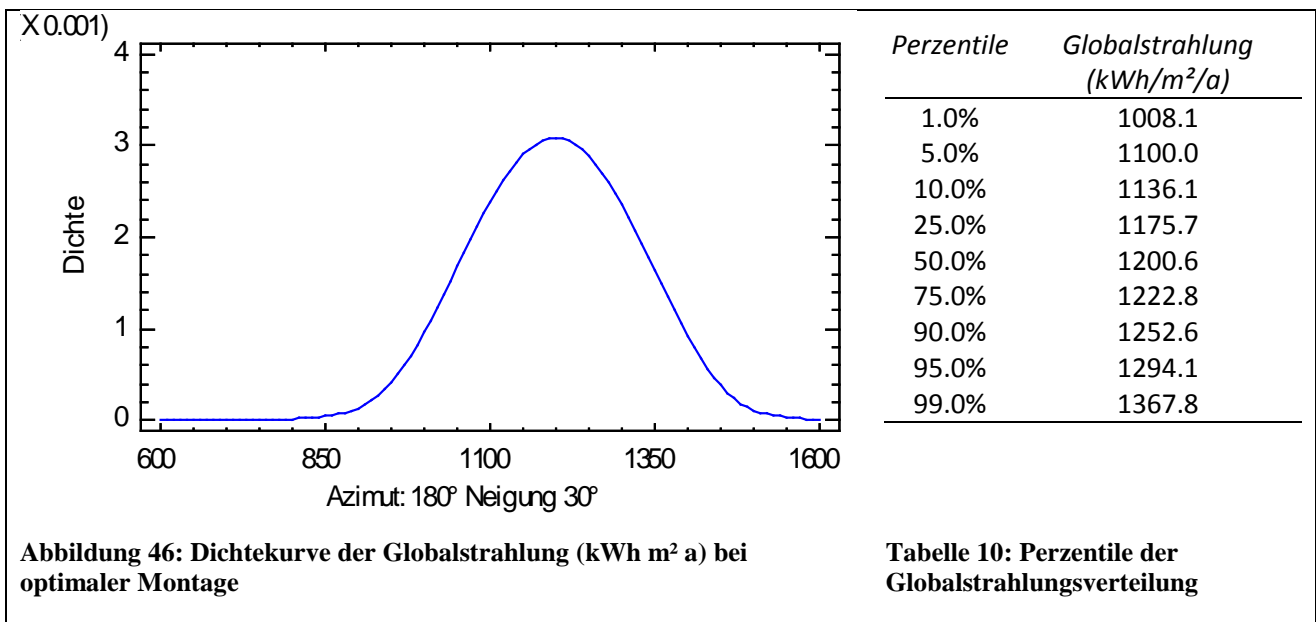
Ausrichtung	Mittelwert kWh/m ² a	Std	Abweichung %
Geländeoberfläche	1.130	84	-5,7
Azimut: 90° , Neigung 30°	1.002	55	-16,3
Azimut: 135° , Neigung 30°	1.138	60	-5,0
Azimut: 180° , Neigung 30°	1.198	59	
Azimut: 225° , Neigung 30°	1.147	52	-4,3
Azimut: 270° , Neigung 30°	1.012	45	-15,5

5. Sonstige Einstellungen der Funktion: Neben den grundlegenden Einstellungen, die sich direkt auf die Berechnung der Globalstrahlung auswirken, beeinflussen einige Parameter die Art des Ergebnisses. Diese sind:
- Time configuration: Da nur das Jahresergebnis verwendet wird, konnte die Einstellung *Whole year with monthly interval* ausgewählt werden. Diese Maßnahme beschleunigt die

Berechnung deutlich, da für jeden Monat nur ein ausgewählter mittlerer Tag untersucht wird. Die Jahressumme bildet sich aus den Monatsergebnissen.

- b. Slope and aspect input type: Um die Globalstrahlung auf eine subjektiv festgelegte Projektionsfläche zu lenken, wurden in den Punktdatensatz die beiden Felder *slope* und *aspect* eingefügt und mit den jeweiligen Simulationsergebnissen angefüllt. Die Einstellung *From_Points_Table* führt dazu, dass diese Werte für die Projektionsfläche verwendet werden.

Aus den über 23.000 bewerteten Meldepunkten ergibt sich unter optimalen Bedingungen eine normalverteilte Globalstrahlungsverteilung ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{a}$), die ihr unterstes Leistungsviertel bei einer Globalstrahlung von $1.175 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ erreicht. Der Hälfte der Anlagen steht mehr als $1.200 \text{ kWh}/\text{m}^2/\text{a}$ an Globalstrahlung zur Verfügung. Die Perzentilen werden im Rahmen der Simulation einer Zukunftsstrategie den Grenzwert für potenzielle Standorte bestimmen.



2.1.5 Die Windenergie

Wind ist überall. Die physikalischen Zusammenhänge der Globalstrahlung treiben auch die Windkraft. Die Energie, die als Solarkonstante auf die Erde einwirkt, verteilt sich in unterschiedlichen Breiten auf unterschiedliche Einstrahlungswinkel. Mit zunehmender Distanz zur Normalfläche, das ist zum Zeitpunkt des Frühlings- und Herbstbeginns der Äquator, vergrößert sich die Fläche, auf welche die Solarkonstante wirkt und verdünnt damit den Energieinput. Dieser Zusammenhang variiert durch die Auswirkungen der Jahreszeit und führt zu einer dynamischen Verschiebung der windbestimmenden Zellen. Jede Windzelle – die planetarische Windzirkulation kennt drei Hauptwindzellen – folgt thermischen Strömungsprinzipien.

Auf der Erdhalbkugel kennen wir drei Hauptwindzellen:

- Die Hadley-Zelle reicht vom Äquator bis zum 30igsten Breitengrad, führt durch ihre Konstanz zu den stabilsten Windverhältnissen, die als Ost-Passatwinde bekannt sind (Hadley, 1735). Die Luft erwärmt sich in der Hadley-Zelle am Äquator, steigt auf und fließt mit zunehmender Abkühlung im Bereich bei 30° Breite wieder zu Boden. Durch die Druckunterschiede innerhalb der Zelle wird die Luft wieder zum Ausgangsbereich zurückgesaugt.
- Die Ferrel-Zelle zwischen 30° und 60° Breite wird in ihrer Drehrichtung ebenfalls vom absinkenden Wind auf 30° Breite angetrieben und dreht sich deshalb in entgegengesetzte Richtung (Ferrel, 1858). Ihre Dynamik ist schwach, weshalb sich in der Ferrel-Zelle nicht sehr konstante Westwinde ausbilden.
- Die Polarzelle bildet den entferntesten Abschluss der dynamischen Zellen und reicht vom 60sten Breitengrad bis zum Pol. Der bestimmende Wind im Polbereich ist der konstante polare Ostwind.

Die Ausbildung von drei Zellen mit gegenläufiger Hauptwindrichtung wird von der Corioliskraft bestimmt. Diese Kräfte wirken auf Massenverschiebungen in rotierenden Systemen und führen praktisch zu einer Krümmung der Bewegungsbahn (Coriolis, 1835). Für die Windsysteme der Erde bedeutet dies, dass die Luft in den Zellen nicht entlang der Längengrade fließt, sondern vielmehr eine Kurvenbahn einnimmt, die Ausgangspunkt für die Rotationswirbel von Hoch- und Tiefdruckgebieten sind. Hochdruckgebiete rotieren auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn, Tiefdruckgebiete gegen den Uhrzeigersinn. Die Ausbildung von drei globalen thermischen Windzellen, die Corioliskraft und die variierenden lokalen Druckunterschiede bilden ein hochdynamisches System von globalen Winden. Zwar bilden sich Hauptwindrichtungen, aber eine längerfristige Vorhersage der globalen Windsituation zum Zeitpunkt t ist unmöglich.

Wind ist bewegte Luft und diese hat immer eine Masse. Sie beträgt auf Meeresniveau bei 20° C 1,2041 kg/m³ und nimmt mit sinkender Temperatur zu und mit steigender Höhe ab. Wind ist also immer eine Massenverschiebung. Diese Verschiebung trifft in großen Höhen auf wenig Widerstand, bildet lokale Starkwindbänder (Jet-Stream) und unsere Großwetterlage aus. Mit zunehmender Nähe beeinflusst die Geländestruktur die Windgeschwindigkeit. Massekonsistente Strömungsmodelle können die Veränderung in Abhängigkeit der Geländeoberfläche bewerten und

zeigen, dass gelegentlich Beschleunigungseffekte auftreten, aber meistens Verwirbelungen entstehen, die zu einer Reduktion der Windgeschwindigkeit führen. Diese Effekte nehmen bei bodennahem Wind immer stärker zu. Die Wirkung der Erdoberfläche wird als Rauheit mit Z_0 bezeichnet. Ein Z_0 von 1 definiert eine von Gebäuden und Baumbeständen bis 20 Meter bedeckte Landschaft, ein Z_0 von 0,03 wird für glatte Oberflächen eingesetzt. Die einzelnen Kurven zeigen, wie sich die Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe entwickelt, wenn am Boden eine Windgeschwindigkeit von 10 m/s gemessen wird. $Z_0=1$ erreicht eine Windgeschwindigkeit von 13,1 m/s erst in 70 Meter Höhe, während $Z_0=0,03$ diese bereits in 60 Meter Höhe erreicht (Wieringa, 1986).

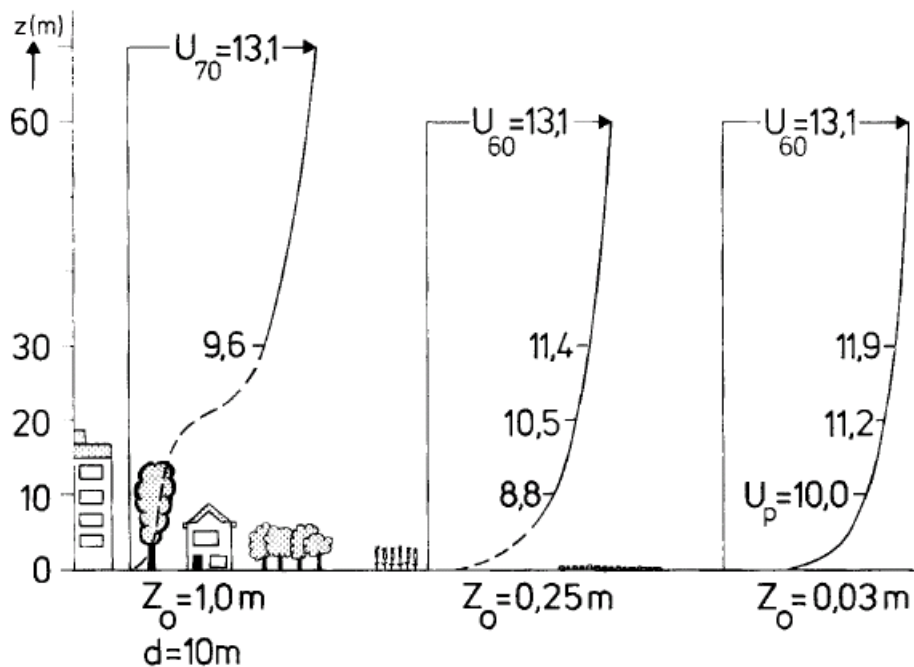


Abbildung 47: Einfluss von Z_0 auf die Windgeschwindigkeit (Wieringa, 1986, Abbildung 1)

Eine Windturbine am Standort x und auf einer Höhe h kann zum Zeitpunkt t nur jenen Wind nutzen, der sich aus der komplexen Situation der Hauptwindströme, des aktuellen Wetters zu diesem Zeitpunkt und aus der Rauheit des Geländes ergibt.

Formel 20: Funktionelle Beschreibung der lokalen Windgeschwindigkeit

$$f_{xht} = |\text{Hauptwindstrom, Wetter, Gelände}|$$

2.1.5.1 Gesamtmodell

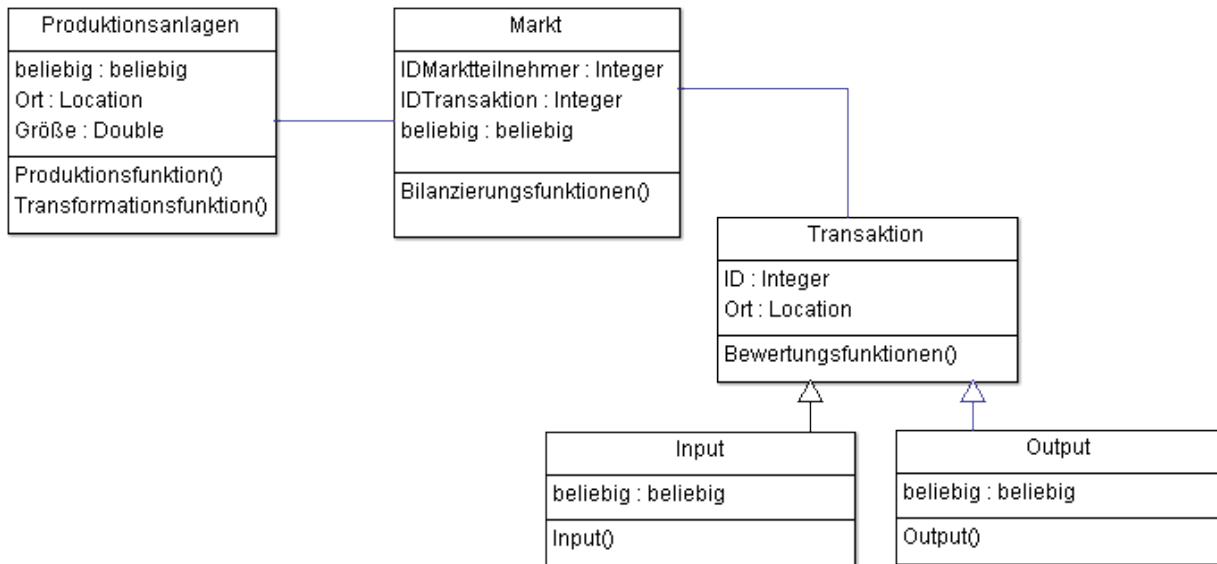


Abbildung 48: UML Energiebereitstellung aus Windenergie

Windkraftwerke erzeugen ihre Energie an guten Standorten mit hoher Effizienz in Bezug auf das sachlich und ökonomisch notwendige Investment. Etwa 1.000 leistungsfähige Anlagen sind aktuell bekannt und erzeugten im Jahr 2014 rund 4,5 TWh Strom. Diese Anlagen werden immer von Konsortien oder von Energieunternehmen betrieben. Kleinwindkraft spielt keine Rolle, die individuelle Autarkie von Einzelobjekten ist unrealistisch. Einzelne Windräder stehen fast immer innerhalb eines Windparks, da neben der Produktionsfunktion auch noch die Transformation und Weiterleitung des Stroms erfüllt werden muss. Die bestehenden Anlagen wurden nach mehrjährigen Messungen der Windpotenziale errichtet, da ähnlich der Wasserkraft ein verlässlicher Wissensstand über die lokale Eingangsenergie vorhanden sein muss. Die Potenzialanalyse hat deshalb praktisch wenig Bedeutung, kann aber für eine Abschätzung von möglichen Entwicklungen gut verwendet werden. In der aktuellsten Studie der Austrian Wind Potential Analysis *AuWiPot* (Truhetz *et al.*, 2012) wird ein Potenzial von 4,8 TWh angegeben (Krenn *et al.*, 2011). Vier Jahre vorher ergab eine Potenzialstudie noch 7,4 TWh (Hantsch und Moidl, 2007). Eine umfangreiche, im Jahr 1994 in Auftrag gegebene Studie ergab 4,5 TWh (Salletmaier und Winkelmeier, 1994). Die aktuellste Studie weist wieder ein Potenzial von rund 8 TWh bis 2020 aus (Winkelmeier *et al.*, 2014). Der Rahmen der möglichen Potenziale liegt auch über weitere Studien hinweg betrachtet mehrheitlich im Bereich zwischen 4 und 8 TWh pro Jahr. Die derzeit installierten Anlagen zeigen, dass zumeist eine konservative Abschätzung vorgenommen wurde und eine weitere Steigerung bis zum oberen Schätzwert nicht unrealistisch ist. Die praktische Umsetzung wird von ökonomischen und gesellschaftlichen Aspekten abhängen.

2.1.5.2 Physikalischer Hintergrund

Die elektrische Leistung von Windkraftanlagen berechnet sich nach Formel 21. Diese Formel kombiniert die Energieleistung des Windes zum Zeitpunkt t mit der Dimension und dem Wirkungsgrad des Windrades (Baumann, 2009).

Formel 21: Physikalische Formel zur Berechnung der elektrischen Leistung von Windkraftanlagen

$$E_t = \frac{1}{2} \rho u^3 r^2 \pi p$$

wobei

E_t	=	Elektrische Leistung eines Windrades (W/m^2) zum Zeitpunkt t
P	=	Dichte der Luft (kg/m^3)
u	=	Windgeschwindigkeit (m/sek)
r	=	Radius des Rotors (m)
p	=	Wirkungsgrad des Windrades (%)

Analytisch interessieren an Formel 21 die beiden Exponenten, der Wirkungsgrad sowie die Erkenntnis, dass die Windgeschwindigkeit in größerer Höhe zunimmt. Für diese Parameter gelten folgende Erläuterungen:

- Die Windgeschwindigkeit folgt einer kubischen Funktion. Die Zunahme der Windgeschwindigkeit von u_x auf u_{x+1} führt zu einer Leistungssteigerung von $2x^2$. Diese deutlich überproportionale Zunahme zeigt, wie wichtig das Auffinden von Standorten mit hoher Windgeschwindigkeit ist. Zugleich entsteht durch den Zusammenhang aber auch ein hoher Anspruch an die technische Umsetzung von Windrädern. Auch wenn das Rotorblatt bei Starkwind gebremst wird, nimmt doch der Druck auf die Flügel mit der dargestellten Funktion zu.
- Der Radius des Rotors folgt einer quadratischen Funktion. Die Zunahme der Fläche des Rotors von r_x auf r_{x+1} führt zu einer Leistungssteigerung von $2x^2$. Es ist also wesentlich effizienter, Rotoren mit großem Radius zu bauen.
- Sowohl die Windgeschwindigkeit als auch der Radius stehen im Zusammenhang mit der Bauhöhe von Windrädern (siehe Abbildung 49). Ausgehend von einer Windgeschwindigkeit von 10 m/s in 10 Metern Höhe steigert sich diese – in Abhängigkeit von Z_0 – in den ersten 100 Metern um rund 100%, in den nächsten 100 Metern nur mehr um rund 25% (Delaunay *et al.*, 2013). Gleichzeitig sinkt die Intensität der Turbulenzen ab. In einigen Regionen der Erde existieren auch in niedrigen Höhen sehr starke Windströmungen in den Morgenstunden (Low-Level-Jet).
- Die aus Formel 21 ableitbare Energie kann nicht verlustfrei in elektrische Energie umgewandelt werden. Die Effizienz unterschiedlicher Windkraftanlagen kann aus Abbildung 50 abgelesen werden. Die zwei dargestellten Anlagen unterscheiden sich deutlich. Vestas V66-1,5 ist eine ab 1995 gebaute Anlage. Solche Anlagen finden sich im Windpark im Lachtal/Steiermark. Die Enercon E-141-EP4 ist eine moderne Anlage, die für den Binnenlandwind optimiert wurde. Obwohl zwischen den Anlagen deutliche technische Verbesserungen stattgefunden haben und E-141-EP-4 im Detail wesentlich effizienter arbeitet, zeigt sich im angestrebten Dauerlastbereich einer Windgeschwindigkeit von 5-9 m/s, dass bei beiden Anlagen eine Effizienz von rund 44 % erreicht wird.

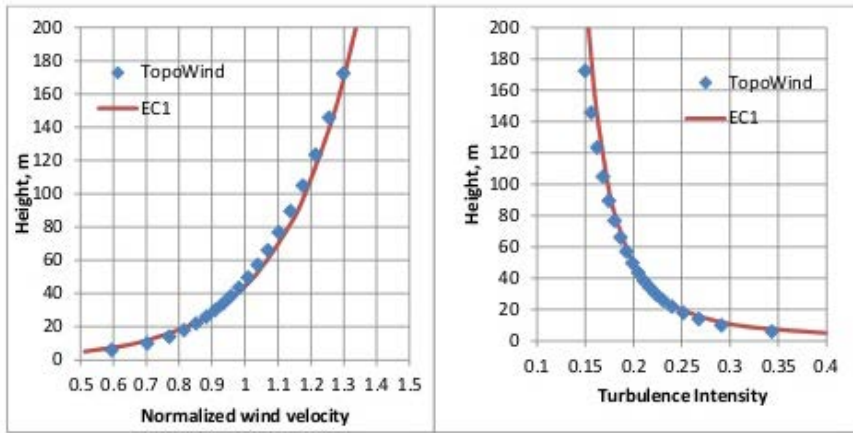


Figure 3. Velocity and turbulence intensity profiles for $z_0 = 0.5$ m

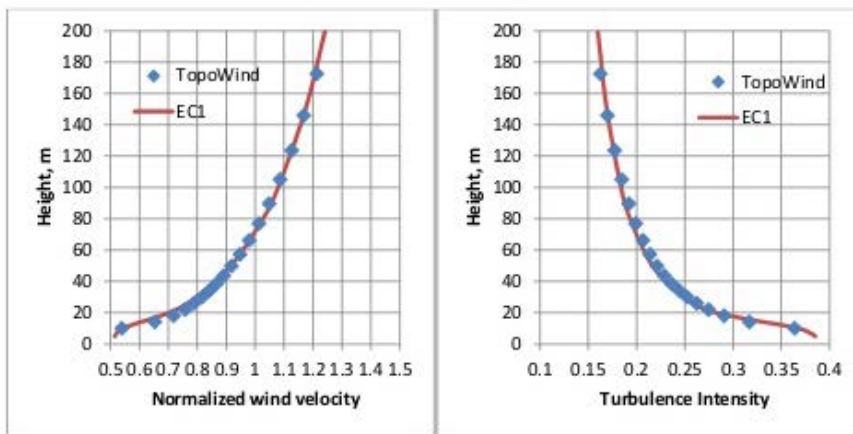
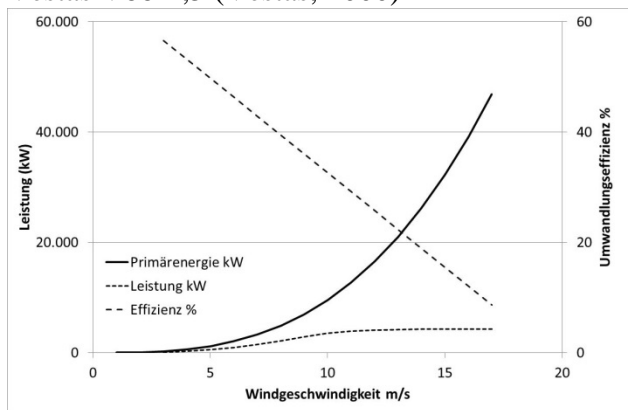


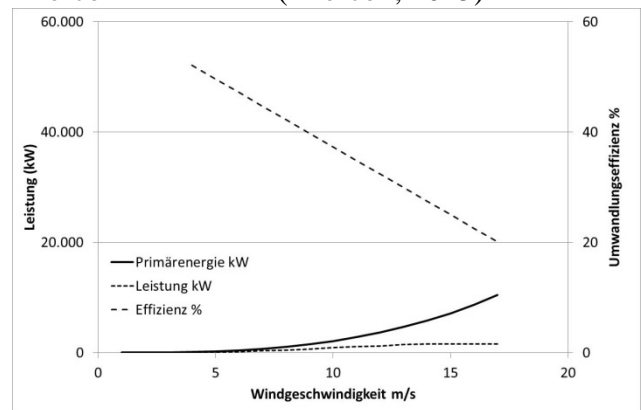
Figure 4. Velocity and turbulence intensity profiles for $z_0 = 1.0$ m

Abbildung 49: Turbulenzen in Abhängigkeit der Höhe (Delauney, 2013)

Vestas V66-1,5 (Vestas, 2000)



Enercon E-141-EP4 (Enercon, 2015)



Technische Daten: Rotorradius 33 Meter, Asynchroner Generator mit Getriebe, Nabenhöhe 60 Meter

Technische Daten: Rotorradius 70 Meter, Permanentregter Generator ohne Getriebe, Nabenhöhe 141 Meter

Abbildung 50: Kennlinien verschiedener Windkraftanlagen

2.1.5.3 Potenzielle Simulationsgrößen

Die in Österreich installierten Windkraftanlagen sind bekannt (IGWind, 2015); eine anerkannte Karte der Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen steht mit AuWiPot zur Verfügung. Für die Simulation der Energieproduktion aus Windkraftwerken stehen zwei Ansätze zur Verfügung:

1. Steigerung des Wirkungsgrades bestehender Anlagen: Die im Grobkonzept ausgeführten Argumente, die sich aus der formalen Beschreibung der Windenergie ableiten lassen, zeigen eindeutig, dass eine Modernisierung bestehender Anlagen deutliche Leistungszuwächse bringt. Ein praktisches Beispiel zeigt, dass durch den Austausch von 10 kleinen Windrädern (Leistung 0,6 MW, Errichtungsjahr 1998, Nabenhöhe 50 Meter) auf 8 mittelgroße Windräder (Leistung 3,05 MW, Errichtungsjahr 2013, Nabenhöhe 99 Meter) ein Leistungszuwachs von 470 % erreicht werden konnte (Neddermann, 2013). Bis 2005 war in Österreich eine Leistung von 1 MW an Windkraft installiert. Diese Anlagen stehen bis 2025 zum vollständigen Repowering bereit und dürften maßgeblich die Erreichung der Ausbauziele unterstützen.
2. Errichtung zusätzlicher Anlagen: Neue Windparks müssen sich an den rechtlichen Rahmenbedingungen der jeweiligen Landesgesetzgebung orientieren. Die Widmung von Freiflächen als Bauland für Windparks wurde etwa in der Steiermark im Sachprogramm Windenergie rechtlich geregelt (LGBl. Nr. 44/2012 i.d.g.F., 2013). Die Expertise des Sachprogramms orientiert sich ausgehend vom Windkraftpotenzial vor allem an bisher getroffenen Zonierungen nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Die im Rahmen der Richtlinie definierten Natura 2000 Gebiete ziehen sich über viele Höhenrücken und Berggebiete mit optimalen Windbedingungen.

2.1.5.4 Datengrundlagen

2.1.5.4.1 Der österreichische Windatlas

Im Projekt Austrian Wind Potential Analysis (AuWiPot) wurde ein Geodatensatz der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit des bodennahen Windes erarbeitet (Krenn *et al.*, 2011, Truhetz *et al.*, 2012). Aus allen Potenzialstudien ragt diese Arbeit deshalb hervor, weil sie die Ergebnisse von dynamischen Bewertungsmodellen der Windmodellierung mit den aktuellen Daten von 65 teilautomatisierten Wetterstationen vereint und gemeinsam bewertet. Das Vorgehensmodell führte zu einer deutlichen Steigerung der Vorhersagegenauigkeit. Die Abweichung zwischen Modell und Validierungsdaten lag in einem validierten Modellierungsansatz in vier deutschen Regionen bisher zwischen -2,4 m/s und 1,0 m/s (Walter *et al.*, 2006) und in der Schweiz im Modellmittel bei 1,5 m/s (Kunz *et al.*, 2004). AuWiPot gibt im österreichischen Durchschnitt eine Abweichung von 0,8 m/s an, wobei im Flachland 0,4 m/s und im Berggebiet 1,6 m/s erreicht wurden. Die Basisdaten wurden ERA-40 (Uppala *et al.*, 2005) entnommen und mit dem Klimamodell MM5 (Dudhia, 1993) weiterverarbeitet. Die lokale Verfeinerung der sehr groben globalen Ergebnisse folgt dem Project reclip:more (Loibl *et al.*, 2007). AuWiPot führte in einem weiteren Schritt in die A3-Daten, das sind Daten mit einer räumlichen Auflösung von 2 x 2 km, eine Bias-Korrektur und eine Geländekorrektur ein. Das Zwischenergebnis wurde final durch die Integration der Daten aus den Messstellen aufgewertet und mit einer Zellengröße von 100 x 100 Meter publiziert. Es liegen mehrere Datensätze vor, welche die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit in m/s in verschiedenen Höhen über Grund zeigen. Für die eigenen Arbeiten stehen die Layer +50 Meter und +100 Meter zur Verfügung.

2.1.5.4.2 Die Landbedeckung

Windparks benötigen große Flächen außerhalb der Siedlungsgebiete. Aus den Ergebnissen von 2.1.1 und 2.1.2 liegt ein Layer vor, der das Bundesgebiet weiträumig darstellt.

2.1.5.4.3 Digitales Geländemodell

Das DGM wie unter 0 beschrieben, dient bei der Planung von Windparks, um Kanten und ebene Flächen aufzuspüren.

2.1.5.4.4 Wegenetz

Das Wegenetz aus 2.1.2.4.6 zeigt den Zugang zu potenziellen Windparkflächen.

2.1.5.5 Bewertungsmodelle

2.1.5.5.1 Workflow

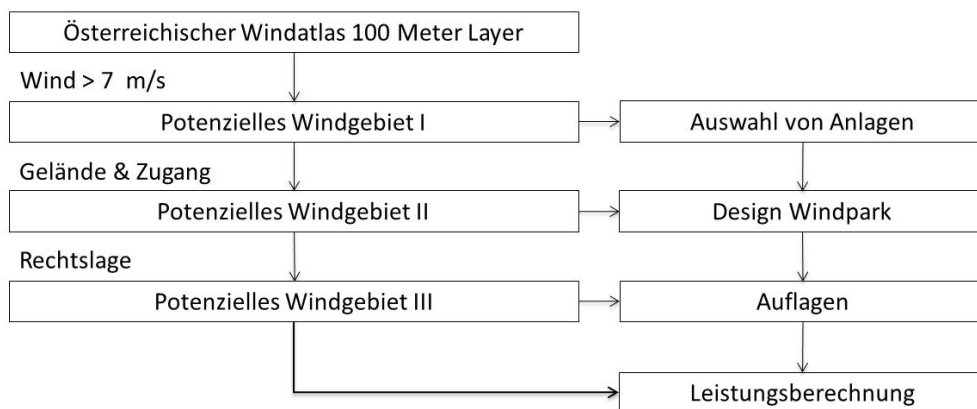


Abbildung 51: Workflow der Bewertungsmodelle für Windenergie

Obwohl unter 2.1.5.1 ein Ansatz für die Modellierung von Windparks mit praktischen Argumenten als wenig praktikabel erachtet wurde, wird für die Simulation ein einfacher Workflow entworfen. Maßgeblich entscheidend für diesen Schritt ist die praktische Absenz von Windkraftwerken im Testgebiet bei gleichzeitig vorhandenen Windkraftpotenzialen. Der Workflow führt über einige einfache Selektionsschritte aus dem Datensatz des österreichischen Windatlas und bewertet begleitend die technischen Aspekte von Windparks bis zur abschließenden Bewertung des Erzeugungspotenzials.

2.1.5.5.2 Die Bewertungsmodelle

2.1.5.5.2.1 Räumliche Selektion

Unter Verwendung der Windgeschwindigkeitsdaten des österreichischen Windatlas gestaltet sich die räumliche Selektion prinzipiell sehr einfach. Unter Annahme einer Bauhöhe und einer wirtschaftlichen Mindestgrenze der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit kann eine räumliche Selektion durchgeführt werden. Dieser Grenzwert lag in der Planungsphase des Berg-Windparks im Lachtal/Steiermark auf 1.900 Meter Seehöhe bei rund 7 m/s (Tauernwind, 2015). Die selektierten

Gebiete müssen sich technisch für den Bau eignen, wobei diese Analyse komplexer ist. Von Bedeutung sind die Geländeneigung und die lokale Kammerung des Gebietes sowie die bodenmechanische Eignung. Das ausgewählte Gebiet muss mit schwerem Gerät erreichbar sein, und die erzeugte Energie muss auf kurzem Weg abtransportiert werden.

Alle Aspekte der räumlichen Selektion wurden für ein fiktives Projekt in der Region Schladming technisch abgehandelt, wobei folgende, später für die Simulation wichtige Fakten festgestellt wurden:

- In einer Seehöhe von 2.000 Meter beginnt am Ost-Süd-Ost-exponierten Abhang des Dachsteingebirges das in Abbildung 52 dargestellte potenzielle Windgebiet.
- Die blau umrandeten Zonen zeigen das Ergebnis der lokalen Selektion der Windgeschwindigkeit. Die gelb umrandeten Zonen bilden jenes Gebiet ab, das in der Region Windpotenziale aufweist und nicht im Natura 2000-Gebiet liegt. Die geeigneten Gebiete liegen im Bereich *Am Stein* und *Hirzberg*. Beide Standorte werden vielen Aspekten des Grundsatzpapiers „Umweltfreundliche Nutzung von Windenergie“ gerecht (Umweltdachverband, 2010).
- Beide Gebiete können von Osten her aus dem Bereich der Schildenwangalm bereits annähernd erreicht werden. Die Zufahrt für die Errichtung des Windparks ist über eine 18 km lange und ausreichend flache Strecke von Bad Mitterndorf her möglich. Ein Ausbau des Almweges auf den letzten Kilometern ist notwendig.
- Der Abtransport des Stromes kann entlang einer horizontal verlaufenden Stromleitung mit 4 km Länge über den Stoderzinken erfolgen.
- Das Gebiet befindet sich im Besitz der Österreichischen Bundesforste.

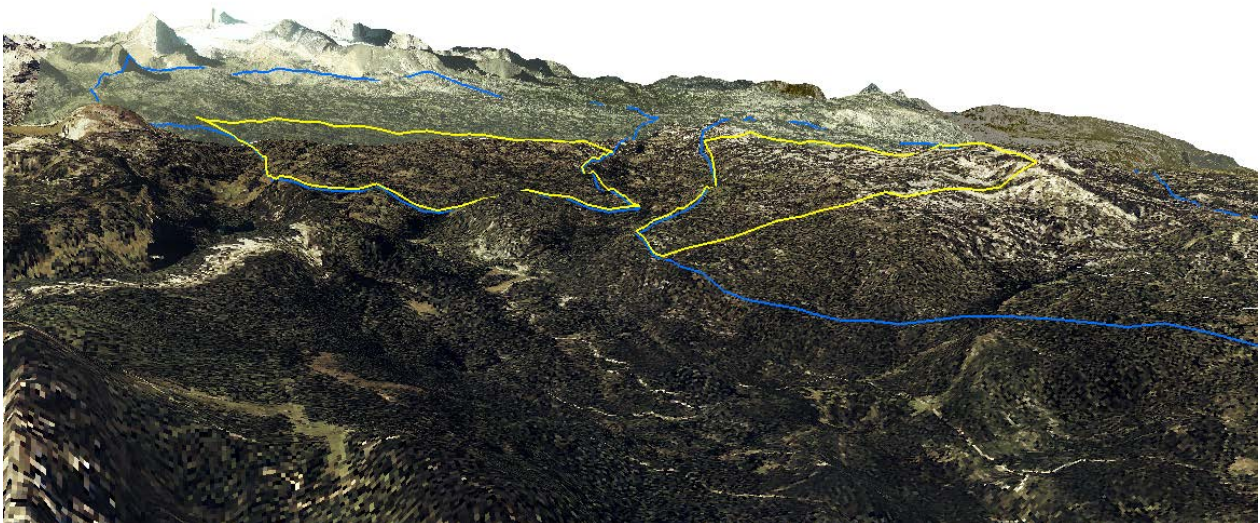


Abbildung 52: Potenzielles Windparkgebiet am Dachstein

2.1.5.5.2.2 Planung im Windpark

Bei der Planung von Windparks sind sowohl technische als auch räumliche Aspekte zu berücksichtigen. Wie bisher insgesamt dargestellt wurde, sprechen alle physikalischen Grundgesetze für möglichst große Anlagen. Ironischerweise sind es aber wieder physikalische Grenzen, welche die Auswahl erschweren. Aspekte wie Maximalwindgeschwindigkeiten, Temperatur oder die elektrischen Verhältnisse der Stromableitung müssen zusätzlich berücksichtigt werden.

- Das Windrad: In Vorführung des fiktiven Beispiels zeigt sich, dass für Windkraftwerke im alpinen Bereich an verschiedenen europäischen Standorten bereits langjährige Erfahrungen vorliegen. Seit 15-20 Jahren stehen Anlagen mit einer Nabenhöhe von 50 bis 60 Metern und einer Leistung von bis zu 1 MW in mittleren Gebirgslagen um 1.500 m Seehöhe am Kärntner Plöckenpass und im Biosphärenreservat Entlebuch in der Schweiz. Der Windpark Lachtal in der Steiermark liegt mit ähnlichen Anlagen auf 1.900 Meter Seehöhe, und der höchste Windpark in den Alpen wird ebenfalls mit solchen Anlagen betrieben. Diese Anlage liegt am Gütsch im Kanton Uri in der Schweiz und liegt auf 2.330 Meter Seehöhe. Alle Anlagen konnten Starkwindereignissen bzw. der Winterwitterung standhalten. Für eine Simulation im Testgebiet wird der Bautyp Enercon E-44 verwendet. Dieses Kraftwerk hat eine Nabenhöhe von 55 Metern, einen Rotordurchmesser von 44 Metern und eine Nennleistung von 0.9 MW.
- Die Anordnung im Windpark: Windräder erzeugen bei ihrer Arbeit eine Störung im energiebringenden Luftstrom. Hinter jedem Windrad entsteht eine Verwirbelung, die den Luftstrom bremst. Aus diesem Grund spielen sowohl die Anordnung von Windrädern, als auch der Zwischenabstand eine große Rolle. Letzterer hängt absolut vom Rotordurchmesser ab, wobei sehr häufig ein 5-facher Abstand als ausreichend angesehen wird. Die in alten Windparks vorzufindende Manhattan-Metric, die ihre Windräder in systematischen Spalten und Reihen anordnet wird heute nicht mehr verwendet. Windparks werden vielmehr aufgrund ihrer Winddaten mit verschiedenen Algorithmen simuliert (Grady *et al.*, 2005, Marmidis *et al.*, 2008, Mosetti *et al.*, 1994)

2.2 Bewertung der Energienachfrage

2.2.1 Die Nahrungsnachfrage auf nationaler Ebene

Satt zu werden ist nicht selbstverständlich. Effiziente landwirtschaftliche Produktionsprozesse benötigen fruchtbare Standortbedingungen und förderliche gesellschaftliche Strukturen. Rund eine Milliarde an Menschen wird nicht täglich satt, weil einer der beiden Bereiche Schwächen aufweist. Außerhalb der gemäßigten Breiten lösen oft Dürren den Hunger aus. Hunger entsteht aber auch in fruchtbaren Gebieten in Folge von Kriegen. Diese können faktischer und wirtschaftlicher Art sein, wobei im Fall von wirtschaftlichen Fehlentwicklungen die Abhängigkeiten zwischen globalen Konzernen und der Wohnbevölkerung als besonders kritisch zu bewerten sind. Unsere Nahrung erfüllt nicht nur die physiologischen Aspekte, die in 2.2.1.2 beschrieben werden, sondern stiftet auch Frieden. Dieser ist die Grundlage für eine Weiterentwicklung von Gesellschaften.

Innerhalb räumlicher Grenzen differenziert einerseits der räumliche, vor allem aber der ökonomische Aspekt den Zugang zu Nahrung. Ausgehend von ökonomischen Grundprinzipien kann angenommen werden, dass Knappheit zu höheren Preisen führt. Wirtschaftlich stärkere Gruppen in den Städten würden profitieren. Diese Wirtschaftstheorie hält in der Praxis den besseren Sozialbeziehungen in ländlichen Regionen nicht stand. Dies gilt zumindest, solange eine kleinräumige Landwirtschaft existiert. Beide Aspekte können in der Simulation berücksichtigt werden.

Die Nahrungsnachfrage wird auf nationaler Ebene bewertet. Die funktionalen Beziehungen der Nachfrage und die notwendigen Grunddaten können in hoher Qualität aufbereitet werden.

2.2.1.1 Gesamtmodell

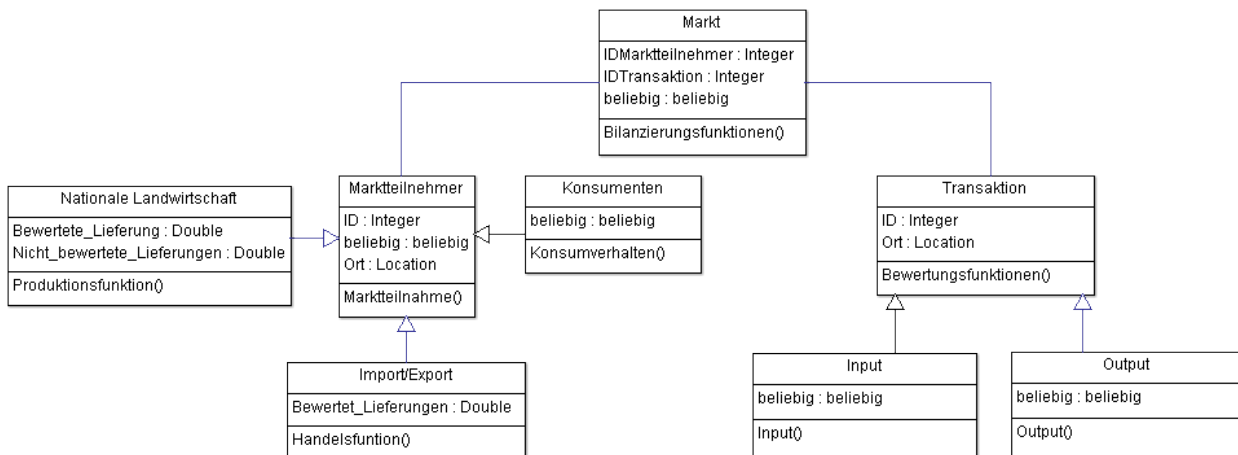


Abbildung 53: UML Nahrungsmarkt

Die Daten zur Bewertung der Marktnachfrage werden durch die Statistik Austria als Marktbilanz erhoben. Der Bilanzwert am Nahrungsmarkt wird von den Marktteilnehmern bestimmt (Abbildung 53). Die nationale Landwirtschaft leistet ihren Beitrag im internen Stoffstrom, der unter 2.1.1 umfassend dargestellt wurde. In der Modellierung der Agricultural GIS Sphere können rund 81 %

des gesamten Nahrungsstromes von Nahrungsenergie bis auf Betriebsebene rückverfolgt werden. Weitere 13 % sind als Reinprodukt in ihrer Summe bekannt, können aber nicht räumlich verortet werden. Im Import/Export-Gefüge besteht ein differenzierbarer Importbedarf im Bereich von Reis, Hülsenfrüchten, Ölen, Obst, Gemüse, Wein und Fisch. Diese Nachfrage wird durch Nahrungsexporte von Fleisch, Zucker und Milch kompensiert. Problematisch ist die Bilanz im Bereich der Fertigprodukte, der wenig aufgeschlüsselt wurde. Die Bewertung der Energienachfrage orientiert sich nur an Bilanzgrößen für die Energie- und Proteinversorgung und nicht an Aspekten einer ausgewogenen Ernährung. Die drei Gruppen an Marktteilnehmern bestimmen den Markt in unterschiedlicher Weise. Die Landwirtschaft wird in ihrer jährlichen Endleistung von den lokalen Umweltbedingungen und der Bereitschaft zum Betriebsmitteleinsatz beeinflusst. Die Import-Export-Ströme werden durch globale Ereignisse gesteuert. Solche Ereignisse haben ihren Ursprung in Umweltereignissen oder sind die Folge von politischen Veränderungen. Der Konsum verändert seine Nachfrage durch die Wachstumsrate der Bevölkerung und die Veränderung der Ernährungsgewohnheiten.

2.2.1.2 Naturwissenschaftlicher Hintergrund

Die Kernkompetenzen der Welternährungsorganisation FAO sind die Teilaspekte der Ernährung. Neben dem Angebot bildet vor allem die Bewertung der Nachfrage ein breites Themenfeld. Die FAO organisiert die wissenschaftliche Community im Forschungsfeld des Nährstoffbedarfes des Menschen. Auch wenn es der FAO gelungen ist, über viele Jahrzehnte hinweg zu einem weltweit gültigen Ansatz (FAO/WHO/UNU, 2004, 1985) für den Energie- und Proteinbedarf des Menschen zu kommen, bestehen doch lokal abweichende Meinungen (Pavlovic *et al.*, 2007). Die Grundsatzdokumente zur Nährstoffversorgung des Menschen sind nicht nur Ausdruck der wissenschaftlichen Teilleistungen, sondern werden auch gesellschaftlich und politisch beeinflusst. Ein deutlich sichtbarer Aspekt dieses Einflusses ist die Ergänzung von wissenschaftlichen Ergebnissen durch Sicherheitszuschläge in den derzeit gültigen Normen. Das bedeutet, dass Simulationen mit Bedarfswerten unterhalb der Normen zwar nicht mehr sicher, aber doch möglich sind.

2.2.1.2.1 Energiebedarf des Menschen

Nahrung setzt sich aus Nährstoffgruppen zusammen. Bedeutende Gruppen sind Kohlenhydrate, Fette und Eiweiß. Nahrung wird in der menschlichen Verdauung mechanisch, chemisch, enzymatisch und biologisch aufgeschlossen. Frei werdende Elemente aller Arten werden vom Verdauungstrakt in den menschlichen Körper überführt und stehen der lebenden Zelle als Kraftstoff zu Verfügung. Die metabolische Umsetzung von Einzelnährstoffen wird in Summe als Energie bezeichnet. Energie wird für unterschiedliche Teilaufgaben benötigt. Diese sind:

1. Der Grundbedarf: Der lebende Organismus benötigt alters- und geschlechtsabhängig 45-70 % der Energiezufuhr für die Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen. Den größten Anteil benötigt die thermische Regulation des Körpers. Weiterer Energiebedarf wird für die

Erzeugung von Enzymen und Hormonen benötigt. Auch die Aktivität des menschlichen Hirns benötigt permanente Energiezufuhr.

2. Nahrungsbereitstellung: Die Zufuhr von Nahrung, deren mechanische Zerkleinerung und Aufspaltung sowie die Weiterverarbeitung und Ausscheidung benötigen Energie. Diese Energie sind die Kosten für die Nahrungsbereitstellung.
3. Leistungsbedarf: Der menschliche Körper kann an verschiedenen Leistungsaktivitäten beteiligt sein. Diese sind:
 - das Wachstum: Der Energiebedarf für das Wachstum des Menschen beträgt in den ersten Lebensmonaten bis zu 35 % des Energiebedarfes. Er sinkt dann aber sehr rasch ab und beträgt etwa im zweiten Lebensjahr nur mehr 2 %.
 - die Schwangerschaft: Frauen benötigen mit voranschreitender Schwangerschaft zunehmend mehr Energie für die Entwicklung des noch ungeborenen Kindes. Energie wird aber auch für die eigene Gewebestruktur in der Gebärmutter und der Brust benötigt. Gegen Ende der Schwangerschaft lagert der Körper in Vorbereitung der Laktation aber auch noch zusätzliche Fettreserven ein.
 - die Stillzeit: Die Erzeugung von Muttermilch benötigt hohe Energiemengen, die aus der Nahrung, aber auch aus dem Gewebe entnommen werden.
 - die physischen Aktivitäten: Jede Bewegung des Körpers benötigt Energie. Die Spanne des Bedarfes zwischen Schwerarbeit und statischer Ruhestellung ist weit.

2.2.1.2.1.1 *Energiebedarf von Kleinkindern und Jugendlichen*

Die Nährstoffgruppen der Nahrung werden nach ihrer Verfügbarkeit permanent gespalten und aufgenommen. Energie, die nicht direkt verbrannt werden kann, wird in lebendem Gewebe abgelegt. In der Wachstumsphase der Menschen führt dies zur Bildung von Muskelgewebe. Nährstoffzufuhr über der Möglichkeit des Zuwachses wird im Fettgewebe abgelegt. Dieses Gewebe ist wegen seiner Dehndynamik als Speicherstruktur besonders gut geeignet. Seine Ausdehnung kann über Volums- oder Gewichtsmessungen bestimmt werden. Die Zusammensetzung des Gewebezuwachses von Kindern und Jugendlichen besteht im Schnitt aus 10 % Körperfett und 20 % Muskeln. Der Rest besteht aus Wasser, Mineralstoffen und Kohlehydraten. Im Schnitt benötigt der Zuwachs eine Energiedichte von 8,6 kJ/g. Folgende Funktionen wurden von der FAO für die Bewertung des Energiebedarfes von Kindern und Jugendlichen entwickelt:

1. Bis zum zweiten Lebensjahr (14 kg) (Butte, 1996)

Formel 22: Energiebedarf von Kleinkindern

$$\text{Energiebedarf} \frac{MJ}{\text{Tag}} = -0.416 + 0.371 \text{ kg}$$

2. Wachsende und Jugendliche (Torun *et al.*, 1996)**Formel 23: Energiebedarf von männlichen Jugendlichen**

$$\text{Energiebedarf} \frac{\text{MJ}}{\text{Tag}} = 1.298 + 0.265 \text{ kg} - 0.0011 \text{ kg}^2$$

Formel 24: Energiebedarf von weiblichen Jugendlichen

$$\text{Energiebedarf} \frac{\text{MJ}}{\text{Tag}} = 1.102 + 0.273 \text{ kg} - 0.0019 \text{ kg}^2$$

2.2.1.2.1.2 *Energiebedarf von Erwachsenen*

Die FAO liefert für Erwachsene keine eindeutige Funktion mehr, sondern gibt den Energiebedarf in verschiedenen Tabellen an (siehe FAO/WHO/UNU 2001, Tabelle 5.4 – Tabelle 5.9). Die Struktur der Tabellen wird durch Altersbereich (18 < 30, 30 < 60, >= 60), Geschlecht (männlich, weiblich), aktuelles Gewicht (männlich: 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90; weiblich: 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85) und das Ausmaß der körperlichen Aktivitäten (angegebenen als Vielfaches des Grundumsatzes: +45 %, +60 %, +75 %, +90 %, +105 %, +120 %) bestimmt.

Bezüglich der Aktivitäten wird folgendes Muster für die nationale Bevölkerung unterstellt: Männer und Frauen zwischen 18 und unter 30 Jahren leisten Aktivitäten, die als durchschnittlich ambitioniert bezeichnet werden. Diese Beschreibung geht von intellektueller Arbeit und einer erweiterten sportlichen Aktivität aus und beträgt +90 % des Grundumsatzes. Dieser Faktor sinkt im Altersbereich zwischen 30 und unter 60 Jahren zuerst auf +75 % und dann für über 75-jährige weiter auf +60 %.

Die Bewertung des Körpergewichtes folgt für Kleinkinder und Jugendliche der mittleren Gewichtsentwicklungskurve, die um eine nationale Änderungsrate konstant verändert wurde. Diese Änderungsrate kann von der nationalen Verteilung des Body Mass Index (BMI), erhoben durch die Statistik-Austria, abgeleitet werden (Statistik Austria, 2014a). In vier Ernährungsklassen (Untergewicht: BMI < 18,5; Normalgewicht: BMI 18,5 < 25,0; Übergewicht: BMI 25,0 < 30,0; Adipositas: BMI >= 30) wird die Verteilung der Bevölkerung gelistet. Bei einer mittleren Körpergröße von 1,67 m für Frauen und 1,78 m für Männer liegt das Normgewicht im mittleren Normbereich bei 69 kg für Männer und 61 kg für Frauen. Tatsächlich ergibt sich für Männer aus der tatsächlichen BMI-Verteilung ein Gewicht, das in den unterschiedlichen Altersklassen das Normgewicht zwischen +16 und +22 % überschreitet. Frauen überschreiten das Normgewicht zwischen +9 und +19% (Eurostat, 2013). Die Überschreitung steigt mit zunehmendem Alter und nimmt erst in der letzten Lebensphase wieder ab.

Unter Verwendung aller Angaben wurde ein Datensatz erstellt, aus dem für Männer und Frauen getrennt eine nationale Energiebedarfsfunktion abgeleitet wurde. Diese enthält zwar Übergänge zwischen den Altersklassen, kann in der vorliegenden Form aber sehr gut zur Beschreibung des nationalen Energiebedarfes verwendet werden. Die Formeln lauten:

Formel 25: Energiebedarf von Männern in Österreich in Abhängigkeit vom Lebensalter (La)

$$\text{Energiebedarf} \frac{\text{MJ}}{\text{Tag}} = -0.00000045 \text{ La}^4 + 0.000214 \text{ La}^3 - 0.0259 \text{ La}^2 + 1.04 \text{ La} + 2.11$$

Formel 26: Energiebedarf von Frauen in Österreich in Abhängigkeit vom Lebensalter (La)

$$\text{Energiebedarf} \frac{\text{MJ}}{\text{Tag}} = -0.00000205 \text{ La}^4 + 0.000422 \text{ La}^3 - 0.0311 \text{ La}^2 + 0.92 \text{ La} + 2.05$$

2.2.1.2.2 Proteinbedarf des Menschen

Protein ist ein Baustoff unserer Muskeln, der aus rund 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebaut ist. Die meisten Bausteine der Aminosäuren werden aus Nahrungsbestandteilen entnommen und selber vom Menschen zu fertigen Aminosäuren aufgebaut. Einige müssen aber als fertige Komplexgruppen zugeführt werden. Erzeugte Aminosäuren werden zu 70-80 % in den Muskeln eingelagert, der Rest befindet sich im Plasma. Das Protein, welches im menschlichen Körper gebunden ist, verhält sich nicht statisch. Neben dem zusätzlichen Bedarf für den Muskelansatz findet ein ständiger Umbau der bestehenden Gewebe statt. Dieser Umbau kann als Erneuerung bewertet werden, wobei die beim Abbau freigewordenen Aminosäuren in hohem Ausmaß wieder in das neue Gewebe eingebaut werden. Der verlustige Anteil wird im größeren Anteil über den Harn ausgeschieden. Die Dynamik des Umbaus wird von Geschlecht, Alter, Leistungsbedarf und vom Gesamtniveau der Stoffwechseldynamik bestimmt.

Die Proteinzufuhr wird im Bereich der Ernährungswissenschaften über zwei Begriffe definiert. Zum einen gilt der Stickstoffgehalt (N) als einfach zu bestimmender chemischer Indikator, der fast konstant 16 % des Proteins ausmacht. Diese Bestimmungstechnik muss aber zur Kenntnis nehmen, dass neben der N-Konzentration vor allem die Art bzw. Wertigkeit der in der Nahrung enthaltenen Aminosäuren den Endwert eines Nahrungsmittels ausmachen. Die Wertigkeit von Aminosäuren aus Milch oder Fleisch ist höher als die von pflanzlichen Nahrungsmitteln.

Die Aussagen der FAO zum Proteinbedarf sind insgesamt älter und weniger dynamisch. Deshalb wurde zusätzlich zur Grundlagenbewertung der FAO (FAO/WHO/UNU, 1985) auf eine zweite aktuelle Quelle zurückgegriffen (National Academy of Sciences, 2005). Die Ergebnisse weichen allerdings kaum voneinander ab. Die FAO empfiehlt Kindern mit rund 7 Jahren rund 21 g Protein pro Tag. Dieser Wert steigt dann bis zum 15. Lebensjahr an und verbleibt dann für Frauen bei 46 und bei Männern bei 60 g Protein pro Tag. Die National Academy of Science 2005 hat den Bedarf an das aktuelle Körpergewicht gebunden. Dies ermöglicht wieder eine nationale Definition des Bedarfes in Abhängigkeit des Lebensjahrs.

Nur ganz selten zeigt sich das Zugeständnis des eigenen Wohlstandes so klar wie im Unterschied zwischen europäischen und globalen Proteinnormen. Bei einer ähnlichen Entwicklungsdynamik liegen die Normen für Männer im Lebensdurchschnitt um 23 % über den Empfehlungen der FAO, für Frauen werden sogar 26 % mehr angegeben (Bundesamt für Gesundheit, 2011, DGE, 2015).

Für die Bewertung des Proteinbedarfes von Männern und Frauen wurde in dieser Arbeit ein mittlerer Weg eingeschlagen. Das Konzept der FAO wurde ebenso berücksichtigt wie die nationalen Empfehlungen. Im Mittel liegen die Ergebnisse in Formel 27 und Formel 28 um 12 % über den abgesicherten Bedarfsnormen der FAO.

Formel 27: Proteinbedarf von Männern in Österreich in Abhängigkeit des Lebensalters (La)

$$\text{Proteinbedarf} \frac{g}{\text{Tag}} = -0.00000214 La^4 + 0.000746La^3 - 0.0845 La^2 + 3.78 La + 4.42$$

Formel 28: Proteinbedarf von Frauen in Österreich in Abhängigkeit des Lebensalters (La)

$$\text{Proteinbedarf} \frac{g}{\text{Tag}} = -0.00000362 La^4 + 0.000953 La^3 - 0.0889 La^2 + 3.46 La + 4.81$$

Die Bedarfsnormen beziehen sich auf eine Standardwertigkeit des Nahrungsproteins von Eiern. Diese wird nur von Fleisch und Fisch annähernd erreicht. Milcheiweiß liegt bei 88 %. Hülsenfrüchte können knapp an diesen Wert anschließen. In Richtung der Getreidearten sinkt die Wertigkeit auf etwa 60 % ab (Kraut, 2013). Eine tatsächliche Bewertung der Nahrung auf der Ebene der Aminosäuren wäre wünschenswert, ist aber sehr komplex.

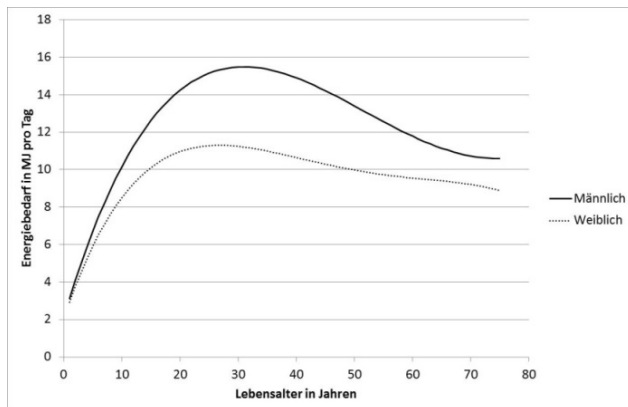


Abbildung 54: Energiebedarf von Männern und Frauen

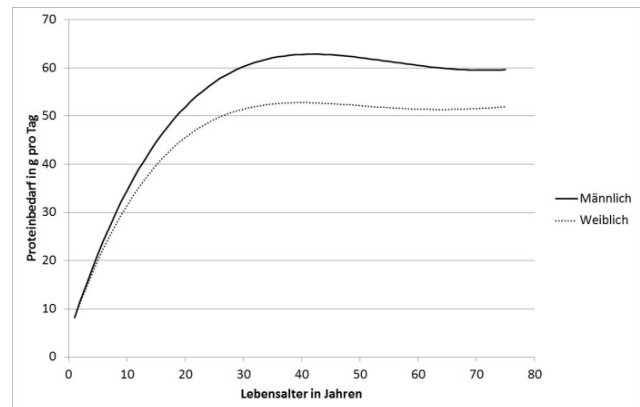


Abbildung 55: Proteinbedarf von Männern und Frauen

2.2.1.3 Potenzielle Simulationsgrößen

Die dargestellten Energie- und Proteinnormen sind international anerkannt, wurden aber an die nationalen Gewichtsverhältnisse angepasst. Im Rahmen einer Simulation des Nahrungsbedarfes ergeben sich zwei mögliche Ansätze:

1. Gesunde Ernährung: Reduktion des Energiebedarfes auf den mittleren gesellschaftlichen BMI des Normalgewichtes: Dies bedeutet bei der Energie eine Einsparung von rund 15 %. Der Eiweißbedarf würde wegen seines Verlaufes kaum sinken.
2. Bevölkerungswachstum: Die Bevölkerungsentwicklung in Österreich nimmt stetig zu, wobei die Statistik Austria die Bevölkerungsentwicklung im Zeitfenster bis 2075 in der Hauptkomponente nach Formel 29 definiert hat (Statistik Austria, 2014b).

Formel 29: Entwicklung der Bevölkerung in Österreich nach Kalenderjahren (Kj)

$$\text{Einwohner} = -0,17595 Kj^4 + 1.449 Kj^3 - 4.477.760 Kj^2 + 6.148.084.928 Kj + 3.165.574.581.87$$

Im Schnitt des 60jährigen Modellzeitraumes geht die Statistik Austria von einem jährlichen Zuwachs von rund 20.600 Einwohnern aus.

2.2.1.4 Datengrundlage**2.2.1.4.1 Bevölkerungsdichte und Altersverteilung**

Die Statistik Austria ist das zur Führung von Statistiken beauftragte Amt der Republik Österreich. Alle Daten, die im Zusammenhang mit dem einzelnen Individuum stehen (Demographie, Wohnen, Arbeit, ...) werden in den Einheiten der Zählsprenkel erfasst. Zählsprenkel sind räumliche Polygone, die von der Statistik Austria so abgegrenzt werden, dass die Einwohnerzahl bei etwa 1.000 Personen liegt (Statistik Austria, 2015e). In Abbildung 56 zeigt sich die Unterteilung des längsgestreckten Stadtgebietes von Schladming (61242) mit seinen Zählsprenkeln (000-005).

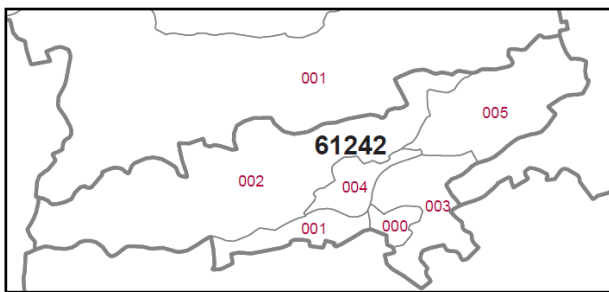


Abbildung 56: Zählsprenkel der Stadt Schladming

Die Polygone der Zählsprenkel werden mit dem INSPIRE-Raster verschnitten und stehen Forschungsgruppen kostenlos zur Verfügung. INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) steht als Akronym für die europäische Geodatenrichtlinie. Sowohl der INSPIRE-Raster als auch die Schnitttechnik werden unter 3.3 genau vorgestellt.

Die demographischen Daten aus Österreich (2011) enthalten für jede Zelle mit einer Kantenlänge von 1 km die Anzahl an Einwohnern sowie die Verteilung zwischen den Geschlechtern und die Verteilung der Altersgruppen ($0 < 15$, $15 < 65$, ≥ 65) innerhalb der Männer bzw. Frauen.

2.2.1.5 Bewertungsmodelle

Das Bewertungsmodell der Nahrungsnachfrage in den Raster-Zellen beruht – je nach Simulationsansatz – auf der Anwendung von Formel 29 zur Veränderung der Einwohnerzahlen und auf der Anwendung von Formel 25 bis Formel 28 zur Bewertung des Energie- und des Proteinbedarfes.

2.2.2 Wärme-, Strom- und Mobilitätsnachfrage auf lokaler Ebene

Die Komplexität und die Schwankungsbreiten einer individuellen Nachfrage nach Wärme, Strom und Mobilität haben in Zusammenhang mit allgemeinen Modellüberlegungen (siehe Einleitung Kapitel 3) zur Entscheidung für eine lokale Betrachtung innerhalb eines Testgebietes geführt. Mit dieser Entscheidung sind folgende Aspekte verbunden:

- Wirkungen, die als Vorteile bewertet werden können:
 - Innerhalb kleiner Gebiete können mehr und bessere Daten gesammelt werden. Diese Datenerfassung ist nicht nur eine Frage des zeitlichen Aufwandes, sondern vor allem auch eine Vertrauensfrage. Konsumenten im Vertrauenskreis geben verlässlichere Angaben als jene in Massenbefragungen.
 - Der Interaktionsgrad in Bezug auf die Verknüpfung von Funktionen und Entwicklungen kann besser durchschaut werden. Innerhalb kleiner Regionen kann der geistige Mainstream erkannt werden. Das fördert praktische Umsetzungskonzepte, die aus den Zukunftsempfehlungen hervorgehen.
 - Bei Finanzierungen von Analysen kann auf regionaler Ebene besser unterstützt werden, da die Regionen höheres Eigeninteresse an ihrer Entwicklung haben.
 - In der regionalen Betrachtung wird eine höhere räumliche Auflösung möglich.
- Wirkungen, die als Nachteile bewertet werden müssen:
 - Eine Verallgemeinerung von Erkenntnissen aus Analysen und Simulationen für größere Gebiete kann problematisch sein. Grundsätzlich gültige Zusammenhänge werden erkennbar. Handlungsanleitungen verbleiben auf der regionalen Ebene.
- Neutrale Wirkungen:
 - Die Frage der technischen Anwendung des neu entwickelten Algorithmus ist unabhängig von der Qualität und Tiefe der Modelle.

2.2.2.1 Gesamtmodell

2.2.2.2 Erhebungskonzept und Bewertungskonzept

2.2.2.2.1 Das Basiskonzept „Energiepfad“

Energieumsetzung ist die Kernkompetenz moderner Gesellschaften. Wohlstand, im Sinne des Bruttonationalproduktes, korreliert mit dem Ausmaß des Verbrauches. Ökonomischer Druck im Bereich der Energiebereitstellung bremst das Wirtschaftswachstum. Die Maximalkosten für Rohöl im Sommer 2008 haben national und regional Eindruck hinterlassen. Die Sorge um nachhaltige Wachstumsdepressionen hat an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein zur Installation einer Abteilung für Ressourcenmanagement geführt und eine regionale Projektschiene zur Steigerung der Energieeffizienz ermöglicht.

Unterstützt durch 7 Gemeinden im Umfeld der HBLFA wurde gemeinsam mit dem regionalen Energieberater Ernst Nussbaumer ein Basiskonzept für die Mobilisierung der Wohnbevölkerung

und des regionalen Gewerbes im Themenfeld Energie entwickelt. Als *Energiepfad* bezeichnet sieht das Konzept für jede Gemeinde einen fünfstufigen Arbeitsprozess mit einem hohen Anteil an Bürgerbeteiligung vor.



Abbildung 57: Logo und Konzept des Energiepfades

Die einzelnen Schritte im Verfahren – diese wurden individuell für jede Gemeinde umgesetzt – können als farbige Kreise im Logo des Prozesses erkannt werden. Diese Schritte sind:

1. Individuelle Erhebung des Energieverbrauches von Gewerbe und Haushalten
2. Individuelle Analyse der Ergebnisse auf Wunsch der Befragten
3. Aktive, öffentliche Kommunikation über die regionalen Ergebnisse
4. Technische Unterstützung für Energiegewinnungs- und Einsparungsmaßnahmen
5. Analyse der Energiepotenziale und Empfehlung eines lokalen Aktionsplanes

Nach ersten Anwendungsversuchen wurden Punkt 1 und 2 zu einem gemeinsamen Konzept, der *proaktiven Mobilisierung (PM)*, zusammengezogen. Dieses verbindet die notwendigen Erfassungsmaßnahmen mit einem ausgewogenen Grad an Provokation gegenüber den Wohnhaushalten. Für Punkt 3 und 4 wurde mit der Energieagentur Steiermark Nord eine lokale Beratungsstelle geschaffen, die sich um die Kommunikation, Beratung und Umsetzung kümmern kann. Punkt 5 wurde nach den Vorgaben in Kapitel 2.1 umgesetzt. Die Methodik der proaktiven Mobilisierung wurde in 42 Gemeinden der Steiermark umgesetzt. Im Gegensatz zu den Aktivitäten in der Bewertung aller Energiepotenziale benötigt der Energiepfad einen hohen Einsatz in der Kommunikation und Umsetzung. Autarkiegrade zu bewerten ist eine Sache, die Organisation von Veränderungskonzepten und eine akzeptable Umsetzung eine andere.

2.2.2.2.2 Konzept der proaktiven Mobilisierung (PM)

Proaktivität beschreibt aktives vorausschauendes Handeln. Mobilisierung versetzt nach seiner psychologischen Bedeutung Menschen aus einem passiven, verschlossenen in einen aktiven, offenen Zustand. Die Mobilisierung gelingt nur durch die Integration von Impulsen. Proaktive Impulse sind systematisch geplante Aktionen mit kontrollierbarem Handlungsverlauf. Der primäre Handlungsimpuls im Konzept der PM ist die Konfrontation der Haushalte und Gewerbebetriebe mit ihrem möglichen Energieverbrauch in verschiedenen Sektoren und den resultierenden wirtschaftlichen und ökologischen Folgen. Diese Konfrontation wurde als Provokation wahrgenommen und hat den gewünschten Impuls bewirkt. Werkzeug der Provokation ist die

Energiebewertung, die für jeden Haushalt individuell im Portable Document Format (pdf) erstellt, ausgedruckt und im verschlossenen Kuvert über die lokalen Gemeinden per Post zugestellt wird. Die Erstellung der Energiebewertung wurde durch einen Verbund aus Verwaltungs- und Geodaten unterstützt. Für die Verarbeitung wurde eine leistungsfähige Software erstellt, die in fünf regionalen Projekten rund 25.000 Haushalte mit etwa 70.000 Einwohnern bewertet hat. Der Workflow wird in Abbildung 58 dargestellt. Die funktionellen Beziehungen für die Bewertung der Verwaltungsdaten sind das Ergebnis eines iterativen Arbeitsprozesses. Dieser Arbeitsprozess gewinnt seine Daten aus Rückmeldungen, die von der Bevölkerung als Reaktion auf die Energiebewertung abgegeben wurden.

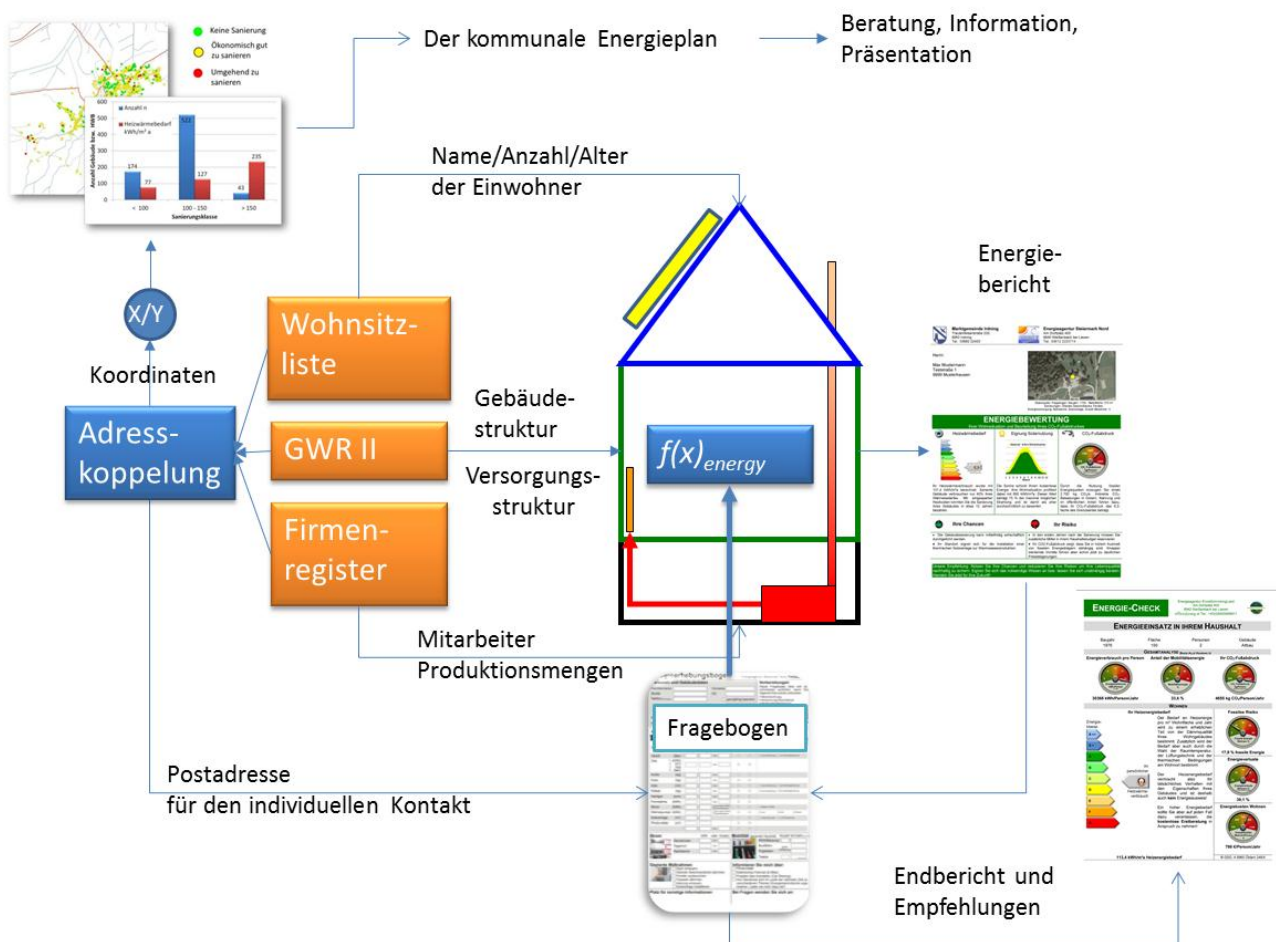


Abbildung 58: Technisches Konzept der proaktiven Mobilisierung

2.2.2.2.3 Datenaufbereitung im PM

2.2.2.2.3.1 Eingangsdaten

Ausgangspunkt der Datenaufbereitung ist der amtliche Datensatz des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR, in der aktuellen Version GWR II) (BGBl. 9/2004, 2004). Das GWR II wird als Struktur von der Statistik Austria geführt und von den lokalen Gemeinden, Bezirkshauptmannschaften oder Verwaltungseinheiten mit baupolizeilichen Aufgaben befüllt und gewartet. Mit Inkrafttreten von BG 9/2004 wurden die Gemeinden mit einer ersten Befüllung der

vorgegebenen Datenstrukturen beauftragt. Konkret waren alle Gebäude einer Gemeinde digital zu erfassen und nach dem vorgegebenen Datenmuster zu beschreiben. Das Datenmuster sieht dabei vier Bereiche vor. Der erste Bereich ist die Verortung und Adressierung aller Objekte. Dies wird durch den unter 2.1.4.4.2 bereits beschriebenen räumlichen Meldepunkt und die numerischen und alphanumerischen Adressdaten des Gebäudes gewährleistet. Der zweite Bereich betrifft die Nutzung des Gebäudes. Dieser Bereich wird durch eine vorgegebene Auswahlliste von Nutzungen abgedeckt. Der dritte Bereich betrifft die Beschreibung des Gebäudes nach Alter, Größe und Struktur. Größendaten sind die überbaute Grundfläche, die Brutto- und Nettowohnfläche und die ober- bzw. unterirdische Geschoßanzahl. Der letzte Bereich betrifft die Beschreibung der Gebäudeinfrastruktur. In diesem Bereich wird die Art der Heizung sowie der einzelnen Aspekte der Ver- und Entsorgung beschrieben. Zu den Versorgungsaspekten zählt die Trinkwasserversorgung und eine mögliche Strom- oder Gasversorgung. Bei den Aspekten der Entsorgung kann der Bereich des Abfalles und der verschiedenen Abwässer erfasst werden. Die für das Projekt benötigten GWR II-Daten wurden uns von den Gemeinden nach einer positiv bewerteten Prüfung des Datenschutzgesetzes und einer vertraglichen Vereinbarung als individueller Datensatz überlassen.

Eine Qualitätsanalyse der Eingangsdaten zeigt hinsichtlich der Befüllung ein deutliches Muster. Die Verortung ist sowohl im Meldepunkt als auch in der Adresse vollständig. Die Nutzungsfrage wurde bei der Befüllung gelegentlich subjektiv gelöst. Dies betrifft vor allem die Nebengebäude. Deren Beschreibung wurde manchmal genau aufgelöst, oft findet sich aber nur die Globalauskunft „Nebengebäude“. Die Gebäudemasse wiederum können gut nachvollzogen werden. Das GWR II würde in seiner Datenstruktur eine individuelle Beschreibung eines jeden Stockwerkes ermöglichen. Von dieser Möglichkeit wurde nie Gebrauch gemacht. Deshalb finden sich immer in einer Geschoßzeile – meistens dem Erdgeschoß – alle Informationen für das gesamte Gebäude. Bei der Befüllung der Gebäudeinfrastruktur wurde die Art der Beheizung meist ausgefüllt, die Versorgung mit Trink- bzw. die Entsorgung von Abwasser wurden befüllt. Die Variabilität ist hier aber nicht hoch, da die gesetzlichen Rahmenbedingungen wenige Varianten zulassen.

Den zweiten großen Datensatz für die Umsetzung der PM liefert die Wohnsitzliste. Dieser Datensatz hat seinen Ursprung in einem Standardbericht des amtlichen Melderegisters und kann von den Gemeinden zum Stichtag erstellt werden. Für die Adressierung des Energiechecks wurde der Haushaltsvorstand mit dem Datensatz ausgegeben. Für alle anderen Bewohner eines Haushaltes wurde das Geburtsjahr geliefert. Dieser Parameter ermöglicht eine Verfeinerung des Nahrungsbedarfes und eine bessere Abschätzung hinsichtlich des Mobilitätsbedarfes.

Der dritte Datensatz betrifft das Firmenregister der gewerblichen Unternehmen in einer Gemeinde. Dieses Register wird in der Gemeinde als Grundlage zur Bemessung der Kommunalsteuer geführt. Es gibt aber keine Auskunft über die Arbeitsprozesse eines Unternehmens, weshalb die final verwertete Liste manuell für jede Gemeinde erstellt werden muss. Nicht eindeutige Produktionsfunktionen wurden bei Firmenbesuchen abgeklärt.

2.2.2.2.3.2 Adressverbindung durch Pattern-Matching

Jeder der elementaren Datensätze verfügt über eine individuelle, nicht harmonisierte Adressstruktur. Für die lokale Verbindung der Gebäudedaten mit den Einwohnerinformationen sowie der Prozessinformation von Gewerbebetrieben wurde folgendes Grobkonzept angewendet:

1. Auflösen der alphanumerischen Hausnummer (etwa 45/1/1) in die Unterkomponenten (Nummer, Block, Stiege). Elimination der alphanumerischen Hausnummer aus der Straßenbezeichnung.
2. Umwandlung aller räumlichen Bezeichnungen und deren möglicher Schreibweisen (ungeachtet der Rechtschreibung) in eine numerische Kurzform. Aus Straße, Strasse, Strase, Str., ... wird etwa 999.
3. Eliminieren von Umlauten, ss, ß und Verbindungszeichen.
4. Umwandeln in Kleinbuchstaben.
5. Für das finale Matching wird der Adressenbestand der Gebäude als Quelle verwendet. Der Prüfalgorithmus sucht zuerst die volle Zeichenkette im Zieldatensatz. War die Suche nicht erfolgreich, startet eine Schleife, in der die Nachbarschaft von Zeichenkombinationen untersucht wird. Die Kombinationen werden als zwei fortlaufende Zeichen aus dem Grundlagendatensatz entnommen und im Zieldatensatz gesucht. Treffer werden für die Kombination Quelle:Ziel in einem eigenen Datensatz gespeichert. Die Kombination mit der höchsten Trefferquote wird als Zieldatensatz vorgeschlagen. Bei Gleichheit mehrerer Kombinationen wird die Schleife mit drei benachbarten Zeichen wiederholt.

Tabelle 11: Adressstrukturen

Originale Daten	Aufbereitete Daten
Wießäcker-Straße 999	wiecker999

Der einfache Matching-Algorithmus führt im ersten Schritt für die Adressen in Tabelle 11 zu keinem gültigen Suchergebnis. Für die Kombinationen aus zwei Zeichen (wi, ie, ec, ck, ke, er, r9, 99) werden aber 6 gültige Suchergebnisse erkannt. Das war in diesem Beispiel deutlich mehr als bei allen anderen Vergleichen. Der einfache Algorithmus hat in großen Datenmengen ein kritisches Laufzeitverhalten von n^2 . Innerhalb einer Verwaltungseinheit, die durch die Postleitzahl einer Adresse vorgegeben ist, sinkt n aber deutlich unter jede kritische Grenze. Für die Stadt Schladming ergeben sich nur 62 vergleichbare Datensätze. Der gewählte Ansatz wurde nach dem Konzept der unscharfen Suche (Fuzzy-String-Matching) (Hall und Dowling, 1980) entwickelt; die einfache Aufgabenstellung ermöglicht einen Vergleich mit einfachen anwachsenden Teil-Strings. Komplexere Suchaufgaben benötigen bessere Varianten in der Bewertung des Mustervergleichs (Levenshtein, 1966).

2.2.2.2.3.3 Erhebungen zum Energieverbrauch der Haushalte

Der Energieverbrauch der lokalen Haushalte wird auf der Basis von Befragungen bewertet. Der Energieerhebungsbogen E1 ist Teil des Formulars *Energiebewertung* (siehe Abbildung 60).

Kunden, die ihren Fragebogen ausgefüllt haben, erhalten mit dem Energiecheck eine nun nicht mehr geschätzte, sondern tatsächliche Bewertung ihres Energieverbrauches und eine kostenlose Erstberatung durch den lokalen Energieberater. Rund 5 % der Haushalte im Testgebiet haben ihre Fragebögen retourniert, 4 % davon konnten auch statistisch bewertet werden. Die Felder in E1 fordern folgende Informationen von den Kunden ein:

- **Strukturinformation:** Informationen zur Klassifikation der Daten für die statistische Bewertung.
- **Verwendung von thermischen Energieträgern:** Die einzelnen Energieträger werden nach ihren Kosten oder der verbrauchten Menge angegeben. Die verwertenden Anlagen werden durch ihr Alter und die Kombinationen in der Energieumsetzung, etwa Wärme und Wasser und sonstige Informationen beschrieben.
- **Informationen zum Stromverbrauch:** Die Angaben zum Stromverbrauch können wieder über den tatsächlichen Verbrauch oder über die Kostengrößen erhoben werden. Zusätzlich werden noch unterschiedliche Zählersysteme berücksichtigt. Die Tarifspaltung Tag- bzw. Nachtstrom findet sich häufig im Bereich von großen Wohnhäusern, die eine zentrale Heizanlage besitzen, aber die Warmwasserversorgung über Elektroboiler lösen. Eigene Heizungsähler finden sich zunehmend bei größeren Wärmepumpen.
- **Informationen zum Mobilitätsbedarf**
- **Informationsbedarf bzw. Fragebereich**

Alle Fragebögen wurden gesichtet und den verorteten Haushalten mit ihren Basisdaten aus der GWR II zugeordnet. Der Vergleich der Flächengrößen aus der Befragung mit den amtlichen Wohnflächen des GWR II zeigt eine hohe Korrelation. Die Angaben zum Baujahr weichen deutlich ab. Gehäuft findet sich in der GWR II als Baujahr die Jahreszahl der verpflichtenden Erfassung (1991, 1996). Der Fragebogen wird von Haushalten dann besonders häufig abgegeben, wenn bereits verschiedene Sanierungsmaßnahmen vorliegen oder das Gebäude in der letzten Dekade errichtet wurde.

2.2.2.2.3.4 Erhebungen zum Energieverbrauch der Gewerbeunternehmen und Gemeinden

Der gewerbliche Energieverbrauch wurde in mehreren Studien untersucht und publiziert (Bayer *et al.*, 2011, Kapusta *et al.*, 2010). Die Autoren stellen immer eine Beziehung zu einer Leistungsgröße her und bewerten den sektoralen Energieverbrauch nach Formel 30.

Formel 30: Allgemeine Formel zur Bewertung des gewerblichen Energiebedarfes

$$\text{Energieverbrauch}_{\text{Art und Sektor}} = \text{Kenngröße}_{\text{Art und Sektor/Werteinheit}} \times \text{Werteinheit}$$

In der praktischen Umsetzung wurde beispielsweise für ein Unternehmen aus dem Sektor *Tischlereigewerbe* die Anzahl an Mitarbeitern im Betrieb erhoben. Die vorliegende Literatur legt den Stromverbrauch (Art und Sektor) mit ~ 4.900 kWh/Mitarbeiter/a bei einer Schwankungsbreite von ± 2.000 kWh/Mitarbeiter/a fest. Ähnliches wurde mit dem Wärme- und Mobilitätsbedarf umgesetzt. Die Werteinheiten variieren mit dem Gewerbe. Die Hotellerie und das Gastgewerbe werden über die Betten bzw. Sitzplätze bewertet, der Handel über die Verkaufsfläche usw.

Der formelle Bewertungsansatz wurde für die Großverbraucher im Testgebiet nicht angewandt. Diese wurden individuell besucht, um die notwendigen Daten gemeinsam zu erheben. Unter den Großverbrauchern finden sich die lokalen Seilbahn- und Pistenbetreiber, die Bauindustrie, die Nahrungswirtschaft, die Holzindustrie und die Krankenhäuser. Jede Gemeinde lieferte ihre Energiebedarfsdaten aus ihrer Energiebuchhaltung. In Summe des Gesamtverbrauches wurden 64,8 % des gewerblichen Energiebedarfes über Erhebungen und 35,2 % über die Schätzmodelle des gewerblichen Energieverbrauches erhoben.

IHRE GEMEINDE
Gemeindestraße 1
9999 Testdorf
Tel.: 123456789

Energieagentur Steiermark Nord
Am Dorfplatz 400
8940 Weißenbach bei Liezen
Tel. 03612 - 22207 - 14

Fragebogen, ref. Baujahr 1930
Gebäudequalität: Neubau
Fossile Energie Wohnen %: 1,9 Solaranlage: Ja

An
Max Mustermann

Teststraße 1
9999 Testdorf

ENERGIEBEWERTUNG

Ihrer Wohnsituation und Beurteilung Ihres CO₂-Fußabdruckes

Heizwärmebedarf

Ihr Heizwärmeverbrauch wurde mit 46 kWh/m²a berechnet. Wir gratulieren, ihre Wohnsituation entspricht modernen Standards! Achtung! Diese Angaben und Darstellungen ersetzen nicht den Energieausweis!

Eignung Solarnutzung

Die Sonne scheint im Jahresmittel an 1.634 Stunden ungetrübt auf Ihr Gebäude. Das sind 94 % der möglichen Dauer. Im Winter können Sie 99 % der möglichen Dauer nutzen.

CO₂-Fußabdruck

Jede Person Ihres Haushalts erzeugt pro Jahr 6.641 kg CO₂. Damit verbrauchen Sie das 3,3-fache der klimaverträglichen Menge. Der Anteil fossiler Energie im Wohnbereich beträgt 1,9 %.

Ihre Chancen

- Ihre Wohnsituation ist zukunftsfähig!
- Ihre Solaranlage bietet Ihnen gute Zukunftschancen, die Sie vielleicht noch ausbauen können!

Ihr Risiko

- Kein Kostenrisiko durch die Verwendung erneuerbarer Energie im Haushalt. Hohes Risiko durch fossile Energie im Bereich der Mobilität!

Unsere Empfehlung: Nutzen Sie Ihre Chancen und reduzieren Sie Ihre Risiken, um Ihre Lebensqualität nachhaltig zu sichern. Eignen Sie sich das notwendige Wissen an bzw. lassen Sie sich unabhängig beraten. Handeln Sie jetzt für Ihre Zukunft!

Beachten Sie bitte auch Seite 2 und den angeschlossenen Energieerhebungsbogen!
Seite 1

Energieerhebungsbogen

Energieagentur Steiermark Nord, Formular E1

Vorbereitungen
Dieser Fragebogen lässt sich am schnellsten ausfüllen, wenn Sie folgende Dokumente vorbereiten:
 ▶ Stromrechnung
 ▶ Abrechnung Heizmaterial
 ▶ Heizkostenabrechnung

Ihre Angaben werden streng vertraulich behandelt!

Personen- und Gebäudedaten

Familienname Vorname
 Straße Ort
 Telefon (rückfragen) ganzjährig bewohnt
 Wohngebäude (z.B. Zweifamilien, Reihenhaus) Baujahr
 Wohnung in Mehrparteienhaus bereits saniert
 Personen je Haushalt Oberste Geschosdecke
 beheizte Fläche (m²) Fassade
 Fenster

Ausstattung und Energieverbrauch

Art	Baujahr	Energie oder Kosten		Warmwasser		Sonstiges
		oder	oder	Sommer	Winter	
Heizöl (liter)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> als Zentrheizung <input type="checkbox"/> als Öfen/Eigenheizung
Gas <input type="checkbox"/> (kWh) <input type="checkbox"/> (m ²) <input type="checkbox"/> (kg) <input type="checkbox"/> (liter)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kohle (kg)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Koks (kg)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Holz (m)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> als Zentrheizung <input type="checkbox"/> als Öfen/Eigenheizung
Pellets (kg)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> als Zentrheizung <input type="checkbox"/> als Öfen/Eigenheizung
Hackgut (srm)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fernwärme (kWh)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Wasser im Boiler
Strom (kWh)	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> kein eigener Zähler <input type="checkbox"/> siehe Heizungsanzeiger <input type="checkbox"/> siehe Heizungsanzeiger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Luft <input type="checkbox"/> Erde <input type="checkbox"/> Wasser
Wärmepumpe (kWh)	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> mit Pufferspeicher
Solaranlage (m ²)	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Photovoltaik (m ²)	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Strom

	kWh	oder	Kosten
Gemeinsam	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Privatverbrauch	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Tagstrom	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Nachtstrom	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Heizungszähler	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>

Mobilität (gesamter Haushalt)

Private	Summe
PKW/Motorrad	<input type="text"/>
Bus/Bahn	<input type="text"/>
Flugreisen	<input type="text"/>
Traktor	<input type="text"/>

Geplante Maßnahmen

Dach erneuern
 Oberste Geschosdecke dämmen
 Fenster austauschen
 Fassade dämmen
 Heizung erneuern
 Solaranlage installieren

Informieren Sie mich über:

Photovoltaik
 Elektrisches Fahrrad (E-Bike)
 Projekte über Autoteilen (Car-Sharing)
 Ihre Gemeinde wird im Laufe der nächsten Zeit zu verschiedenen Themen Energiestammtische organisieren. Laden Sie mich dazu ein!

Platz für sonstige Informationen

Bei Fragen wenden Sie sich an:

Abbildung 59: Energiebewertung

Abbildung 60: Energieerhebungsbogen

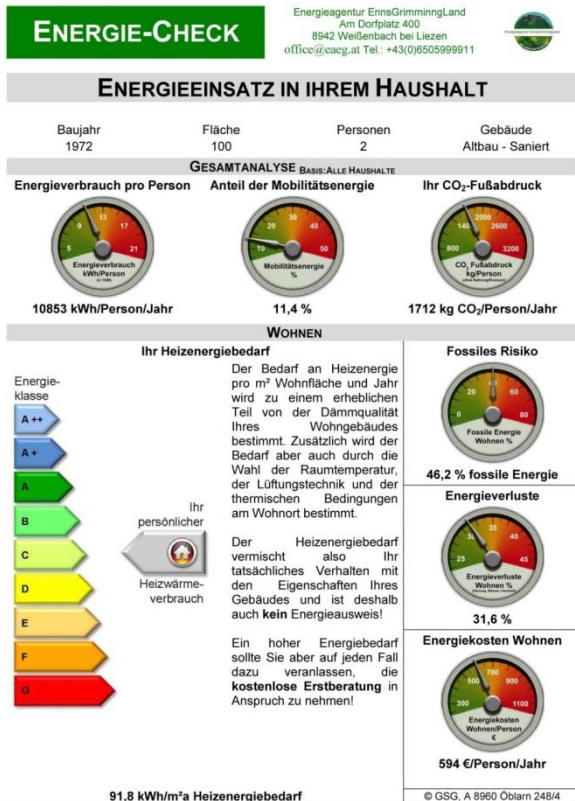
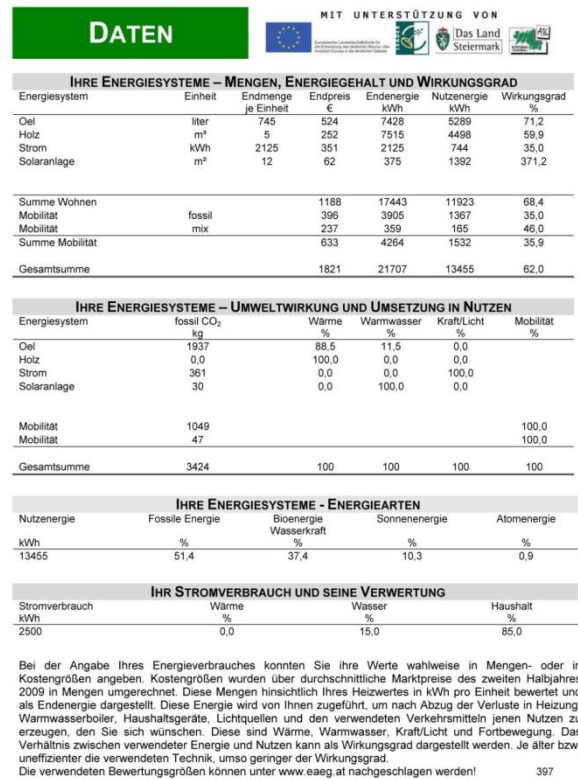


Abbildung 61: Energie-Check

2.2.2.2.4 Bericht „Energiebewertung“

Das Hauptprodukt der PM ist der Bericht der Energiebewertung, der in Abbildung 59 dargestellt wird. Dieses individuell für jeden Haushalt erstellte Dokument trägt im Kopf die Anschrift des Haushaltsvorstandes sowie die Logos und Adressen der projektführenden Gemeinden bzw. der Energieagentur Steiermark-Nord.

Die räumliche Beziehung des Kunden zu seinem Wohngebäude wird über einen Luftbildausschnitt innerhalb des Berichtes geführt. Im Zentrum des Bildes findet sich immer das betroffene Objekt. Der Bildausschnitt wird für jeden Meldepunkt des GWR II in einem in C# entwickelten Custom-Control innerhalb der Gis-Software Arc-Map 10.2 (Geoinformatik GmbH (Hrsg.), 2015) automatisch erstellt. Das hochauflösende Datenmaterial wird durch das Landwirtschaftliche Rechenzentrum (LFRZ) in Wien als Web-Map-Service (WMS) zur Verfügung gestellt. Im einfachen Arbeitsablauf der Bilderstellung wird das Datenmaterial mit einer Schleife durchlaufen. Der aktuelle Datensatz wird in den Status *Selected* versetzt und mit der GIS-Funktion *Zoom to Selected Feature* in die Mitte des Bildausschnittes gerückt. In diesem Bildausschnitt wurde eine vereinfachte Anzeige für mögliche Expositionen von Hausdächern und der daraus ableitbaren Wirkungseffizienz integriert. Das Ergebnis im Bildausschnitt wird als jpg-Datei in hoher Auflösung exportiert. Die Darstellung des Objektes mit seiner Dachstruktur steht in Beziehung mit der Eignungsanalyse des Objektes im Hinblick auf die mögliche Sonnenscheindauer. Das Flächendiagramm, welches zentral im Dokument aufscheint, entsteht durch die lokale Analyse der Sonnenscheindauer an den Koordinaten des Meldepunktes. Die Bewertung stellt eine grobe



Abschätzung der lokalen Eignung im Verhältnis zu günstigen Standorten dar. Die Methodik lehnt sich vereinfacht an 2.1.4.5.3 an.

Für die Darstellung des Heizwärmebedarfes wurde eine grafische Anleihe an der EU-Energieverbrauchskennzeichnung (2010/30/EU, 2010) genommen. In unterschiedlichen Effizienzklassen wird der Heizwärmebedarf – dieser wird auch als Wert ausgegeben – qualitativ bewertet. Der Heizwärmebedarf des Energieberichtes ist jene Menge an Energie, die von den Haushalten als Ergebnis des funktionalen Konzeptes der PM wahrscheinlich verbraucht wird.

Die Bewertung des CO₂-Fußabdruckes berücksichtigt die aus dem GWR II entnommene Information des verwendeten Heizmaterials. Zusätzlich werden der Mobilitätsbedarf nach Formel 35 und der Nahrungsbedarf wie in 2.2.1 verwendet, um mit einer jeweils konstanten CO₂-Rate die Anfallsmenge zu bewerten. Ein allgemeiner Zuschlag deckt dabei das Konsumverhalten ab. Aus der Summe der nach dem Modell der PM bewerteten Kennzahl selektiert das entwickelte System vorgefertigte Statements, die als Stärken bzw. Schwächen kommuniziert werden.

2.2.2.2.5 Bericht „Energie-Check“

Geben Haushalte einen Energiefragebogen ab, kann eine tatsächliche Bewertung der unterschiedlichen Bereiche durchgeführt werden. Die dafür in C# entwickelte Software ermöglicht eine manuelle Erfassung der Daten. Die Bewertung wird automatisch durchgeführt und liefert als Endprodukt den Bericht Energie-Check, der in Abbildung 61 dargestellt ist. Die qualitative Bewertung wurde im grafischen Teil mit Messuhren durchgeführt. Diese wurden so eingestellt, dass sich der mittlere orange Bereich an rechtlichen oder fachlichen Expertisen oder am Median des vorliegenden Datenmaterials orientiert. Gezeigt werden in einer Gesamtanalyse der Energieverbrauch pro Person, der Mobilitätsanteil und der CO₂-Anfall pro Person. In der rechten grafischen Bildleiste werden Risikoparameter wie die fossile Energieabhängigkeit, die Verluste im System oder die Kosten dargestellt. Die zentrale Abbildung ist aber der Heizwärmebedarf, der nun über den tatsächlichen Energieverbrauch berechnet werden kann.

Alle Parameter der Berechnung stehen in einem zweiten Blatt, der Datensammlung, für eine schnelle Energieberatung zur Verfügung. Aus der Sicht der Energieberatung ist diese Datensammlung der wahre Benefiz der PM. In kürzester Zeit können geübte Energieberater die Eckdaten des Energie-Checks in ihre Berechnungssysteme übernehmen und die notwendigen Maßnahmen, deren Kosten und die Refinanzierungsdauer berechnen. Das ist innerhalb der Projektperiode in der Region über 1.500-mal geschehen und hat die Sanierungsrate im Testgebiet vorangebracht.

2.2.2.2.6 Analyse der Erfassungsdaten

Da die Erhebungsdaten für die Entwicklung der Bewertungsmodelle verwendet werden müssen – es gibt keine nutzbaren Standardmodelle – werden hier die Analysetechniken, die inneren Zusammenhänge in den Daten und die Konsequenzen für die Bewertungsmodelle besprochen.

Aus den 24.000 versendeten Energieberichten wurden 1.728 retourniert. Davon konnten 984, das sind 4,1 %, in die Auswertung übernommen werden. 744 Fragebögen wurden nicht verwertet, weil

sie entweder nicht vollständig ausgefüllt waren oder die interne Plausibilitätsprüfung nicht bestanden haben. Für alle statistischen Bewertungen wurde Statgraphics Centurion xvi (StatPoint, 2009) verwendet. Im ersten Schritt der Bewertung wurde ein strenger Ausreißer-Test über die verbliebenen Daten durchgeführt. Dieser Test schließt alle Daten außerhalb des einfachen Vertrauensbereiches von σ aus. Diese strenge Maßnahme wurde notwendig, weil die Daten mit einer sehr hohen inneren Streuung behaftet sind. Argumentiert wird dies mit der Erkenntnis, dass die Ausreißer nicht in einer möglichen Klasse gepoolt waren und so mit hoher Wahrscheinlichkeit mehr zur Störung als zur Verbesserung jedes statistischen Modelles beitragen können (Ebl, 1987). Für den hier exemplarisch dargestellten Parameter des Heizwärmebedarfes in kWh/m²/a reicht somit der Vertrauensbereich für Einfamilienhäuser von 50,05 bis 195,25 kWh/m²/a und für Mehrparteienhäuser von 30,25 bis 120,45 kWh/m²/a. Der Ausreißerprüfung fielen weitere 108 Datensätze zum Opfer, womit der finale Datensatz einen Umfang von 876 Energieerhebungen umfasst.

Für die Bewertung der inneren Zusammenhänge in den Daten wurden einige Klassen gebildet und einer deskriptiven Statistik zugeführt. Diese Klassen sind die Gebäudeart, das Baujahr des Gebäudes, die Größe der Wohnfläche sowie die Anzahl und das Alter der Personen. Sowohl die Daten in Tabelle 12 als auch die Box-Plot in Abbildung 62 zeigen die innere Struktur der Klassen. Ungeachtet der noch folgenden Anwendung eines statistischen Prüfmodells zeigt sich, dass alle Klassen eine innere Verdichtung zwischen unterem und oberem Median aufweisen. Die verbleibende Hälfte der Daten verteilt sich zunehmend weiter in Richtung der in der Ausreißerprüfung festgelegten Grenzwerte. Alle Klassen wurden zusätzlich auf ihre Normalverteilung geprüft. Diese wurde häufig, aber nicht immer bestätigt.

Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Klassen aus den Energiebefragungen

Klasse	Parameter	Anzahl	Heizwärmebedarf kWh/m ² /a		
			Median	Unteres Quartil	Oberes Quartil
Gebäudeart (G)					
	Einfamilienhaus	814	107,44	84,92	136,15
	Mehrfamilienhaus	62	65,31	52,50	95,95
Baujahr des Gebäudes (B)					
	< 1960	207	108,23	81,88	142,36
	1960 ≤ 1975	231	108,21	88,90	136,45
	1975 ≤ 1990	223	109,70	85,73	134,33
	> 1990	215	92,65	71,09	227,65
Wohnfläche (W)					
	≤ 100 m ²	129	102,36	75,27	143,54
	> 100 m ²	747	104,27	82,84	131,72
Alter der Bewohner (A)					
	≤ 25 Jahre	22	90,35	75,27	114,33
	> 25 Jahre	854	106,17	83,06	134,28
Personen im Haushalt (P)					
	1-2	81	115,57	89,30	145,70
	>2	795	102,91	81,65	132,53

Die Grenzwerte der Klasse Baujahr orientieren sich am Ziel einer annähernd gleichen Verteilung, alle anderen Klassen beziehen sich auf die Grenzen von natürlichem Interesse und hatten das Ziel, einzelne Gruppen zu identifizieren. Das ist nicht immer in deutlicher Form gelungen. Wohnungen in Mehrfamilienhäusern schneiden deutlich besser ab als Einfamilienhäuser, Gebäude mit einem Baujahr über 1990 unterscheiden sich auch von allen anderen Altersklassen. Dass der Bewohner unter 25 Jahren weniger Energie benötigt, hat mit einer Überschneidung der Gebäudestruktur zu tun. Diese Gruppe wohnt häufig in besser abschneidenden Mietwohnungen der größeren Mehrfamilienhäuser. Die Wohnfläche und die Familiengröße sind unauffällig. Die beschreibende Statistik analysiert Klassen ohne Zusammenhänge und Erklärungsmuster. Abhilfe schafft die kombinatorische Prüfung innerhalb eines allgemeinen linearen Modells (GML) nach Formel 31.

Formel 31: Beschreibung des GLM für die Bewertung des Heizwärmebedarfes

$$y_{ijkl} = my + G_i + B_j + W_k + \alpha_{ijk}$$

wobei

my	=	Gemeinsame Konstante
G, B, W	=	Klassen aus Tabelle 12
$i,j,k,$	=	Indizes der Klassenwerte
α	=	Reststreuung

Die Anzahl der Personen in der Wohnung und das Alter der Bewohner tragen im gewählten Modell nicht zur Erklärung der Streuung bei und wurden deshalb aus dem Modell genommen. Die Gebäudearten und Wohnflächen unterscheiden sich hoch signifikant ($p < 0,05$) voneinander. In der Klasse Baujahr unterscheiden sich nur die Gebäude, die nach 1990 errichtet wurden, von allen anderen. Diese unterscheiden sich aber nicht voneinander. Das Modell liefert über diese Informationen hinaus keine brauchbaren Ergebnisse. Das Bestimmtheitsmaß R^2 liegt bei 14,8 %. Das bedeutet, dass 85,2 % der schon in den Box-Plots erkennbaren Streuung auf andere Faktoren als die beschriebenen zurückzuführen sind. Bis zu einem gewissen Grad beeinflusst die individuelle Baukultur diese nicht erklärbare Streuung, vor allem aber ist es das individuelle Heizverhalten der Bewohner. Trotz dieser Erkenntnis werden in Formel 32 und Formel 33 einfache Regressionen gezeigt, um lokale Simulationsdaten zu erstellen.

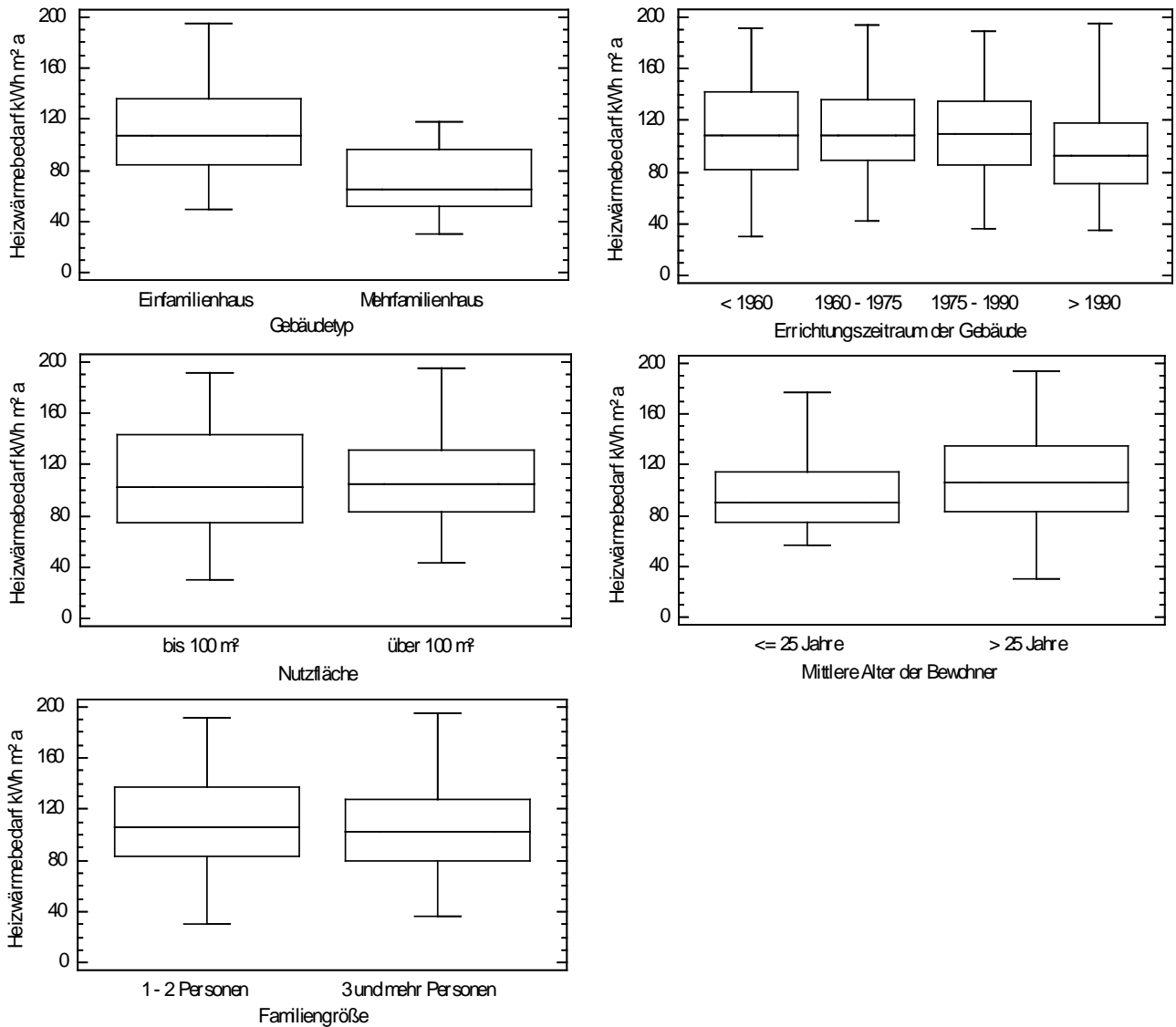


Abbildung 62: Box-Plot der Klassen aus den Energiebefragungen

2.2.2.3 Potenzielle Simulationsgrößen

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen in der Anwendung von PM, im Besonderen ist damit die Trägheit der Menschen in wohlhabenden Ländern gemeint, werden potenzielle Simulationsgrößen nur im Bereich der üblichen technischen Entwicklung definiert. Dies sind:

1. Die Neubaurate und Sanierungsrate von Wohngebäuden: Die Wohnfläche in österreichischen Ein- und Mehrfamilienhäusern beträgt im Jahr 2011 rund 850 Millionen m² (Statistik Austria, 2012b). Diese Fläche wächst im 10-jährigen Durchschnitt mit einer Geschwindigkeit von 0,6 % pro Jahr, wobei der Wachstumskoeffizient seinerseits mit rund 2,7 % pro Jahr anwächst. Die errichteten Wohnflächen in Einfamilienhäusern betragen derzeit rund 2,4 Millionen m², die Wohnflächen in Mehrfamilienhäusern rund 3,7 Millionen m². Bei einer Bebauungsdichte von 0,25 im Bereich der Einfamilienhäuser und von 0,75 bei Mehrfamilienhäusern (Vollmann, 2004) werden jährlich mindestens 1.450 ha nur für Wohnzwecke versiegelt. Das sind 4 ha pro Tag und rund 1/5 der täglich versiegelten Gesamtfläche (Längauer, 2012).

Aus dem bestehenden Gebäudebestand wird jährlich rund 1% der Wohnfläche thermisch saniert (BMFWF, 2014b). Die Sanierungstätigkeit bei Mehrfamilienhäusern wirkt sich dabei etwas stärker auf die Fläche aus als die Aktivitäten im Bereich der Einfamilienhäuser.

Unter der Annahme, dass sanierte Wohnflächen mindestens jene Energie einsparen, die neue Wohnflächen benötigen – das sind rund 50 kWh/m²/a – entsteht derzeit ein leichter technischer Einsparungsanteil von 0,4 % pro Jahr. Die Einsparung wird von einer Verschiebung der Heiztechnologie begleitet. Neubauten verwenden zunehmend Wärmepumpen. Bei einer durchschnittlichen Arbeitszahl von 3 (1 Anteil Strom erzeugt 3 Anteile Wärme) im Bereich der Neubauten und einer anteiligen Umrüstung bestehender Gebäude hebt die Technik der Wärmepumpen die Reduktionsrate wieder gegen 1%. Die Einsparung führt zugleich zu einer Verschiebung am Primärenergiemarkt. Es wird zunehmend mehr Strom für die Wärmeerzeugung nachgefragt.

2. Veränderungen im Strombedarf von Haushalten: Aus den Daten der Statistik Austria leitet sich im mehrjährigen Mittel ein Strombedarf von 2.030 kWh pro Person ab (Statistik Austria, 2015g). Dieser Verbrauch wird von einer jährlichen Einsparung von 0,4 % begleitet.
3. Veränderungen im Mobilitätsbedarf von Haushalten: Der Mobilitätsbedarf der Haushalte sinkt im Bereich der privaten PKW-Nutzung um 0,74 % pro Jahr (Verkehrsclub Österreich, 2014). Der Anstieg in der Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel findet statt, sollte aber vorerst zu einer energieneutralen Steigerung durch Auslastung bestehender Systeme führen. Der Flugverkehr in Österreich transportiert jährlich um 2,1 % mehr an Fluggästen, die Flugzeuge selber werden aber deutlich größer, weshalb die Anzahl der Flüge um 1,84 % gesunken ist (Statistik Austria, 2015h). Die Einsparungen der privaten Kraftwagen haben energetisch ein viel höheres Gewicht als die Zuwächse im Flugverkehr. Die technische Reduktionsrate wird mit 0,6 % pro Jahr und Person festgelegt. Der klassische PKW wird in Zukunft langsam durch Plug-in-Hybridfahrzeuge und reine E-Mobile ersetzt. Der Anteil könnte bis zum Jahr 2050 bei 74 % liegen (Pötscher *et al.*, 2010). Bei einfachen E-Fahrzeugen liegt der Energieverbrauch bei rund 20 kWh/100 km (Hausberger, 2008).
4. Globale Veränderungsgradienten in der Wirtschaft: Der Energieverbrauch der energieintensiven Industrie steigt zwischen 1996 und 2012 jährlich um 3,7 % (BMFWF, 2014a); im energieextensiven Dienstleistungsbereich steigt der Bedarf im selben Zeitraum um rund 2,0 %. In allen Bereichen steigt die Energieeffizienz in Bezug auf die Wertschöpfung.

Zusammenfassend zeigt sich derzeit im Bereich der Wärmenachfrage durch private Haushalte eine jährliche Reduktion von rund 1%. Der Stromverbrauch sinkt um 0,4 % und der Mobilitätsbedarf um 0,6 %. Die erzeugende Wirtschaft kompensiert diese Einsparungen. Insgesamt bildet sich seit 2010 ein Plateau aus. Die Konstanz des Verbrauches bei steigender Produktivität zeigt eine Effizienzsteigerung, aber kein Einsparungspotenzial an. Ambitionierte Zukunftspläne benötigen mehr Engagement.

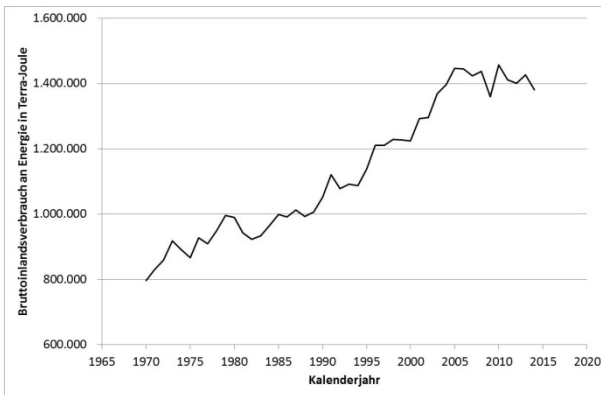


Abbildung 63: Bruttoinlandsverbrauch an Energie (Statistik Austria, 2015f)

2.2.2.4 Bewertungsmodelle

2.2.2.4.1 Heizwärmebedarf

Auch wenn 2.2.2.2.6 zeigt, dass aus den lokalen Erhebungsdaten kein verlässliches Schätzmodell abgeleitet werden kann, so beruhigt doch die Erkenntnis einer normalen Verteilung. Im Mittel der Daten kann eine einfache lineare Funktion abgeleitet werden, die für die Simulation des Heizwärmebedarfes verwendet werden kann. Die vorliegende Arbeit kann in größeren räumlichen Einheiten davon ausgehen, dass sich die individuellen Heizmuster auch lokal ausgleichen. Die Funktionen gehen deshalb wohl oft an der individuellen Realität vorbei, bilden aber ein gemeinschaftliches Verhalten ab.

Formel 32: Regression zur Bewertung des Heizwärmebedarfes in Einfamilienhäusern

$$E_E = -21,2 + (-193.249 + 196,04 \text{ Baujahr} - 0,0497 \text{ Baujahr}^2)$$

wobei

$$E_E = \text{Heizwärmebedarf in kWh/m}^2/\text{a für Einfamilienhäuser}$$

Formel 33: Regression zur Bewertung des Heizwärmebedarfes im Mehrparteienhaus

$$E_M = -14,9 + (2.690 - 1,31 \text{ Baujahr})$$

wobei

$$E_M = \text{Heizwärmebedarf in kWh/m}^2/\text{a für Mehrparteienhaus}$$

2.2.2.4.2 Warmwasserbedarf

Der lokale Warmwasserbedarf wird mit 1.288 kWh/Person/Jahr angenommen. Die Bewertung wird aus allgemeinen Angaben zum Warmwasserbedarf und den Informationen der Gebäudeausstattung im GWR II berechnet.

2.2.2.4.3 Strombedarf

Die Auswertung des lokalen Strombedarfes für die Nutzung als Kraft/Licht hat einen Bedarf von 1.430 kWh/Person/Jahr ergeben. Dieser Bedarf wurde in lokalen Netzen durch die

Energieversorger bestätigt, liegt aber um rund 29 % unter dem nationalen Durchschnitt. Als Erklärung kann der hohe Anteil an Biomasseheizungen im Testgebiet dienen.

2.2.2.4.4 Mobilitätsbedarf

Der Mobilitätsbedarf der Wohnbevölkerung wird über die potenzielle Nutzung verschiedener Verkehrsmittel abgeschätzt. Der dominante Personenkraftwagen sichert dabei vor allem die Mobilität im ländlichen Raum. Zusätzliche Bahnnutzung sowie ein allgemeines Verhalten im Bereich des Flugverkehrs ergänzen den potenziellen Mobilitätsbedarf. Die Abschätzung des Mobilitätsbedarfes stützt sich auf die Verwendung von amtlichen Statistiken und Veröffentlichungen des Österreichischen Verkehrsclubs. Die nationalen Daten wurden übernommen und mit den Befragungsdaten ergänzt. In Summe formuliert sich der Energiebedarf in den Haushalten nach

Formel 34: Energiebedarf für Mobilität

$$E_{\text{Mobilität}} = (11.400 \text{ PKW}_{\text{Zugelassen}}) + ((E_{\text{Öffentlich}} + E_{\text{Flug}}) \times \text{Personen}_{\text{Haushalt}})$$

wobei

$E_{\text{Mobilität}}$	=	Gesamtenergiebedarf Mobilität in kWh und Haushalt
$E_{\text{Öffentlich}}$	=	Energiebedarf öffentliche Verkehrsmittel = 200 kWh/Person (siehe 2.2.2.4.6)
E_{Flug}	=	Energiebedarf Flugverkehr = 320 kWh/Person (siehe 2.2.2.4.7)

Formel 35: CO₂-Ausstoß für Mobilität

$$C_{\text{Mobilität}} = (2.292 \text{ PKW}_{\text{Zugelassen}}) + ((C_{\text{Öffentlich}} + C_{\text{Flug}}) \times \text{Personen}_{\text{Haushalt}})$$

wobei

$C_{\text{Mobilität}}$	=	CO ₂ -Ausstoß Mobilität in kg und Haushalt
$C_{\text{Öffentlich}}$	=	CO ₂ -Ausstoß öffentliche Verkehrsmittel = 25,2 kg/Person (siehe 2.2.2.4.6)
C_{Flug}	=	CO ₂ -Ausstoß Flugverkehr = 22,5/Person (siehe 2.2.2.4.7)

2.2.2.4.5 PKW

Im Dezember 2014 waren in Österreich rund 4,7 Millionen Pkw (Statistik Austria, 2015a) zugelassen. 715.000 davon in der Steiermark (Land Steiermark, 2015). Auf Bundesebene besitzen 55,3 % der Bevölkerung ein eigenes Auto, in der Steiermark 55,9 %. Unter Verwendung der Altersstruktur (Steigenberger und Feßl, 2013) in den untersuchten Haushalten wurde die in Formel 36 dargestellte Funktion zur Bewertung des Bestandes an Kraftfahrzeugen herangezogen.

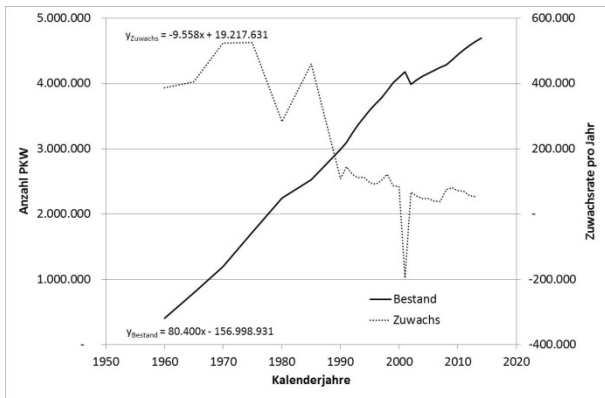


Abbildung 64: PKW-Zulassung in Österreich

Formel 36: Berechnung der PKW-Zulassungen in der Steiermark

$$|\text{Pkw} - \text{Zulassungen}| = \begin{cases} 0 \times \text{Demographie}, & x < 18 \\ 0.5 \times \text{Demographie}, & x \geq 18 < 25 \\ 0.84 \times \text{Demographie}, & x \geq 18 < 75 \\ 0 \times \text{Demographie}, & x \geq 75 \end{cases}$$

Die individuelle jährliche Nutzung eines PKWs konnte nicht erfolgreich erhoben werden. Aus dem erfassten Datenmaterial im Testgebiet geht ein jährlicher Fahrbedarf von 9.585 km/Pkw/Jahr hervor. Da die Angaben aber sehr häufig nicht ausgefüllt wurden, vertraut die Berechnung den jährlichen Angaben des Österreichischen Verkehrsclubs. Dieser gab für 2014 eine Fahrleistung von 13.100 km/Pkw/Jahr bei einem jährlichen Rückgang von 0,74 % an (Verkehrsclub Österreich, 2014). Im Mittel der langjährigen PKW-Flotte beträgt der Kraftstoffverbrauch 0,0705 l/km bei einem CO₂-Ausstoß von 175 g/km. Pro potentiellen PKW ergeben sich ein Jahresenergiebedarf von 11.400 kWh und ein CO₂-Ausstoß von 2.292 kg.

2.2.2.4.6 Öffentlicher Verkehr

Im Allgemeinen entwickeln sich sowohl Nutzung als auch Qualität im öffentlichen Verkehr (Bahn, U-Bahn und Straßenbahn, Bus) positiv (Gansterer, 2014). Laut VCÖ nutzt jeder Österreicher pro Jahr im Schnitt für 1.340 km die Bahn, für 490 km die U-Bahn bzw. die Straßenbahn und auf 1.130 km den Bus. Zugleich zeigt Gansterer, 2014 aber auch, dass abseits der Hauptreisestrecken (West- und Südbahn) ein öffentliches Mobilitätsdefizit herrscht. Im Testgebiet zeigt sich, dass kaum ein Fragebogen mit Angaben zur Nutzung des öffentlichen Verkehrs ausgefüllt wurde. Zur Bewertung des öffentlichen Verkehrs im Testgebiet wird eine Nutzungsfrequenz von 50 % angenommen. Dies bedeutet eine Nutzungsleistung von 670 km Bahn und 565 km Bus. Der Energiebedarf pro Bahnkilometer beträgt 0,19 kWh, der im Bus (25 belegte Sitzplätze) 0,13 kWh/km (GSV, 2015). Die Bahn fährt mit einer CO₂-Belastung von 14 g/Person/km, der Bus erzeugt 28 g CO₂/km/Fahrgast (Österreichische Bundesbahnen, 2015). Der Energiebedarf pro Person und Jahr für den öffentlichen Verkehr im Testgebiet beträgt 200 kWh bei einem CO₂-Ausstoß von 25,2 kg.

2.2.2.4.7 Flugverkehr

Auf den österreichischen Flughäfen wurden 2014 rund 27 Millionen Passagiere abgefertigt (Statistik Austria, 2015h). Der VCÖ gibt eine durchschnittliche Flugdistanz von 260 km pro Flug an, deckt damit aber nur die nationalen Geschäfts- und kontinentalen Anschlussflüge ab. In Österreich fallen im Schnitt 835 km/Person/Jahr an. Weltweit zeigt eine vergleichbare Rechnung innerhalb der 14 % der Weltbevölkerung, die je geflogen ist, einen Anfall von 2.340

km/Person/Jahr an. In Anbetracht der geringen Geschäftsflugfrequenz im Testgebiet wird aber der nationale Mittelwert akzeptiert. Der Energiebedarf pro km Kurzstreckenflug beträgt 0,03 l/km, der CO₂-Ausstoß 27 g/km (Gollnick, 2009). In Summe werden für jeden Einwohner im Testgebiet 320 kWh an Energie und 22,5 kg an CO₂ berechnet.

3 Räumliche Strukturen und Algorithmen

Was immer natürliche Energiequellen nach 2.1 liefern oder Menschen in ihren Haushalten und Unternehmen nach 2.2 benötigen, steht in Verbindung mit einem Feld, Wald, Fluss oder einem Wohn- bzw. Gewerbeobjekt. Der Wunsch nach vollständiger lokaler Befriedigung der Nachfrage durch das Angebot, das ist der Wunsch nach Unabhängigkeit (Autarkie), ist kleinräumig selten zu erfüllen. Die Unvereinbarkeit des Ausgleiches ist in der unterschiedlichen räumlichen, zeitlichen und stofflichen Dichte von Angebot und Nachfrage begründet. Diese Unterschiede haben ihren Ursprung in physikalischen oder biologischen Prozessen oder sind die Folge räumlicher Agglomerationen. Die zeitliche Komponente wird hier nicht feiner aufgelöst, stellt aber in der praktischen Umsetzung nachhaltiger Versorgungssysteme besonders viele Fragen. Smart-Grids sind eine mögliche Antwort auf die zeitliche Verschiebung von Angebot und Nachfrage. Sie regeln den Ausgleich im Bereich der Stromversorgung und sind damit eine technische Lösung jener Märkte, die in den UML-Gesamtmodellen immer wieder auftauchen.

Das Erste Gesetz der Geografie von Waldo Tobler lautet: “Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things“ (Tobler, 1970, Seite 236)

Ist Toblers Gesetz (Tobler, 1970) tot? Es steht in Opposition zur Marktwirtschaft und zwingt Fragen nach der Sinnhaftigkeit einer räumlichen Modellierung auf. Wenn alle Regionen mit Straßen zu erreichen sind und alle Güter über jeden Transportpfad permanent verfügbar sind, erfolgt der Zugriff nicht mehr nach räumlichen Aspekten sondern nach ökonomischen Möglichkeiten. Was bisher immer als Markt besprochen wurde, bleibt für die Kunden transparent und entzieht sich einer Bewertung. Diese Bewertung schließt auch eine Verantwortung für globales Handeln mit ein. Auch wenn die Konzepte des Marketings bisher beliebig die Psyche des Kunden manipulieren konnten, so breitet sich doch langsam eine gesamtgesellschaftliche Wahrnehmung der Ignoranz globaler Probleme aus. Spätestens bei den Folgen der Klimaerwärmung und der Bewältigung transkontinentaler Flüchtlingsbewegungen tritt die Bedeutung der Region wieder in den Vordergrund. Im Bereich der österreichischen Landwirtschaft haben sich im letzten Jahrzehnt viele sogenannte Genussregionen gebildet. Die sehr bedeutenden Aktivitäten der Europäischen Union werden über sogenannte Leader-Regionen abgebildet und sogar die Energieversorger sprechen von Versorgungsregionen und haben ihre Strukturen dem regionalen Gedanken angepasst. Toblers Gesetz lebt! Auch wenn die Märkte die Prinzipien aufgeweicht haben, so grenzen die Menschen noch immer ihre Interessensbereiche, ihre kleine Welt nach dem Konzept der Autokorrelation (Longley *et al.*, 2005) ab. Diese Abgrenzung ist eine starke psychologische Größe mit dem Statement: „Hier bin ich Mensch, hier will ich wirken!“

Die weiteren Kapitel werden diesem Gedanken folgen und eine Regionalisierung von Angebot und Nachfrage entwickeln. Die Ergebnisse mögen im Vergleich zur praktischen Umsetzung von der marktwirtschaftlichen Realität abweichen, die psychologische Verantwortung fördern sie auf jeden Fall.

In diesem Kapitel werden ausgewählte fachliche Aspekte und vorbereitende Arbeitsschritte besprochen, die als Grundlagen der Geoinformatik in die Entwicklung eines neuen Algorithmus zur Regionalisierung einfließen werden.

3.1 Geometrien

Die Welt ist komplex und entzieht sich einer detailgetreuen Abbildung in der Geoinformatik. Abstraktionen und Generalisierungen werden trotzdem seit jeher vorgenommen. Im Laufe der Zeit sinkt der Generalisierungsgrad und die Abbildungen werden genauer. Messsysteme liefern Informationen, um auch nicht direkt sichtbare Aspekte (etwa die Lufttemperatur) abzubilden. Die Technik zur Ablage von räumlichen Daten liegt in der Wahrnehmung durch den Betrachter und in den Daten selber. Als die ersten Kartographen vor 4.300 Jahren in Mesopotamien Stadtpläne (Nippur) mit ihren Werkzeugen in den Ton ritzen, haben Sie sich intuitiv für eine Abbildung von Objekten entschieden (Horowitz, 1988). Der Euphrat, die Stadtmauer und andere Kanäle in der Stadt werden als längliche Polygone dargestellt, Gebäude mit ihren Außenmauern und kleine Gräben als Linien. Manche Objekte wurden mit Keilschrift beschrieben und damit annotiert. Die flächigen Lücken zwischen den Objekten bleiben – allein schon aus technischen Gründen – ohne räumliche Information. Nicéphore Niépce stellt mit seiner Heliographie im Jahr 1826 erstmals eine praktikable Technik zur Erfassung vollständiger Bildausschnitte vor (Rosenblum und Rawls, 1997). Nadar nutzt diese Technik, um 1858 die ersten Luftbildaufnahmen zu erstellen (Albertz, 2001). Noch bildet die hohe Dichte von Informationen keine kontinuierlichen Oberflächen ab, die Möglichkeit zur Extraktion von Objekten steigt aber. Dort, wo inhomogene Objektstrukturen in homogene Flächen übergehen, entstehen neue Datenstrukturen. Diese heute als Rasterdaten bekannten Konzepte unterteilen die Welt in Zeilen und Spalten. Jede Zelle erhält je nach Speichertechnik einen oder mehrere Werte.

3.1.1 Vektordaten

Objekte im Raum können durch die Erfassung diskreter Punkten beschrieben werden. Ein erfasster Punkt kann als singuläres Objekt mit seinen Koordinaten (Y, Y, Z) erhalten bleiben oder sich mit weiteren Punkten zu Linien zusammenschließen. Linien wiederum können sich offen als Strukturen zu einem Netz verbinden oder schließend ein Polygon umschreiben. Die definierte Nachbarschaft von Punkten, wir bezeichnen sie als Topologie (James, 1999), ist das Kernkonzept der Vektordaten. Die Topologie definiert – ungeachtet der räumlichen Koordinaten – die logische Beziehung zwischen Punkten. Die Logik ist im einfachsten Fall die reine Nachbarschaft im Sinne von Vorläufer- bzw. Nachfolgerknoten. Aufgewertete Topologien, vor allem in Netzen, können für jeden Knoten komplexe Regeln definieren. Diese lauten zum Beispiel: „Im Straßennetz der Stadt A besteht am Kreuzungsknoten Y ein Abbiegeverbot nach links!“ Die Topologie bleibt bei stetiger Verformung erhalten und ist deshalb das mächtigste Konzept der Vektordaten. Wenn eine Kreuzung im Freiland 100 Meter verlegt wird, hat das Auswirkungen auf die Darstellung, beeinflusst aber das Routing nicht. Vektordaten haben effiziente Speichermodelle, benötigen aber

komplexe Algorithmen. Flächige Vektordaten generalisieren die Realität (Lang und Blaschke, 2007). Das Polygon einer Bauparzelle kann seinem Besitzer klar zugeordnet werden, ein Polygon einer Wiese wird der botanischen Zusammensetzung nur schwer gerecht. Die Generalisierung von Vektordaten findet oft in der Klassenbildung der Beschreibung statt.

3.1.2 Rasterdaten

Manche Messwerte sind lückenlos. Mit dieser Eigenschaft entziehen sie sich noch nicht den Konzepten der Vektordaten – jeder lokal gemessene Wert könnte auch als Punkt dargestellt werden – allerdings wird man die hohe Speicherlast und Komplexität der Algorithmen nur in Ausnahmefällen in Kauf nehmen. Für Messfelder gilt eine externe räumliche Orientierung. Der Messraum beginnt an den Ursprungskoordinaten und setzt sich von dort zweidimensional (Spalten und Zeilen) in geordneten Strukturen fort. Die Breite bzw. Höhe der Spalten bestimmt die lokale Auflösung von Messfeldern. Die systematische Anordnung definiert zugleich die Topologie. Jede Zelle hat 8 mögliche Nachbarn. Algorithmen können einfachen Mustern folgen. Ein Beispiel dafür wurde unter 2.1.3.4.4 bei der Bestimmung der Abflussrichtung von Wasser entlang einer Oberfläche vorgestellt. Die Breite von Spalten und Zeilen ist das bestimmende Generalisierungsmaß von Felddaten. Globale Klimamodelle zur Abschätzung der Erderwärmung nutzen einen globalen Raster mit einem Intervall von 1° (Solomon, 2007). Das bedeutet für Österreich mit seinen verschiedenen Klimaregionen, dass nur 8 – 10 Werte verfügbar sind. Im nationalen Maßstab sicher zu wenig, in der globalen Betrachtung sicher ausreichend, um eine Botschaft zu verkünden. Die für Rasterdaten notwendige Auflösung orientiert sich an den Zielen der Analyse.

3.1.3 Vergleich elementarer Datentypen

Die in Tabelle 13 dargestellten Aspekte sollen bei der Auswahl bzw. Konvertierung von Geodatentypen in Betracht gezogen werden.

Tabelle 13: Stärken und Schwächen von Geodatentypen

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> • Vektordaten können die Realität sehr scharf abbilden • Vektordaten können topologische Beziehungen so gut abbilden, dass damit eine Nutzung über den visuellen Bereich möglich wird. • Rasteralgorithmen sind einfach. • Die Generalisierung von Rasterdaten wird bei der Festlegung der Zellgröße fest bestimmt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vektordatensätze haben komplexe Algorithmen. • Der Grad der Generalisierung von Vektordaten wird individuell und subjektiv bei der Erfassung definiert. • Rasterdaten haben eine feste topologische Beziehung mit begrenzter Nutzung

3.2 Raumkonzepte

Zwei Überlegungen sollen von den allgemeinen Geodatentypen zur Verwendung von homogenen Vektorstrukturen überleiten. Dazu gehören:

- Die Raumaufteilung: Eine elementare Herausforderung für Vektordaten ist die Suche im Raum. Ein über Eckpunkte definierter Suchraum würde für eine Suche von Haushalten im Testgebiet bedeuten, dass im Schnitt die Hälfte der Meldepunkte im Geodatenatz zu besuchen wäre. Die Suche beschleunigt sich deutlich, wenn für die einzelnen Objekte eine räumliche Sortierung angelegt wird. Diese Sortierung beruht fast immer darauf, eine Datenmenge in kleinere Pakete zu unterteilen. Der Suchalgorithmus sucht in seiner praktischen Anwendung immer zuerst die groben Pakete und muss damit den finalen Vergleich nur mehr für wenige Elemente vornehmen. In homogenen räumlichen Strukturen mit durchschnittlicher Auslastung kann für die Aufteilung der Suchräume ein Quad-Tree verwendet werden. Dreidimensionale Speicherstrukturen verwenden einen Okt-Tree. Die Tiefe der Bäume ist ein entscheidendes Maß für die Steigerung der Suchgeschwindigkeit. Im Konzept der Suchbäume bildet sich die Ordnung der Rasterdaten ab, erst auf der letzten Ebene der Blätter findet sich die ungeordnete Welt der Vektordaten. Das kann auch als hybride Suchmethode verstanden werden (Bartelme, 2005).
- Die Approximation: Unregelmäßige Objekte können für die Suche von Objekten durch regelmäßige Formen umschrieben werden. Gruppierte Punkte lassen sich etwa mit einem Rechteck umschreiben. Dieses Minimal Bounding Rectangle MBR überschneidet sich im günstigen Fall nicht mit anderen Suchfeldern. Eine mittlere ideale Form eines MBR ist ein Quadrat, das beiden Achsen der Ebene dieselbe Ausbreitung zugesteht. Ein möglicher Ordnungsbaum für die Approximation ist der R-Baum (Beckmann *et al.*, 1990).

3.2.1 Überführung der Konzepte in einen neuen Algorithmus

Die räumliche Spezialform des Geographical Grid Systems (GGS) entspricht in seiner räumlichen Ausdehnung der Natur von Rasterdaten. Der Inhalt seiner einzelnen quadratischen Zellen gehört aber dem Bereich der Vektordaten an. Diese müssen in einer vorbereitenden Schnitttechnik aus den Eingangsdaten gebildet werden. Dies entspricht der Umwandlung des Approximationsbegriffes in eine tatsächliche Auflösung von bestehenden Linien und Polygonen in einem Schnittverfahren. Die Suche wird durch Baumstrukturen aus verschiedenen GGS-Layern mit unterschiedlicher Auflösung enorm beschleunigt. Als Suchschlüssel für Hash-Funktionen können die eindeutigen Schlüssel der vereinbarten Nomenklatur (Identifizier) verwendet werden. Die Einführung eines R-Baumes beschleunigt das Verfahren. Der wissenschaftliche Austausch, allenfalls auch einfache Analysen, werden durch das Format Network Common Data Format (NetCDF) gut unterstützt.

3.2.2 Geographical Grid System (GGS)

Was im letzten Absatz als „eierlegende Wollmilchsau“ mit den besten Eigenschaften aller Konzepte angeboten wird, hat einen Preis. Alle Vektorobjekte geben ihre topologischen

Eigenschaften auf. Dies gilt für die Nachbarschaft von Punkten, die Routinginformationen auf Linien oder die Übergänge in Polygonen. Die Verwendung von Schnitzzellen steigert außerdem die Multiplizität der Sachdaten und verändert selbst für einen Parameter die Beziehung zwischen Geo- und Sachdaten von 1:1 auf maximale n:n. Dieser Aspekt stellt hohe Anforderungen an das Datenbankmanagement. GGS sollte dort eingesetzt werden, wo die Geoinformatik nicht an der inneren Beziehung von Geodaten interessiert ist, sondern eine homogene und harmonische Struktur für den Vergleich von räumlichen Einheiten benötigt.

Eine hohe Dichte solcher Nutzer finden wir in jenen Ebenen der Verwaltung, die Entscheidungsgrundlagen für die Politik aufbereiten. Die führenden Institutionen sind dabei die nationalen Ämter der Statistik, die in EUROSTAT, dem statistischen Amt der Europäischen Union mit seinem Sitz in Luxemburg, gebündelt sind (Eurostat, 2014). Diese Ämter bewerten die nationale und europäische Entwicklung in wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fragen. Von Interesse sind der vertikale Vergleich eines Parameters entlang der Zeitachse und der horizontale Vergleich im räumlichen Sinn. Normen für die transnationale Bewertung sichern die Aussagekraft auf Europäischer Ebene. Neben EUROSTAT treibt vor allem die Generaldirektion Umwelt der Europäischen Union die Homogenisierung räumlicher Daten voran. Im Fokus der Generaldirektion steht der gesamte Umweltschutz, der eine hohe Affinität zur Landbedeckung bzw. Landnutzung aufweist. Beide Themen benötigen eine Kernkompetenz in der Geoinformatik. Entscheidende Unterstützung erhielten diese Institutionen durch das Europäisches Komitee für Normung (CEN) und die gesamte Community der Geoinformatik. Alle Organisationen gründeten oder unterstützten im Jahr 2001 die *Environmental European Spatial Data Infrastructure initiative (E-ESDI)* (European Commission, 2001), die die Ziele ihres Aktionsplanes im Jahr 2007 mit der INSPIRE-Richtlinie erreicht (2007/2/EG, 2007). Das GGS ist ein funktionaler Teil von INSPIRE mit folgender Definition: „Harmonised multi-resolution grid with a common point of origin and standardized location and size of grid cells” (INSPIRE Thematic Working Group, 2014).

3.2.3 Inspire-Richtlinie

Diese Richtlinie 2007/2/EG ist der Meilenstein in der europäischen Geodatenpolitik. Das Akronym INSPIRE steht für die Bezeichnung “**I**nfrastructure for **S**patial **I**nformation in the **E**uropean **C**ommunity”. Innerhalb seiner Rechtsmaterie definiert INSPIRE für die Mitgliedsländer der Europäischen Union die verbindliche Umsetzung eines Normierungsprozesses auf Ebene der Offenlegung und Beschreibung von Daten, dem Datenaustausch und der Datenstruktur selbst. Folgende Konzepte haben hohe Bedeutung:

- Beschreibung von Daten (Artikel 2): Metadaten sind die Datenbeschreibungen der Datensätze. Datenverantwortliche der einzelnen Nationen – in Österreich liegt die INSPIRE-Kompetenz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft – können dem transnationalen Datenaustausch nur dann tatsächliche Datensätze hinzufügen, wenn diese nach einer vorgegebenen Struktur beschrieben wurden. Aus eigener Erfahrung – die HBLFA hält einige Datensätze für INSPIRE bereit – ist das Erfassungsspektrum

umfangreich. Neben räumlichen Aspekten (inklusive eines umschreibenden MBR) müssen die Parameter des Datensatzes und seine grundlegende Herkunft sowie der fachliche Inhalt beschrieben werden. Der Datensatz ist einer Kategorie zuzuteilen, mit Schlüsselwörtern zu versehen und einer Zielgruppe von Nutzern zuzuweisen. Die zeitliche Komponente wird in mehreren Aspekten nachgefragt. Die für die Erstellung des Datensatzes zuständigen Personen sind bekannt zu geben. Zuletzt muss im Arbeitsprozess über 13 Schritte noch ein Voransichtsbild als jpg hinzugefügt werden.

- **Kompatibilität von Daten (Artikel 3):** Die Entwicklung der Geoinformatik war zumindest zwei Jahrzehnte von Einzelunternehmen geprägt, die mit proprietären Datenstrukturen um Marktanteile kämpften. Dieser Wettbewerb wurde zulasten der Benutzergruppen geführt. Bereits im September 1994 hat sich mit dem Open Geospatial Consortium (Open Geospatial Consortium, 2015) eine Gruppe aus Unternehmen, fachlichen Organisationen und Universitätsinstituten für einen Normierungsprozess eingesetzt, der unter dem Begriff „Interoperability of spatial datasets and services“ bekannt und von INSPIRE rechtlich implementiert wurde. Es ist der Verdienst aller Wegbereiter der Geoinformatiker und des OGC, dass beliebige relationale Datenbanken der Gegenwart neben elementaren Datentypen ganz selbstverständlich die Speicherung von Geodatentypen ermöglichen.
- **Darstellungsservice (Artikel 4):** Metadatenbeschreibung und Interoperabilität sind kein Selbstzweck, sondern stellen die Grundlagen für einen international nutzbaren Darstellungsdienst dar. Auf der Basis von OGC-WMS (Web Map Services) stehen seit einiger Zeit die ersten Geodatensätze für eine internetbasierende Nutzung zur Verfügung. Damit wurde das funktionelle Ziel von INSPIRE erreicht.
- **Referenzsystem (Annex I):** Ein weiterer Schritt in der Umsetzung von INSPIRE betrifft die Verwendung des European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS 89) als gemeinsames geodätisches Datum. Historisch bedingt wurden in den einzelnen europäischen Ländern unterschiedliche Bezugsellipsoide mit lokaler Lagerung (Fundamentalpunkte) verwendet. Diese Maßnahme führte zu einer lokalen Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit der Erdoberfläche mit geringeren Verzerrungen. Eine weltweite Anpassung eines Bezugsellipsoides auf Basis von vielen Fundamentalpunkten wurde mit WGS 1972 vorgestellt. Das für ETRS 89 gültige Referenzellipsoid wurde 1979 als globale Anpassung berechnet und ist als GRS 80 (Moritz, 1980) bis heute gültig. Das gegenwärtig weltweit benutzte Referenzsystem WGS 84 verwendet die Halbachsen von GRS 80, hat jedoch eine minimal geringere Abplattung. Der Bezugsrahmen von ETRS 89 beruht auf dem European Reference Frame (EUREF). In diesem System werden rund 200 über ganz Europa verteilte Festpunkte mit unterschiedlichsten Techniken auf ihre genaue Lage im ETRS untersucht. EUREF stellt eine kontinentale Drift von 2.5 cm pro Jahr nach Osten fest. Dies bedeutet, dass sich die absolute Lage von Koordinaten in 100 Jahren um 25 Meter verschieben würde. Deshalb wurde mit den Daten des EUREF-Netzwerkes von 1989 ein Set kontinentaler Referenzpunkte entnommen, die sich mit der Kontinentalplatte verschieben (Görres, 2010). Auf diesen Referenzpunkten beruht bis heute die Lagerung von ETRS 89.

- ETRS 89 besitzt ein erdfestes kartesisches Koordinatensystem, das im Erdschwerpunkt gelagert ist. Die X-Achse zeigt zum Schnittpunkt des 0-Meridians mit dem Äquator, die Y-Achse orientiert sich auf der Äquatorebene um 90° gegen den Uhrzeigersinn, die Z-Achse fällt mit der Rotationsachse der Erde zusammen.
- ETRS 89 verwendet das Bezugsellipsoid GRS 80, das an das Festpunktenetz des EUREF mit Stand 1989 kontinentalfest angepasst wurde.
- ETRS 89 sieht drei verschiedene Projektionen vor. Für Karten im Maßstab über 1:500.000 wird eine Transverse Mercatorprojektion (ETRS89-TMzn) empfohlen. Karten mit einer höheren Auflösung sollen eine Projektion nach Lambert Conformal Conic (ETRS89 – LCC) verwenden. Die wegen ihrer Flächentreue tatsächlich am häufigsten verwendete Projektion ist die Lambert Azimuthal Equal Area (ETRS89 – LAEA).
- Geographical Grid System (GGS - Annex I): GGS ist ein simples, normiertes Grid aus flächenfüllenden Vektorquadraten. Jede Zelle hat eine eindeutige ID (European Environment Agency, 2013). Die Größe der Zellen ist prinzipiell variabel, INSPIRE-Daten mit einer Auflösung von 1, 10 und 100 km sind rechtlich obligatorisch (Annex II und Annex III).

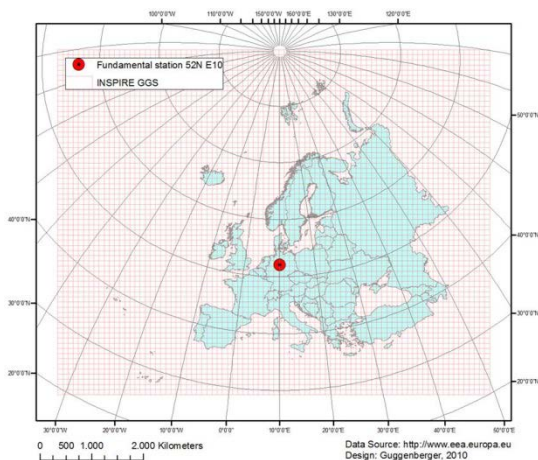


Abbildung 65: Geographical Grid System GGS

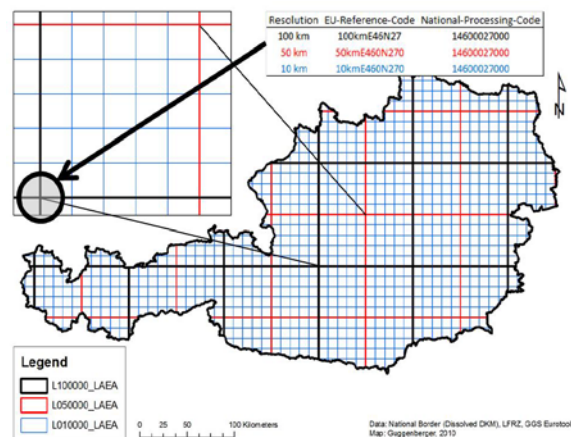


Abbildung 66: Auflösungen im GGS

Shape: GGS-Auflösungen können mit dem “EEA Fish Net-Tool for ESRI Arc Catalog“ erstellt werden (Eurostat, 2015b). Für die nationalen Forschungsprojekte im Rahmen dieser Arbeit wurde ein flächentreuer Basisgrid mit einer Auflösung von 100 x 100 Metern (1 ha) erstellt. Alle anderen weniger hoch aufgelösten Grids können von diesem Raster abgeleitet werden. Abbildung 65 zeigt eine 100 km-Auflösung des GGS mit seiner projektiven Lagerung bei 50°N 10°E (roter Punkt). Um ganz Europa mit positiven Koordinaten abzubilden, wurde der Koordinatenursprung auf einen Punkt südwestlich der Kapverdischen Inseln verschoben. Die Verschiebungsgrößen betragen 4.321 km (false easting) bzw. 3.210 km (false northing).

Identifizier: Jede Zelle im Grid trägt einen alphanumerischen Schlüssel, aus dem sie räumlich rekonstruiert werden kann. Der räumliche Referenzpunkt der Zelle liegt in der linken unteren

Ecke. Die Nomenklatur des Identifiers besteht aus der Zellauflösung und den Koordinaten des Referenzpunktes. Abbildung 66 und Tabelle 14 zeigen Form und Struktur der in den Projekten verwendeten Identifier. Im Verlauf der Normierung des GGS hat sich der vorgesehene Identifier von Version 2 in die Version 3 verändert, wobei nur die Koordinatenachsen ausgetauscht wurden. Die Identifier-GGS tragen inhaltlich sowohl die räumliche Auflösung der Zelle als auch die Achsenzuordnung der Koordinaten. Dies führt zu einer intuitiv verständlichen Darstellung. Für die digitale Verarbeitung ist diese Form kritisch. Zum einen verbraucht der 100-Meter Identifier als Zeichen in der Datenbank 18 Byte an Speicherplatz, zum anderen – und das ist noch viel kritischer – arbeiten die Indizes von relationalen Datenbanken mit Zeichenketten weniger effizient als mit Zahlen. Deshalb wurde zum Identifier-GGS mit dem National-Processing-Code (NPC) noch eine numerische Form (8 Byte) des Identifiers geschaffen.

Tabelle 14: Aufbau des Identifiers für das GGS

Kantenlänge Meter	Referenzpunkt		Identifier-GGS		National-Processing-Code V2
	X	Y	Version 2	Version 3	
100	47681	26845	100mE47681N26845	100mN26845E47681	14768126845
200	47680	26844	200mE47680N26844	200mN26844E47680	14768026844
500	47680	26845	500mE47680N26845	500mN26845E47680	14768026845
1.000	47680	26840	1kmE4768N2684	1kmN2684E4768	14768026840
2.000	47680	26840	2kmE4768N2684	2kmN2684E4768	14768026840
5.000	47680	26800	5kmE4765N2680	5kmN2680E4765	14765026800
10.000	47600	26800	10kmE476N268	10kmN268E476	14760026800
20.000	47600	26800	20kmE476N268	20kmN268E476	14760026800
50.000	47500	26500	50kmE475N265	50kmN265E465	14750026500
100.000	47000	26500	100kmE47N26	100kmN26E57	14700026000

Der NPC ist lediglich eine numerische Kombination der X/Y-Koordinaten (siehe Formel 37). Allerdings fehlt im Code die Achsenrichtung (East, North). Aus diesem Grund wird eine führende Zahl in die Codierung eingebracht. Eine 0 – diese fällt im Datentyp aber automatisch wieder weg – enthält der vom Ursprungspunkt (Kapverdische Inseln) nach Nord-Westen orientierte Quadrant. Die weiteren drei Quadranten werden im Uhrzeigersinn angeordnet. Europa trägt eine führende 1. Im Allgemeinen hat das wenig Bedeutung, wird aber durch die Überseegebiete der ehemaligen Kolonialmächte notwendig.

Formel 37: Berechnung National-Processing-Code im europäischen Quadranten

$$NPC_{V2} = 10.000.000.000 + 100.000 \text{ Koordinate}_{East} + \text{Koordinate}_{North}$$

$$NPC_{V3} = 10.000.000.000 + 100.000 \text{ Koordinate}_{North} + \text{Koordinate}_{East}$$

3.2.4 Transformation

Generalisierung kann akzeptiert werden, Datenverlust nicht! Die INSPIRE-Forderung nach räumlicher Harmonisierung kann auf der Seite der Geometrien mit beliebigen GIS-Werkzeugen realisiert werden. Liegen bereits Vektordaten vor, wird lediglich die Funktion „Intersect“ benötigt. Handelt es sich bei den Ausgangsdaten um Rasterdaten, muss ein vorbereitender Arbeitsschritt eingelegt werden. Die größte Herausforderung liegt in der Bewertung der Parameter in den Schnittelementen. Der abschließende Darstellungsdienst ist einfach.

3.2.4.1 Gesamtmodell

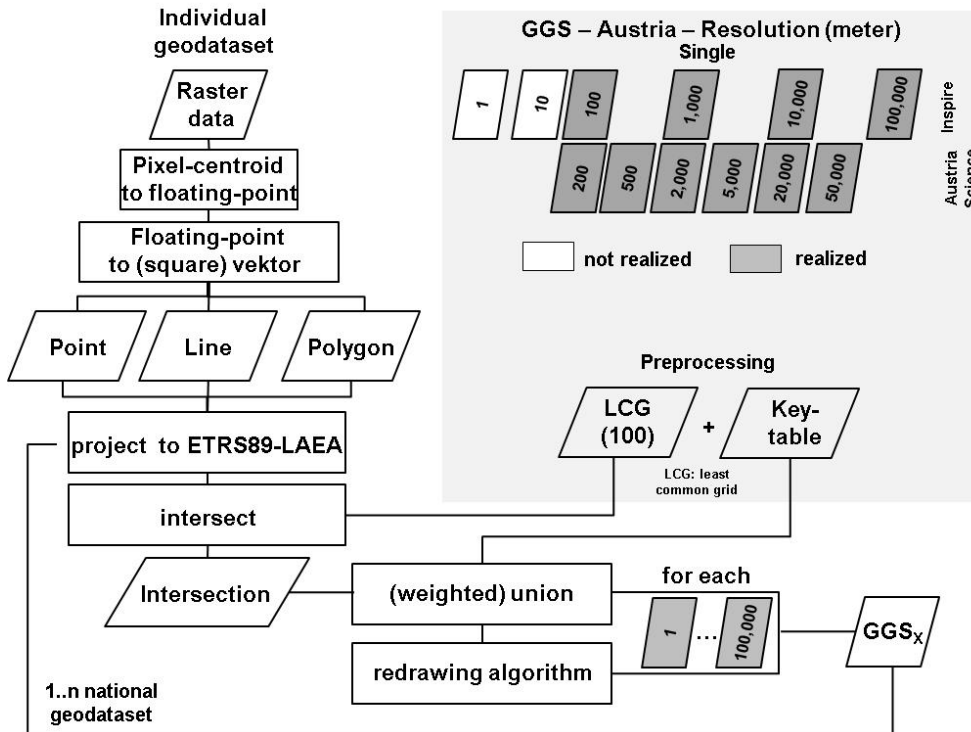


Abbildung 67: Arbeitsmodell der Datentransformation

Alle Geodaten einer Transformationssitzung müssen in der Zielprojektion ETRS89-LAEA vorliegen. Rasterdaten sind dann in Vektordaten umzuwandeln, wenn es sich um klassifizierte Rasterdaten handelt. Liegen Rasterfelder vor, kann ein Ergebnis mit einer zonalen Analyse ohne Schnitt auf direktem Wege erstellt werden. Vektordaten werden mit der Kernmethode *intersect* zerschnitten. Die Schnitfführung wird durch den in Abbildung 67 als Local Cutting Grid (LCG) bezeichneten Schnittraster bestimmt. Das Ergebnis besteht aus einer große Menge zerschnittener Geometrien. Diese können auf Basis von Schlüsseltabellen (siehe Tabelle 14) nach bestimmten Regeln wieder zu den Zielelementen im GGS vereint werden. Das Arbeitsmodell erstellt neben den gesetzlich geforderten Auflösungen von (100), 1.000, 10.000 und 100.000 Metern noch Zwischengrößen von 200, 500, 2.000, 5.000, 20.000 und 50.000 Metern für den wissenschaftlichen Alltagsgebrauch. Die Auflösung von 100 Meter steht deshalb in Klammer, weil sie zwar rechtlich gefordert wird, bisher aber nur in diesem Projekt erstellt wurde. Die Schnitfführung von 10 bzw. 1 Meter wurde von INSPIRE zwar angedacht, aber der Datenaufwand wäre enorm. Jede Zehnerstelle

steigert den Aufwand um mindestens 10^2 wobei durch die überproportionale Teilung der eingehenden Geometrien eher ein Verlauf von $10^{2,5}$ erwartet werden darf.

3.2.4.2 Raster-Vektor-Konvertierung.

Die Methodik zur Umwandlung von Rasterdaten in Vektordaten wird in Abbildung 68 dargestellt:

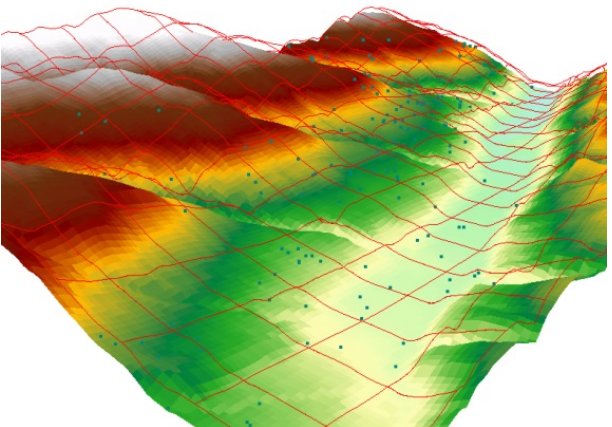
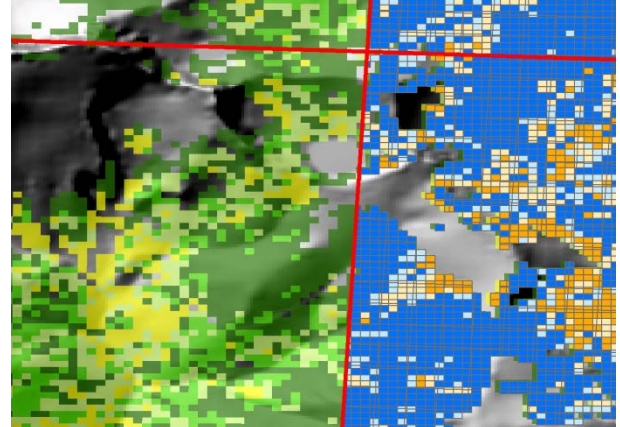
Rasterfeld	Klassifizierte Rasterdaten
	
<p>Im vorliegenden Rasterfeld werden das digitale Geländemodell und ein Schnitt-Grid dargestellt. Die Seehöhe jeder Zelle im 10 Meter DGM kann lokal durch die unten angeführte Methode approximiert werden. Das Gesamtmodell in Abbildung 67 muss nicht durchlaufen werden. Neben den direkten Ergebnissen können lokale Streuungsmaße des Feldes untersucht werden.</p>	<p>Der Rasterdatensatz in gelb-grüner Farbe zeigt $n=4$ verschiedene Baumarten (Bauerhansl <i>et al.</i>, 2007). Für einen korrekten, vollständigen Schnitt im GGS müssen die einzelnen Rasterzellen in Vektorzellen umgewandelt werden. Im vorliegenden Fall entstehen aus den 30 Meter-Rasterzellen zuerst Vektorquadrate mit der gleichen Kantenlänge in orange-blauer Farbe. In rot zeigt sich ein Schnitttraster (2.000 Meter)</p>
<p>Methode: Zonale Statistik</p>	<p>Methoden für jede Zelle:</p>
<p>Software: beliebig</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Besuche die Zelle und bestimme die Koordinaten der linken unteren Ecke. 2. Zeichne mit geeigneter Methode eine neue Vektorgeometrie mit der Auflösung des Raster-Datensatzes
<p>Ergebnis Daten: n-Rasterzellen vereinen sich zu einer Zelle, im Schnitt-Grid mit einem Wert</p>	<p>Software: Eigene Entwicklung mit Arc-Objekt notwendig. Laufzeitverhalten: bescheiden Ergebnis Daten: Aus jeder Rasterzelle entsteht ein Vektordatensatz. Entweder werden die beschriebenen Fachdaten bereits hier in ein normalisiertes Datenmodell abgeleitet oder es entsteht eine Tabelle mit $n=4$ Spalten.</p>

Abbildung 68: Umgang mit verschiedenen Rasterdaten

3.2.4.3 Schnittführung

Teile und herrsche (Macchiavelli, 1513). Am Beispiel der Schnittführung für Kapitel 2.1.1.4.1.1, den Feldstücken in der Landwirtschaft, zeigt sich die Komplexität der nationalen Schnittführung zur Erstellung des GGS. Im Basisjahr 2010 wurden rund 1,8 Millionen Feldstücke von den Landwirten erfasst. Nach dem Schnitt mit dem 100 Meter Schnitt-Grid waren 13,7 Millionen Schnittelemente zu verarbeiten. Auf keinem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein vorhandenen System war im Jahr 2013 ein direkter Schnitt auf 100 Meter möglich. Geprüft wurden die Produkte von ESRI (Environmental Systems Research Institute, 2015), Quantum-Gis (QGIS Development Team, 2015) und PostGis (Refractions Research, 2016). Wie in Abbildung 69 dargestellt, wurde der Schnitt nach dem Eingangsstatement dieses Kapitels umgesetzt. Die 3.719 Zellen des 5.000 Meter Grids wurden Zelle für Zelle zur Selektion von Feldstücken verwendet. Das Ergebnis der Selektion (in drei Beispielen in violetter, grüner und gelber Farbe dargestellt) wurde mit dem LCG 100 tatsächlich geschnitten, wobei die überstehenden Randelemente nicht weiter verarbeitet wurden. In der finalen Version benötigt der vollständige Schnitt nur mehr einige Stunden. Die geringe Datenmenge wirkt sich günstig auf das Laufzeitverhalten aus.

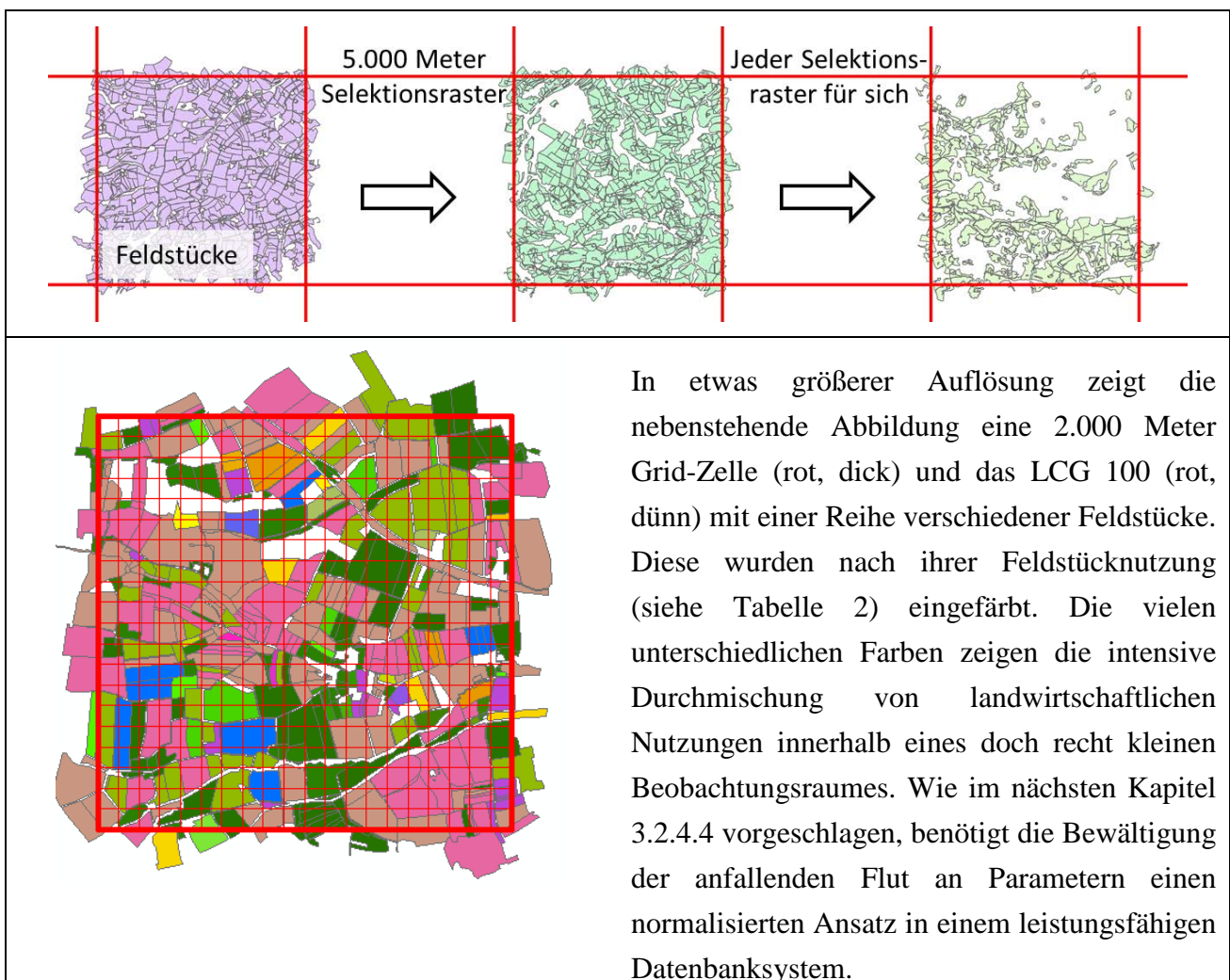


Abbildung 69: Schnittführung im GGS und Schnittergebnis

3.2.4.4 Datenaufbereitung

Im vorhergehenden Arbeitsschritt ist die Datenmenge durch den Schnitt auf die 7,6-fache Menge angewachsen. Für mögliche mitzuführende Fachdaten würde das gleiche gelten. Die Schnittführung und die Parametrisierung der Daten sind deshalb strikt voneinander zu trennen. Abbildung 70 zeigt in extrem verkürzter Form die inneren Zusammenhänge des Datenverarbeitungskonzeptes. Gezeigt wird nur das, was für das Verständnis des Konzeptes unbedingt notwendig ist.

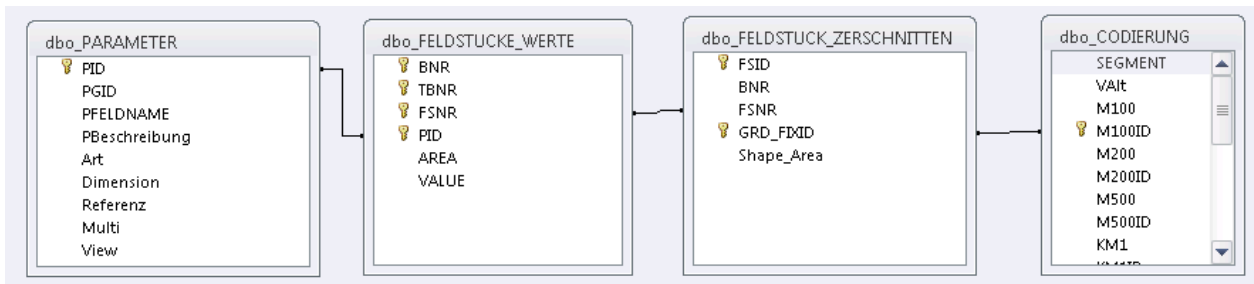


Abbildung 70: Vereinfachtes Schema der Datenaufbereitung

3.2.4.4.1.1 Zentrale Elemente der Datenaufbereitung

- Feldstück-Zerschnitten:** Die Schnittführung der Feldstück-Geometrie führt ein minimales Datenset mit sich. Die ursprüngliche, kombinierte Index Betriebsnummer (BNR) + Feldstücknummer (FSNR) wurde durch eine fortlaufende Zahl, die FSID, ersetzt. Aus dem LCG 100 wird der National Processing Code, in der Tabelle als GRD_FIXID bezeichnet, genutzt. FSID + GRD_FIXID bilden gemeinsam den Primärschlüssel und vertreten jedes Schnittelement eindeutig. BNR + FSNR + GRD_FIXID würden keine eindeutigen Schlüssel ergeben, da ein Feldstück innerhalb einer LCG 100-Zelle mehrfach geschnitten werden kann.
- Feldstück-Werte:** Geodatensätze tragen häufig nicht normalisierte Attribute. Die Datendatei des sehr verbreiteten Shape-Formats sieht etwa eine horizontale Anordnung der Parameter vor. Informationssysteme mit umfassender Parametrisierung sollen sich aber an das Kernkonzept der relationalen Datenbanken, das ist die Normalisierung, halten (Saake *et al.*, 2013). Ziel der Normalisierung ist ein abstrakter, vertikaler Datenaufbau, der in seiner Struktur das Prinzip der benötigten Daten abbildet und die Daten als Inhalt wirken lässt. Zum Verständnis ein einfaches Beispiel: Eine Datentabelle eines Geodatensatzes könnte für jede pflanzenbauliche Nutzung der österreichischen Landwirtschaft eine Spalte besitzen, in der ein Flächenanteil am Feldstück definiert ist. Diese Tabelle hätte derzeit eine Breite von rund 250 Spalten. Die allermeisten wären aber immer leer. Alternativ könnte eine kleine Tabelle mit den möglichen pflanzenbaulichen Nutzungen erstellt werden. Diese Tabelle benötigt lediglich einen eindeutigen Identifier und zur Erklärung ein Textfeld für die Bezeichnung der Nutzung. Die Verbindung zu den Geodaten wird im relationalen Falle durch eine Verbindungstabelle realisiert. Diese enthält einen Verweis auf die Geodaten und auf die Beschreibung der Parameter. Vor allem aber trägt diese Tabelle – in unserem Fall die Tabelle Feldstück-Werte – die Inhalte.

- **Parameter:** Die im vorigen Beispiel kurz angesprochene Parametertabelle trägt tatsächlich noch weitere Inhalte. Neben dem Identifier der Parameter wird noch eine übergeordnete Gruppenzugehörigkeit definiert. Textfelder beschreiben den Parameter in Kurzform oder umfangreicher. Jeder Parameter benötigt noch ein Referenzfeld für die Abbildungsfläche. Diese muss – wenn in ha angegeben – noch mit 10.000 multipliziert werden. Für die Verarbeitung der Schnittelemente aus dem GIS und den Daten aus den Fachsystemen spielen die Felder Art und Dimension eine besondere Bedeutung. Die Beschreibung erfolgt unter 3.2.4.4.2.
- **Codierung:** Diese Tabelle trägt die Schlüsselinformation zum leichten Aufbau verschiedener GGS-Grids aus einem elementaren Schnitt-Grid. Die relationale Verbindung aus Abbildung 70 erzeugt nur durch das Umstellen des „Grouping“ innerhalb einer SQL-Abfrage ein völlig anderes Ergebnis.

3.2.4.4.2 Grundsätzliche Arten von Parametern

Der hohe Entwicklungsaufwand in universellen Informationssystemen wird durch das Skalenniveau der Eintragungen in den Fachdatenbanken getrieben. In den vorliegenden Anwendungen treten zwei grundsätzliche Arten von Parametern auf:

- **Parameter der Ordinalskala:** Diese Werte treten als „Gewicht“ in verschiedener Form auf. Ein Beispiel ist die Klassifikation landwirtschaftlicher Betriebe in die Erschwernisgebiete (0, 1, 2, 3, 4). Null kann für einen fruchtbaren Ackerbetrieb gelten, vier für einen Bergbauernhof. Parameter der Ordinalskala müssen über ihre Flächenanteile gewichtet werden. Dafür ist es notwendig, den Anteil eines jeden Schnittelements innerhalb seiner Zielzelle zu berechnen. Mit diesem Wert kann dem Datenbankeintrag die richtige Bedeutung gegeben werden. Wenn die Definition der Klassen nicht harmonisch erfolgt ist, sollen im Zuge der Gewichtung noch Korrekturwerte eingebracht werden. Eine abschließende Entscheidung wird mit der Definition des Zahlenraumes für das Gesamtergebnis notwendig. Gemeinsam gewichtete Klassenwerte aus dem Bereich der ganzen Zahlen können in den Bereich der reellen Zahlen abwandern.

Formel 38: Bewertung des Parameters der Ordinalskala

$$Ergebnis_{Ord.} = \sum_{i=1}^n Klassenwert_i \times \frac{Fläche_i}{\sum_{j=1}^n Fläche_{LCG}}$$

- **Parameter der Kardinalskala:** Diese Werte stellen einen metrischen Wert bezogen auf die Fläche, also einen Messwert mit lokaler Dichte dar. Der Nahrungsertrag auf der landwirtschaftlichen Fläche ist ein gutes Beispiel. Das Expertensystem verteilt etwa den Milchertrag auf den Feldstücken und gibt einem größeren Feldstück netto mehr als einem kleineren Feldstück. Aus der Verbindung von Größe und Menge kann leicht die Dichte berechnet und in alle räumlichen Schnittelemente übertragen werden. Die numerische Aggregation ist dann nur mehr die Summenbildung aller betroffenen Teilstücke einer Zelle im LCG. Diese Methode wurde bei der Aufbereitung der Basisdaten sehr häufig verwendet.

Formel 39: Bewertung des Parameters der Kardinalskala

$$Ergebnis_{Kard.} = \sum_{i=1}^n Klassenwert_i$$

Neben der Frage um das Skalenniveau von Parametern besteht noch ein zweiter, ebenso anspruchsvoller Aspekt. Dieser betrifft die Multiplizität eingehender Messwerte. Im einfacheren Fall einer 1:1-Beziehung zwischen Parametern, ihren Werten und den Feldstücken gilt Formel 39. Gelegentlich entzieht sich aber der Eingangsdatensatz jedem Skalenniveau und tritt als Datenverbund auf. Dies ist etwa dann der Fall, wenn für ein Feldstück mehrere Schlagnutzungen vorhanden sind. Zur Erklärung: Ein Feldstück – etwa ein Polygon in der Nähe des Bauernhofes, mit einer Größe von 2 ha – trägt den Namen „Hofacker“. Dieses Feldstück wird jedes Jahr etwas anders bewirtschaftet (Fruchtfolge). Aktuell besteht der Anbau zu 1/3 aus Weizen und zu 2/3 aus Kartoffeln. Die Multiplizität erhöht sich auf 1:n. Gelöst wird dieses Problem dadurch, dass für die Addition der einzelnen Elemente nicht eine Zahl, sondern eine Matrix verwendet wird.

3.2.4.5 Synthese

Als Synthese der Datenaufbereitung wird eine Sql-Anweisung als Pseudocode dargestellt. Diese enthält die wesentlichen Klassen aus Abbildung 70.

```
SELECT dbo_Codierung.KM1,
Sum((dbo_Feldstück_Value/dbo_Feldstück_Area) x dbo_Feldstück_Zerschnitten.ShapeArea) As
Ertrag
FROM ....
WHERE dbo_Parameter.Feldname='Ertrag'
GROUP BY dbo_Codierung.KM1
```

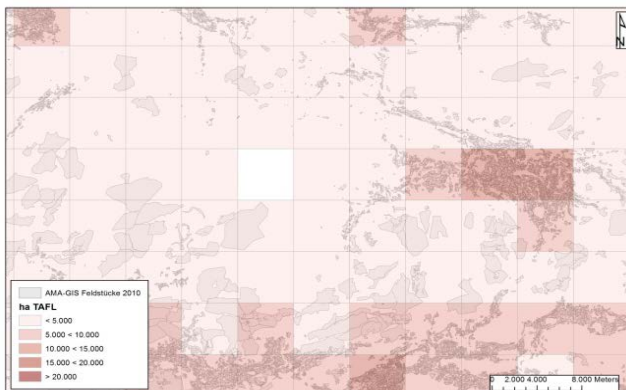
Anweisung: Die Dichte des Ertrages eines jeden Feldstückes (in kg/ha) kann aus der Division der Ertragssumme am Feldstück durch die Feldstückgröße abgeleitet werden. Das Ergebnis der Dichteberechnung kann mit den räumlichen Teilstücken des GGS multipliziert und für ein zu wählendes Feld, etwa den Identifier der 1 km-Zelle aus der Tabelle Codierung, aggregiert werden.

3.2.4.5.1 Ausgabe

Im Jahr 2015 beträgt das Durchschnittsalter eines Österreichers 43 Jahre 2 Monate. Die Bewertung ist einfach: Ich liege über dem Durchschnitt. Kartographisch erweitert sich die Fragestellung um den untersuchten Ort. Wie viele Menschen wohnen in X und was ist ihr Durchschnittsalter. Diese Frage löst sich in der Kartographie vom numerischen Wert, da die Projektionsfläche die Interpretation mit beeinflusst. Abbildung 71 zeigt den Zusammenhang am Beispiel von landwirtschaftlichen Flächen. In beiden Abbildungen wird das Dachstein-Plateau in der Steiermark dargestellt. Am unteren Rand der Abbildungen liegen die größeren Orte Schladming, Ramsau am Dachstein und Gröbming. Halb rechts liegt Bad Mitterndorf. Dargestellt werden die landwirtschaftlichen Flächen. An der originalen Geometrie, diese liegt bei der linken Abbildung im Hintergrund, wird die tatsächliche Verdichtung von Flächen sichtbar. Das GGS, das sich im Rahmen der INSPIRE-Konvertierung ergeben hat (Quadrate im Vordergrund), bedeckt mit

Ausnahme eines einzigen kleinen Bereiches fast vollständig die Untersuchungsfläche. Oft handelt es sich aber nur um wenige m² Almfläche, die das Erscheinen einer Zelle in voller Größe begründen. Das ist die Kritik an Karten, die das GGS-Grid darstellen: Das Ergebnis der Verschneidung zwingt zu einer logischen Entscheidung. Entweder ist eine Zelle da oder nicht. Über die Inhalte – etwa das Alter – sagt das gar nichts. Der Effekt im Bildvergleich bestätigt das. Ohne Hintergrundgeometrie im linken Bild würde man zur Erkenntnis kommen, dass Landwirtschaft überall stattfindet. Ein Forstwirt wird dieses Ergebnis kritisch betrachten. Punktdichtekarten werden der tatsächlichen Flächendarstellung besser gerecht (Wonka *et al.*, 2009). Die Kreisfläche in der rechten Abbildung ist eine Signatur, die in ihrer Größe an die tatsächliche landwirtschaftliche Fläche angepasst wird. Das Gebiet am Dachstein-Plateau wird nun im richtigen Verhältnis dargestellt. Die kreisförmige Geometrie kann gut für eine farbliche Differenzierung von Werten – etwa dem Durchschnittsalter – verwendet werden.

Schnittzellen



Punktdichte

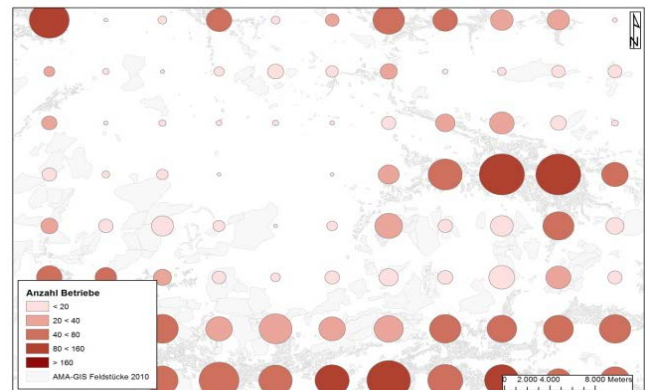


Abbildung 71: Darstellung von Ergebnissen

Umgekehrt generalisieren Punkte ihren Flächeninhalt. Damit ein Punkt die gleiche Fläche wie ein vollständig gefülltes Quadrat enthält, muss der Radius um ~ 12,841 % erhöht werden. Das bedeutet aber wiederum, dass sich zwei nebeneinander befindliche Kreise mit vollständiger Füllung überschneiden würden. Das ist kartographisch nicht zu akzeptieren, weshalb eine Reduktion in der Flächendichte akzeptiert werden muss. Der Radius einer vollständig gefüllten Fläche wird mit der Hälfte der Kantenlänge festgelegt. Das bedeutet, dass konstant 78,54 % der Fläche angezeigt werden. Die Abweichung ist konstant, wenn die Berechnung des Radius nach Formel 40 erfolgt.

Formel 40: Berechnung des Radius für die Elemente der Punktdichtekarte

$$Radius_{Kreissegment} = 0,5 \times \text{Flächeninhalt}^{0,5}$$

3.3 Algorithmen zur Bildung von Regionen

Ein Algorithmus ist ein endliches, schrittweises Verfahren zur Berechnung von gesuchten aus gegebenen Größen, in dem jeder Schritt aus einer Anzahl ausführbarer, eindeutiger Operationen und einer Angabe über den nächsten Schritt besteht (Rechenberg, 2000).

Aus der allgemeinen Definition für Algorithmen soll zuerst der Teilaspekt der *gesuchten Größe* besprochen werden. In der Einleitung des Kapitels wurde bereits die Bindung zwischen Menschen und ihrem Lebensraum angesprochen. Die gesuchte Größe der vorgestellten Algorithmen ist die geographische Region.

Die geographische Region ist Teil der globalen Welt. Diese verbindet sich mit allen Waren und Dienstleistungen unbeobachtet über die Märkte. Das Dilemma dieser Märkte – zumindest aus der Sicht der Geoinformatik – ist, dass sie weder ignoriert, noch vollständig abgebildet werden können. Außerhalb der marktwirtschaftlichen Überlegungen bestimmen oft praktische Systemgrenzen die Region. Gebirgsstöcke, Küstenlinien und alle Arten der Wüsten gelten als natürliche Grenzen. Politische Grenzlinien wirken gelegentlich aber noch stärker auf die Regionsbildung. Regionale Grenzen – im wirtschaftlichen Sinn – können dann globaler werden, wenn alle Teilnehmer einem Equilibrium zustreben (Löfgren und Robinson, 1999). Dieses Marktgleichgewicht kann dann auf Basis von linearen Optimierungen oder räumlichen Analysen abgeschätzt werden. Das Ergebnis wird aber stark von der Parametrisierung bestimmt. Technische Aspekte spielen in der Gegenwart eine geringe Rolle, da die Transportprobleme (Sieferle *et al.*, 2006) der Vergangenheit zumindest kurzfristig gelöst sind. Ökonomische Aspekte wirken zwingend auf die Regionalisierung ein (OECD, 2015), gesellschaftliche Haltungen können eine Rolle spielen (Müller, 1998).

Folgendes muss zusätzlich berücksichtigt werden: Menschen sind als Optimierer ihres individuellen Nutzens immer an einem Gleichgewicht auf hohem Niveau interessiert, wobei der Nutzen nicht zwingend ökonomischer Natur sein muss. Mit der räumlichen Ausbreitung eines gemeinsamen gesellschaftlichen Nutzens wächst die praktische Größe einer Region. Sinkt das Niveau, oder werden große Bevölkerungsgruppen benachteiligt, zerfällt die Region oft fraktal bis hin zum einzelnen Individuum. Beispiel aus der Gegenwart: Die Europäische Union verhandelt gemeinsam neue Freihandelsabkommen mit der Option auf ökonomische Vorteile. Belastungsfaktoren wie die gegenwärtige Völkerwanderung werden einzelnen Staaten überlassen. Diese optimieren ihren Nutzen wieder nach lokalen Aspekten und errichten z.B. Grenzschutzanlagen. Dies kommt auf manchen Ebenen dem faktischen Zerfall der Region gleich.

Ein Algorithmus zur Bildung von geographischen Regionen – zumindest im gesellschaftlichen Sinne – benötigt neben seinen räumlichen Funktionen noch Methoden zur Bewertung des regionalen Gleichgewichtes. Diese Methoden sollen im Interesse der gesellschaftlichen Entwicklung sowohl stoffliche als auch ökonomische Größen enthalten. Beide Aspekte fördern realitätsnahe Ergebnisse.

3.3.1 Region Growing

Region-Growing-Algorithmen haben ungeachtet ihrer Definition, Anwendung und Ausführung folgende gemeinsame Konzepte:

- **Startpunkt:** Ein Startpixel oder Startpolygon stellt den Anfang jeder Regionsbildung dar. Die Auswahl des Startpunktes hat Einfluss auf die Performance des Algorithmus und auf die Qualität der Unterscheidung von Regionen (Segmentierung). Startpunkte werden immer über Differenzierungsstrategien festgelegt.
- **Bewertungsfunktion:** Potentielle Wachstumspartner sind an der Grenze bestehender Regionen zu finden. Die Entscheidung über die Aufnahme in die aktuelle Struktur und damit die Einleitung der Wachstumsfunktion kann nur über eine Bewertungsfunktion erfolgen. Diese Funktion entscheidet auch über den Abbruch der Wachstumsphase, die dann eintritt, wenn entweder keine potentiellen Partner mehr verfügbar oder die Bedingungen der Funktion nicht erfüllbar sind.
- **Wachstumsfunktion:** Wird ein neues Element gefunden, muss es in die zum Zeitpunkt t existierende Region integriert werden. Die Bewertungsfunktion tritt von t nach $t+1$ über.
- **Aggregationsfunktion:** Wurden zu viele Teilregionen bewertet, vereinfacht eine abschließende Aggregation das Ergebnis.

3.3.1.1 Pixel-basierte Analyse

Die Wünsche der digitalen Welt an die Bildsegmentierung sind so unterschiedlich wie die Bilder selbst. Manche Algorithmen – ein einfacher Algorithmus (Shih und Cheng, 2005) aus Abbildung 72 wird noch genauer besprochen – begnügen sich mit einer groben Auflösung der bedeutendsten Elemente in einer Landschaft. Alle nichtinvasiven Untersuchungstechniken der Medizin, der Geologie, der Materialwissenschaften, der Archäologie und zuletzt die Fernerkundung erfassen 2D- und 3D-Signale, die mit unterschiedlichsten Algorithmen nach fachspezifischen Informationen suchen. Wenn die Vorstellung des Suchergebnisses in die Suche eingebracht werden kann, entstehen fast immer ein besseres Segmentierungsergebnis und eine höhere Performance. Diese Vorstellung kann die inneren Strukturen eines Bildes betreffen. Moderne Ansätze beziehen objektorientiertes Verhalten in die Bildanalyse ein. Die Methodenliste pixel-/objektorientierter Analyseverfahren ist lang. Übersichtsarbeiten (Haralick und Shapiro, 1985, Jähne, 2012, Pal und Pal, 1993) stellen in einer alphabetisch sortierten Liste – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – folgende Methoden vor: *Centroid Linkage, Edge Detection, Fuzzy Set Theory, Grey level Thresholding, Growing Schemes, Hybrid Linkage, Iterative Pixel Classification, Kantenorientierte Segmentierung, Measurement Space Guide, Modellbasierte Segmentierung, Pixelorientierte Segmentierung, Neuronale Netze, Region Growing Schemes, Regionorientierte Verfahren, Segmentation of Color Images, Single Linkage, Spatial Clustering Schemes, Spatial Clustering, Split und Merge Schemes, Surface Based Segmentation und viele mehr.*

Die praktische Umsetzung eines sehr einfachen Verfahrens für Farbbilder mit drei Kanälen arbeitet nach folgendem Konzept (Shih und Cheng, 2005):

- In Schritt 1 werden möglichst viele Ausgangspixel für homogene Pixelblöcke gesetzt. Dafür werden jedes Pixel und jeder Kanal auf die Standardabweichung in einer 3 x 3 Matrix untersucht. Die Ergebnisse werden am Maximalwert normiert und von 1 abgezogen.
- In Schritt 2 wird ein Grenzwert bestimmt, der alle Pixel über einem gewissen Grenzwert (Threshold) als Startpixel (Seeds) identifiziert. Ein verständliches Konzept für die Festlegung eines Grenzwertes beruht auf der Annahme, dass Objekte im Vordergrund sich in ihrer Signatur (Grauwerten) vom Hintergrund abheben. Diese Annahme bildet sich statistisch in einem Histogramm mit zwei Maxima ab. Ein Wert, der beide Bereiche so trennt, dass sie sich maximal unterscheiden, aber intern eine minimale Streuung aufweisen, ist ein guter Grenzwert (Otsu, 1979). Eine zusätzliche Verbesserung an den Bildübergängen bringt eine zusätzliche Bedingung, die neben der Blockstreuung auch die L2-Distanz der drei Kanäle berücksichtigt.
- In Schritt 3 besucht jedes Startpixel so lange seine Nachbarn innerhalb seines Vergleichsbereiches, bis alle Nachbarn besucht sind. Am Beispiel des homogenen Himmels – dieser liegt mit seinen Kanalinformationen sicher innerhalb der festgelegten Vergleichsgrenzwerte – zeigt sich, dass die Wachstumsfunktion an beliebigen Pixeln beginnen kann und von dort aus (Start)Pixel aufnimmt.
- Im finalen Schritt werden zuerst erkannte Regionen zu größeren Bildbereichen zusammengefasst. Die Schärfe des Zusammenfassens von Teilregionen wird wieder durch Schwellwerte in der Signalverteilung bestimmt. Je strenger der Wert, umso mehr Teilsegmente bleiben erhalten.

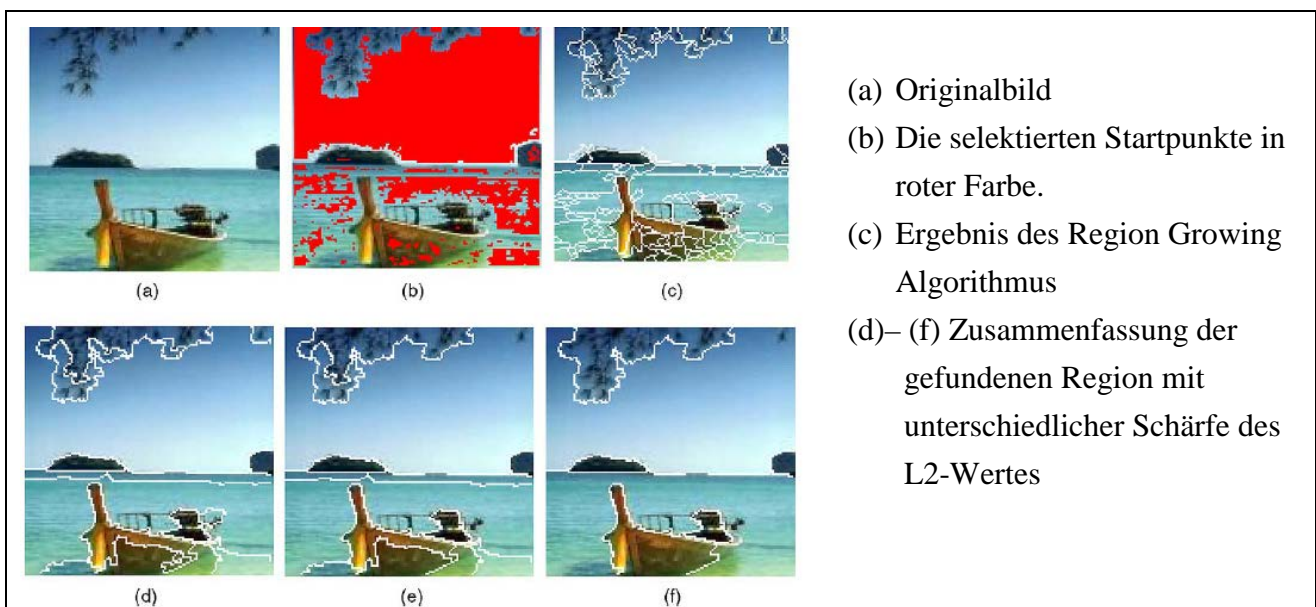


Abbildung 72: Ablauf eines Region Growing Verfahrens (Shih und Cheng, 2005, Figure 2)

3.3.1.2 Polygon-basierte Analyse

Den Grundsätzen aus 3.3.1 treu bleibend, wird ein Region-Growing-Algorithmus für Polygone auf Grundlage topologischer Nachbarschaftsbeziehungen entwickelt. Wieder müssen Startpunkte und geeignete Wachstumspartner gefunden und zu größeren Regionen vereint werden. Was in der Bildverarbeitung durch den Grauwert der Kanäle vorgegeben wird, muss hier aus der Parametrisierung entnommen werden. Es ist denkbar, Einzelwerte durch komplexe Funktionen zu ersetzen. Startpunkte(-polygone) werden aber immer möglichst Extremwerte (Maxima oder Minima) aufweisen. Für die Wachstumsphase werden die Nachbarn eines Polygons bestimmt.

Aus den potenziellen Kandidaten wird einer für den nächsten Wachstumsschritt ausgewählt. Die Auswahl kann über räumliche Beziehungen (jener mit der größten gemeinsamen Grenze) oder über Funktionen (jener, der mir hilft, mein Defizit am besten abzudecken) bestimmt werden. Tiede und Strobel (2006) zeigen die funktionale Beziehung im Namen für die möglichen Kandidaten. OTU bedeutet Operational Taxonomic Unit. Eine Merge-Funktion verbindet schließlich den ursprünglichen Kern mit dem ausgewählten Nachbarn zu einem neuen Polygon.

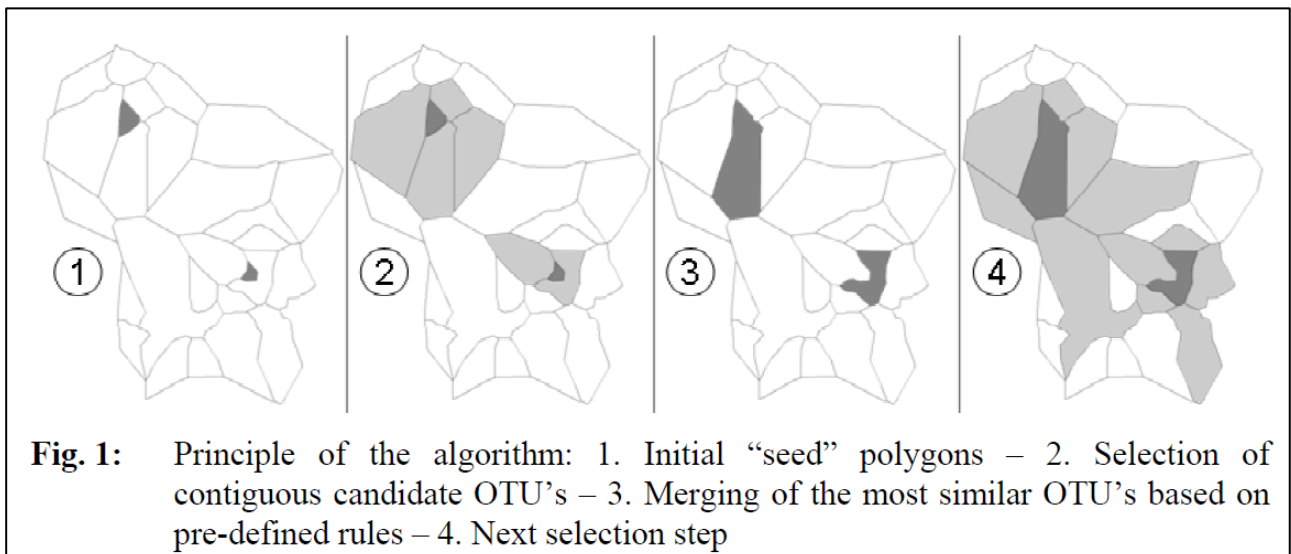


Abbildung 73: Algorithm polygon-based regionalisation (Tiede und Strobl, 2006)

Bei der polygonbasierenden Analyse mit unregelmäßigen Polygonen wird ein räumliches Problem von funktionsorientiertem Wachstum noch verstärkt. Dieses Problem betrifft die Ausbreitungsgeschwindigkeit einzelner konkurrierender Regionen. Im Raum stehen folgende Fragen:

1. Wie wird bei mehreren konkurrierenden Regionen die Ausbreitungsgeschwindigkeit der einzelnen Region geregelt?
2. Wie beeinflusst die unregelmäßige Größe von Polygonen die Ausbreitungsgeschwindigkeit?
3. Kann die Ausbreitung über topologische Beziehungen lokal verhindert werden?

3.3.2 Balance Region Growing (BRG)

Die aufbereitete Datenstruktur des GGS entspricht einem Rasterbild. Die einzelnen Zellen verhalten sich räumlich auch so und sind deshalb potenzielle Kandidaten für die Algorithmen der pixelbasierten Analyse. Zugleich entspricht das Konzept des Wachstums aber deutlicher dem funktionellen Ansatz der OTU aus der polygonbasierten Analyse. Wegen der großen Auswirkung der funktionellen Ausbreitungsfunktion wird in der Beschreibung des Algorithmus nicht mehr von Zellen des GGS sondern von OTUs gesprochen.

Definition: Die als Operational Taxonomic Unit (OTU) bezeichneten Polygone sind Vektorquadrate aus dem in Form und Projektion nach INSPIRE bestimmten Datensatz des Geographical Grid Systems.

3.3.2.1 Konzept

Pixel-basierende Analysen in der digitalen Bildverarbeitung grenzen über den Threshold ähnliche Bildbereiche ab. Diese Bereiche, etwa der blaue Hintergrund einer Sommerlandschaft, müssen in der Komposition der Bildkanäle den Vorgaben des Startpixels (Seed) genügen. In welcher Reihe der Algorithmus die Bildpunkte besucht, spielt keine Rolle. Letztlich steht von Beginn an fest, welcher Punkt zu welcher Seed gehört.

BRG arbeitet als polygon-basierende Analyse anders. Auch hier werden regionale Seeds über Thresholds definiert. Diese repräsentieren allerdings die lokalen Extremwerte einer Summenfunktion. Die Funktion selber kann auf jede OTU angewandt werden. Das Wachstum muss sich an sachliche oder räumliche Regeln halten. Dies vor allem deshalb, da durch die räumliche Prägung bei mehreren Seeds eine Flächenkonkurrenz entsteht. Zum besseren Verständnis folgendes Beispiel: Die Landwirtschaft erzeugt auf großen Flächen Nahrungsmittel im dünner besiedelten ländlichen Raum. In den Ballungszentren der Städte wohnen viele Menschen, die diese Nahrung nachfragen. Wir setzen für Österreich nun eine Seed an die am dichtesten besiedelte Zelle von Wien. Die Summenfunktion wird so definiert, dass Wien in seinem Umland so lange eine räumliche Ausbreitung erfährt, bis die Summen aus Nahrungsangebot und Nachfrage annähernd null ergeben. Wie auch immer sich der Algorithmus räumlich ausbreitet, er wird zuerst viele Pixel besuchen, die über kein Angebot verfügen, sondern Teil der städtischen Nachfrage sind. Erst wenn der Algorithmus ländliche Gebiete erreicht, kann die Nachfrage zusehends gedeckt werden. Dass auch dies nicht sehr rasch geschieht liegt daran, dass an die größeren Städte auch dichte Siedlungsbereiche im Umland anschließen. Der Anspruch der Summenfunktion wird aber nicht nur von Wien gestellt, sondern auch von anderen Städten in Österreich. Diese müssen sich also die verfügbaren OTUs teilen. Hier wird für elementare Nahrung Toblers Gesetz noch gelten. Die Städte werden bei ihrem Nahrungsbedarf zuerst an die landwirtschaftlichen Gunstlagen im eigenen Umfeld denken. Das schon alleine deshalb, weil diese Nahrung auf den Stadtmärkten ja gegenwärtig auch angeboten wird. Für OTUs steht nicht von Anfang an fest, welchem Seed sie zugeordnet werden. Dies entscheidet sich erst zur Laufzeit des Algorithmus durch die

Entwicklungsdynamik der Summenfunktion, die lokale Dichte und Leistung von OTUs im ländlichen Raum.

Die entscheidenden Funktionen des BRG sind:

1. die Auswahlfunktion zur Bestimmung lokaler Seeds
2. die Summenfunktion für die Bilanzierung einzelner OTUs
3. die Funktion zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der einzelnen Seeds in einem konkurrierenden Konzept

3.3.2.1.1 Formelle Beschreibung

Der Algorithmus BRG liefert für alle funktionell definierten Seeds die zur Abdeckung der Summenfunktion verfügbaren OTUs. Deren Auswahl wird durch sachliche und räumliche Zugehörigkeitsregeln bestimmt. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der einzelnen Seeds wird durch eine eigene Funktion definiert.

Formel 41: Formelle Beschreibung des Balance Region Growing

$$BRG_{OTU} = \sum_{Seed_{f(Seed)=1}}^n \sum_{OTU_{f(OTU)=1}}^{o_f(Speed)} Nachfrage - Angebot$$

wobei

BRG_{OTU}	= Ergebnis des Algorithmus BRG für alle Seeds im System
$f(Seed)$	= Funktion zur Bestimmung von Seeds
$f(OTU)$	= Funktion zur Bewertung der Zugehörigkeit einer OTU zum Seed
$f(Speed)$	= Funktion zur Berechnung der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Seed
Nachfrage-Angebot	= Summenfunktion

Die Summenfunktion der für diese Arbeit verwendeten Form der BRG ist einfach. Jede OTU bewertet ihren eigenen Anteil an der Gesamtversorgung durch die Differenz zwischen Angebot und Nachfrage. Ausgehend von hohen Nachfragen in den Siedlungskernen muss die Summenfunktion gegen Null streben.

3.3.2.1.2 Pseudocode

Zur Laufzeit des Algorithmus entsteht durch einen eigenen Ansatz – dieser wird noch gezeigt – eine hochdynamische Datenstruktur, die einen rekursiven Direktzugriff auf die einzelnen OTUs ermöglicht. Diese Struktur ist mit einem Set an Regeln an die Kernfunktion zu übergeben. Die Regeln betreffen die Berechnung von Seeds und die Limitierung der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Seed. In einer zusätzlichen Funktion werden die Seeds definiert und anschließend so lange in einer Schleife durchlaufen, bis alle Seeds ihr Summenziel erreicht haben oder keine Wachstumsmöglichkeiten mehr bestehen. Für die einzelne Seed wird eine Wachstumsschleife betreten. Diese bestimmt den nächsten Kandidaten für das regionale Wachstum und prüft alle Arten von Regeln. Bricht die Hauptschleife ab, werden alle noch offenen Mengen an Nachfrage und Angebot in einem virtuellen Markt gepoolt. Dieser stellt eine zusätzliche, virtuelle Seed dar.

```

List balanceRegionGrowing(OTU-Structure myOTU, Rule myRule){
    List listOfSeeds = defineSeeds(myOTU);
    while (listOfSeeds.ActiveElements>0 && myOTU.HasElements){
        actualSeed = listOfSeedsElements.Next;
        while (actualSeed.Active &&
            actualSeed.BalanceFunktion.NotReached &&
            myRule &&
            myOTU.HasElements &&
            actualSeed.hasNeighbours){
            actualSeed.OTUList.Add(myOTU.getNextNeighbour(actualSeed));
        }
        If (testOfRules()==false){
            actualSeed.Active = false;
        }
    }
    cleanUpMarket();
    return listOfSeeds;
}

```

Die im nebenstehenden Pseudocode fett dargestellten Funktionen und Objekte bilden den Rahmen bzw. die Kernfunktion aus. Diese Funktionen können auf verschiedene Art und Weise implementiert werden. Die gewählten Formen wurden in Unit-Test auf ihre Funktions- und Leistungsfähigkeit geprüft. Alternative Implementierungen sind möglich.

3.3.2.2 Datenzugriff

Rasterdaten können über ihre Zeilen und Spalten direkt adressiert werden. Sie liefern Daten an externe Funktionen. Vektordaten haben eine OID, tragen viele Attribute und können mit den üblichen GIS-Anwendungen bearbeitet werden. Vektorobjekte werden in proprietären Anwendungen – etwa in der Veraltung komplexer Netze – eingesetzt, da sie ihre eigenen Funktionen mit sich bringen und diese auch bei Bedarf exekutieren können. Aus der Sicht einer reichhaltigen Umsetzung von Bewertungsfunktionen aller Art wurde das Datenmodell der vorliegenden BRG-Implementierung als objektorientiertes Modell nach der Raster-Ordnung ausgeführt.

3.3.2.2.1 Grundlagen des Datenzugriffes

Für das Verständnis bzw. die Implementierung sind folgende Aspekte von Bedeutung:

1. Die Ordnung auf der Basis des National Processing Codes (NPC siehe 3.2.2): Jede Zelle, die als OTU auftritt, trägt einen eindeutigen Schlüssel des GGS. In der numerischen Definition wird der globale Quadrant, sowie der Nord- bzw. Ostwert abgebildet. Die konstante Länge des NPC ermöglicht eine leichte Extraktion der Koordinatenpaare. Der standardisierte Name der Datei bestimmt die generelle Auflösung des vorliegenden Datensatzes. NPC:14758026840 eines Datensatzes mit dem Namen km1xxxx.xxx aus Tabelle 14 (Original Identifier Version 3.0 1kmN2684E4768) definiert einen Nord-Wert von 2.684.000 Metern und einen Ost-Wert

von 4.768.000 Metern. Ungeachtet der kartographischen Projektion reicht dieses Wissen aus, um ein potenzielles Nachbarobjekt im Bereich zwischen 2.683.000 und 2.685.000 in nördlicher Richtung und zwischen 4.767.000 und 4.769.000 in östlicher Richtung zu suchen. Da die Auflösung der einzelnen Grid-Schichten fix definiert ist, kann ausgehend von der aktiven OTU jeder beliebige Identifier berechnet werden.

2. Hierarchische Datenschichten: Abbildung 66 zeigt, dass der Aufbau des GGS über eine hierarchische Struktur verfügt. Größere räumliche Auflösungen werden dabei immer feiner unterteilt. Besonders interessant für die Entwicklung einer leistungsfähigen Datenstruktur ist die Kette 100.000 Meter, 10.000 Meter, 1.000 Meter, 100 Meter, 10 Meter, 1 Meter. Ausgehend von der kleinsten Auflösung entspricht jede höhere hierarchische Struktur dem 10-fachen der Basisstruktur. Durch die zweidimensionale Ausbreitung der OTUs ist das die 100-fache Datenmenge. Ausgehend von der größten räumlichen Einheit mit einer Kantenlänge von 100.000 Metern ergeben sich bis zum maximal möglichen 1 Meter OTU insgesamt 6 Datenebenen, die mit jeweils 100 Elementen klar definiert sind. Ideale Voraussetzungen für ein Gedankenkonzept einer Baumstruktur, dessen Tiefe von der Auflösung der tatsächlich bearbeiteten Ebene abhängt. Analysen auf der 1km-Zelle haben die Tiefe 3.
3. Freie Datentypen: BRG wird die OTUs als Vektorobjekte abbilden. Dafür kann technisch auf mehrere objektorientierte Programmiersprachen zurückgegriffen werden. Alle diese Sprachen kennen das Konzept der Vererbung, wobei jede beliebige Klasse automatisch von einer Grundklasse – zumeist der Klasse *Object* – abgeleitet wird. Diese Eigenschaft ermöglicht die Implementierung eines Systems mit freien Datentypen, da jedes Element zumindest als *Object* angesprochen werden kann.

3.3.2.2.2 Rekursive Datengitter

Mit dem Focus auf einer hohen Leistungsfähigkeit der Aufbau- und Suchalgorithmen wird in der tatsächlichen Implementierung statt eines Suchbaumes eine hierarchische Schichtung von Suchgittern umgesetzt. Hilfreich ist hier die Zerlegung der OTU-Koordinaten bis zur maximalen Tiefe, wobei jedes Suchgitter über 100 Elemente verfügt. Da die Koordinaten des 100.000 Meter-Layers zweistellige Werte annehmen, wird zur Gewährleistung dieser Vorgabe noch ein „virtueller“ Layer mit einer Kantenlänge von 1.000.000 Metern eingeführt. Diese Maßnahme erhöht die Tiefe des Datengitters um 1. Der Algorithmus des rekursiven Datengitters übernimmt aus dem NPC den Nord- bzw. Ostwert und legt in einer rekursiven Funktion so lange zweidimensionale Object-Arrays an, bis die maximal mögliche Tiefe erreicht ist. Dort wird dann das eigentliche OTU mit seinem Parameter eingepflegt. Die Befüllung des rekursiven Datengitters in Abbildung 74 folgt in der Praxis folgendem Prozess:

1. Die numerischen Koordinaten werden bis zur Tiefe des Datensatzes aus dem NPC extrahiert und mit dem für die Funktionen der OTUs notwendigen Parameter in eine einfache Hilfsdatenstruktur geschrieben.

2. Im Wurzelknoten des rekursiven Datengitters wird die Methode *add()* aufgerufen, die sich mit den Eingangsparametern so lange rekursiv weiter selber aufruft, bis sie die maximale Tiefe erreicht. In jeder Tiefe werden die numerischen Teilkoordinaten entnommen. Auf Tiefe zwei ist das 8 in nördlicher und 7 in östlicher Richtung. Beide Zahlen werden direkt zum Zugriff auf ein zweidimensionales Array des Typ *Object* verwendet. Liefert die Prüfung ein Null-Objekt, wird ein neues Array erstellt und an dieser Stelle eingefügt. Auf jeden Fall ergibt die Prüfung letztlich ein gültiges Objekt, auf dem *add()* wieder aufgerufen werden kann. Die Rekursion endet, wenn die maximale Tiefe erreicht wurde und das OTU tatsächlich eingefügt werden kann.

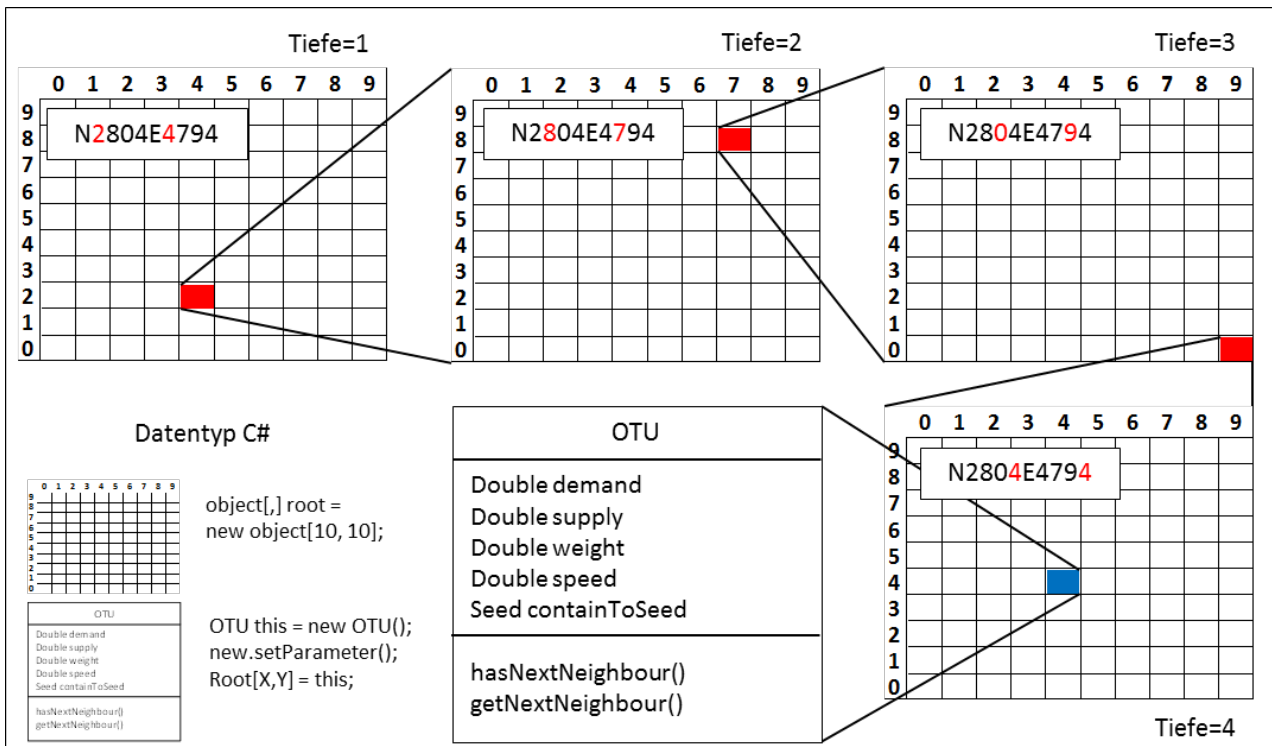


Abbildung 74: OTU, Rekursives Datengitter

Das rekursive Datengitter hat sich als optimale Speicherstruktur für die OTU des GGS herausgestellt, da die Zugriffskomplexität mit $O(n)$ beschrieben werden kann. Zusätzlich wächst der Speicherverbrauch im Wesentlichen nur über die angelegten OTUs. Die einzelnen Gitter verbrauchen nur dann Speicherplatz, wenn tatsächlich Objektreferenzen gespeichert werden. Positionen im Gitter, die nie angesprochen werden (z.B. 0/0 auf Tiefe 1), benötigen keinen Speicherplatz.

Der folgende Quellcode wurde direkt aus der Implementierung von BRG entnommen und zeigt die Schlüsselfunktionen für den Aufbau des rekursiven Datengitters im Detail. *DecObject* ist das Übergabeobjekt, das für die Erstellung eines OTU benötigt wird. Die extrahierten Koordinaten werden in den char-Arrays *charN* und *charE* übergeben. *DecTree* ist eine Datenstruktur, die als elementares Objekt das als *root* bezeichnete object-Array enthält. Außerdem enthält diese Klasse eine Angabe über die aktuelle Tiefe (*aktDepth*) und über die maximale Tiefe (*maxDepth*).

```

public void add(char[] charN, char[] charE, DecObject ob) {
    int bN = (int)Char.GetNumericValue(charN[aktDepth - 1]);
    int bE = (int)Char.GetNumericValue(charE[aktDepth - 1]);
    if (root[bN, bE] == null){root[bN, bE] = new DecTree(maxDepth, aktDepth + 1);}
    DecTree aktTree = (DecTree)root[bN, bE];
    if (aktTree.aktDepth < aktTree.maxDepth){
        aktTree.add(charN, charE, ob);
    } else {
        aktTree.insertObject(charN, charE, ob);
    }
}

```

Die einzelnen OTUs im rekursiven Datengitter müssen häufig besucht werden. Wieder als rekursive Funktion implementiert, ermöglicht die Funktion *get()* einen raschen, zielgerichteten Zugriff auf einzelne Elemente. Der Suchalgorithmus beginnt am Wurzelement der Anwendung und prüft die Datentypen innerhalb der verschachtelnden Datengitter. Die Suche wird so lange in die Tiefe geführt, bis die Typenprüfung ein gültiges Objekt enthält. Diese wird über den aufsteigenden Ast der Rekursion an den erstmaligen Aufruf zurückgegeben. Auf dem verwendeten Bürorechner, Baujahr 2014, findet der rekursive Suchalgorithmus rund 7.000 OTUs pro Millisekunde.

```

public OTU get(char[] charN, char[] charE){
    int bN = (int)Char.GetNumericValue(charN[aktDepth - 1]);
    int bE = (int)Char.GetNumericValue(charE[aktDepth - 1]);
    if (root[bN, bE] != null){
        if (root[bN, bE].GetType() == typeof(DecObject))
        {
            return (OTU)root[bN, bE];
        } else {
            DecTree aktTtree = (DecTree)root[bN, bE];
            return aktTtree.get(charN, charE);
        }
    } else {
        return null;
    }
}

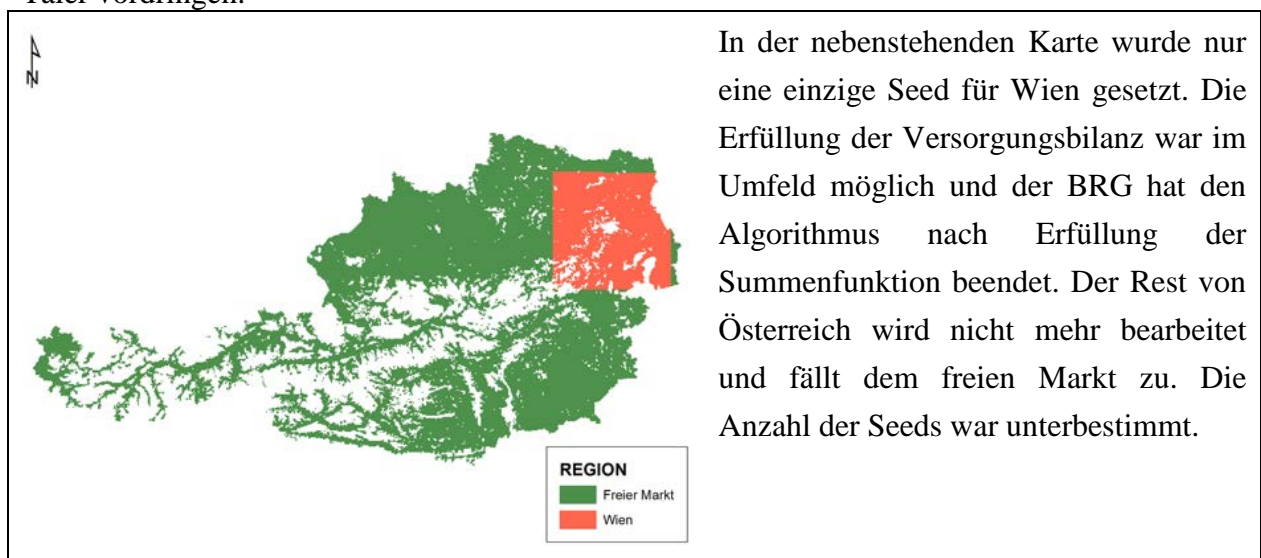
```

3.3.2.3 Definition der Seeds

Die räumliche Ausbreitung des BRG beginnt, wie von Tiede und Strobl 2006 (siehe Abbildung 73) gezeigt, bei einzelnen räumlichen Elementen, den Seeds. Wenn, wie unter 3 argumentiert, die räumliche Nähe zwischen Produzenten und Konsumenten noch relevant ist und die Märkte als ausgleichendes, nicht aber als bestimmendes Medium fungieren, dann kommt der Festlegung von Seeds höchste Bedeutung zu. Seeds müssen als nachfragendes Element im Raum so verteilt werden, dass sie über die in Formel 41 definierte Funktion $f(\text{Speed})$ die Angebote gleichmäßig erreichen können. Explorativ konnte festgestellt werden, dass die optimale Verteilung nicht in einem Schritt hergeleitet werden kann. Engagierte Suchende müssen neben den Argumenten von

balancierten Stoffströmen mit Sicherheit viele weitere Aspekte berücksichtigen. Es konnten aber zwei grundlegende Aspekte im Bereich der Auswahl von Seeds erkannt werden:

1. Die Anzahl der Seeds muss so hoch sein, dass entweder eine eigenständige Regionsbildung oder ein Anschluss an eine benachbarte Region möglich ist. Wien etwa liegt als Großstadt in einem landwirtschaftlich sehr fruchtbaren Umfeld und kann seine Nahrungsnachfrage, zumindest aus der Sicht der Nährstoffe, im weiteren Umfeld abdecken. Ähnliches gilt für alle Landeshauptstädte in Österreich. Wenn wir also nur diese Seeds setzen, erzeugen wir im freien Zwischenraum der inneralpinen Täler, im Wald- und im Mostviertel sowie am Wechsel eine große Fläche von OTUs, die nicht weiter aufgeteilt werden. Diese Elemente fallen gemäß dem Algorithmus dem freien Markt zu. Wenn die Nachfrage knapp ist, entsteht dieses Problem nicht. Wer die Städte mit Biomasse heizen will, muss bis zum letzten Baum in die inneralpinen Täler vordringen.



In der nebenstehenden Karte wurde nur eine einzige Seed für Wien gesetzt. Die Erfüllung der Versorgungsbilanz war im Umfeld möglich und der BRG hat den Algorithmus nach Erfüllung der Summenfunktion beendet. Der Rest von Österreich wird nicht mehr bearbeitet und fällt dem freien Markt zu. Die Anzahl der Seeds war unterbestimmt.

Abbildung 75: Einzelregion und freier Markt

2. Die Anzahl der Seeds muss lokal so verteilt sein, dass eine gleichmäßige Zugriffschance besteht. Zwei Seeds innerhalb eines Ballungsraumes führen etwa dazu, dass kleinräumige Konkurrenzen auftreten, die lokal nicht gelöst werden können. Gelingt es jeder Seed, sich einen räumlichen Zugang zu öffnen, spaltet sich das Versorgungsgebiet der Stadt in zwei Bereiche. Eine Seed im Norden von Wien würde sich rasch in Richtung des Weinviertels ausbreiten, eine südliche Seed zugleich das Industrieviertel besetzen. Wenn die Laufgeschwindigkeit in Folge der Nachfrage an der Seed zu gering ist, wird ein schneller Nachbar die Seed umlaufen und sie einschließen. Das bedeutet für diese Seed einen Deadlock und verhindert ein weiteres Wachsen. Dieses Schicksal trifft vor allem Seeds von kleinen Satellitenstädten im Agglomerationsbereich von Großstädten (siehe Abbildung 76, links oben). Ein weiteres Problem im Zusammenhang mit der Dichte von Seeds tritt dort auf, wo die Topographie eine potenzielle Ausbreitungsrichtung vorgibt. In Alpentälern etwa kann sich ein Versorgungsraum nur entlang des Tales ausbreiten. Liegen zu viele Seeds in einer Reihe, blockieren diese sich gegenseitig. Dieses Problem betrifft die Stadt Innsbruck und das untere

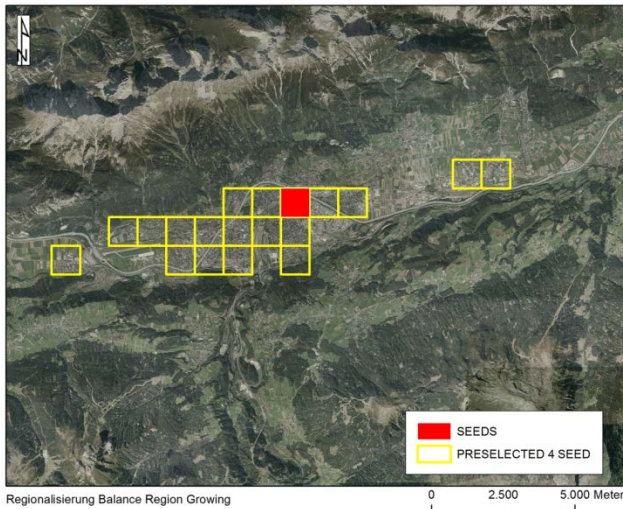
Inntal mit seinen größeren Städten. Hall und Wattens sind selber groß genug um das umliegende Gebiet zu erreichen. Innsbruck wird vorerst vom ertragreichen Gebiet östlich von Wattens abgeschnitten und breitet sich erst weiter östlich wieder aus, Abbildung 76, rechts unten.

Seeds werden im ersten Schritt als lokale Maxima der Nachfrage / des Angebots über einen festzulegenden Threshold festgelegt. Um das Problem einer zu großen Nähe zu beheben, wird über eine räumliche Suchfunktion die Adjazenz potenzieller Kandidaten im Umgebungsbereich bewertet. Der Radius der Suchfunktion kann über das Programminterface als Vielfaches der Kantenlänge der OTUs bestimmt werden. Im Umfeld von Innsbruck/Tirol überspringen viele potenzielle OTUs in ihrem Nachfragebedarf den gesetzten Schwellwert (siehe Abbildung 76, links oben, gelb). Innerhalb des mit 9 km definierten Suchbereiches vernetzen sich aber alle Kandidaten zu einer Sucheinheit. Diese Vernetzung prüft nicht nur die direkte Distanz zwischen zwei möglichen Kandidaten, sondern untersucht auch alle Folgebeziehungen mit erkannten Daten. Praktisch bedeutet dies, dass sich das ganz linke OTU (Ortsname Völs) mit dem ganz rechten OTU (Ortsname Hall in Tirol) über die vielen OTUs im Stadtgebiet zu einem Suchbereich verbinden kann, obwohl die direkte Distanz viel größer als 9 km ist. Ein neuer Suchbereich entsteht erst dann, wenn tatsächlich eine räumliche Trennung erfolgt. Das ist sinnvoll und wünschenswert. Abbildung 76 links unten zeigt eine recht gut gelungene Regionalisierung im Tiroler Inntal. Die Hauptstadt Innsbruck kann sich adäquat ausbreiten und trifft erst dort auf eine tatsächliche Regionsgrenze, wo mit Wörgl und Kufstein die nächste Kleinregion beginnt.

Ein zusätzlicher Aspekt in der Festlegung der Seeds betrifft die Bestimmung des Thresholds für die Auswahl potenzieller Kandidaten. Gesucht werden dafür immer regionale Maximalnachfragen. Ein möglicher Zugang zur Bestimmung ist die Bewertung der Datenverteilung. Mit einfachen Mitteln kann ein Histogramm erstellt und ein oberes Segment entnommen werden. Für sehr wenige Seeds können das z.B. die oberen 2 % sein. Da der topografische Unterschied in Österreich aber so hoch ist, empfiehlt sich keine Untersuchung auf nationaler Ebene. Ein sehr hoher Schwellwert im Bereich der großen Städte verhindert, dass in Vorarlberg eine Seed gesetzt wird. Ein Schwellwert auf dem Niveau von Bregenz ergibt zu viele Seeds im Bundesgebiet. Besser gelingt die Festlegung von Thresholds innerhalb großräumiger Segmente. Die größte räumliche Einheit innerhalb des GGS-Identifiers, das ist die 100 Meter Zelle, liefert für Österreich 9 unterschiedliche Schwellwerte. Diese können über den NPC direkt auf einzelne OTUs übertragen werden.

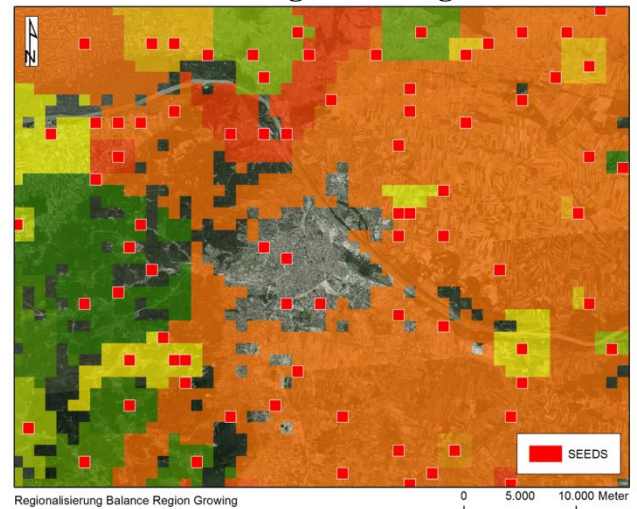
Schließlich darf noch einmal gesagt werden, dass eine optimale Konfiguration der Seeds großen Einfluss auf die sich im BRG entwickelnden Regionen hat und deshalb noch eine manuelle Konfiguration im Interface der entwickelten Software möglich ist. Im Besonderen für das regionale Testgebiet wurden verschiedene Einstellungen geprüft und eine abschließende Liste von Seeds erstellt. Diese wurde für alle durchgeführten Bilanzierungsanalysen konstant gehalten.

Auswahl von Seeds



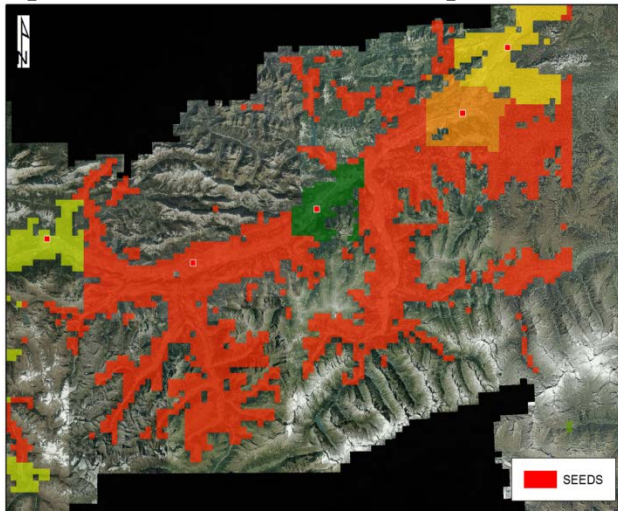
Alle gelb dargestellten OTUs stellen potenzielle Seeds dar. Der Algorithmus BRG lokalisiert innerhalb eines definierbaren Suchradius den Maximalwert, der stellvertretend für die Region aktiv wird.

Überbestimmung in Ballungsräumen



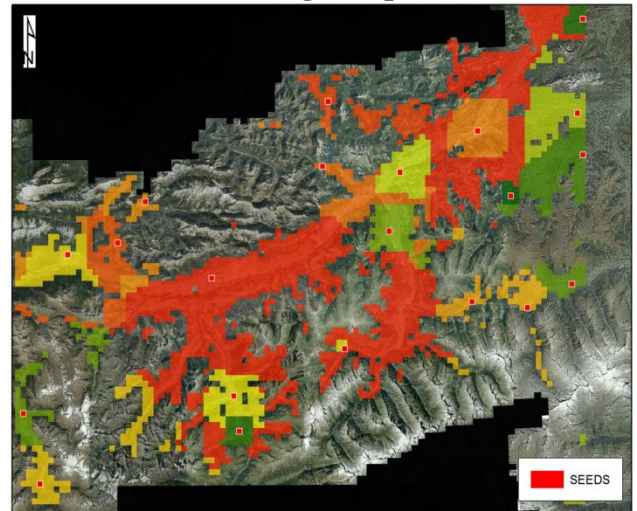
Eine bewusste Überbestimmung von Seeds im Umfeld der Großstadt Wien führt dazu, dass viel Seeds nie aktiv werden und keine eigenen Regionen ausbilden.

Optimale Anzahl von Seeds in alpinen Tälern



Entlang der Talachse werden nur die größten Städte mit Seeds versehen. So können die Nebentäler als Lieferanten für die Hauptachse auftreten. Innsbruck (rot). Das untere Inntal schließt sich bis vor Wörgl zu einem Agglomerationsraum zusammen.

Überbestimmung in alpinen Tälern



Die Überbestimmung im Tiroler Inntal verhindert eine geordnete Ausbreitung von Innsbruck.

Abbildung 76: Aspekte zur Definition von Seeds

3.3.2.4 Räumliche Ausbreitung

Neben der Datenstruktur wurde bisher die Auswahlfunktion $f(\text{Seed})$ aus Formel 41 erklärt. Diese Funktion strukturiert den Raum in groben Zügen. Die an der Summenbildung einer Seed beteiligten Funktionen $f(\text{Speed})$ als Ausbreitungsgeschwindigkeit und $f(\text{OTU})$ als Nachbarschaftsfunktion bestimmen die tatsächliche Ausprägung einer Region im Wettstreit mit anderen Seeds.

3.3.2.4.1 Die Nachbarschaftsfunktion

BRG folgt in seiner Fortbewegung von einem OTU zum nächsten der Manhattan-Metrik, prüft die Nachbarschaftsanalysen aber mit der Schachbrett-Metrik. Jede OTU hat acht mögliche Nachbarn. Vier Nachbarn teilen sich in den Haupthimmelsrichtungen – wenn vorhanden – vollständig je eine gemeinsame Grenze. Vier weitere Nachbarn berühren sich an den Ecken. Ausgehend von einer aktuell besuchten OTU kann der räumliche Zuwachs einer Region nur eine der möglichen Nachbar-OTUs betreffen. Die Auswahl des nächsten Nachbarn erfolgt über die relative Lage der aktuellen OTUs im Verhältnis zu seiner Seed. Die Nachbarschaftsfunktion umkreist, wie in Abbildung 77 links, die Seed im Uhrzeigersinn. Die OTU in der linken unteren Ecke gilt als Einstiegselement in die nächste Runde. In der ersten Runde gilt das westliche Element als Einstiegselement. Die Anzahl der möglichen OTUs kann über die Multiplikation der maximal möglichen Nachbarn mit der Nummer der aktuellen Runde berechnet werden.

3.3.2.4.1.1 Auswahl der nächsten Nachbarn

Der nächste Nachbar hängt von der relativen Position der aktuellen OTUs im Verhältnis zur Seed ab. Abbildung 77 oben zeigt die gewählte Methode zur Festlegung der Fortbewegungsrichtung und die notwendigen Operatoren auf die Koordinaten der aktuellen OTUs. Für die Bewertung wird in einem ersten Schritt die Differenz (Offset) zwischen den Koordinaten (Nord bzw. Ost) der aktuellen OTUs und der Seed bestimmt. Aus den beiden Differenzen kann die lokale Lage bestimmt und eine Ausbreitungsrichtung definiert werden. Die in der Abbildung angegebenen Himmelsrichtungen zeigen den geeigneten Partner in der Schachbrett-Metrik an. In der aktuellen Form des BRG erfolgt die Ausbreitung nur entlang der horizontalen und vertikalen Nachbarn. Die Nachbarn, die die aktive OTU berühren, unterstützen den Algorithmus in den Bemühungen um eine geschlossene Region. Ein neues Element darf dann in die Region aufgenommen werden, wenn zumindest eine Ecke des Kandidaten ein bereits zugeordnetes Element berührt.

Zur BRG-Laufzeit geschieht folgendes: In einem ersten Schritt tritt der Algorithmus nach Westen aus der Seed aus, dafür wird der Ost-Wert um die Breite einer OTU reduziert. Der nächste Kandidat findet sich nach den Ausbreitungsregeln nördlich. Dieser Kandidat kann im rekursiven Datengitter an der Position gefunden werden, die in den Koordinaten um eine OTU-Breite nördlich liegt. In Abbildung 77 links unten kreist der Suchalgorithmus völlig geordnet um die Seed und besucht die möglichen OTUs. Der Umlauf hängt nicht von der tatsächlichen Existenz der OTUs im rekursiven Datengitter ab. Ab OTU mit der Nummer 29 ergibt die Suche für einige Zeit keine Treffer. Ab OTU 30 werden wieder Elemente gefunden. Der letzte Umlauf im erwähnten Beispiel betrifft nur mehr einen Streifen von OTUs im Osten der Region (ID 108-116).

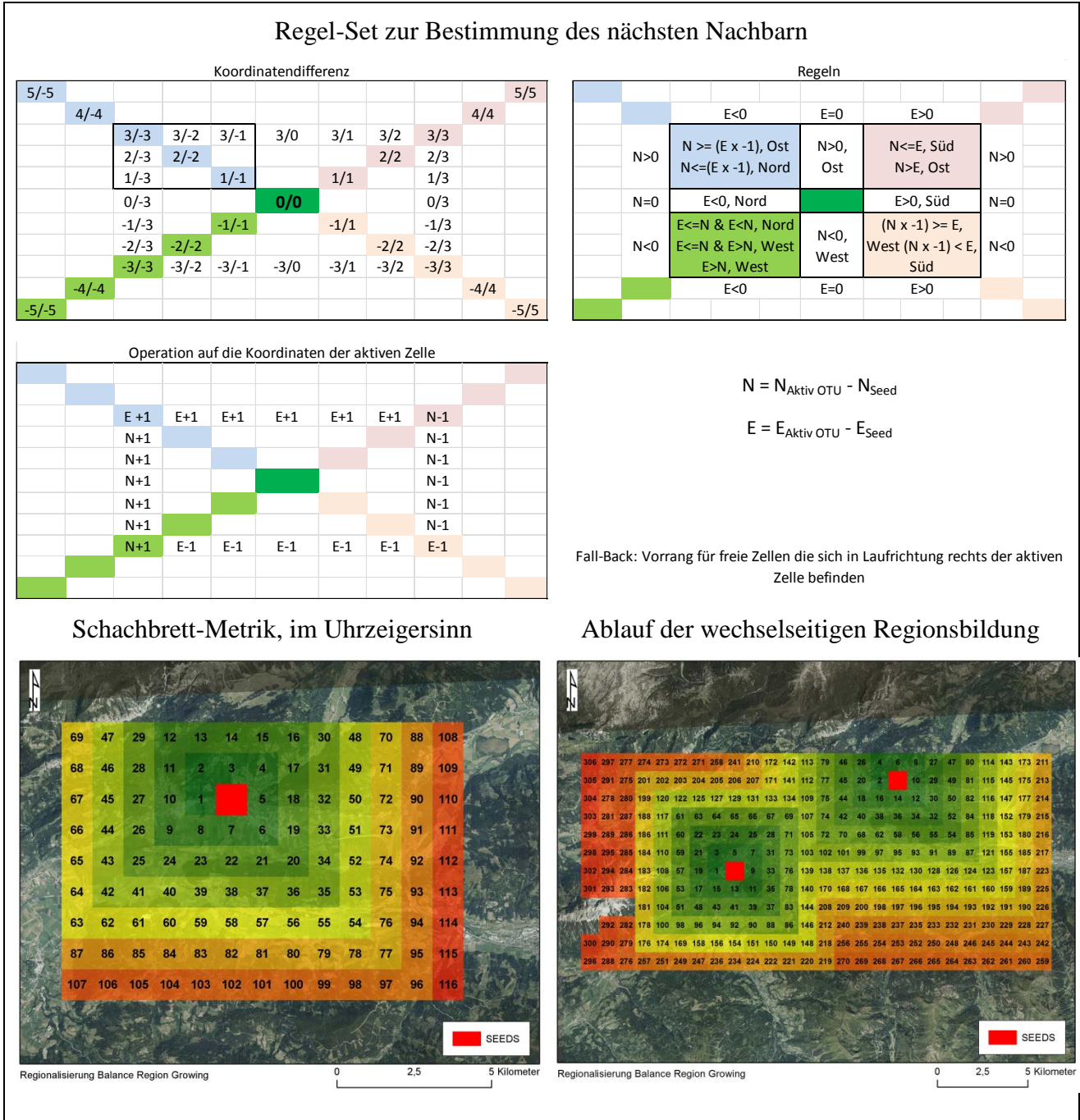


Abbildung 77: Regel-Set der Nachbarschaftsfunktion und Anwendungsbeispiele

3.3.2.4.1.2 *Fall-Back*

Mit der konzentrischen Bewegung der Nachbarschaftsanalyse entfernt sich die Wachstumszone einer Seed räumlich immer weiter vom Zentrum. Solange keine räumlichen Lücken im Umlauf auftreten und keine Konkurrenzen in Laufrichtung entstehen, können alle potenziellen OTUs besucht werden. Dies gilt auch, wie in Abbildung 77 rechts unten zu sehen ist, für mehrere Seeds bei günstiger räumlicher Konstellation. Probleme entstehen, wenn sich einer Seed in Laufrichtung konkurrierende Regionen in den Weg stellen. Diese erfüllen oft ihre Summenfunktion zu einem

früheren Zeitpunkt und verhindern den Zugriff von benachbarten Objekten in ihrem Umfeld. Abbildung 78 zeigt ein praktisches Beispiel im Umfeld der Stadt Linz.

Schattenelemente können verhindert werden, indem das Regel-Set der Nachbarschaftsfunktion um eine Regel erweitert wird. Diese Regel reiht einer noch freien OTU, die sich in Laufrichtung auf der rechten Seite befindet, einen Zugriffsvorrang ein.

Dazu ein praktisches Beispiel mit Abbildung 78: Die nördlichste Seed in der Abbildung ist Freistadt. Ohne Fall-Back bildet diese Stadt einen dreieckigen Zugriffsschatten. Mit aktiver Fall-Back-Regel wird der Algorithmus von Westen kommend gleich hinter der Fläche von Freistadt nach Süden abbiegen. Dies deshalb, da sich hier in Laufrichtung eine freie OTU befindet. Jedes Abbiegen nach rechts bedeutet aber, dass der Umlauf eine Runde tiefer gesetzt wird und von dort neu beginnen muss. Bei ungünstigen Geometrien kann das oft notwendig sein und Laufzeit in Anspruch nehmen. Fall-Back wird mit der Länge der Runde immer aufwändiger. Es verhindert aber die nicht akzeptablen Lücken und bildet kompaktere Regionen.

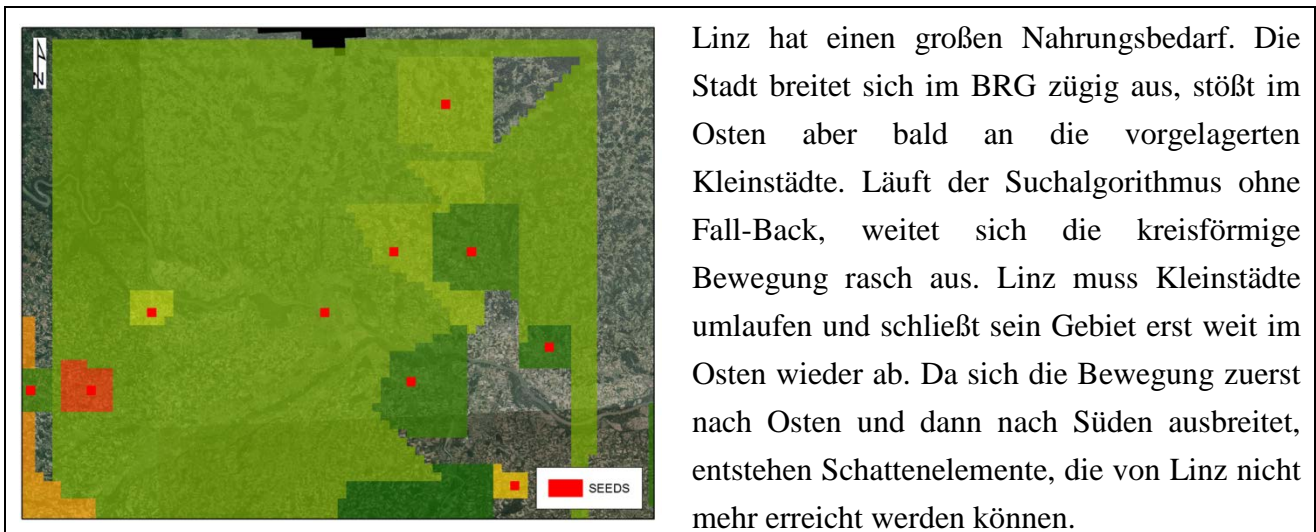


Abbildung 78: Schattenelemente im BRG

3.3.2.4.1.3 Räumliche Barrieren

Noch offen ist die Frage einer uneingeschränkten räumlichen Ausbreitung. Die einzelnen Layer im GGS decken das Bundesgebiet selbstverständlich vollständig ab. Dies betrifft die höchsten Berge ebenso wie die großen Wasserflächen der Badeseen. Zugleich betrifft aber auch die Parametrisierung von Angebot und Nachfrage nicht alle OTUs. Landwirtschaftliche Flächen bieten keinen Strom, Äcker keine Biomasse zur Wärmeerzeugung, und Wasserkraftwerke sind ohnehin eine räumlich sehr seltene Entität. Wir unterscheiden nach ihrem Inhalt deshalb folgende OTUs:

1. Tatsächliche räumliche Barrieren: Abbildung 79 zeigt subjektiv ausgewählte räumliche Barrieren. Die Diskussion über die Berücksichtigung von räumlichen Hindernissen kann in Zeiten des freien Warenverkehrs zwar geführt werden, empirisch trennen große Gebirgsstöcke aber auch heute noch die Entwicklung in den Regionen. Tatsächliche Barrieren werden in BRG durch das Fehlen der vorgesehenen OTUs erzwungen.

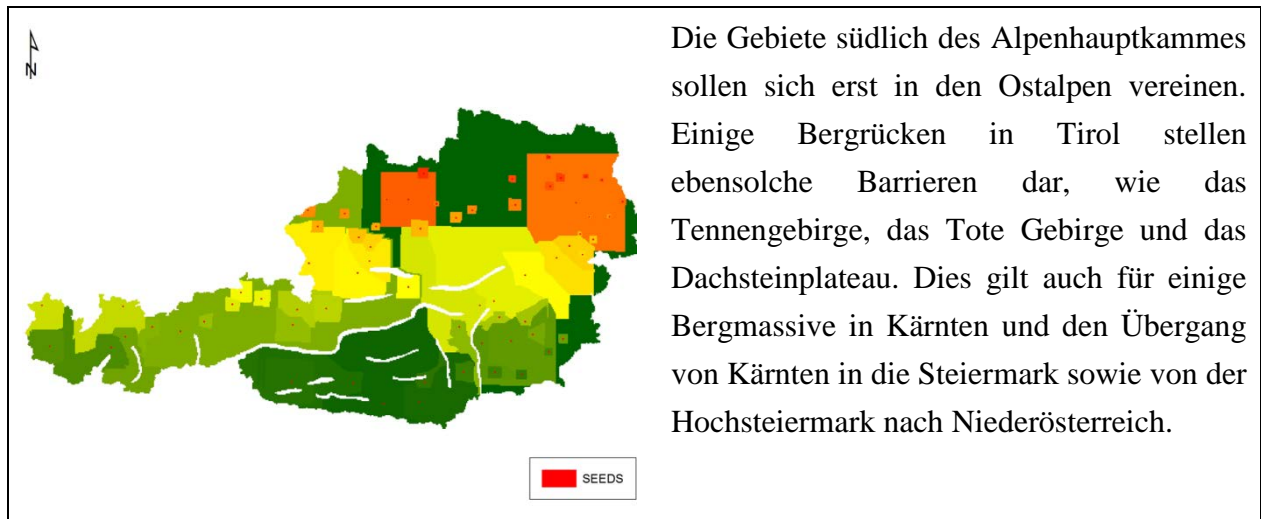


Abbildung 79: Räumliche Ausbreitungsbarrieren

2. Weiterleitung in wertneutralen Gebieten: Bleibt Angebot und Nachfrage für eine OTU leer, kann kein Beitrag zur Summenfunktion des BRG geleistet werden. Trotzdem spielen diese Elemente aber eine wichtige Rolle, damit sich Regionen in entlegene Gebiete vorarbeiten können. Auch wenn diese OTUs leer sind, erfüllen sie die Nachbarschaftsbedingung des BRG und schließen so weiter entfernte und befüllte OTUs an die Region an.

3.3.2.4.1 Die Ausbreitungsgeschwindigkeit

Das letzte noch zu klärende Element aus Formel 41 ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit $f(\text{Speed})$. Seeds sammeln ausgehend von ihrer Quelle sehr häufig hohe Nachfragemengen an. Diese Menge ist bei einer Großstadt ein Vielfaches in Vergleich zur Menge einer ländlichen Kleinstadt. Auf der Grundlage der Akzeptanz einer gleichmäßigen Befriedigung von Bedürfnissen aller Staatsbürger kann folgende Grundsatzregel für die Ausbreitung anerkannt werden: Die Abdeckung der angesammelten Nachfrage einer Seed soll aliquot zur Höhe des Wertes erfolgen. Die Taktung im Konkurrenzkampf zwischen den Seeds soll so klein sein, dass auch kleine Gebiete eine Chance zur Ausweitung bekommen.

Für die vorliegende Implementierung von BRG wurde eine maximale Taktung von 1 % der Nachfrage verwendet. Dies bedeutet, dass eine Seed im Umlauf zwar ungestört Nachfragen aufsammeln kann, aber nur OTUs im Ausmaß von maximal 1 % des Bedarfes erfüllen darf. In Abbildung 77 rechts unten, kann dieser Ansatz über die Nummer der besuchten OTUs nachvollzogen werden. Beide Seeds in der Abbildung sind ähnlich groß und wechseln sich gegenseitig mit einer OTU ab. Wenn Wien in einer ähnlichen Analyse seine Nachfrage decken darf, werden pro Schritt oft bis zu 150 OTUs verwendet. Neben der Taktung über die aktuelle Nachfrage kann im Datenmodell des BRG ein zusätzliches Gewicht eingebracht werden. Dieses Gewicht wird derzeit für alle OTUs mit 1 belegt. Unterschiedliche ökonomische Verhältnisse oder gesellschaftlicher Wille können dieses Gewicht verschieben. In Kapitel 1 wurde dieser Aspekt kurz angesprochen, über eine unterschiedliche Gewichtung im BRG kann dieser Wille technisch umgesetzt werden.

3.3.2.5 Technische Umsetzung

Der vorgestellte Algorithmus des Balance Region Growing wurde für alle Testgebiete und Szenarien in einer von geographischen Informationssystemen unabhängigen Form implementiert. Die Plattform Visual Studio 2012 stellt ein geeignetes Interface für die Entwicklung von Software mit der Programmiersprache C# dar. Als Windows-Form-Anwendung können einfache graphische Elemente per Klick gezeichnet und direkt in der Oberfläche angesprochen werden. Die Werkzeuge übernehmen dabei vollständig das Event-Handling der Oberflächenprogrammierung. Alle Teilfunktionen des BRG können individuell parametrisiert und per Klick auf die entsprechende Schaltfläche ausgelöst werden.

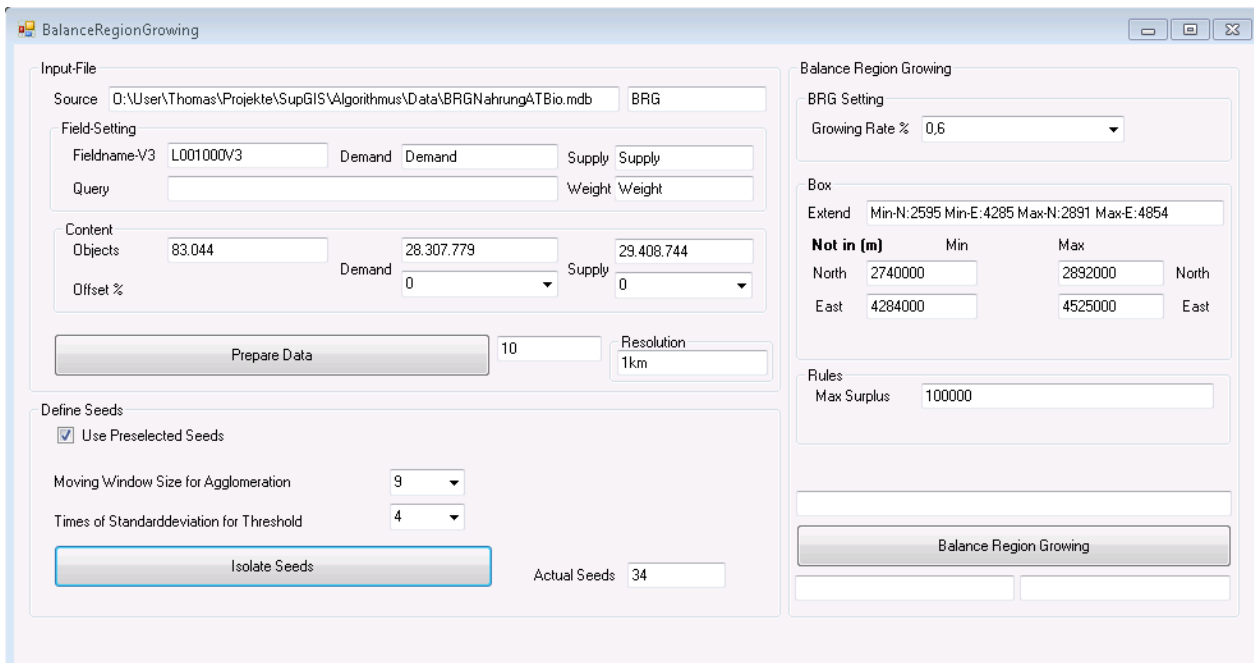


Abbildung 80: Oberfläche einer eigenen Implementierung des BRG

Die für den Ablauf notwendige Datei ist eine in Arc-Map erstellte *Personal Geodatabase*. Der Datentyp entspricht somit einer MS Access 2007 Datei, die sehr zügig mit entsprechenden Schnittstellen gelesen und befüllt werden kann. Über die *Geodatabase* wird die kartographische Darstellung der Regionsbildung ausgewertet. Im Input-Bereich können die Datenbankfelder für die Schlüsselgrößen definiert und ein erweiterndes Query für die Datenabfrage platziert werden.

Im Bereich *Content* werden die Wertsummen von Angebot und Nachfrage gezeigt. Sehr hilfreich für die späteren Simulationen ist die Möglichkeit zur Bestimmung eines Daten-Offsets zwischen -50 und +50% der Eingangsdaten. Im Bereich der Bewertung von Seeds können sowohl der Threshold als auch der räumliche Suchradius beeinflusst werden. Im Bereich der räumlichen Ausbreitung der Seeds können die Schrittgröße und ein Ausschlussbereich definiert werden. Dieser Bereich ist in Österreich wegen der großen räumlichen Lücke in Westösterreich (Bayern-Loch) sinnvoll und beschleunigt den Algorithmus.

3.4 Testgebiete

Die weiterführende Analyse und Simulation der Nahrungsversorgung wird auf nationaler Ebene durchgeführt. Die Versorgung eines regionalen Testgebietes mit Strom, Wärme und Mobilität wird am Beispiel der Leader Region Ennstal Ausseerland in der Steiermark gezeigt. Die räumliche Analyse auf nationaler Ebene verwendet OTUs mit einer Fläche von 1 km². Die lokale Analyse im Testgebiet verwendet Einheiten mit einer Fläche von 4 ha.

3.4.1 Nationales Testgebiet für die Nahrungsversorgung

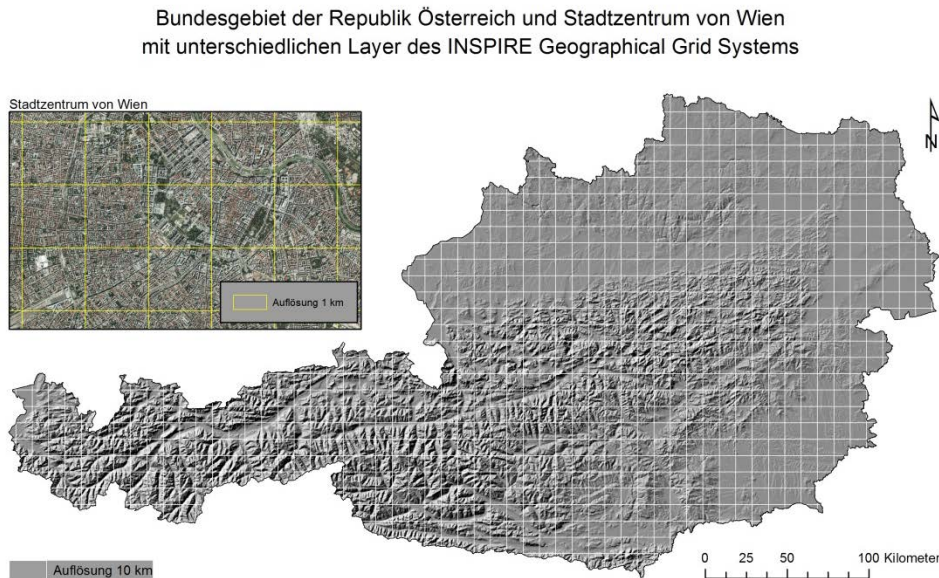


Abbildung 81: Nationales Testgebiet

Das Staatsgebiet der Republik Österreich beträgt 83.879 km². Ein umrahmendes Rechteck trägt in der linken unteren Ecke die Koordinaten 9° 31' 56'' E / 46° 22' 19 N''. Die rechte obere Ecke wird mit den Koordinaten 17° 9' 54'' E / 49° 1' 13 N'' beschrieben.

Topografisch wird Österreich von den Ostalpen dominiert. Diese bestehen geologisch über weite Strecken aus kristallinem Gestein in unterschiedlicher Ausprägung mit einer Durchbrechung von Gneisen im Tauernfenster. Die nördlichen Begleiter des Alpenhauptkammes sind die Kalkalpen. An diese schließen niedrige Lagen mit jungem Sedimentgestein an, durch die in Ober- und Niederösterreich die Donau fließt. Nördlich der Donau hebt sich die Landschaft wieder in der Böhmisches Masse. Im Süden, Osten und in einigen Becken liegen tiefgründige Schotterlagen (Kober, 1938).

In den Unterläufen der aus den Alpen austretenden Flüsse und in den vorgelagerten Ebenen des Donautales, des Kärntner Beckens und der Süd- bzw. Oststeiermark sowie in den nördlichen Hügellagen haben sich weitläufige landwirtschaftliche Flächen mit unterschiedlicher Fruchtbarkeit gebildet. Die inneralpinen Täler werden von Nadelwäldern dominiert, die Waldinseln der Gunstlagen von Laubwäldern. Im Sukzessionsbereich über der Waldgrenze liegen die Almen. Darüber schließen unfruchtbare Gebirgslagen an. Das gesamte Bundesgebiet wird von

Siedlungsstrukturen und Verkehrswegen durchzogen. Diese Flächen bedecken 12,4 % des Bundesgebietes. Die größte Landbedeckungskategorie ist der Wald mit 40,6 %. Die Landwirtschaft nutzt 34,3 %, weitere 12,7 % bilden sich im Hochgebirge durch Brachflächen und Gewässer. Die Landwirtschaft nutzt ihre Fläche zu 47,7 % als Ackerland und zu 19,8 % als intensives Dauergrünland. Der Anteil von extensivem Dauergrünland beträgt 14,0 % und der Almanteil 16,3 %. Obst- und Weinbau sowie Hausgärten bedecken in Summe 2,2 % der landwirtschaftlichen Fläche (BMLFUW, 2013).

Bedingt durch die feuchtdiabatische Temperaturabnahme reduziert sich die Jahresmitteltemperatur mit zunehmender Höhe. Ausgehend von maximalen mittleren Jahrestemperaturen von + 11 °C auf der Parndorfer Platte im Burgenland sinkt die minimale mittlere Jahrestemperatur auf den höchsten Gipfeln der Alpen auf -7 °C. Die trockenen Lagen des Ackerbaus im nordöstlichen bzw. südöstlichen Flach- und Hügelland erreichen Jahresmitteltemperaturen zwischen 7 und 9 °C. Die Dauergrünlandlagen in den alpinen Tälern müssen sich im Schnitt mit einer Temperatur zwischen 3 und 6 °C begnügen (Hiebl *et al.*, 2011). Bedingt durch die aus Nord-Westen dominierte Hauptwetterlage in Österreich verteilen sich die Niederschläge nicht gleichmäßig. Zusätzliche Staulagen schatten inneralpine und südliche Täler ab. Im Osten liegt der durchschnittliche Jahresniederschlag bei rund 550, in den Hochalpen bei 1.400 mm.

Österreich hat aus der Sicht der Nahrungsproduktion günstige Voraussetzungen. Temperatur und Niederschläge ermöglichen völlig unterschiedliche Kulturarten mit verschiedenem Verwendungszweck. Die Vulnerabilität des Dauergrünlandes ist gering; die Anbaugelände für Brotgetreide, Obst und Wein im Osten leiden zunehmend unter den unregelmäßigen Niederschlägen. Die potenzielle Trockenheit betrifft 58 % des Ackerlandes (Eitzinger, 2007).

Im Jahr 2010, das ist das Basisjahr der Nahrungsbilanzierung, leben in Österreich 8,38 Millionen Einwohner. Der Frauenanteil liegt um 1,3 % über jenem der Männer. Die Gruppe der nicht arbeitsverpflichteten Jugendlichen bis 15 Jahre (14,7 % der Gesamtbevölkerung) entspricht etwa dem Anteil der sicher nicht mehr in Arbeit befindlichen Bewohner über 65 Jahre (17,6 %). Die demographische Verteilung in der Altersklasse zwischen 15 und 65 hat ihr Maximum bei rund 48 Jahren. Insgesamt neigt Österreich zur Überalterung (Statistik Austria, 2012a). 32 % der Bevölkerung leben in Städten mit mehr als 50.000 Einwohnern. Aus der Sicht der Nahrungsversorgung ist für diese Städte ein deutlicher Abdruck im Umland zu erwarten.

3.4.2 Regionales Testgebiet Leader Region Ennstal Ausseerland

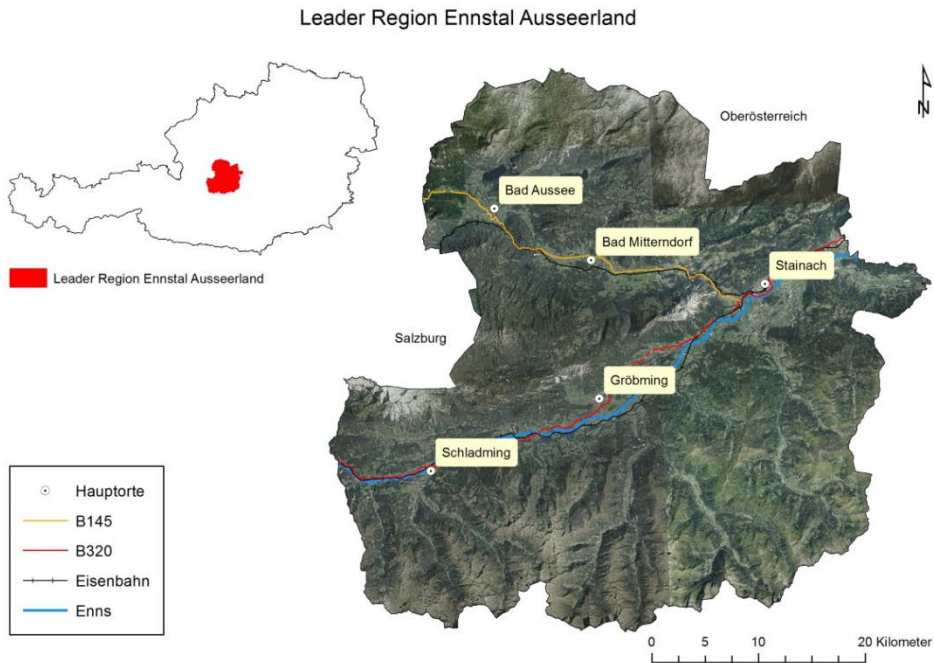


Abbildung 82: Regionales Testgebiet Leader Region Ennstal Ausseerland

Die Fläche der Leader Region Ennstal Ausseerland beträgt 1.950 km². Ein umrahmendes Rechteck trägt in der linken unteren Ecke die Koordinaten 13° 33' 50'' E / 47° 14' 55 N''. Die rechte obere Ecke wird mit den Koordinaten 14° 19' 16'' E / 47° 43' 37 N'' beschrieben.

Das Testgebiet besteht aus dem Ennstal und dem Ausseerland. Das Ennstal entwässert über den Hauptfluss in Richtung Nord-Osten. Es beginnt im Testgebiet bei Mandling und verlässt es bei Liezen wieder. Im Süden wird das Ennstal durchgehend von kristallinem Gestein dominiert. An die Schladminger Tauern im Westen schließen im Osten die Niederwölzer Tauern an. Nördlich der Enns liegt der Dachstein mit seinen Ausläufern bis zum Grimming, noch weiter nördlich liegt das Tote Gebirge. Beide Gebirgsstöcke sind Teil der Nördlichen Kalkalpen. Zwischen Dachstein und Totem Gebirge schiebt sich das in zwei Teilregionen gekammerte Ausseerland. Das Hinterbergertal rund um Bad Mitterndorf entwässert gegen Süden zur Enns, das Innere Salzkammergut rund um Bad Aussee mit der Traun in Richtung Westen. Die subalpinen bis alpinen Lagen prägen die Landnutzung in der Leader Region Ennstal Ausseerland. Die Abhänge der Bergrücken werden von vornehmlich fichtendominierten Waldbeständen bewachsen, die in nennenswerter Ertragslage bis zu 53,0 % der Kulturfläche bedecken. In den Tallagen finden sich die Rodungsinseln der Landwirtschaft, die durch die Siedlungs- und Verkehrsflächen durchbrochen werden. Das zu 97 % von Wiesen und Weiden geprägte Wirtschaftsgrünland bedeckt 10,4 % der Leader Region Ennstal Ausseerland. Der Ackeranteil liegt bei nur 0,3 %. Im Wirtschaftswald und über der Baumgrenze befinden sich die Almregionen. Die beantragte Weidefläche bedeckt 6,4 % des Testgebietes. Die ertragslosen Hochlagen der Wälder und die Magerweiden in den Gipfelregionen sowie die unfruchtbare alpine Zone und die Wasserflächen bedecken 28,9 %. Durch Gebäude oder Verkehrswege werden 0,9 % versiegelt.

Die Jahresmitteltemperatur beträgt in Bad Mitterndorf (803 Meter Seehöhe) 5,9 °C bei einem Jahresniederschlag von 1.222 mm. An der Station Gumpenstein (710 Meter Seehöhe) ist die Temperatur mit 7,0 °C etwas höher, der Jahresniederschlag mit 1.014 mm dafür deutlich geringer. Die Klimastation im Rohrmoos (1.080 Meter Seehöhe) erreicht eine Jahresmitteltemperatur von 5,5 °C und einen Jahresniederschlag von 1.128 mm. Zu beachten ist die Seehöhe der Stationen. Die Niederschläge variieren in der Region recht stark. Das mittlere Ennstal ab Gröbming liegt deutlich im Regenschatten des Dachsteins und seiner Ausläufer.

Die Leader Region Ennstal Ausseerland ist eine Grünlandregion mit stabilen pflanzenbaulichen Verhältnissen. Am Ostrand des Gebietes wird Silomais mit guten Mengenerträgen, aber mit wechselnden Energiegehalten, angebaut. Mit zunehmender Temperatur wird sich der Silomais über die Jahrzehnte – soweit dies vom Boden her möglich ist – in der Talsohle gegen Westen ausbreiten. Gleichzeitig drohen in den alpinen Staulagen sommerliche Starkniederschläge mit hohem Zerstörungspotenzial.

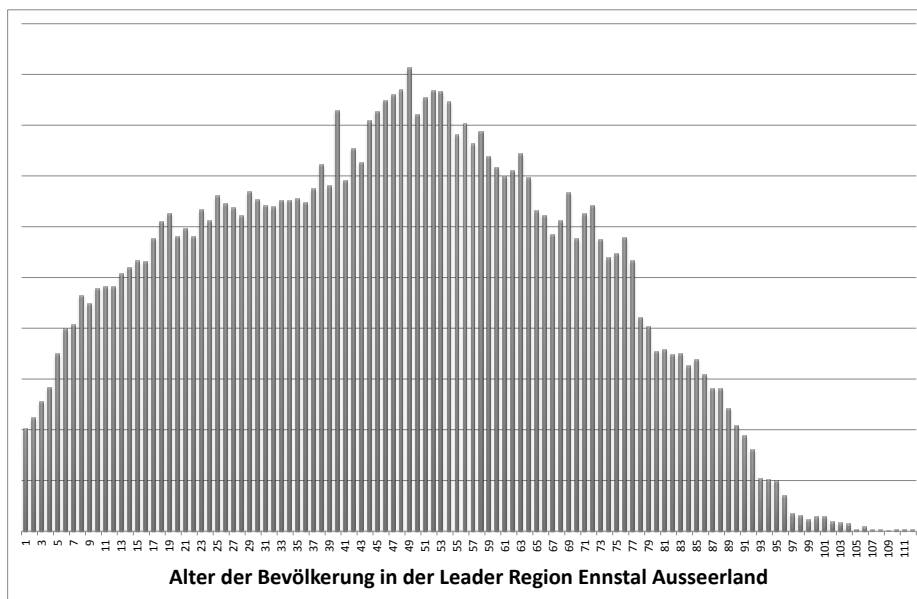


Abbildung 83: Demographische Verteilung im Testgebiet

Im Zeitraum zwischen 2010 und 2015 leben in der Leader Region Ennstal Ausseerland rund 55.400 Einwohner mit einem mittleren Alter von 46,2 Jahren. Die demographische Verteilung entspricht in der Altersklasse zwischen 15 und 65 mit 66,1 % dem nationalen Vergleich. Die Klasse der Jugendlichen bis 15 Jahren ist aber um 3,5 % unter, die Klasse der Menschen über 65 dafür um 5,1 % über dem nationalen Durchschnitt.

Der Westen und Norden der Testregion werden vom Tourismus und der Seilbahnwirtschaft geprägt, im Zentrum dominieren das Kleingewerbe sowie die Land- und Forstwirtschaft mit angeschlossener Lebensmittelverarbeitung. Im Osten schließt das Gebiet an die Industriezone des Bezirks Liezen an.

4 Simulation

Modelle und Werkzeuge wollen arbeiten! In Kapitel 2 wurden die möglichen Parameter einer multiplen Ressourcenausstattung im Bereich der erneuerbaren Energie vorgestellt und mit einer standardisierten Raumstruktur in Beziehung gesetzt. Der neu entwickelte Algorithmus des Balance Region Growing verfeinert ein allgemeines Ergebnis, indem er räumliche Kleinregionen bilden kann. Die Bildung dieser Regionen sind für die nationale Planung nicht zwingend notwendig, unterstützt aber hervorragend lokale Umsetzungsinteressen. In der Adressierung von Stakeholdern macht es einen großen Unterschied, ob über einen globalen bzw. nationalen Aspekt berichtet wird, oder ob eine pointierte regionale Aussage möglich ist. Außerdem können globale und regionale Ergebnisse deutlich voneinander abweichen. Ohne einen Vorgriff auf die Ergebnisse zu machen, darf hier folgendes Beispiel dargestellt werden: Auf nationaler Ebene findet sich gegenwärtig menschliche Nahrung im Überfluss. Angebot und Nachfrage sind aber nicht homogen verteilt. Leere, weite Siedlungsräume, wie das Waldviertel und die von großen Städten weiter entfernten fruchtbaren Lagen des Mühl- und Weinviertels bilden gemeinsam mit der Oststeiermark den Überschussmarkt an Nahrung. In den Ballungsräumen der Alpentäler reicht das Nahrungsangebot aber oft nicht aus. Die Headline einer Pressemeldung würde ohne den Aspekt der Regionalisierung vielleicht so lauten: „Österreich ist satt!“. Die regionale Analyse würde in Tirol zu folgender Pressemeldung führen: „Hunger in Innsbruck ist möglich!“ Im Beispiel wird der Handlungsanreiz spürbar und unterstützt damit die Ausführung zum Aspekt der Regionalisierung in Kapitel 1.

Dieses Kapitel dient in erster Linie zur Wandlung der in Kapitel 2 vorgestellten potenziellen Simulationsgrößen in praktische Szenarien. Der Leitfaden für die Entwicklung der Szenarien wurde entlang von wirtschaftswissenschaftlichen Modellen und möglichen Megatrends gespannt. Während Megatrends nicht erklärt werden müssen, benötigen wir hier doch eine kurze Einführung in wirtschaftliche Wachstumsmodelle. Über die Eintrittswahrscheinlichkeit der entwickelten Szenarien wird keine Aussage gemacht. Allerdings lassen sich aus den räumlichen und sachlichen Ergebnissen allgemeine Handlungsempfehlungen ableiten.

Die Parametrisierung der Szenarien folgt dem Ansatz „best practice and knowledge“. Eine automatische Optimierung zwischen den multiplen Ressourcen wäre technisch enorm aufwändig und hätte zudem immer noch das Problem, dass die Zielerwartungen zu definieren wären.

4.1 Wirtschaftliche Wachstumsmodelle

Die Berücksichtigung wirtschaftlicher Wachstumsfunktionen bei der Entwicklung von Szenarien verhindert das Ableiten möglicher Ansätze in realitätsferne Wunschbereiche. Eine Palette grundlegender Ansätze für Wachstumsfunktionen wurde im Projekt *Save our Surface* (Fleissner, 2010) vorgestellt. Der Autor führt für seine ökonomischen Prognosen die nachklassische Wachstumstheorie, systemdynamische Modelle, systemdynamische Produktionsfunktionen, die marxistische politische Ökonomie und die Input-Output-Analyse an.

Die **nachklassische Wachstumstheorie** ist die führende gegenwärtige Wirtschaftstheorie (Rothschild, 2004). Sie geht von der Optimierung des persönlichen Vorteiles des einzelnen entscheidungsfähigen Individuums aus. Freie Märkte bestimmen die Faktorkurven für Konsum und Profit. Die traditionelle Vorstellung einer gemeinschaftlich handelnden Gesellschaft löst sich auf. Alle Wirkungen bilden sich aus der Summe der individuellen Handlungen und Entscheidungen. Auf den Märkten wird diese durch die Gleichgewichtswirkung von Angebots- und Nachfragekurve dargestellt. Diese bestimmen in ihrem Schnittpunkt die optimale Menge eines zu erzeugenden Gutes und dessen Marktpreis. Unter der Wirkung der Kräfte des freien Marktes stellen sich Menge und Preis schrittweise nach dem Marginalitätsprinzip ein (Walras, 1896). Für die vorliegende Arbeit bedeutet dies, dass die Preise am Angebotsmarkt alleine durch ihre Menge bestimmt werden. Ein vom Überangebot bestimmter Markt wird nur bei niedrigen Preisen geräumt. Knappe Güter führen zu hohen Preisen. Der gegenwärtige Nahrungs- und Energiemarkt ist ein Angebotsmarkt. Die historisch niedrigen Milch- und Ölpreise bestätigen das. Die nachklassische Wachstumstheorie deckt die Qualität von Produkten durch die Schaffung neuer Märkte ab. Nahrung aus biologischer Landwirtschaft ist auf diesen Märkten ebenso knapp wie erneuerbare Energie. Beide Märkte sind Nachfragemärkte mit guter Preiserwartung. Technologische Aspekte und die Bewertung von Umweltwirkungen können in der nachklassischen Wachstumstheorie über die Kostenfunktionen berücksichtigt werden. Nachhaltige Entscheidungen der Konsumenten können am Nachfragemarkt modelliert werden. Problematisch ist der Zerfall eines gesamtgesellschaftlichen Wirkungsgefüges in viele unterschiedliche Märkte, die für sich zwar gut erklärbar sind, aber keinerlei Problemlösungskompetenz besitzen. Wenn überhaupt, dann muss die Gesellschaft über den Umweg der Politik eine Veränderung herbeiführen.

Systemdynamische Modelle kümmern sich nicht um das Individuum, sondern gehen in einem gesamtheitlichen Ansatz von der Erkenntnis wissenschaftlich-gesellschaftlicher Zusammenhänge (World Dynamics I) und ihren Verschiebungsvektoren aus (Forrester, 1971). Berühmt wurde World Dynamics III als Grundkonzept von „The Limits to Growth“ (Meadows *et al.*, 1972). Das vernetzte Systemmodell berücksichtigt globale Eckpfeiler der Wirtschaft (Bevölkerung, Dienstleistung, Arbeitsplätze, Erzeugnisse der Industrie, Bodenfruchtbarkeit, Landentwicklung, Nahrungsproduktion, Umweltverschmutzung und nicht erneuerbare Güter). Das Prinzip der möglichen Simulationen ist einfach. Auf Ausgangswerte (stocks) wirken Hilfsvariablen (auxiliary) über ihre Vektoren (arrow). Die erzeugte Flussvariable (flow) verändert den Zustand der Ausgangswerte. Systemdynamische Modelle kommen nicht ohne ökonomische Betrachtungen aus, geben diesen aber weniger Bedeutung als der nachklassische Ansatz. Systemdynamische Modelle erzeugen aus bestehenden Konstellationen neue Welten mit anderen Bedingungen. *The Limits to Growth* fokussiert als Endvariable die mögliche Populationsgröße der menschlichen Gesellschaft. Im Zeitraum zwischen 1970 und 1990 wurde eine Reihe verschiedener systemdynamischer Modelle entwickelt. Je nach Autorengruppe wurden ein systematisch hierarchischer Ansatz (Mesarovic und Pestel, 1974), ein sozio-kultureller Zugang (Herrera *et al.*, 1976) oder ein räumlich-ökonomischer Entwurf (Linnemann *et al.*, 1979) entwickelt. Gegen Ende der Entwicklungsperiode von Weltmodellen (Pollins, 1984) heizt die aufkeimende Klimadiskussion die Entwicklung von

systemdynamischen Modellen neu an. Nun nicht mehr auf der Suche nach einer Antwort für ökonomische Fragestellungen werden adaptierte Konzepte in der Bewertung von Treibhausgasentwicklungen eingesetzt (Meadows *et al.*, 2004). Insgesamt liegen die systemdynamischen Modelle sehr nahe an den in Kapitel 2.1.1.5.1 ausgeführten Bewertungsmodellen. Besonders die Agricultural GIS Sphere mit ihren inneren Kreisläufen erinnert im Kleinen stark an die Weltmodelle. Die Zielgröße der Nahrungsproduktion betrachtet aber nur ein Teilbereich.

Systemdynamische Produktionsfunktionen (Bruckmann und Fleissner, 1989) wenden die methodischen Ansätze von Forrester auf Größen des nachklassischen Wirtschaftswachstums an. Dies führt zu einer Verbesserung, da die Ergebnisse externe Stellgrößen besser berücksichtigen können.

Die **Input-Output Analyse** erweitert einen Ansatz aus dem wirtschaftswissenschaftlichen Werk *Das Kapital* (Marx und Engels, 1867) in Hinblick auf die Wirtschaftskreisläufe (Leontief, 1951). Die Methode beruht auf der Bewertung von Input-Output-Tafeln, die verschiedene Ebenen (Betrieb, Branchen, Volkswirtschaft) und regionale Aspekte berücksichtigen können. Die genannte Tabelle ordnet den einzelnen Sektoren ihre jeweiligen Vorleistungen (Vorleistungsverflechtung) und ihre Lieferung an die Endkonsumenten in Wertgrößen zu. Ergänzt wird die Tabelle durch eine sektorenspezifische Listung der Faktorkosten für Arbeit, Kapital, Abschreibung und Steuern. Aus den einzelnen Tafeln kann ein lineares Gleichungssystem erstellt werden, in dem jeder Sektor als Gleichung abgebildet werden kann. Von besonderem Interesse für diese Arbeit ist eine Methode, die eine Zuordnung von sektoralen Vorleistungen zum Endergebnis ermöglicht. Veränderungen in den Nahrungs- bzw. Energiemengen im Rahmen der verschiedenen Simulationsvarianten könnten ökonomisch auf das Endergebnis abgeleitet werden.

4.2 Wirtschaftswachstum

Fleissner, 2010, zeigt in seiner Arbeit das Ergebnis einer Cobb-Douglas-Funktion, die über die zwei Schlüsselfaktoren Kapital und Beschäftigung auf das Bruttoinlandsprodukt wirkt, und beweist mit Datenreihen aus der Vergangenheit deren hohe Vorhersagewahrscheinlichkeit. Die Entwicklung entlang der Zeitachse t wird mit grundlegend verschiedenen Funktionen (linear, exponentiell, polynomisch, logarithmisch, ...) untersucht und in eine Trendprognose des Wirtschaftswachstums bis 2050 überführt. Ohne detaillierte Kenntnis der mathematischen Zusammenhänge zeigt sich, dass der gegenwärtige Kapitalstock und die Beschäftigung ein Wachstum noch über Jahrzehnte antreiben werden. Mit Ausnahme von unrealistischem exponentiellem Wachstum – dieses wäre nur durch eine außergewöhnliche technische Innovation möglich – senken sich die Wachstumskurven gegen Ende des Prognosezeitraumes mehr oder weniger stark ab, bleiben aber immer positiv. Nur ein alternativer Ansatz in einem neuronalen Netzwerk zeigt ein 0-Wachstum ab 2030 als Folge eines Energiemangels. Die angewandte Methode kommt aus der Schule der klassischen Wachstumsmodelle und findet sich in direkter oder adaptierter Methode in allen weltweiten Bewertungen. Diese Aussage bestätigt sich in den Prognosen des Wirtschaftswachstums in vielen

Ländern der Welt. Das Hamburgische Weltwirtschaftsinstitut prognostiziert bis 2030 ein weltweites Wachstum von 3,1 % pro Jahr, wobei das europäische Wachstum mit 1,5 % gering und das Wachstum der BRIC-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika) mit 6 % sehr hoch ausfällt (Biermann *et al.*, 2013). PWC publiziert für den Zeitraum bis 2050 ein zunehmend rückläufiges, aber immer noch positives Wachstum, das weltweit ebenfalls gegen 3 % strebt (Hawksworth und Danny, 2015).

Die Bedeutung der Ausführungen im vorherigen Absatz für diese Arbeit liegt im Wunsch zur Formulierung von Szenarien. In den Angaben zum geplanten Wirtschaftswachstum zeigt sich deutlich die Handschrift der nachklassischen Wachstumstheorie. Die Welt wird demnach weiter wachsen. Angebot und Nachfrage werden den Bruttoressourcenverbrauch weiter nach oben schieben. Kurzum: Das gegenwärtig dominierende Wirtschaftsmodell ist somit jenes der linearen Fortschreibung.

Die naturwissenschaftlich technische Wissenschaftsgemeinde und die Kompetenzzentren für Energie beobachten diese Entwicklung mit Skepsis. Die Kluft zwischen den ökonomischen Denk- und Rechenmodellen und den gegenwärtigen Problemen könnte nicht größer sein. Natürliche, aus der Ökonomie verdrängte Umweltwirkungen werden das Zeitalter der klassischen Märkte beenden und der Schule der systemdynamischen Ansätze mehr Bedeutung geben. Diese Veränderung ist mit dem Begriff der Energiewende bereits in unseren Wortschatz eingezogen und entwickelt sich langsam aber stetig.

Im Nahrungsbereich verliert eine vordergründige ökonomische Bewertung zunehmend an Boden. Nahrung ist ein besonderes Gut, das sehr direkt mit der Gesundheit der Menschen in Verbindung gebracht werden kann. Konventionelle Nahrung unterscheidet sich in den Makronährstoffen wenig von biologischer Nahrung, aber es haftet ihr ein emotional negatives Image an. Die langjährige Differenzierung zwischen den Managementverfahren hat in der Gesellschaft das Bild einer Landwirtschaft zum Nachteil der konventionellen Produkte geprägt. Der Einsatz von chemischen Hilfsstoffen und vor allem die Fragen einer artgerechten Tierhaltung sind naturwissenschaftlich kritisch und werden von der Gesellschaft zunehmend negativ bewertet. Konventionelle Produkte haben keinen emotionalen Mehrwert und werden durch ihre niedrigen Preise im Lebensmittelhandel insgesamt zunehmend wertlos. Das kann auch an den Marktpreisen abgelesen werden. Die biologische Landwirtschaft orientiert sich in ihrem Wachstumsmodell im Prinzip nach der linearen Fortschreibung. Sie hat aber geänderte Ertrags- und Aufwandsgrößen und wird in einem eigenen Szenario dargestellt.

Die drei Ansätze – das lineare Fortschreiben des gegenwärtigen Wirtschaftssystems, eine vollständig biologische Landwirtschaft und die Denkschule einer ressourcensparenden Energiewende – sollen hier in groben Zügen mit den vorliegenden Daten und Werkzeugen bearbeitet werden.

4.3 Szenarien

Die Ausgangssituation der Simulationen – das Ist-Szenario – entsteht durch die Anwendung aller in Kapitel 3 beschriebenen Methoden und Datensätze. Die Frage des Nahrungsangebotes wurde auf den Daten des landwirtschaftlichen Basisjahrs 2010, einem klimatisch und ertragsmäßig ungestörten Erntejahr, entwickelt. Die Versorgung mit erneuerbarer Energie im regionalen Testgebiet beruht auf einem längeren Beobachtungszeitraum. Die Eingangsdaten für das forstliche Biomasseangebot wurden 2006 veröffentlicht, die Potenzialdaten AuWiPot im Jahr 2011. Von statischer Natur sind die Leistungsangaben der Wasserkraftwerke und die Informationen zur solaren Nutzung. Jährliche Schwankungen wurden durch die Erhebung einer langfristigen mittleren Leistung bzw. der Unterstellung von Daten aus langjährigen Beobachtungs- und Messreihen ausgeglichen.

Alle Szenarien erhalten ihre Impulse, ausgehend von der Ist-Situation, über numerische Veränderungen von Eingangsgrößen der jeweiligen Entitäten. Manche Impulse müssen zuerst über eine räumliche Beziehung aufbereitet werden. Die funktionellen Veränderungen des Szenarios beruhen entweder auf Erkenntnissen, die sich aus der Beziehung zwischen der Vergangenheit und der Gegenwart ableiten lassen, oder sie werden aus neuen Denkmustern entnommen. Viele Informationen für das Szenario lineare Fortschreibung wurden in den einzelnen Themenbereichen in Kapitel 2 bereits dargestellt. Das Szenario der biologischen Landwirtschaft wird von den methodischen Vorstellungen dieser Produktionstechnik geprägt. Die Energiewende orientiert sich an der Biomassestrategie 2030 (Österreichischer Biomasseverband, 2015) und ambitionierten Vorstellungen über eine nützliche technische Ausstattung, die weitgehend ohne fossile Energie auskommt. Alle Szenarien weisen Modifikationen im Angebot und in der Nachfrage auf. Ein finaler Eingriff in die Inputdaten der Szenarien ist die Auslöschung von Flächen, wie sie etwa durch die Versiegelung im Gebäude- und Straßenbau geschieht.

Dazu einige Beispiele: Im Bewertungsmodell der Forstwirtschaft bestimmt der Nutzungswillen der Kleinwaldbesitzer anteilig das jährlich nutzbare Potenzial mit. Da wir den Willen des einzelnen Waldbesitzers nicht kennen, übertragen wir Veränderungen im Nutzungswillen auf alle Kleinwaldbesitzer. Ähnliches gilt für die Sanierungsraten von technischen Einrichtungen, die für alle Wohngebäude einer Kleinregion prozentuell gleich sind oder für die Massenentnahme von Viehfutter zur Verwertung als erneuerbare Energie. Alle drei Beispiele benötigen keine räumliche Lage, die Veränderungen werden allgemein ausgesprochen. Tritt eine Veränderung nur lokal auf, muss dies zusätzlich über eine räumliche Selektion der betroffenen Entitäten abgeklärt werden. Ein Beispiel dafür ist die Modellierung von Auswirkungen der Klimaerwärmung, die vor allem trockene Ackerbaugebiete mit hohem Getreideanteil betreffen. Technisch ist das leicht zu lösen, da die landwirtschaftlichen Feldstücke ja verortet und mit den Bewertungsmodellen verbunden sind.

Die drei bereits angesprochenen Szenarien haben keine explizite zeitliche Festlegung. Empirisch entsteht zwischen den Szenarien aber insofern eine Ordnung, als bei der Nahrungsbilanz die lineare Fortschreibung und die biologische Landwirtschaft zeitlich parallel verlaufen können, während das

Szenario der Energiewende immer erst zu einem späteren Zeitpunkt auftreten wird. Praktisch bedeutet dies, dass das gegenwärtige System linear fortgeführt wird und eine gewisse Zeit parallel zum Szenario der biologischen Landwirtschaft verläuft, bis beide unter Zwang in die Energiewende umgewandelt werden. Die Kernfrage des Zeitpunktes kann nicht gelöst werden. Weil aber für manche Berechnungen ein Zeithorizont benötigt wird, schiebt der Autor dieser Arbeit den Umbruch an die Grenze des subjektiv Denkbaren. Das ist das Jahr 2050. Für die Energiearten Wärme, Kraft/Licht und den Anspruch der Mobilität hat das Szenario der biologischen Landwirtschaft nur insofern Bedeutung, als der Zwang zur Bereitstellung von proteinhaltigem Futter für die Tierernährung auch eine gewisse Menge an Ethanol bzw. Biodiesel hervorbringt. Allerdings rechtfertigt der geringe Einfluss keine eigene Darstellung.

Eine tiefere Beschreibung der Szenarien können recht deutlich aus den Parametern im folgenden Bereich abgelesen werden.

4.4 Parametrisierung

4.4.1 Nahrungsversorgung im nationalen Testgebiet

Die Parametrisierung der Nahrungsversorgung im regionalen Testgebiet wird auch im lokalen Testgebiet angewandt, umgekehrt ist das für die Bilanzierung von Wärme, Kraft/Licht und Mobilität nicht möglich.

4.4.1.1 Lineare Fortschreibung

4.4.1.1.1 Angebot an Nahrung aus einer marginal veränderten Landwirtschaft

Aus der größeren Anzahl an möglichen Simulationsgrößen für die Veränderung des Angebotes an Nahrung durch die Landwirtschaft wurden in Kapitel 2.1.1.3 bereits vier Aspekte ausgewählt. Diese werden hier noch einmal kurz dargestellt und mit Parametern versehen. Der dominierende Aspekt der Fruchtbarkeit wird von den lokalen Standortbedingungen geprägt. Diese können mit bodenkundlichen Analysen, pflanzenbaulichen Nutzungsarten und klimatischen Messungen gut beschrieben werden. Der Aspekt der Fruchtbarkeit greift in die Konzeption von landwirtschaftlichen Managementaktivitäten ein. Der Einsatz von Betriebsmitteln, etwas synthetischen Düngemitteln, kompensiert gelegentlich den lokalen Nachteil eines Nährstoffmangels. Der dritte Punkt betrifft die sozialen und ökonomischen Aspekte der bäuerlichen Familien. Der Fortbestand eines Bauernhofes hängt nicht nur von den naturwissenschaftlichen Einflüssen ab, sondern wird vor allem durch die Sicherstellung der Hofnachfolge geprägt. Diese Rahmenbedingungen werden wiederum stark vom Zeitgeist beeinflusst. Höhere Bildung und die regionale Nähe zu Städten wirken sich hier erst dann positiv aus, wenn sich der nächsten Generation an Betriebsleitern auch ökonomische oder psychologische Vorteile eröffnen. Der vierte Aspekt, dieser ist zum Teil aus der Landwirtschaft ausgelagert, betrifft den gesellschaftlichen Zugriff auf landwirtschaftliche Ausstattungen oder Produkte. Die einzelnen Aspekte für die Simulation der linearen Fortschreibung der Nahrungsproduktion werden so modelliert:

1. Einflüsse auf die Fruchtbarkeit der Standorte: Der österreichische Getreide- und Maisanbau wird von den Hauptproduktionsgebieten des nord- bzw. südöstlichen Flach- und Hügellandes, dem Kärntner Becken und dem Donautal dominiert. Die Erträge im Getreidebau sind in den letzten 20 Jahren weitgehend konstant, der Ertrag im Maisanbau steigt kontinuierlich, der Zuwachs flacht aber ab (Agrarmarkt Austria, 2015b). In den Hitzejahren 2003, 2006 und 2015 lag der Ertrag von Getreide um rund 7,0 % unter den langjährigen Ergebnissen, der Maisertrag war um 7,8 % geringer. In diesen Jahren lag die Jahresmitteltemperatur in Niederösterreich um 1,0 - 1,7° C über dem langjährigen Mittel, der Niederschlag reduzierte sich um 22 %. Ganz Österreich war in den Hitzejahren von einer mittleren Erwärmung zwischen 0,2 und 1,5° C betroffen (ZAMG, 2016). Der fehlende Niederschlag ist vor allem ein Problem von Lagen mit pannonischem Klima oder von Tälern und Becken südlich des Alpenhauptkammes. Die Getreideanbaugebiete im Waldviertel und entlang der Donau bis in das Rieder Becken wären bei einer Erwärmung von 1° C noch nicht betroffen, eventuell wird mehr Weizen und weniger Gerste angebaut. Mais ist in seiner Frühphase generell durch Trockenheit gefährdet, profitiert aber später als C4-Pflanze von einer leichten Klimaerwärmung. Bleibt allerdings der Niederschlag lange Zeit völlig aus, vertrocknet der Mais mit 100 % Ertragsverlust. Die Grünlanderträge in Österreich zeigen in einem mehrjährigen Ertragsnetzwerk mit unterschiedlichen Schnittfrequenzen über das gesamte Bundesgebiet einen kurvenlinearen Verlauf entlang des Höhengradienten (Resch *et al.*, 2009). Je nach Schnittfrequenz liegen die Erträge im Mittel zwischen 6,83 und 8,13 Tonnen Trockenmasse/ha. Beeinflusst durch die lokalen Wachstumsfaktoren werden enorme Abweichungen festgestellt. Eine grobe Annäherung zeigt, dass die Erträge in den trockenen Lagen bis zu 40 % unter den Maximalerträgen – diese werden auf einer Seehöhe von etwa 400 m erreicht – liegen. Über dem Maximalbereich sinken die ha-Erträge mit rund 5,5 kg pro Meter Seehöhe ab. Eine Reihe von Autoren bestimmten Werte zwischen 3,2 und 6,9 kg pro Meter Seehöhe (Caputa, 1966, Caputa und Schechtner, 1970, Gruber *et al.*, 1998, Schechtner, 1978). Unter Annahme einer Temperaturerhöhung von 1° C (Auer *et al.*, 2007) und eines feuchtdiabatischen Temperaturgradienten von 0,5° C/100 Meter Seehöhe steigt der Ertrag im Mittel in den dann günstigen Bereich um 13,9 %, während unterhalb von 300 Meter Seehöhe nur mehr wenig Grünland zu finden wäre.

Neben den klimatischen Aspekten werden derzeit vor allem der zunehmende Phosphormangel im Grünland und die Bodengesundheit (Humusgehalt, Textur, Verdichtung) im Acker diskutiert. Beide Aspekte werden hier nicht berücksichtigt.

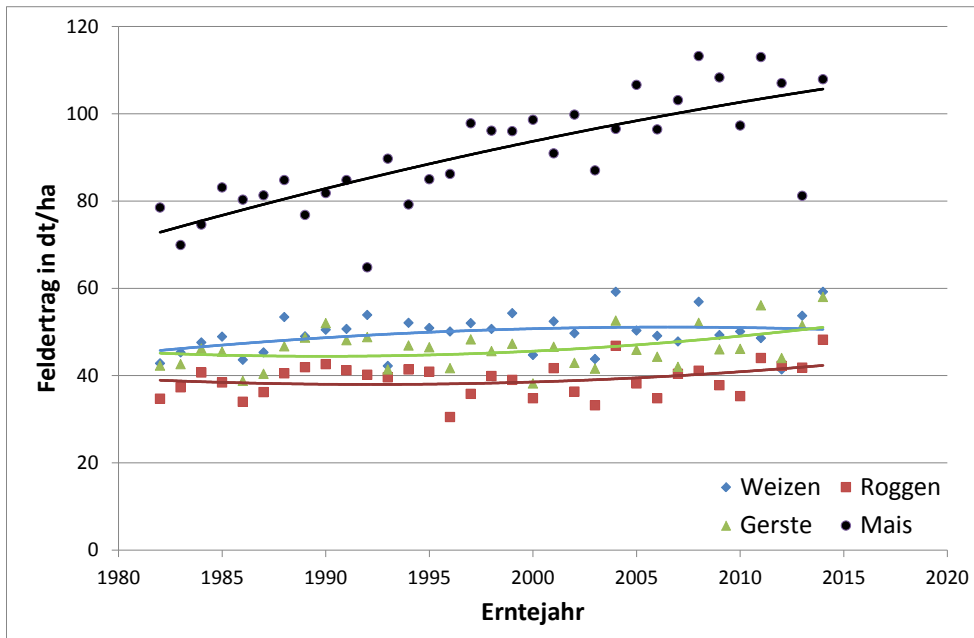


Abbildung 84: Ertragsentwicklung von Getreide und Mais (Agrarmarkt Austria, 2015b)

Parametrisierung:

- a) Getreideertrag in den Hauptproduktionsgebieten SÖ und NÖ Flach- und Hügelland und im Kärntner Becken: -7 % vom Basisjahr 2010
 - b) Körnermaisertrag in den Hauptproduktionsgebieten SÖ- und NÖ Flach- und Hügelland und im Kärntner Becken: gleichbleibend vom Basisjahr 2010, da der Zuchtfortschritt die negativen Wirkungen des Klimas kompensieren kann und der notwendige Handelsdünger verfügbar ist. Möglicher Totalausfall in Folge von Trockenheit wird nicht berücksichtigt.
 - c) Alle anderen Ackerkulturen in Österreich: gleichbleibend
 - d) Grünlanderträge in Lagen über 400 Meter steigen nach $y = 88.0 + 0.028 \times \text{Seehöhe (m)}$. Diese Formel wurde aus den Eckdaten von *Resch et al. 2009* bei einer Verschiebung des Ertrages um 200 Meter Seehöhe (1°C) abgeleitet. Die Veränderung wurde auf die Grünlandgebiete in den Nordstaulagen zwischen Vorarlberg und dem Wechsel angewandt, wobei nur die Hälfte des möglichen Wirkungsgradienten eingesetzt wurde. Die trockenheitsgefährdeten Lagen südlich des Alpenhauptkammes wurden nicht verändert.
 - e) Wein, Obst und Gemüsebau: gleichbleibend
2. Einflüsse im Management: Der Einsatz von Betriebsmitteln im Ackerbau betrifft im Wesentlichen die Verwendung von Handelsdüngern und Pflanzenschutzmitteln (PSM). Die Dünger fördern den Mengen- und fallweise auch den Qualitätsertrag von Marktfrüchten; Pflanzenschutzmittel reduzieren die Verlustmengen, indem sie schädigende Pilze und Bakterien sowie Insekten abtöten. Im Basisjahr 2010 wurden in Österreich 136.106 Tonnen an Handelsdünger (vor allen Stickstoff-Dünger) und 3.692 Tonnen an Pflanzenschutzmittel (davon 2.771 Tonnen an Herbiziden, Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsregulatoren) ausgebracht (BMLFUW, 2012). Der Anteil der Verwendung im Grünland ist minimal. Handelsdünger und PSM sind gemeinsam für rund 25 % des Nahrungsertrages im Ackerbau

verantwortlich (De Ponti *et al.*, 2012, Seufert *et al.*, 2012). Rund die Hälfte der Wirkung ist dem Handelsdünger zuzuschreiben.

Die Leistung von tierhaltenden Betrieben wird durch die Menge an zugekauften Futtermitteln beeinflusst. Im letzten Jahrzehnt ist die Import-Export-Bilanz von Futtergetreide ausgeglichen; allerdings wurden im Basisjahr 2010 rund 600.000 Tonnen Sojabohnen importiert. Aus der Sicht der Flächenleistung spielt die Leistungskonzentration in der Tierhaltung keine große Rolle. Zwar steigert sich die Leistung der Individuen, der Tierbestand nimmt aber in den meisten Tierkategorien ab. Als Folge der Strukturveränderungen in der Landwirtschaft befinden sich die einzelnen Tiere aber in immer größeren Herden.

Parametrisierung:

- a) Einsatz von Handelsdünger und Pflanzenschutzmittel: Keine Veränderung
 - b) Einsatz von Futtermittel in der Tierhaltung: Kein Import von Getreide, Reduktion von Futtergetreide und Futtermais für die Tierhaltung um X % (als Folge geänderter Klimabedingungen, Versiegelung und geänderter Nutzungsketten), gleichbleibendes Angebot an Eiweißfutter, aber Verdrängung von Sojaimporten durch Abfallprodukte der Bioenergieerzeugung.
 - c) Kein Einfluss im Nahrungsangebot durch Veränderungen in Leistung und Struktur in der Tierhaltung
3. Einflüsse durch veränderte Betriebsstrukturen: Landwirtschaftliche Betriebe in Österreich erlösen für ihre Produkte inflationsbereinigt seit 60 Jahren annähernd gleiche Preise. Dadurch öffnet sich eine Lücke in den Betriebseinnahmen, die durch gesellschaftliche Ausgleichszahlungen, höhere Produktionseinheiten pro Betrieb oder betriebliche Nebeneinnahmen (am Betrieb oder außerhalb) geschlossen werden muss. Gelingt es nicht, diese Lücke ökonomisch, aber auch psychologisch, zu schließen, wird der landwirtschaftliche Betrieb aufgegeben. Dies geschieht im langjährigen Beobachtungszeitraum seit 1950 im Schnitt rund 4.300-mal pro Jahr. Die Betriebsaufgabe hat so lange keinen Einfluss auf die Nahrungsproduktion, solange die Flächen räumlich in größere Betriebe eingebracht werden können und maschinell leicht zu bearbeiten sind.

Parametrisierung:

- a. Aufgabe von landwirtschaftlichen Betrieben: Betriebe mit Grünlandnutzung werden im Szenario dann aufgegeben, wenn sie kleiner als 4 ha sind, eine aktuelle energetische Produktionseffizienz unter 7 % besitzen – sie halten dann sicher nur mehr Tiere für die extensive Fleischproduktion – und zu mehr als 60 % aus extensivem Grünland mit einer Hangneigung von mehr als 35 % bestehen. In ganz Österreich finden sich nach diesen Regeln 21.200 Betriebe mit einer Gesamtfläche von 123.000 ha. Die günstigeren Flächen dieser Betriebe, das sind 55.000 ha, können in die regional verbleibenden Betriebe eingegliedert werden; 68.000 ha werden in die Kulturlandschaft als Forst eingegliedert. In den inneralpinen Tälern finden sich die Flächen auch als größere Einheiten an den

Hängen der Täler; im flacheren Gebiet ist die Struktur kleinteilig und wird dem Landschaftsbild eher nutzen als schaden.

- b. Kleine Milchviehbetriebe mit einer Abliefermenge unter 25.000 Liter pro Jahr werden aus arbeitswirtschaftlichen Gründen die Milchproduktion einstellen und auf ihren Flächen bevorzugt Rindfleisch produzieren. Diese Maßnahme betrifft 34 % der Lieferbetriebe aus dem Basisjahr 2010, hat aber nur geringe Auswirkung auf die Nahrungsbereitstellung, da diese Betriebe nur 5 % der Milchmenge liefern.
4. Entnahme von fruchtbaren Flächen und Produkten aus der Landwirtschaft: Das nationale Wachstum kann nicht nur an der Wirtschaftsleistung sondern auch am Landverbrauch abgelesen werden. Seit 1970 stieg der Landverbrauch für versiegelte Flächen und Verkehrswege von 6.600 km² auf 10.400 km² (BMLFUW, 2013). Im Schnitt der Jahre wurden 9.200 ha aus der land- und forstwirtschaftlichen Produktion entnommen. Einen zusätzlichen, mittelfristigen Flächenanspruch an die Landwirtschaft stellt die Erzeugung von Bioenergie (Österreichischer Biomasseverband, 2015). Der Bereich der Kurzumtriebswälder bindet seine Fläche mittelfristig aus den frischen Ackerbaulagen. Bioenergie soll aber vor allem aus landwirtschaftlichen Nutzpflanzen und deren Früchten gewonnen werden. Längst gängige Praxis sind die Erzeugung von Methan aus Silomais, die Um-Esterung von Pflanzenölen in Biodiesel und die Alkoholproduktion aus Getreide und Mais. Alle Verfahren entnehmen landwirtschaftliche Fläche oder deren Erzeugnisse aus der Verwertungskette der verbleibenden Betriebe. 2014 wurden in Österreich 269.000 Tonnen Biodiesel und 190.000 Tonnen Ethanol erzeugt (Agrana, 2009). Die Rohstoffe für die Produktion stammen nur anteilig vom nationalen Markt. Die gesellschaftlichen Überlegungen, ausgedrückt durch die Biomassestrategie 2030, sehen für alle Arten erneuerbarer Energie eine Ausweitung vor.
5. Parametrisierung:
 - a. Versiegelung von Flächen: Im Zeitraum bis 2050 wird angenommen, dass in Österreich die Verbauung landwirtschaftlicher Flächen langsam abnimmt und am Ende des Beobachtungszeitraumes null beträgt. Diese Abnahme kann mit $y = 538.857 - 262,86 * \text{Kalenderjahr [2016,2050]}$ beschrieben werden. Gelingt dies, werden bis zur Erfüllung noch weitere 165.000 ha aus dem Baulandangebot der Land- und Forstwirtschaft verbraucht. Die Basisdaten für die landwirtschaftliche Fläche werden aus 2.1.1 entnommen, die Walddaten aus 2.1.2. Es zeigt sich, dass 57,6 % der zukünftig verbrauchten Siedlungsfläche aus dem Pool der Landwirtschaft entnommen werden müssen.
 - b. Umwandlung von Ackerflächen in Kurzumtrieb und Miscanthusflächen: Die Annahmen der Biomassestrategie sehen eine Ausweitung von 1.800 ha auf 45.000 ha vor. Unter Berücksichtigung der zögerlichen Entwicklung in den letzten 15 Jahren wird nur eine Ausweitung auf $\frac{1}{4}$ dieser Zielgröße, das sind 11.000 ha für das eigene Szenario berücksichtigt. Eine Ausweitung der Biogasflächen wird vorerst nicht angenommen.

- c. Entnahme von Produkten aus den landwirtschaftlichen Stoffströmen: Die Erzeugung von Biodiesel und Ethanol soll laut Biomassestrategie 2030 zusätzlich 60.000 ha an Ackerfläche binden. Die Ernte dieser Fläche wird durch die Erzeugung von Biotreibstoffen aber nicht vollständig aufgebraucht, sondern in einen energetischen Anteil (Öl, Alkohol) und in Viehfutter aufgespalten. Der Anteil an extrahierbarem Öl aus den Ölsaaten liegt zwischen 40 und 45 %; der Extraktionsgrad in der Ethanolerzeugung liegt bei 70 %. 31 % des Primärproduktes verbleiben als Viehfutter, weshalb die Fläche nicht vollständig verloren geht. Werden diese als Koppelprodukt in die Landwirtschaft zurückgeführt, sinkt der faktische Flächenentzug auf 42.000 ha.

Tabelle 15: Parameter des Nahrungsangebotes „Lineare Fortschreibung“

Aspekte	Flächenaspekte	Ertragsaspekte
Sinkender Getreideertrag in Trockenlagen		Ertrag sinkt um 7 %
Steigender Grünlandertrag über 400 Meter		Ertrag steigt zwischen 3 und 20 %
Aufgabe extensiven Grünlandes	68.000 ha	
Versiegelung landwirtschaftlicher Flächen	95.000 ha	
Kurzumtrieb und Miscanthusflächen	11.000 ha	
Rohstoffe für Biodiesel und Ethanol	42.000 ha	
Weniger Futter für die Tierproduktion		Summe aller Effekte: -3,1 %

Die reduzierte Rohstoffmenge an Futtergetreide durch den Flächenverlust im Ackerbau wirkt sich nicht direkt in der Nahrungsproduktion aus. Vielmehr hängt der tatsächliche Rückgang an Nahrung von der Verwertungseffizienz der landwirtschaftlichen Nutztiere ab, die dieses Futter sonst verwerten würden. Ein Verwertungsgrad von 20 % wird dabei von keiner Tierart überschritten. Dieser Aspekt schafft eine Komfortzone bei der Umlenkung von Futtergetreide in andere Nutzungspfade. Hilfreich ist hier auch, dass die steigenden Erträge in den Grünlandgebieten – sie sind Folge der Erwärmung – zum Teil die Verluste im Ackerland kompensieren. Die Aspekte in Tabelle 15 werden zuerst auf die OTUs verteilt und dann über die räumliche Zuordnung der einzelnen landwirtschaftlichen Betriebe in die AGS weitergeleitet. Die Neuberechnung der modifizierten Inputgrößen ergibt die verbleibende Nahrungsproduktion in Österreich.

4.4.1.1.2 Nachfrage an Nahrung durch eine etwas gesundheitsbewusstere Bevölkerung

Die zukünftige Nachfrage an Nahrung im Bundesgebiet wird durch die Populationsgröße und die individuelle Nachfrage (siehe 2.2.1) bestimmt. Der Vorausberechnung der Statistik Austria folgend unterstellen wir für 2050 einen Einwohnerstand von 9.634 Millionen Menschen mit einem Altersanteil von 18,5 % in der Klasse unter 20 Jahren und einem Anteil von 27,9 % älterer Menschen in der Klasse ab 65 Jahren (Statistik Austria, 2015d). Die Nahrungsgewohnheiten führen dazu, dass sich der Anteil des Übergewichts von 14 % auf 7 % reduziert.

4.4.1.2 Biologische Landwirtschaft

4.4.1.2.1 Angebot an Nahrung aus der biologischen Landwirtschaft

Die Schlüsselgröße in der Bewertung einer vollständig biologischen Landwirtschaft ist die Abschätzung des Ertragsrückganges durch den Verzicht auf Handelsdünger und Pflanzenschutzmittel im Ackerbau. Das Grünland ist direkt kaum von diesen Hilfsmitteln betroffen, allerdings wirkt sich der Rückgang von Futtergetreide auch auf die Milchproduktion aus (Guggenberger *et al.*, 2012b).

Die in der biologischen Landwirtschaft kritische Frage der Tierhaltung von größeren Schweine- und Geflügelpopulationen ist keine Frage der Stoffströme, sondern ein ökonomischer Aspekt der Kosten von tierfreundlichen Haltungssystemen. Außerhalb des Grünlands gerät die Fleischproduktion aber deshalb unter Druck, weil die notwendige Eiweißergänzung – derzeit durch Sojaimporte abgedeckt – national zu realisieren ist. Hilfreich wirkt hier eine höhere Produktion von Bio-Ethanol, da sich in der anfallenden Schlempe das Eiweiß des Getreides konzentriert. Diese Maßnahme unterstützt auch das Szenario einer Energiewende. Selbstverständlich gelten auch für dieses Szenario die Auswirkungen der Klimaveränderung und der Strukturveränderung im Grünland wie bei der *Linearen Fortschreibung* dargestellt.

Parametrisierung:

- a. Ertragsrückgang: Viele Forschungsprojekte befassen sich mit der Bewertung der Ertragsdifferenzen zwischen biologischer und konventioneller Landwirtschaft. Einzelversuche gibt es weltweit in großer Anzahl, allerdings wird der Begriff der biologischen Landwirtschaft regional unterschiedlich gedeutet. Zwei unabhängige Autorengruppen haben aus der Summe an Arbeiten 362 bzw. 316 Untersuchungen ausgewählt und bewerten den Ertragsrückgang im Durchschnitt mit 20 bzw. 25 % (De Ponti *et al.*, 2012, Seufert *et al.*, 2012). Die im Szenario unterstellte Ertragserwartung wird in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Ertragserwartung in der biologischen Landwirtschaft

Ertragserwartung biologische Landwirtschaft (De Ponti <i>et al.</i> , 2012)			
Feldfrucht	%	Feldfrucht	%
Weizen	73	Sonnenblume	77
Gerste	69	Andere Ölsaaten	82
Roggen	76	Kartoffel	70
Hafer	85	Zuckerrübe	74
Mais	89	Feldfutter	86
Sojabohne	92	Alle anderen Acker	80
Ackerbohne	92	Grünland ¹	100
Körnererbse	85		

¹ Ertragsrückgang durch geringe Mengen an Wirtschaftsdünger werden in einem eigenen Schritt bewertet

- b. **Kompensation des importierten Proteins:** Im Zusammenhang mit den lokalen Wachstumsbedingungen und der Kulturtechnik der biologischen Landwirtschaft können Winterungen im Getreideanbau leichter und mit weniger Ausfallsrisiko angebaut werden als Öl- und Eiweißfrüchte, die als Sommerung in die warme Jahreszeit gepflanzt werden. Zusätzlich kann die Züchtung gut angepasste Getreidesorten liefern. Aus dem Anteil an Viehfutter, der in der Getreideernte enthalten ist, lässt sich über den Umweg der Ethanol-Produktion eiweißreiches Ergänzungsfutter für Schweine und Geflügel erzeugen. Die im Jahr 2010 importierte Menge von rund 600.000 Tonnen Soja muss nicht vollständig ergänzt werden, da der Ertragsrückgang im Getreide- und Maisanbau die Populationsgröße nach unten drücken wird. Für 300.000 Tonnen Schlempe müssen rund 970.000 Tonnen inländisches Bio-Getreide verarbeitet werden. Diese Menge bindet rund 186.000 ha an Getreideanbaufläche, das sind 40 % der verfügbaren Fläche für den Anbau von Futtergetreide.
- c. **Andere Einflüsse:** Alle nicht direkt mit der biologischen Landwirtschaft in Verbindung stehenden Einflüsse aus dem Szenario Lineare Fortschreibung werden übernommen.

Tabelle 17: Parameter des Nahrungsangebotes „Biologische Landwirtschaft“

Aspekte	Flächenaspekte	Ertragsaspekte
Ertragsrückgang biologische Landwirtschaft	Tabelle 16	
Sinkender Getreideertrag in Trockenlagen		Ertrag sinkt um -7 %
Steigender Grünlandertrag über 400 Meter		Ertrag steigt zwischen +3 und +20 %
Aufgabe extensiven Grünlandes	68.000 ha	
Versiegelung landwirtschaftlicher Flächen	95.000 ha	
Rohstoffe für Biodiesel und Ethanol	186.000 ha	
Weniger Futter für die Tierproduktion		Summe aller Effekte: -22,3 %

4.4.1.2 Nachfrage an Nahrung durch eine gesundheitsbewusste Bevölkerung

Die Populationsgröße bis zum Jahr 2050 wurde mit 9,634 Millionen Menschen bereits definiert, der Anspruch auf Nahrung wird ausgehend von der Ist-Situation um 14 % auf die Ebenen der Empfehlungen des Energiebedarfes der FAO gesenkt.

4.4.1.3 Energiewende

4.4.1.3.1 Nahrungsangebot im Konkurrenzkampf mit der erneuerbaren Energie

Aufbauend auf dem Szenario *Lineare Fortschreibung* betrifft das Szenario der Energiewende zuerst die Landwirtschaft mit ihrer energetischen Vorleistung für die Bereitstellung von Lebensmitteln. Bedeutendster Energieverbraucher in der Landwirtschaft ist der Kraftstoffbedarf der landwirtschaftlichen Maschinen. 2010 wurden nach eigenen Berechnungen der AGS in der Landwirtschaft rund 200.000 Tonnen an Dieselmotorkraftstoff verbraucht. Im Jahr 2006 wurde in einer von eigenen Arbeiten unabhängigen Quelle ein Bedarf von 248.000 t festgestellt (Moitzi, 2006). Weiter verbraucht die Landwirtschaft im Bereich der Milchproduktion noch größere Mengen an Strom für die Innenmechanisierung und Kühlung von Produkten. Die Fleischproduktion mit

Schweinen und Geflügel benötigt in den Wintermonaten zusätzliche Wärme. Die Landwirtschaft ist der einzige wirtschaftliche Sektor, der seine Energie selbst herstellen kann. Im Szenario der Energiewende werden alle Produktionssysteme im Dauergrünland vollständig auf Weidewirtschaft umgestellt. Der Ackerbau wendet verbreitet das Konzept der Minimalbodenbearbeitung an. Beide Systeme werden durch technische Innovationen verbessert. Unter diesen Annahmen scheint eine Halbierung des Kraftstoffbedarfes in den Bereich des Möglichen zu rücken, und die Landwirtschaft benötigt nur mehr rund 100.000 Tonnen an Kraftstoff pro Jahr.

Neben den eigenen Ansprüchen werden im Szenario der Energiewende die Ansprüche der Biomassestrategie 2030 unterstellt und im Bereich von Bio-Ethanol weit übertroffen. Die Entnahmemenge von Futtergetreide und Mais zur Erzeugung von Bio-Ethanol wird auf 330.000 ha ausgeweitet. Durch eine Optimierung des Verfahrens können rund 0,88 Millionen Tonnen Ethanol erzeugt werden, das sind 10,23 % des gegenwärtigen Kraftstoffbedarfes. Das Verfahren liefert aber auch rund 0,55 Millionen Tonnen Eiweißfutter und ergänzt so die verbliebene 1 Million Tonnen an Futtergetreide als Grundlage für die Tierernährung. Die nun sehr eiweißhaltige Futtermischung wird nicht mehr an Wiederkäuer verfüttert, sondern mit einer kleineren nationalen Herde an Schweinen und Geflügel verwertet. Zusätzlich werden 8,4 % der Ackerfläche für Energiepflanzen verwendet.

Eine vollständige Umstellung auf biologische Landwirtschaft wird nicht vorgenommen, da zumindest der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) nach der Energiewende notwendig sein wird. Die PSM sichert rund 7-12 % des sonst zu akzeptierenden Ertragsrückganges. Die negative Energiebilanz der Prozesskette Erdgasnutzung → Haber-Bosch-Verfahren → N-Dünger → Ertrag Ackerbau → Ethanol → Mobilität führt dazu, dass Handelsdünger nur mehr in Qualitätsbereichen eingesetzt wird. Die Herstellung der PSM selbst ist wenig energieaufwändig. Die Parametrisierung wird nicht weiter besprochen, da sie aus den beiden vorhergehenden Szenarien abgeleitet werden kann. Da die Nahrung knapp wird und mit steigenden Preisen zu rechnen ist, werden keine Restflächen aufgelassen, und es erfolgt keine Umstellung von Milch auf Rindfleischproduktion.

Tabelle 18: Parameter des Nahrungsangebotes „Energiewende“

Aspekte	Flächenaspekte	Ertragsaspekte
Ertragsrückgang Handelsdünger	Tabelle 16 / 2	
Sinkender Getreideertrag in Trockenlagen		Ertrag sinkt um 7 %
Steigender Grünlandertrag über 400 Meter		Ertrag steigt zwischen 3 und 20 %
Versiegelung landwirtschaftlicher Flächen	95.000 ha	
Kurzumtrieb und Miscanthusflächen	45.000 ha	
Silomais für die Biogasproduktion	70.000 ha	
Rohstoffe für Bio-Ethanol	330.000 ha	
Weniger Futter für die Tierproduktion		Summe aller Effekte: -30,03 %

4.4.1.3.2 Nachfrage an Nahrung durch eine gesundheitsbewusste Bevölkerung

Die Nachfragegrößen des Szenarios *Biologische Landwirtschaft* werden übernommen.

4.4.2 Wärme, Kraft-Licht und Mobilität im regionalen Testgebiet

Der nationale Ansatz der Nahrungsbereitstellung beruht auf einer maximal möglichen Kenntnis der bedeutendsten Eckpfeiler der Landwirtschaft. Unsicherheiten entstehen aber schon aufgrund der großen natürlichen Unterschiede über das gesamte Bundesgebiet. Einfacher ist eine Simulation im klimatisch homogenen regionalen Testgebiet. Auf kleinen Räumen können einfache Veränderungsfunktionen für den Ertrag als Folge eines wärmeren Klimas leichter akzeptiert werden. Der entscheidende Vorteil in kleinen Strukturen ist aber, dass der größere Teil an Daten auf tatsächlichen Erhebungen beruht und funktionale Modelle nur dann verwendet werden müssen, wenn keine Daten verfügbar sind. Die Akquise von Daten im regionalen Testgebiet ist gut gelungen. Der Grund dafür ist die hohe regionale Akzeptanz der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, die ihren Sitz in der Region hat. Die auf der regionalen Ebene simulierte Veränderung der klassischen Energieträger Wärme, Kraft-Licht und Mobilität benötigt zusätzlich viel Information von den lokalen Gewerbebetrieben. Auch hier waren die guten persönlichen Kontakte aus der Vergangenheit nützlich.

4.4.2.1 Lineare Fortschreibung

Die einfachere Prognose einer linearen Fortschreibung darf davon ausgehen, dass das Testgebiet weiterhin mit den externen fossilen Energieströmen verbunden bleibt und der Markt alle Lücken schließt, die regional nicht bedeckt werden können. Eine Verbesserung des Autarkiegrades ist nicht zwingend notwendig, ein ökologischer Zugewinn in der Region jedoch schon. Die Analysen im Kapitel 2 zu den Simulationsgrößen der klassischen Energieträger empfehlen wenig ambitionierte Veränderungsraten. Der jährliche Verbrauch stieg in den vergangenen Jahren mit einzelnen Ausreißern immer zwischen 1-3 %. Der Ausbau der erneuerbaren Energie stagniert derzeit. In sicherer Erwartung der Energiewende – ungeachtet des Eintrittszeitpunktes – wird das Szenario der linearen Fortschreibung im regionalen Testgebiet so definiert, dass in vielen Bereichen zumindest die Hälfte der notwendigen Wirkung einer finalen Energiewende erreicht werden kann. Der Ansatz orientiert sich dabei auch an der europäischen Energiepolitik (SN 79/14/EC, 2014), die im Gesamtenergiemix einen Anteil von 27 % erneuerbarer Energie bis 2030 vorgesehen hat. Allerdings wird der Anteil erneuerbarer Energie im Szenario lineare Fortschreibung deutlich übertroffen.

4.4.2.1.1 Angebot an Biomasse und Strom aus der Region

Wie bei den Grünlandflächen darf auch im forstlichen Bereich des Testgebietes eine Verbesserung des Ertrages erwartet werden. Ausgehend vom tiefsten Punkt im Gebiet, dieser liegt bei 630 Meter Seehöhe, wird bis zur Obergrenze des Wirtschaftsgrünlandes bei 1.200 Meter die bereits dargestellte Formel $y = 88.0 + 0.028 \times \text{Seehöhe (m)}$ verwendet und ebenso wie bei der Nahrungsmodellierung nur mit 50 % der Wirkung veranschlagt. Darüber hinaus wird bis zur derzeitigen Waldgrenze – diese liegt bei rund 1.900 Meter Seehöhe – der Ertragszuwachs mit $y = 57.0 - 0.03 \times \text{Seehöhe (m)}$ abnehmend bewertet. In der linearen Fortschreibung werden weder der Wald in Schutzfunktion noch der Nutzungswille der Kleinwaldbesitzer oder der Anteil an

Energieholz angehoben. Im Bereich der Stromproduktion mit Wasserkraftwerken wird bis zum Jahr 2050 eine zusätzliche Aufbringung von 5 % berücksichtigt. Der Energiezuwachs stammt aus der technischen Erneuerung von Anlagen (Repowering). Der Strom aus Photovoltaikanlagen hat in der Region noch geringe Bedeutung. Rund 1,2 % der Gebäude verfügen über eine kleine Anlage mit Leistungen bis 4kWp. Einzelne größere Anlagen ergänzen das Angebot. Der nationale Zuwachs an Anlagen wird, wie in 2.2 dargestellt, mit 3 % angenommen. Ausgehend von einer aktuellen Leistung von rund 3.000 kWp wird die installierte Leistung im Jahr 2050 rund 8.200 kWp erreichen. Dies bedeutet die Lieferleistung von 8,2 Millionen kWh an Strom und entspricht einem größeren regionalen Wasserkraftwerk. Ähnliches gilt für die Nutzung der thermischen Solaranlagen. Deren Verbreitung ist mit 12 % deutlich größer, und solche Anlagen sind auf jedem 8. Wohnhaus zu finden. Die aktuelle Leistung könnte dem technischen Fortschritt folgend pro Jahr mit 3,7 % wachsen. Angenommen wird eine Entwicklung, die bis zur Erreichung des Zieljahres so günstig ist, dass die Hälfte der Wohngebäude über eine thermische Solaranlage verfügt und so in der Sommerzeit rund 30 % des Jahresbedarfs an Warmwasser erwärmt.

Tabelle 19: Parameter des regionalen Energieangebots „Lineare Fortschreibung“ bis 2050

Aspekt	Veränderung zur Ist-Situation
Forstliche Biomasse	0 - 10 % an standortangepasste Steigerung des Zuwachses in Folge eines wärmeren Klimas. Noch keine Schäden durch Trockenheit im regionalen Testgebiet.
Strom aus Wasserkraft	5 % Steigerung des Stromangebots aus Wasserkraft durch eine Modernisierung einzelner Anlagen.
Strom aus PV	Ausbau der Photovoltaikanlagen auf 8.200 kW-Peak.
Solarthermie	30 % des gesamten Warmwasserbedarfes – das ist die Hälfte des maximal möglichen Anteils – wird mit thermischen Solaranlagen erzeugt.
Windkraft	-

4.4.2.1.2 Nachfrage nach Wärme, Strom und Mobilität in der Region

Die Reduktion der Energiefrage bis zum Jahr 2050 im regionalen Testgebiet folgt grundsätzlich den Simulationsangaben des technischen Fortschrittes. Die in Tabelle 20 dargestellten Einsparungsmaßnahmen gehen in einigen Bereichen aber darüber hinaus und formulieren die 0,5 % Regel: Eine ambitionierte regionale Energiepolitik erreicht jährlich 0,5 % an effektiver Energieeinsparung im Wärme- und Stromverbrauch der privaten Haushalte und im Gewerbe. Der Mobilitätsbedarf sinkt um 0,75 %, eine erste Verschiebung zur E-Mobilität findet statt. Neben dem individuellen Verbrauch muss für die regionale Bewertung auch die Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt werden. Tabelle 21 zeigt, dass die Bevölkerung in allen Regionen bis zum Jahr 2001 gewachsen ist. Dieser Trend konnte durch die gute wirtschaftliche Entwicklung des Tourismus in den beiden westlichen Regionen beibehalten werden. Die beiden anderen Regionen folgen dem Trend eines langsamen Bevölkerungsrückganges in den ländlichen Regionen der Steiermark. Die Abnahme findet nicht in den zentralen Orten statt – diese wachsen eher – sondern geschieht durch eine Entvölkerung der abgelegenen Gebirgstäler. Die Landesstatistik Steiermark prognostiziert für

den gesamten Bezirk einen Rückgang der Bevölkerung von rund 6 % (Landesstatistik Steiermark, 2010). Diese Annahme wird stark durch den östlichen Teil des Bezirkes geprägt. Für das regionale Testgebiet wird bis zum Jahr 2050 eine konstante Wohnbevölkerung von rund 49.000 Einwohnern unterstellt.

Tabelle 20: Parameter der regionalen Energienachfrage „Lineare Fortschreibung“

Aspekt	Veränderung zur Ist-Situation
Gewerbestructur	Schließung von zwei regionalen Unternehmen der Baustoffindustrie
Heizwärme	Beginnend mit Gebäuden mit hohem Heizwärmebedarf wird jährlich 1 % der Gebäude so saniert, dass die Einwohner dieser Gebäude zukünftig nur mehr 58 % an Energie benötigen. Bis zum Jahr 2050 wird so der Heizwärmebedarf des Gesamtgebäudebestandes um 17,5 % gesenkt. Das entspricht einer Netto-reduktion von 0,5 % pro Jahr. Eine erste Verschiebung bei den Heizsystemen führt dazu, dass 20 % der verbleibenden Heizungen auf fossiler Basis auf leistungsfähige Wärmepumpen mit einer Arbeitszahl von 5 umgestellt werden.
Warmwasser	Der Warmwasserbedarf wird jährlich um 0,5 % gesenkt.
Kraft/Licht	Der Strombedarf in privaten Haushalten und Gewerbe für die derzeit anfallenden Aufgaben im Bereich Kraft/Licht wird um 0,5 % pro Jahr gesenkt.
Mobilität	Der Mobilitätsbedarf sinkt um 20 % an gefahrenen Kilometern, insgesamt um 25 % durch effizientere Fahrzeuge. 30 % der verbleibenden Kilometerleistung werden bereits durch E-Mobilität abgedeckt. Der Bedarf an öffentlicher Mobilität steigt leicht an.

Tabelle 21: Bevölkerungsentwicklung im regionalen Testgebiet

Kleinregion	1981	1991	2001	2010
Schladming	11.380	12.166	13.203	13.167
Gröbming	8.560	8.894	9.176	9.437
Enns-Grimming-Land	13.196	13.722	13.944	13.700
Ausseerland-Salzkammergut	12.770	12.991	13.252	12.808
Summe	45.906	47.773	49.575	49.112

4.4.2.3 Energiewende

4.4.2.3.1 Angebot an Biomasse und Strom aus der Region

Aufbauend auf den Angebotsaspekten der linearen Fortschreibung aus Tabelle 19 benötigt eine Energiewende weiterführende Maßnahmen und tiefere Eingriffe im Bereich der regionalen Bereitstellung von Biomasse sowie höchste Investitionsbereitschaft durch die privaten Haushalte und Gewerbebetriebe. Eine möglichst lokale Investorengruppe errichtet einen Windpark. Die Stellgrößen für die einzelnen Aspekte im Szenario Energiewende werden in Tabelle 22 aufgelistet.

Tabelle 22: Parameter des regionalen Energieangebots „Energiewende“

Aspekt	Veränderung zur Ist-Situation
Forstliche Biomasse	0 – 10 % standortangepasste Steigerung des Zuwachses in Folge eines wärmeren Klimas, Anhebung des Nutzungsanteils von Schutzwäldern von 20 auf 25 %, Steigerung des Nutzungswillens im Kleinwald von 60 auf 100 %.
Strom aus Wasserkraft	+ 10 % durch Repowering und neue Anlagen
Strom aus PV	25 % der Haushalte erzeugen Strom in Kleinanlagen bis 4 kWp. In Summe wurden 16.000 kWp installiert.
Solarthermie	60 % des gesamten Warmwasserbedarfes – das ist der maximal mögliche Anteil – wird mit thermischen Solaranlagen erzeugt.
Windkraft	Am Dachsteinplateau wird ein Windpark mit einer Jahresleistung von 150 Millionen kWh errichtet.

4.4.2.3.2 Nachfrage nach Wärme und Strom in der Region

Die Einsparung im Szenario der linearen Fortschreibung folgt einer ambitionierten technischen Entwicklung. Der gesellschaftlichen Haltung einer Modernisierung steht die Gesellschaft bewiesenermaßen offen gegenüber, zumindest dann, wenn sie bei den Investitionen durch langfristige Finanzierungszeiträume ökonomisch folgen kann. Das Szenario der Energiewende ist deutlich unangenehmer, da es von den privaten Haushalten und den Gewerbebetrieben Folgendes fordert: Realisierung einer jährlichen Einsparung an Wärme und Strom von 1 %. Reduktion der individuellen Mobilität um 1,5 % pro Jahr.

Selbstverständlich müssen Modernisierungsmaßnahmen große Teile der praktischen Einsparungen auslösen, aber das Ziel kann nicht ohne einen Paradigmenwechsel in der gesellschaftlichen Grundhaltung erreicht werden. Es gilt nun, tatsächlichen Verzicht zu leisten und den vordergründig negativen Effekt der Ressourcenreduktion in eine positive Werthaltung zu wandeln. Das ist möglich, benötigt aber neue Denkschemen, die von der Gesellschaft erst erworben werden müssen.

Die Verdoppelung der Sanierungsrate von Wohn- und Gewerbegebäuden benötigt einen intensiven Beratungs- und Dienstleistungsschub, die Reduktion des Warmwasserverbrauches, die Senkung des Strombedarfes, vor allem aber der Verzicht auf individuelle Mobilität sind ohne hohe Motivation nicht zu realisieren.

Tabelle 23: Parameter der regionalen Energienachfrage „Energiewende“

Aspekt	Veränderung zur Ist-Situation
Gewerbestructur	Schließung von zwei regionalen Unternehmen der Baustoffindustrie
Heizwärme	Beginnend mit Gebäuden mit hohem Heizwärmebedarf werden jährlich 2 % der Gebäude so saniert, dass die Einwohner dieser Gebäude zukünftig nur mehr 58 % an Energie benötigen. Bis zum Jahr 2050 wird so der Heizwärmebedarf des Gesamtgebäudebestandes um 33 % gesenkt. Das entspricht einer Reduktion von 1 % pro Jahr
Warmwasser	Der Warmwasserbedarf wird jährlich um 1 % gesenkt.
Kraft/Licht	Der Strombedarf in privaten Haushalten und Gewerbe für die derzeit anfallenden Aufgaben im Bereich Kraft/Licht wird um 1 % gesenkt
Mobilität	Der individuelle Mobilitätsbedarf sinkt um 40 % an gefahrenen Kilometern, insgesamt um 50 % durch effizientere Fahrzeuge. 20 % der Restmobilität kann mit Bio-Ethanol auf der Basis von Verbrennungsmotoren erfüllt werden, der Rest ist über alternative Konzepte (E-Mobilität) zu lösen. Die jährliche Reduktion beträgt 1,5 %.

5 Ergebnisse

„Prognosen sind schwierig, besonders wenn sie die Zukunft betreffen.“ (Karl Valentin 1882–1948)

Das Kapitel 2, die Darstellung der Methoden, wurde mit hohem Aufwand entwickelt. Die konzentrierte Haltung wurde im Kapitel 3, der Formulierung von Simulationsgrößen, gelockert. Unfähig, eine verlässliche Zukunftsprognose zu geben, beziehen die gewählten Simulationsparameter und deren Größen das Wissen der Vergangenheit und zukünftig mögliche Entwicklungen mit ein. Die Unsicherheiten sind so hoch, dass sie nicht sinnvoll bewertet werden können. Trotzdem, wenn wir nicht einmal eine Vorstellung davon haben, wohin wir gehen, werden wir nirgendwo ankommen. In der Präsentation der Ergebnisse sollte deshalb der Konjunktiv der ständige Begleiter des Lesers sein. Darauf wird verzichtet, weil die Ergebnisse im Rahmen der Definition von Simulationsparametern stimmig sind und die fachlichen Grundmodelle dem aktuellen Stand des Wissens entsprechen. Um die Ergebnisse richtig einzuordnen, sollte deshalb – wenn nicht ohnehin bereits geschehen – zumindest Kapitel 3 mit seinen Simulationsgrößen gelesen werden. Dann kann davon ausgegangen werden, dass das notwendige Verständnis über die Einordnung der Ergebnisse erarbeitet wurde. Noch ein Hinweis zu Schluss: Karten und Diagramme im Ergebnisteil wurden oft bewusst klein gehalten, da die wesentlichen Aspekte auch so erkennbar sind. Großformatige Abbildungen wurden im Anhang beigelegt.

5.1 Szenarien zur Nahrungsversorgung in Österreich

5.1.1 Das gegenwärtige Nahrungsangebot

Die Bewertung des lokalen Nahrungsangebotes von Österreich entsteht durch die Koppelung zwischen dem statistischen Datenbestand des pro Kopf-Verbrauches (BMLFUW, 2012, Wildling, 2015a, 2015b) und dem landwirtschaftlichen Fachmodell der AGS. Dieses liefert sowohl im pflanzlichen, als auch im tierischen Bereich eine sehr hohe Auflösung über die angebauten Feldfrüchte und deren weiterer Verwendung auf dem eigenen Betrieb oder auf den Märkten. Manche Nahrungsquellen (Fisch, Honig, Reis, tierische Fette und Bier) werden von der AGS vorerst allerdings gar nicht berücksichtigt, und müssen später eingearbeitet werden. Tabelle 24 zeigt, dass sich beide Datenquellen in vielen Bereichen nahezu fehlerlos verbinden lassen. Diese Erkenntnis kann aus der Gegenüberstellung der Werte in der Spalte *Statistik Austria, Gesamtertrag* mit der Spalte *Gesamtertrag AGS* gewonnen werden. Eine größere Abweichung kann bei der Ernte von Brotgetreide erkannt werden. Das liegt einerseits an der Zuordnung von Getreidearten zum Brotgetreide und zum anderen an einer bekannten Lücke im Datenbestand. Die Akzeptanz der Vollständigkeit impliziert die Akzeptanz der Simulationsergebnisse. Die für die Simulation tatsächlich verwendeten räumlichen Daten des Nahrungsangebotes werden aus den Teilmodellen der AGS abgeleitet. Für ein vollständiges Nahrungsangebot ist dieses Ergebnis aber um die Informationen für Import und Export zu erweitern. Für Brot- und Futtergetreide, Ölsaaten und Hülsenfrüchte ergibt sich ein zusätzlicher Markt für Futtergetreide und Verluste. Die Angaben zu Verlusten haben hier aber nichts mit den produktionsbedingten Feld- und Stallverlusten in der

landwirtschaftlichen Produktion gemeinsam, sondern drücken vor allem Verluste in der Produktion aus.

Tabelle 24: Nahrungsquellen und deren Verwertungsströme als Mengen

Nahrungs- -quelle	Ein- -heit	Statistik Austria		Datenströme GGS + Statistik Austria				Ertragsanteil Futtermittel /Verluste
		Gesamt- ertrag	Nach- frage	Gesamt- ertrag AGS	Direkt	Import	Export	
Brot- getreide	t	1.707.009	626.287	1.491.552	620.859	5.429		870.694
Futter- getreide	t	3.437.142	120.913	3.425.509	126.744			3.292.935
Ölsaaten und Öle	t	492.438	69.180	570.149	25.884	43.296		544.265
Obst	t	504.971	504.971	320.420	320.420	184.551		
Gemüse und Kartoffel	t	1.312.623	1.311.205	1.115.459	1.115.459	195.746		
Hülsen- früchte	t	54.667	4.202	62.725	3.597	605		59.127
Zucker	t	426.734	309.757	465.519	310.035		155.483	
Wein	t	266.402	266.402	234.131	234.131	32.272		
Milch	t	3.285.914	2.639.437	3.282.881	2.639.437		643.445	
Fleisch	t	925.407	836.654	925.407	836.654		88.753	
Tierisches Fett	t	107.356	60.747		60.747		46.609	
Fisch	t	3.300	61.040		3.300	57.740		
Honig	t	5.000	9.892		5.000	4.892		
Bier	t	884.633	884.633		884.633			
Reis	t		36.300			36.300		
Gesamt- summe	t	13.413.596	7.741.621	11.893.751	7.186.899	560.830	934.290	4.767.021

Die einzelnen Nahrungsquellen in Tabelle 24 werden in ihrer physikalischen Existenzform in der Gewichtseinheit Tonne angegeben. Diese Angaben sind für die Bewertung der Ernährungssituation noch wenig geeignet, da die unterschiedlichen Produkte verschiedene Anteile an Wasser aufweisen. Alle Getreidearten, Ölsaaten, Hülsenfrüchte und Zucker sind so trocken, dass sie langfristig lagerfähig sind. Flüssigkeiten wie Milch, Bier und Wein, aber auch frisches Obst und Gemüse haben einen extrem hohen Wassergehalt. Auch Fleisch und Fisch haben noch einen hohen Anteil an Wasser in sich. Auf der Ebene der frischen Nahrungsmittel verzehrt jeder Österreicher pro Tag

rund 2,5 kg frische Nahrung, wobei der Nährwert wegen des unterschiedlichen Wassergehaltes nicht bewertet werden kann. Alle Simulationsansätze werden deshalb nicht über das Gewicht der Nahrung durchgeführt, sondern über den Nährwert. Dieser wird einmal als verdauliche Nahrungsenergie (VE) und einmal als werthaltiges Protein (XP_W) ausgedrückt. Die für die Bewertung notwendigen Nährstoffkonzentrationen können der Tabelle 25 entnommen werden. Für die Bewertung wurden dabei die Mengenanteile unterschiedlicher Teilkomponenten berücksichtigt. Die Nahrungsquelle *Gemüse und Kartoffel* wird beispielsweise stark von den Kartoffeln beherrscht, während in der Klasse *Fleisch* das Rindfleisch stark dominiert. Zur Bewertung der Wertigkeit von Nahrungsprotein wurden das Grundsatzpapier der FAO und einige weiterer Quellen herangezogen. Wie bereits im Kapitel 2 bei der Methodik zur Bewertung des humanen Proteinbedarfes angeführt, sollte die Bewertung eigentlich über die Zusammensetzung des Aminosäuremusters in der Nahrung geführt werden. Wie sich zeigen wird, stellt aber die Proteinversorgung derzeit keinen limitierenden Faktor dar, weshalb auch die Approximation über die Faktoren akzeptiert werden kann.

Tabelle 25: Nährstoffgehalte einzelner Nahrungsquellen

Nahrungsquelle	Verdauliche Nahrungsenergie	Protein- gehalt	Wertigkeit des XP	Werthaltiges Protein
	VE _{MJ} /kg	XP g/kg	%	XP _W g/kg
Brotgetreide	12,7	68,0	0,7	44,2
Futtergetreide	13,3	25,9	0,7	16,8
Ölsaaten und Öle	22,2	80,6	0,5	40,3
Obst	2,3	4,0	0,5	2,0
Gemüse und Kartoffel	1,5	20,0	0,5	1,0
Hülsenfrüchte	11,0	50,0	0,5	22,5
Zucker	17,0			
Wein	2,8			
Milch	2,0	38,0	0,9	33,4
Fleisch	8,5	207,0	0,9	190,4
Tierisches Fett	33,0			
Fisch	8,5	250,0	0,9	230,0
Honig	12,8			
Bier	1,9			
Reis	5,0	6,8	0,7	4,4

Für die Darstellung des Nahrungsangebotes aus der österreichischen Landwirtschaft und den angeschlossenen Märkten wird die Bewertung auf der Ebene der verdaulichen Nahrungsenergie verwendet. Die Eingangsdaten entstehen durch die Multiplikation der Mengen aus Tabelle 24 mit den Nährstoffgehalten aus Tabelle 25. Im Vergleich der beiden Mengentabellen kann nun beobachtet werden, wie Stoffgruppen mit höherer Energiedichte an Bedeutung gewinnen. Fast immer wird die Verschiebung durch den Wassergehalt ausgelöst, manchmal spielt aber die Stoffdichte eine große Rolle. Milch etwa bestimmt das Mengengerüst zu 34 %, das Energieangebot aber nur mehr zu 14 %. Umgekehrt bestimmen tierische Fette das Mengengerüst zu 0,8 %, das Energieangebot aber zu 5,4 %. Als Angebotspartner der folgenden räumlichen Simulation kann nur

jener Anteil der Nahrungsenergie der Spalte *Nahrung, Direkt* auftreten, der auch im System AGS bearbeitet und in Folge auch räumlich aufbereitet wurde. Auf der energetischen Ebene der verdaulichen Nahrungsenergie VE hält diese Spalte 89,2 % der gesamten Nachfrage. 10,8 % befinden sich vorerst nicht im räumlich verorteten Angebot. In einem Zwischenschritt zwischen landwirtschaftlicher und räumlicher Modellierung wurde diese Nahrungsenergie aber aliquot über die bestehenden Angebote im Bundesgebiet verteilt. Die Simulation kann also auf vollständige Angebotsdaten in der Höhe von 34,5 PJ VE zugreifen. Die Differenz von 6,3 % zum Pro-Kopf-Bedarf der Statistik Austria wurde nachfrageseitig abgezogen.

Tabelle 26: Nahrungsquellen und deren Verwertungsströme als verdauliche Nahrungsenergie

Nahrungs- -quelle	Ein- -heit	Statistik Austria		Datenströme GGS + Statistik Austria				Ertragsanteil Futtermittel /Verluste
		Gesamt- ertrag	Nach- frage	Gesamt- ertrag AGS	Direkt	Import	Export	
Brot- getreide	TJ _{VE}	21.679	7.954	18.943	7.885	69		11.058
Futter- getreide	TJ _{VE}	45.542	1.602	45.388	1.679			43.631
Ölsaaten und Öle	TJ _{VE}	10.937	1.536	12.662	575	962		12.088
Obst	TJ _{VE}	1.161	1.161	737	737	424		
Gemüse und Kartoffel	TJ _{VE}	1.969	1.967	1.673	1.673	294		
Hülsen- früchte	TJ _{VE}	601	46	690	40	7		650
Zucker	TJ _{VE}	7.254	5.266	7.914	5.271		2.643	
Wein	TJ _{VE}	738	738	649	649	89		
Milch	TJ _{VE}	6.440	5.173	6.434	5.173		1.261	
Fleisch	TJ _{VE}	7.866	7.112	7.866	7.112		754	
Tierisches Fett	TJ _{VE}	3.543	2.005		2.005		1.538	
Fisch	TJ _{VE}	28	519		28	491		
Honig	TJ _{VE}	64	127		64	63		
Bier	TJ _{VE}	1.637	1.637		1.637			
Reis	TJ _{VE}		36			182		
Gesamt- summe	TJ _{VE}	109.459	36.878	102.956	34.526	2.580	6.197	67.427

Wenn das Angebot für menschliche Nahrung aus Tabelle 26 in einfache Klassen zusammengefasst und mit dem Gesamtangebot normiert wird, entsteht ein deutliches Bild der nationalen Ernährung. Bezüglich des Angebotes an verdaulicher Nahrungsenergie VE liefern alle Arten von pflanzlichen Samen und deren Nährstoffe 37,8 % der verdaulichen Nahrungsenergie. Ergänzt durch Zucker und Alkohol – Honig darf ausnahmsweise auch als eher pflanzlichen Ursprungs gesehen werden – erreicht die nicht tierische Nahrung einen Anteil von 59,8 %. Das Energieangebot aus tierischen Quellen wird zu 2/3 durch das Angebot an Fleisch, Fisch und von tierischen Fetten dominiert. Völlig anders zeigt sich das Bild bei der Analyse des werthaltigen Nahrungsproteins XP_W . Nur 11,8 % des Gesamtangebotes an XP_W kommen aus dem pflanzlichen Sektor. Es ist vor allem das Fleischangebot, das mit einem Anteil von 58,4 % das Angebot von XP_W in Österreich dominiert. 29,8 % an XP_W werden von der Milchproduktion geliefert. Eine ernährungsphysiologische Zerlegung von Fleisch auf einzelne Tierarten wurde hier nicht durchgeführt, erfreut sich im Marketingbereich der Fleischindustrie aber höchster Beliebtheit.

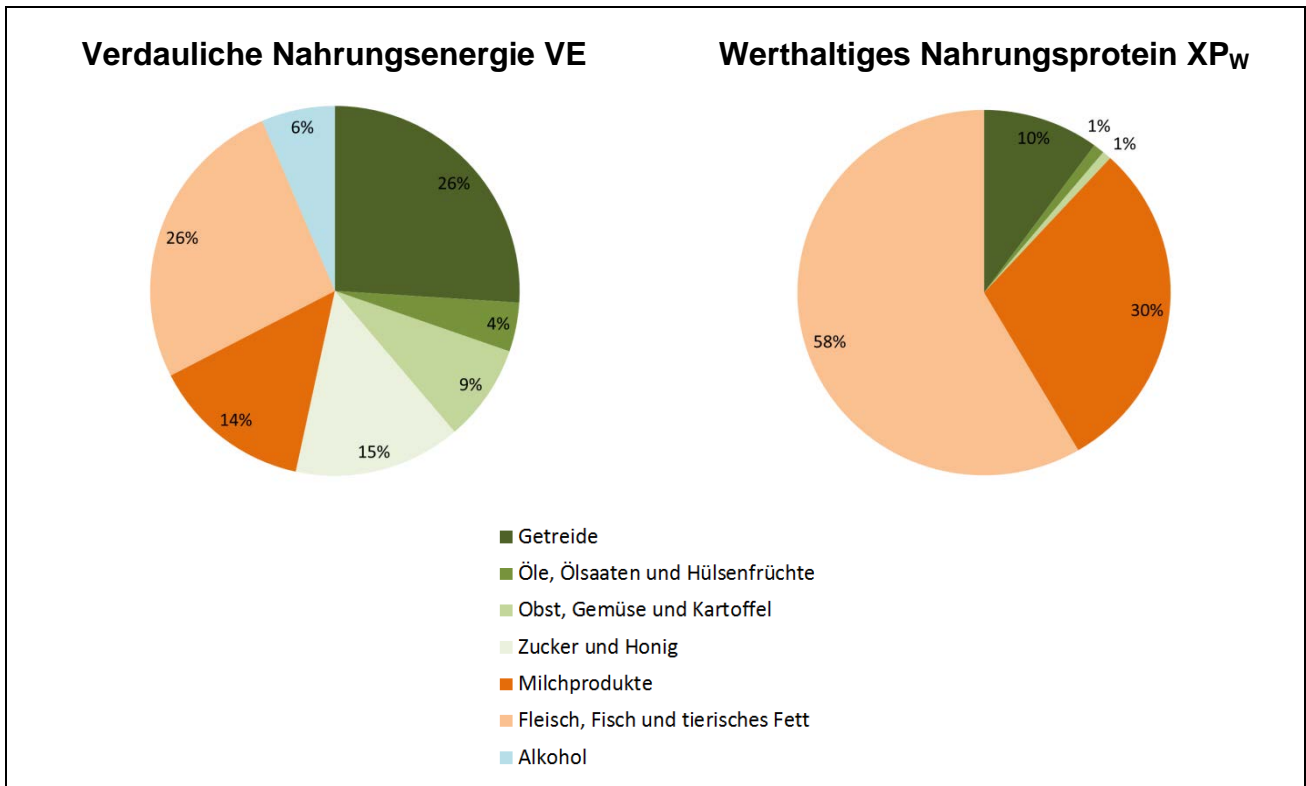


Abbildung 85: Verteilung des nationalen Nährstoffangebotes in den Nahrungsklassen

Neben der Komposition des Nahrungsangebotes in unterschiedlichen Klassen lässt sich auch die räumliche Verteilung bestimmen. Entscheidend für das lokale Angebot sind die Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Flächen, die natürliche Fruchtbarkeit des Standortes und die Managemententscheidungen der Betriebe in der Tierhaltung. Abbildung 86 zeigt die Verteilung des gesamten Nahrungsangebotes in Österreich als verdauliche Nahrungsenergie in GJ innerhalb der 1 km² großen OTUs. Die Menge ist als Fracht und nicht als Konzentration zu verstehen, was ganz deutlich am Verlauf der Donau durch das an sich sehr fruchtbare, nord-östliche Flach- und Hügelland zu sehen ist. Die Donau hat in diesem Bereich eine Breite erreicht, die auch bei einer

Zellauflösung von 1 km dazu führt, dass lokal nur mehr die Uferflächen bewertet werden. Dies führt in den von Wasser dominierten Zellen zu einem geringeren Nahrungsangebot. Ähnliches gilt aber auch in den inneralpinen Tälern. Nur wenn die Täler, wie etwa im Inntal, eine breite Talsohle ausbilden, kann ein Flächenangebot erreicht werden, das mit dem Flachland vergleichbar ist. Die dominanten Gebiete mit geringem Nahrungsangebot im Berggebiet entstehen primär durch Flächenmangel, sind aber natürlich auch Ausdruck der vergleichsweise geringeren Produktionseffizienz der Rinderhaltung im inneralpinen Grünlandgebiet. Eine genaue Auflösung von Produktionsparametern und stofflichen Konzentrationen finden sich im Fachatlas Landwirtschaft (Guggenberger *et al.*, 2012b).

Gemeinsam mit der Zusammensetzung des Nahrungsangebotes zeigt sich deutlich die hohe Bedeutung der Anbauggebiete von Brotgetreide, Zucker, Wein und Obst in Ostösterreich, der Süd- bzw. Oststeiermark und dem Linzer Becken. Ergänzt werden die Regionen, die uns pflanzliche Nahrung liefern, von einigen inneralpinen Gemüse- und regionalen Kartoffelanbaugebieten. Optisch nicht sichtbar werden die Vielzahl an Kartoffeläckern und die kleinen Flecken mit robusten Getreidesorten, die über ganz Österreich verteilt sind. Auch diese Gebiete tragen zur Versorgung mit Nahrungsenergie VE bei. Werthaltiges Protein XP_w wird, wie gezeigt, vor allem über Fleisch und Milch zur Verfügung gestellt. Nahezu invers zur Karte der pflanzlichen Nahrungsenergie stellen das gesamte Grünlandgebiet und die Lagen der Produktion von Futtergetreide tierische Nahrung in Form von Milch und Fleisch zur Verfügung. In günstigen Lagen des Silomaisanbaues im Alpenvorland und den Voralpen, aber auch in den breiteren inneralpinen Tälern, wird der größere Anteil an Milch produziert. Im Getreideanbauggebiet des Rieder Beckens und den steirischen Maisanbaugebieten finden wir ebenso wie im Donautal größere Bestände an Masttieren wie Schweine, Geflügel und Mastrinder. Gemischte Gebiete finden sich im Kärntner Becken.

Die lokale Konzentration der gesamten Nahrungsproduktion – diese wird hier nicht explizit gezeigt - wird durch die Produktions- und Verwertungsverfahren bestimmt. Die Produktion von direkt verwertbarer Nahrung wie Brotgetreide, Gemüse, Wein und Obst ist der Veredelung von Futtergetreide oder der Verwertung des Dauergrünlandes im Bereich der Nahrungsenergie zumindest um das Fünffache überlegen. Zugleich sind die Standorte für die Produktion direkt verwertbarer Nahrung limitiert, und die pflanzenbaulichen Erträge leisten nur einen geringen Anteil zur nationalen Versorgung mit wirksamem Nahrungsprotein. Durch die Bewirtschaftung des gesamten Grünlandes mit Wiederkäuern und die Nutzung von minderwertigen pflanzenbaulichen Produkten als Viehfutter kann aber auch der Bedarf an Nahrungsprotein sichergestellt werden. Die hohe Variabilität der Standorte über den nationalen Höhengradienten und die Existenz unterschiedlichster Klimagebiete tragen zur Sicherung eines breiten Spektrums von Nahrungsmitteln bei.

Dieser Aspekt darf bei der Vorstellung einer nationalen Gesamternährung nicht vernachlässigt werden. In der gesellschaftlichen Diskussion um eine fleischlose Ernährung werden häufig starke emotionale Argumente vorgebracht und die Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere kategorisch abgelehnt. Dies kann für Masttierbestände im Ackerbaugebiet auch logisch nachvollzogen werden.

Die Aufgabe der Haltung von Wiederkäuern im Grünlandgebiet würde indes zu einem vollständigen Wertverlust von 1,4 Millionen ha Agrarfläche führen. Das könnte die Gesellschaft ernährungstechnisch kaum verkraften.

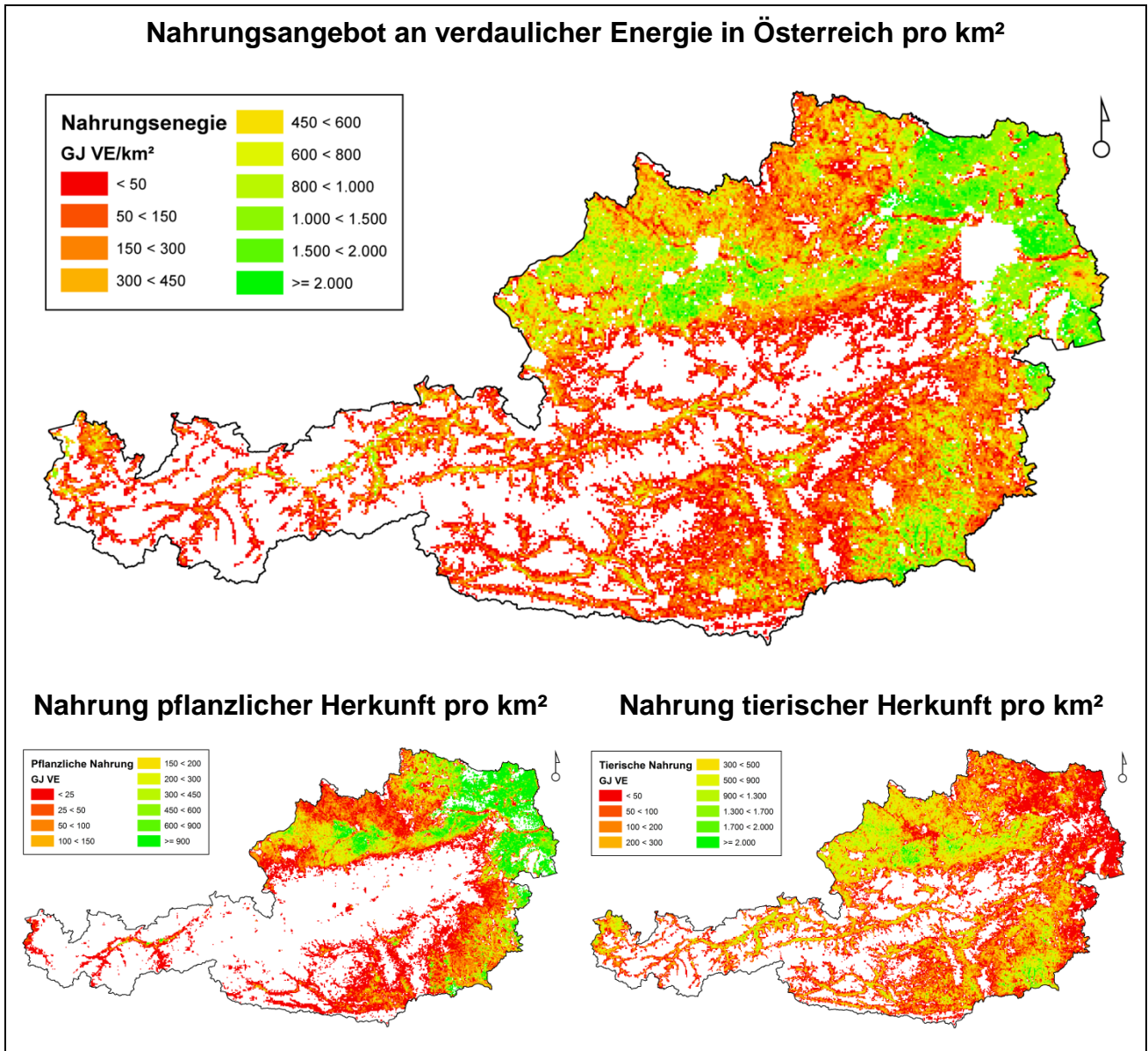


Abbildung 86: Verteilung des Angebotes an verdaulicher Nahrungsenergie in Österreich

5.1.2 Die gegenwärtige Nachfrage nach Nahrung

Die Statistik Austria stellt über ihr Portal data.statistik.gov.at verschiedene Geodatensätze zur Verfügung. Unter Einhaltung der rechtlichen Rahmenbedingungen konnte über diese Quelle ein Datensatz der Einwohner von Österreich mit einer Auflösung von 1 km² bezogen werden (Katzlberger, 2016). Dieser Datensatz wurde, wie alle anderen Geodaten im Projekt, nach den Vorlagen des GGS erstellt und ist vollständig kompatibel. Die Einwohner innerhalb jeder OTU bilden sich im Datensatz aus der Summe männlicher und weiblicher Einwohner. Diese sind jeweils in die drei Altersklassen 0 - 14, 15 - 64 und 65+ unterteilt. Zu berücksichtigen ist, dass die

Unterteilung nur dann durchgeführt wurde, wenn mehr als 30 Personen pro km² gezählt wurden. Da die Anwendung der Bedarfsformeln aus 2.2 an das Lebensalter gebunden ist, wurde für die nicht aufgeteilten OTUs ein Verteilungsschlüssel auf der übergeordneten 10 km² Ebene berechnet und angewandt.

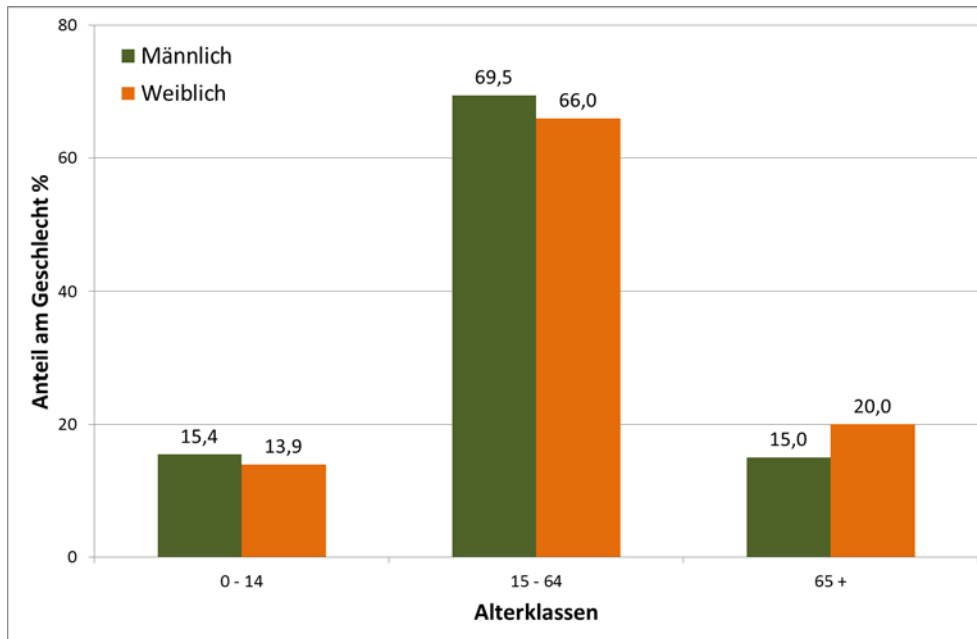


Abbildung 87: Demographische Verteilung der österreichischen Bevölkerung

Mit dem räumlichen Datensatz wurden insgesamt 8.379.232 Personen erfasst. Der absolute Anteil der weiblichen Bevölkerung liegt um 2,6 % über dem männlichen Anteil. Innerhalb der Geschlechter ist eine leichte Verschiebung der Klasse 65+ bei der weiblichen Bevölkerung zu beobachten. Die demographische Verteilung der österreichischen Bevölkerung wird – verständlich auch durch die Klassenbreite – von der Altersklasse zwischen 15-64, also der potenziell erwerbstätigen Bevölkerung dominiert. Die gesamte Wohnbevölkerung benötigt im gegenwärtigen Ernährungsregime jährlich 32,8 PJ VE. Diese Nachfrage kann mit dem Gesamtangebot von 36,8 PJ VE leicht abgedeckt werden. Die Differenz zwischen der unabhängigen Bewertung der Nachfrage an verdaulicher Nahrungsenergie über den Pro-Kopf-Verbrauch und der Bewertung des Energiebedarfs durch die wissenschaftlichen Grundlagen der FAO und die europäischen Normen weicht um 4,3 % ab. Der geringe Unterschied wird so zu Kenntnis genommen. Die Nährstoffnachfrage der Gruppe der Erwerbstätigen ist überproportional hoch. Deren Anteil beträgt im Mittel der Population 67,7 %. Der Nährstoffbedarf an verdaulicher Nahrungsenergie liegt aber bei 75 %. Diese Gruppe verzehrt mit 74,1 % auch rund $\frac{3}{4}$ des wirksamen Nahrungsproteins. Gegenwärtig wird das Nahrungsangebot des Netto-Pro-Kopf-Angebots von der heimischen Bevölkerung fast vollständig vom Markt aufgenommen. Der Verbrauch wird von der gesellschaftlichen Gruppe der Erwerbstätigen dominiert, wobei sich Männer überproportional stark am Verbrauch beteiligen. Dies bildet sich auch in der Rate von übergewichtigen Männern (siehe Kapitel 2.2) ab.

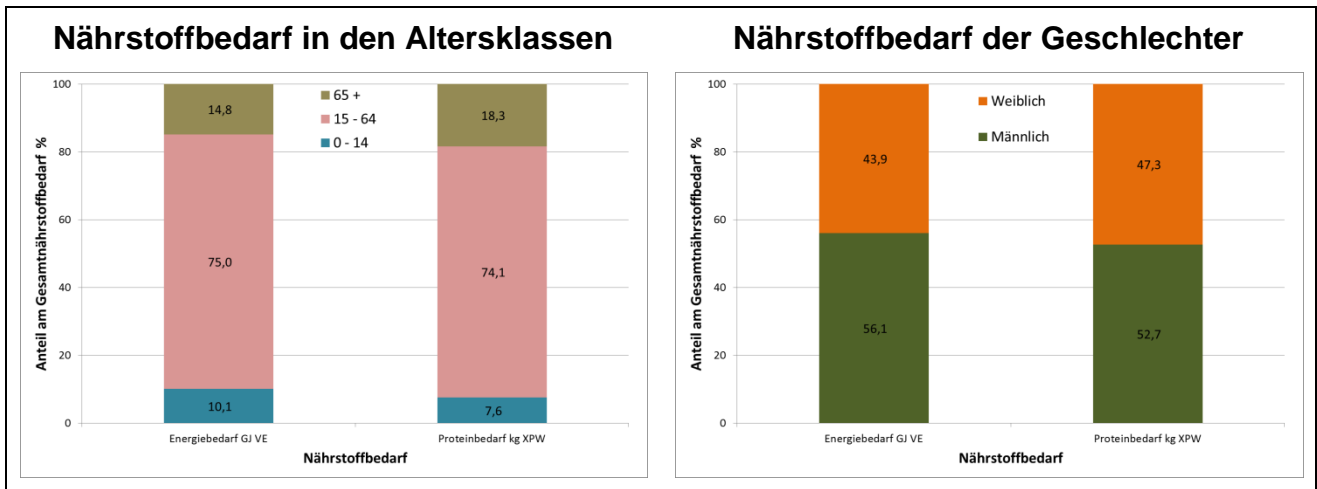


Abbildung 88: Nährstoffnachfrage in verschiedenen Klassen

Die räumliche Verteilung der Nahrungsnachfrage ist eine lineare Funktion der lokalen Bevölkerungsdichte. Der gelegentlich dargestellte Aspekt eines Ost-West-Gefälles wurde nicht implementiert, weil dieser Aspekt zwar oft medial angesprochen wird, aber die notwendige Datengrundlage nicht verfügbar ist. In Abbildung 89 können ganz klar die urbanen Siedlungsgebiete in Österreich erkannt werden. Viele kleine Agglomerationsräume ergeben sich auf der Ebene lokaler Bezirksstädte. Die Nahrungsnachfragemaximalen liegen im Bereich der Landeshauptstädte, wobei sich im nieder- und oberösterreichischen Wirtschaftsraum, im Inntal und im Vorarlberger Wirtschaftsgebiet größere Agglomerationsräume ausgebildet haben. Die größte Populationsdichte hat eine OTU in Wien mit 28.557 Einwohnern, die gemeinsam rund 100 TJ_{VE} pro Jahr benötigen. Das maximale Angebot an VE in Österreich liefert ein dichter Weinbestand in der Region Krems mit 6 TJ_{VE}.

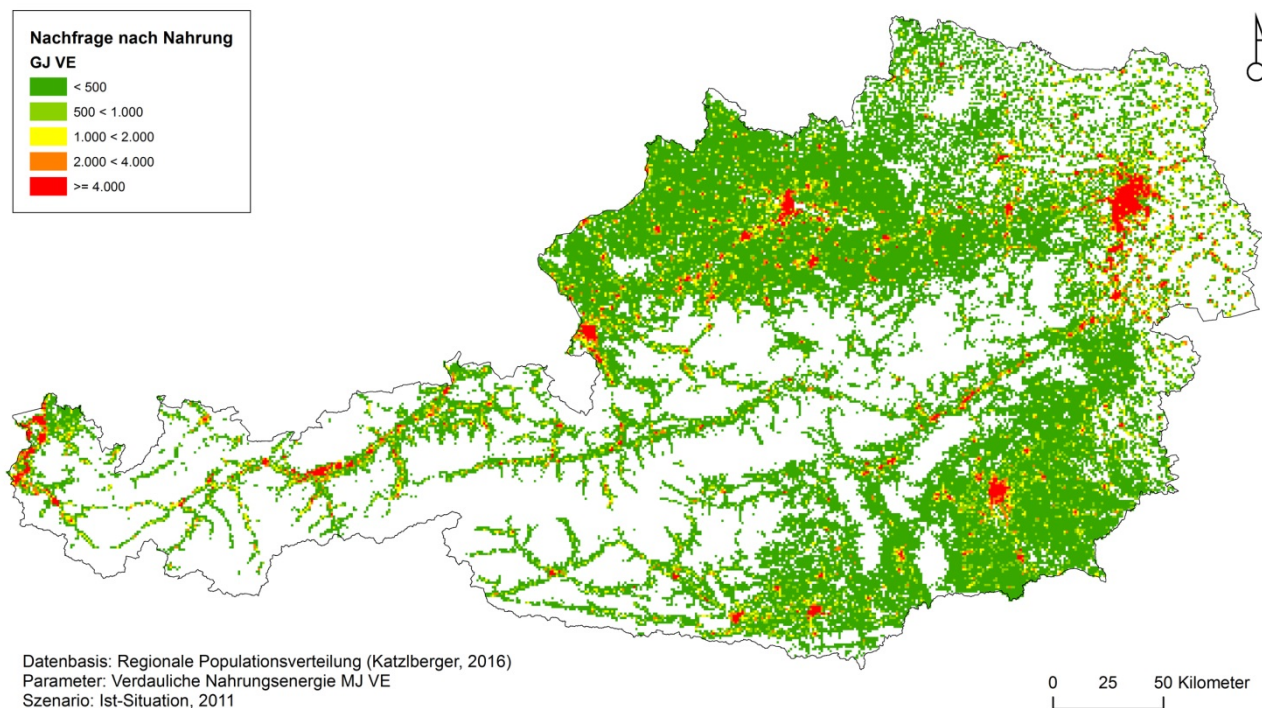


Abbildung 89: Lokale Verteilung der Nachfrage an Nahrung

5.1.3 Bilanzierung und Regionalisierung in den Szenarien

Die nationale Nahrungsbilanz erzeugt ihre Erkenntnisse auf nationaler Ebene in numerischer Form und auf regionaler Ebene als kartographisches Ergebnis. Die Dringlichkeit eines Planungsansatzes kann nur aus beiden Aspekten gemeinsam abgeleitet werden. Wie sich zeigen wird, beeinflusst eine Reihe von Faktoren die lokale Ernährungssicherheit. Beginnen wollen wir aber mit der nationalen Summenbilanz, die Auskunft über die Gesamtwirkung der in Kapitel 3 definierten Szenarien gibt.

5.1.3.1 Nationales Bilanzierungsergebnis

Unter Berücksichtigung aller Angebots- und Nachfrageaspekte der Hauptnährstoffe und unter Einrechnung der Import/Exportbilanzen bestätigen die Ergebnisse der Datenmodelle die gegenwärtig hohe Ernährungssicherheit in Österreich. Der Nachfrage an verdaulicher Nahrungsenergie von 32,8 PJ VE auf der Basis des Nährstoffbedarfs der FAO bzw. DACH steht ein Angebot von 36,9 PJ VE gegenüber (siehe Tabelle 27). Das bedeutet, dass 12,5 % der verfügbaren Nahrungsenergie nicht mehr in die Ernährung der Menschen eingebaut werden kann, sondern über andere Quellen abgearbeitet wird. Mögliche Pfade wären eine weiter zunehmende Verfettung der Bevölkerung durch Nährstoffaufnahmen, die noch über der ohnehin schon angehobenen Norm liegen oder die Anreicherung von Verlustpfaden. Das werthaltige Nahrungsprotein wird rechnerisch mit einer Menge von 138,9 tausend Tonnen nachgefragt, das Angebot an vornehmlichen Quellen wie Milchprodukten und Fleisch liegt bei 314,5 tausend Tonnen. Das Angebot deckt somit mehr als das Doppelte des Bedarfes. Große Mengen dieses Angebotes werden tatsächlich konsumiert, wobei der überschüssige Stickstoff – dieser ist in Protein gebunden – unter Belastung des Stoffwechsels ausgeschieden werden kann.

Ausgehend von diesem äußerst sicheren Ernährungsniveau reduziert sich das Nahrungsangebot in den Szenarien. Zu beachten ist dabei immer, dass sowohl angebots- als auch nachfrageseitig eine Reihe von flankierenden Maßnahmen geplant wurden, um die Versorgungssicherheit auch in Zukunft zu gewährleisten. Die Formulierung der Szenarien entspricht somit einer geplanten Entwicklung. In der linearen Fortschreibung steigt die Bevölkerung in Österreich um rund 15 % an, die zusätzliche Nachfrage wird aber fast zur Hälfte durch eine Reduktion des Nachfrageüberschusses wettgemacht. Da Flächen im Berggebiet aufgegeben werden und wertvolles Ackerland als Bauland konsumiert wird, schmilzt die Überversorgung der verdaulichen Nahrungsenergie auf 1,7 %. Nahrungsprotein steht weiterhin im hohen Ausmaß zur Verfügung. Bei einer Umstellung der Landwirtschaft auf biologische Wirtschaftsweise würde das Angebot an Nahrungsenergie – in der gegenwärtigen Zusammensetzung von tierischer und pflanzlicher Nahrung – erstmals unter 100 % sinken. Das Defizit wird hier deshalb noch akzeptabel gehalten, weil sich die Ernährung aus der Sicht des Energiebedarfes nun vernünftig verhält und nur mehr die von den Ernährungswissenschaften vorgegebenen Energiemengen in Anspruch nimmt. Dramatisch entwickelt sich die Versorgung mit Nahrungsenergie im Szenario Energiewende. Die ambitioniert definierten Ziele der Produktion von erneuerbarer Energie wirken sich schon deutlich auf die Verfügbarkeit von Nahrungsenergie in der gegenwärtigen Zusammensetzung aus. Die Versorgungslücke beträgt 15,6 % und wäre in dieser Größenordnung nicht mehr zu akzeptieren.

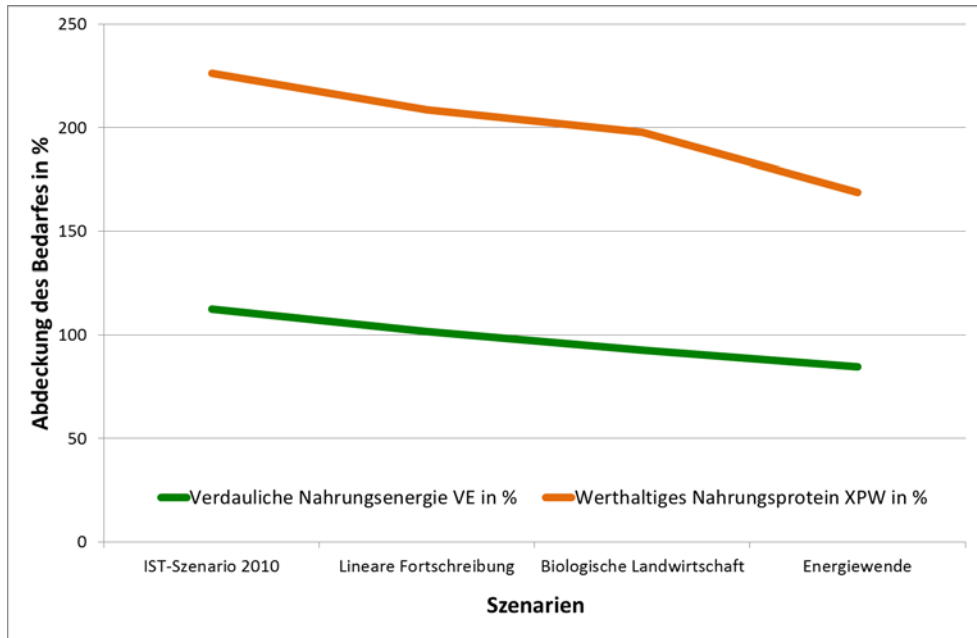


Abbildung 90: Abdeckung des Nährstoffbedarfes auf nationaler Ebene

Die formulierten Szenarien können dann in Lösung gehen, wenn die Nahrungszusammensetzung verändert wird. In allen Szenarien bleibt die Verfügbarkeit von werthaltigem Nahrungsprotein hoch. Im Szenario der Energiewende steht immer noch ein Überangebot von 68,9 % zur Verfügung. Das bedeutet, dass die Nahrung immer noch sehr stark von Milch und Fleisch dominiert wird. Die Wirkungsgrade in der Umwandlung von pflanzlichen Nahrungsquellen in tierische Nahrung liegen je nach Tierart und Intensität bei maximal 20 %. Durch die Umwandlung eines kleinen Anteils des Agrarlandes der Tierhaltung (Grünland und Ackerland) in Flächen mit direkter Nahrungsproduktion kann die Energielücke unter Einhaltung des Proteinbedarfes geschlossen werden. Diese Maßnahmen können dann noch geringer ausfallen, wenn die Verlustpfade auf den landwirtschaftlichen Betrieben, in der Nahrungsindustrie, im Handel und bei den Konsumenten gering gehalten werden. Alle zukünftig möglichen Szenarien führen zu knapperen Märkten und tragen damit zur Wertschätzung von Lebensmitteln bei.

Tabelle 27: Versorgung der Wohnbevölkerung in den verschiedenen Szenarien

Szenario	Nahrungsenergie			Nahrungsenergie		
	Angebot	Nachfrage	Versorgung	Angebot	Nachfrage	Versorgung
	VE in PJ		%	XP _w in 1000 Tonnen		%
IST-Szenario 2010	36,9	32,8	112,5	314,5	138,9	226,4
Lineare Fortschreibung	33,5	32,9	101,7	309,9	148,6	208,5
Biologische Landwirtschaft	28,1	30,4	92,5	271,8	137,4	197,8
Energiewende	25,7	30,4	84,4	232,1	137,4	168,9

5.1.3.2 Bildung von Versorgungsregionen

Die nationale Summenbilanz der Versorgungsszenarien kann mit dem unter 3.3.2 dargestellten Algorithmus BRG räumlich analysiert werden. Das Angebot der regionalen Nachfrage nach verdaulicher Nahrungsenergie entspricht in der Ausgangssituation der Verteilung aus Abbildung 86, die Nachfrage wurde in Abbildung 89 bereits dargestellt. Bei der Bildung von Versorgungsregionen beschränken wir uns auf den Parameter der verdaulichen Nahrungsenergie.

Nur kurz zur Wiederholung: BRG verwendet ein Vektor-Datengitter, das die europäische Union im Rahmen der INSPIRE-Initiative definiert hat. Eine einzelne Zelle, die im BRG verwendet wird (OTU), trägt als Mindestausstattung Informationen über die lokale Nachfrage und das Angebot einer zu bilanzierenden Größe. BRG kann über den Bedarf beliebige Startpunkte (Seeds) finden, es können aber auch fixe Startpunkte vorgegeben werden. Gesteuert durch das aktuelle Bilanzdefizit darf sich eine einzelne Seed schrittweise so lange ausbreiten, bis entweder die dynamische Bilanzsumme positiv wird oder keine angrenzenden OTUs mehr verfügbar sind. Nicht benötigte oder erreichbare Regionen werden der Klasse „Freier Markt“ zugeordnet.

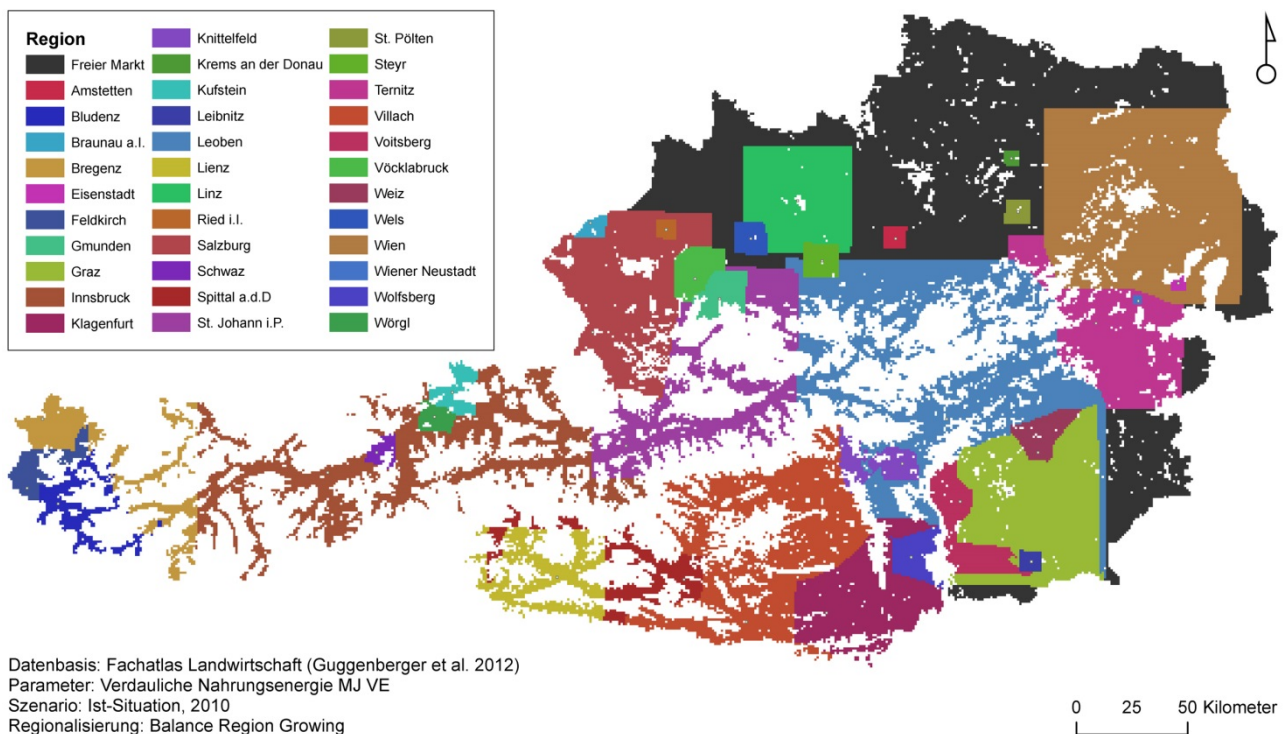


Abbildung 91: Ergebnis des Algorithmus BRG bei der Bildung von Versorgungsregionen

Die Auswahl von Seeds in Abbildung 91 wurde nicht automatisch vorgenommen. Vielmehr wurden als Startpunkte die lokalen Maxima von 34 Stadtregionen verwendet, die durch die Statistik Austria vorgegeben wurden (Statistik Austria, 2014c). Definitionsgemäß haben solche Stadtregionen einen Kernbereich und aggregieren zusätzliche Umgebungsgemeinden in einer regionalen Agglomeration. Als Aggregationskriterium diente dabei die Bevölkerungsdichte im Dauersiedlungsraum. 66 % der österreichischen Bevölkerung leben nach Definition der Statistik Austria in diesen Stadtregionen. BRG kann für diese Seeds nach dem Start rasch hohe

Nachfragemengen aggregieren. Das fördert die Ausbildung von stabilen Regionen. Das Ergebnis der Ist-Situation in Abbildung 91 zeigt Aspekte, die ihre Erklärung in fachlichen Zusammenhängen von Angebot und Nachfrage finden. Einige Besonderheiten können aber auch mit der Definition des Algorithmus in Zusammenhang gebracht werden. Erkennbar sind:

1. die klar definierten Stadtregionen im fruchtbaren Freiland: Städte wie Amstetten, St. Pölten oder Krems an der Donau liegen in den fruchtbarsten Regionen von Österreich. Zugleich bilden diese Städte auch keinen Agglomerationsraum. Das bedeutet, dass die Bildung einer Versorgungsregion rasch und vollständig abgeschlossen werden kann. Die Form des Versorgungsgebietes entspricht perfekt dem Laufverhalten des Algorithmus und zeigt die gewählte Manhattan-Metrik.
2. die klar definierten Stadtregionen, die von benachbarten Regionen umflossen werden: Wiener Neustadt, Steyr, Wels, Leibnitz und andere Städte bilden ebenso wie Punkt 1 klare Versorgungsregionen, werden aber später von anderen, größeren Regionen umflossen. Für diese Städte kann die Abgrenzungsmethode aus der Sicht der Nahrungsversorgung in Frage gestellt werden. Steyr und Wels etwa könnten aus der Sicht der Ernährung bereits in den Großraum Linz integriert werden.
3. die dominanten Großstädte: Die größeren Hauptstädte bilden klar definierte Versorgungsregionen aus. Die sich ergebende Form hängt erstens von der Verfügbarkeit des landwirtschaftlichen Angebotes, zweitens vom Agglomerationsbedarf der Nachbarstädte und drittens von konkurrierenden Städten ab. Wien und Linz liegen rundum im fruchtbaren Ackerland. Diese Städte saugen alle OTUs des Angebotes und der Nachfrage auf und bilden eine annähernd harmonische geometrische Form. Graz und Salzburg finden im nahen Berggebiet keine Versorgungschancen vor und wachsen deshalb dominant in Richtung des größeren Angebots. Die Konkurrenz anderer Stadtregionen ist gering.
4. die umkämpften Regionen: Alle Stadtregionen außerhalb der großen Ackerbauregionen kämpfen um die verfügbaren OTUs, um ihr Nahrungsdefizit zu decken. Wie weit das gelingt, hängt von der Entfernung zu anderen Städten ab. Alle großen inner- oder randalpinen Städte in Tirol, Salzburg, Kärnten und der Steiermark sind von diesem Wettbewerb betroffen und können ihren Bedarf oft nicht abdecken.
5. die Chancenlosen im Randgebiet: Vorarlberg wird von Tirol isoliert und hat sein eigentliches Versorgungsgebiet wohl im deutsch/schweizerischen Grenzgebiet. Im vorliegenden Datenmodell kann die Nachfrage nicht befriedigt werden. Dies sollte in diesem Fall aber nicht zu einer Versorgungsdiskussion führen, da das Faktum stark systembedingt ist.
6. die Versorgungsregionen im inneralpiner Freiraum: Mit den Städten St. Johann im Pongau/Salzburg und Leoben/Steiermark wurden von der Statistik Austria nur zwei Stadtregionen im innerösterreichischen Berggebiet definiert. Diese beiden Regionen bilden ihr Versorgungsgebiet weitläufig mit geringer Konkurrenz und sammeln dabei alle anderen Städte und Gemeinden auf.

7. Der freie Markt: Weite Gebiete im Norden und Osten von Österreich bleiben von der Regionsbildung unberührt. Diese Regionen haben oft keine bedeutenden Siedlungszonen, sind aber überdurchschnittlich fruchtbar. Zusätzliche Seeds in diesen Gebieten würden zur Bildung von weiteren klar definierten Stadtregionen im fruchtbaren Freiland führen. Dazwischen liegender Freiraum lokalisiert die Massen an Nahrungsmitteln für den freien Markt. Hier schwarz dargestellt, definiert der freie Markt jene OTUs, die von keinem Versorgungsgebiet direkt aufgenommen werden können. Die Namensgebung lehnt sich bewusst an die ökonomische Definition aus Kapitel 2 und 3 an, da diese Gebiete vorerst frei von Interessenten im Sinne der Tobler'schen Gesetzgebung sind.

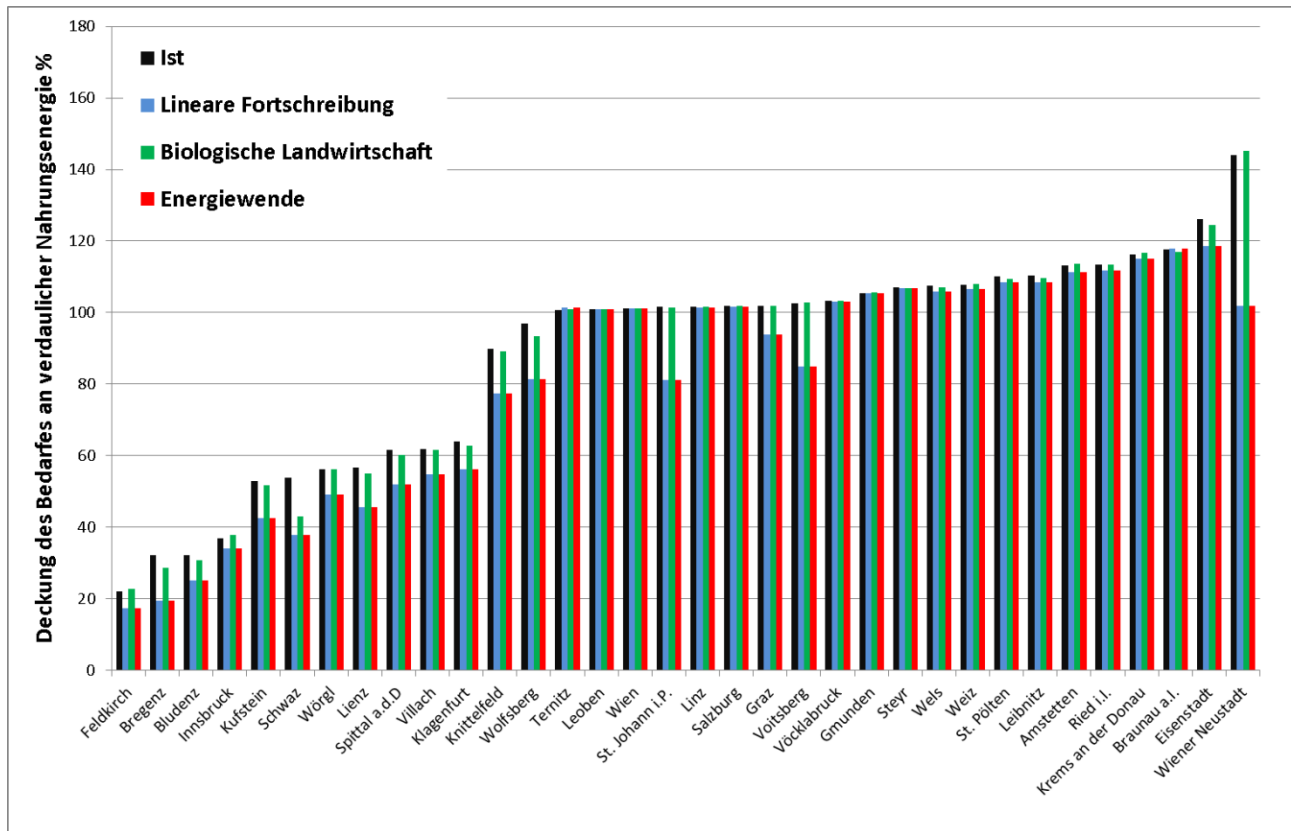


Abbildung 92: Versorgungschancen von Stadtregionen in verschiedenen Szenarien

Die unterschiedlichen Typen von Versorgungsregionen können unterschiedlich gut mit Nahrung versorgt werden. Die umkämpften Gebiete (4) und die Randregionen (5) – vor allem in Tirol, Vorarlberg und Kärnten – haben nur eine unbefriedigende lokale Versorgungssicherheit. Diese Stadtregionen können regional nur über allgemeine Versorgungsquellen des Marktes oder traditionelle Versorgungsachsen in benachbarten Ländern ernährt werden. Bei allen Versorgungsregionen mit Lösungschancen (1 - 3 und 6) ergibt sich eine vollständige Versorgungssicherheit aus der eigenen Region. Kleine Stadtgebiete in den Gunstlagen können diese sogar überschreiten. Dies ist die Folge der groben Auflösung in OTUs mit einer Größe von 1 km². Die Ist-Situation wurde gemäß der Vorgaben der drei weiteren Szenarien im Modell AGS und den angeschlossenen Ernährungsmodellen modifiziert und mit dem BRG neu bewertet. Abbildung 93 zeigt und beschreibt die Ergebnisse der Berechnungen.

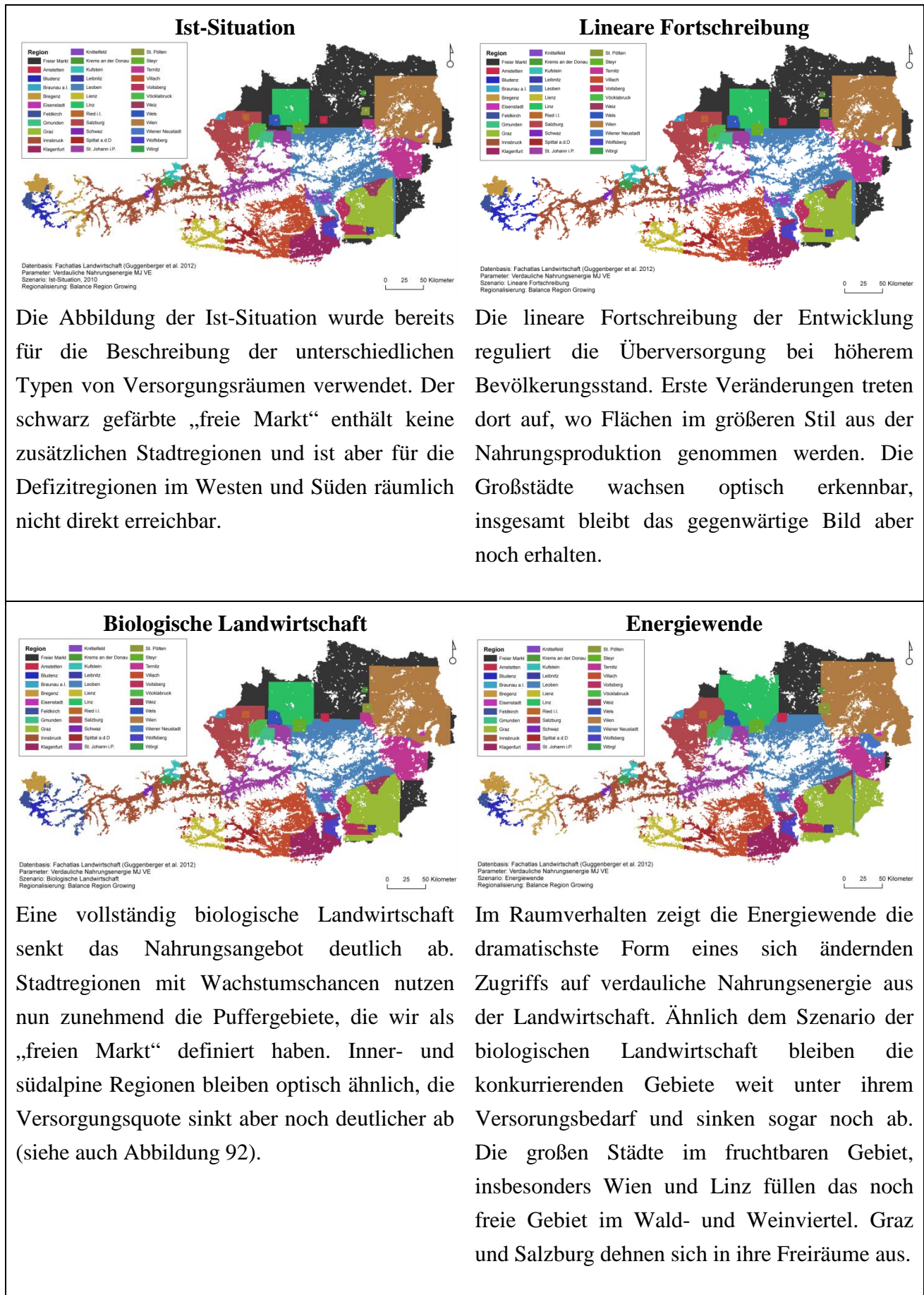


Abbildung 93: Versorgungsregionen mit verdaulicher Nahrungsenergie in den Szenarien

Die in Abbildung 93 räumlich dargestellten Veränderungen können numerisch noch einmal vertiefend aufgelöst werden. Zunächst zeigt sich, dass die 24 Stadtregionen sehr wenig Raum in Anspruch nehmen. Die Landeshauptstädte und Wien hingegen stellen echte Agglomerationsräume dar, die entsprechenden Raumbedarf anmelden. Große Gebiete werden von kleineren Städten dann aufgesammelt, wenn sie frei an das weniger fruchtbare Grünland- oder Berggebiet anschließen (Villach, Leoben, St. Johann im Pongau und Ternitz).

Die bedeutendste Erkenntnis aus Abbildung 94, rechts, zeigt sich aber im Ausmaß der Wachstumsfähigkeit und im Wachstumsbedarf von Stadtregionen in Österreich. Über die vier Szenarien hinweg – von größter Bedeutung für diese Aussage ist das ambitionierte Szenario der Energiewende – sind nur die Stadtzentren von Wien, Linz und Graz entscheidend wachstumsfähig. Erkennbar ist dies an der orangen Säule dieser Städte. Der Anspruch des Szenarios an das Futtergetreide rund um diese Städte ist hoch, die räumliche Struktur und das Angebot reichen aber aus, um den Bedarf trotzdem zu decken.

Ein letztes Ergebnis betrifft noch die Abgrenzung von Regionen mit unterschiedlichen Techniken. Abbildung 94, links, zeigt die Differenzen, die sich aus der Gegenüberstellung der Einwohneranzahl der Stadtregionen nach der Methode der Statistik Austria mit den räumlichen Versorgungsregionen in dieser Arbeit ergeben. Die in % angegebenen Differenzen sind dann negativ, wenn BRG weniger Personen in die Regionen einschließt als die Statistik Austria. Die Versorgungsregionen sind dann räumlich kleiner als die Stadtregionen. Positive Werte bedeuten, dass BRG größere Region definiert hat und dort mehr Menschen leben. Die Dominanz der größeren Regionen hat letztlich mit den unterschiedlichen Zielen der Regionalisierung zu tun. Die Statistik Austria grenzt klare Stadtgebiete mit ihrem Umland ab und definiert diese Gebiete für rund 5,6 Millionen Einwohner. BRG optimiert die Nahrungsbilanz, verwendet dabei weitgehend das gesamte Bundesgebiet und erreicht 7,3 Millionen Einwohner. Ein empirische Beziehung aus der Sicht der Nahrungsversorgung kann aber hergestellt werden: In fruchtbaren Gebieten sind die Stadtregionen der Statistik Austria tendenziell zu groß, in unfruchtbaren zu klein.

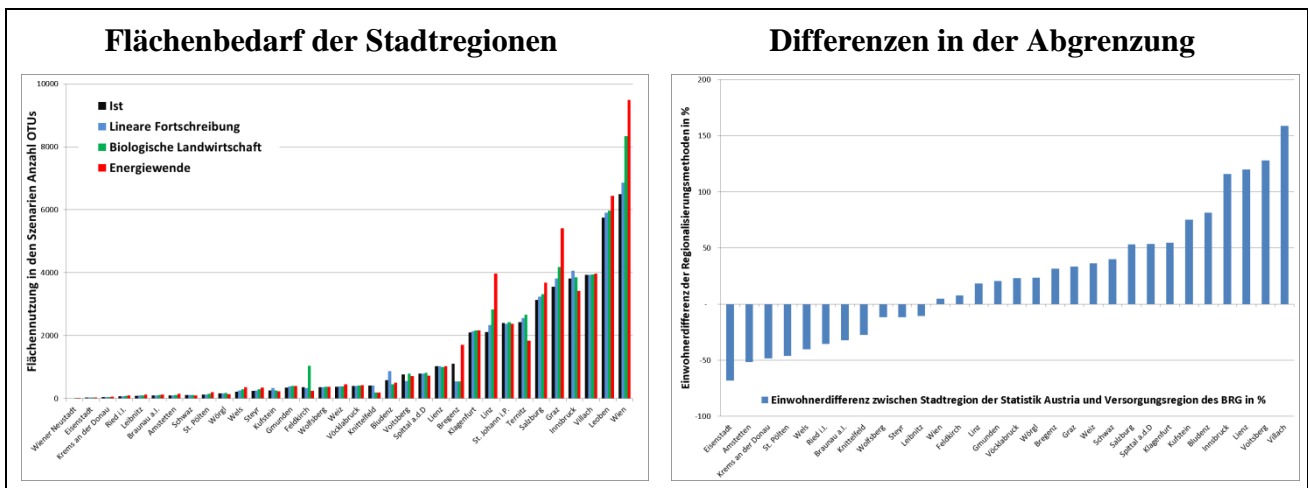


Abbildung 94: Flächenbedarf und Abgrenzungsdifferenzen von Stadtregionen

5.2 Energiezukunft in der Leader Region Ennstal Ausseerland

5.2.1 Gegenwärtiges Angebot an regionaler Energie

5.2.1.1 Nahrungsangebot

Die Klimaxvegetation im regionalen Testgebiet ist der Wald. Ohne menschliches Zutun wären die Talsohle mit Auwäldern und die Berghänge bis zur Waldgrenze zuerst von Misch- und dann von Nadelwäldern bestockt. Im Laufe der Zeit wurde von der lokalen Bevölkerung jene Kulturlandschaft geformt, auf der heute die gesamte Siedlungsstruktur und die Landwirtschaft beruhen. Rund 1.300 landwirtschaftliche Betriebe bewirtschaften die Talschaften und nutzen die Gunstlagen als intensives Grünland oder in einigen fruchtbareren Gebieten als Ackerland. Die steileren Randlagen der Täler werden häufig als extensive Wiesen oder Weiden genutzt. Eingeschlossen in den Kesseln der alpinen Hochtäler der Tauern, des Toten Gebirges und vereinzelt auch im Dachsteinmassiv finden sich noch fruchtbare Almen. Hochalmen oberhalb der Waldgrenze ergänzen das Angebot an Almflächen. Die Zusammensetzung der landwirtschaftlichen Landnutzung in Abbildung 95 zeigt die Dominanz des Grünlandes in der Region, wobei die durchschnittliche Fruchtbarkeit der gesamten Fläche im Vergleich zu den österreichischen Gunstlagen bescheiden ist. Ackerflächen sind nur im östlichen Bereich erkennbar.

Die Dominanz des Grünlandes erzwingt eine Dominanz der Wiederkäuer. Grasflächen können bis heute keiner sinnvolleren Nutzung zugeführt werden als einer Fütterung an Tiere, die in Symbiose mit Mikroorganismen die Nährstoffe aus dem Futter nutzen können. Die Effizienz dieser Systeme ist absolut betrachtet gering (11-14 %), aber keine alternative technische Nutzung erreicht bis heute nur annähernd die multifunktionale Wirkung der Wiederkäuer, die aus Gras unsere Nahrung in Form von Milch und Fleisch entstehen lassen und dabei noch eine Kulturlandschaft pflegen, die im Tourismus gut verkauft werden kann. Der gesamte Tierbestand beträgt rund 33.400 GVE, wobei über 90 % der lebenden Tiermasse durch Rinder gebildet werden. Die Gruppen der kleinen Wiederkäuer (Schafe und Ziegen) sowie die Pferdebestände teilen sich gleichmäßig die restlichen 10 %. Schweine und Geflügel sind vereinzelt zur Selbstversorgung auf vielen Betrieben zu finden. Als spezialisierter Betriebstyp kommen sie aber nicht vor. Die Tiere verzehren pro Jahr in Summe rund 75.000 Tonnen an Futter, das zu über 80 % aus der Region stammt. Der hohe Anteil an Eigenversorgung und der vergleichsweise geringe Tierbesatz von 0,78 GVE/ha (unter voller Berücksichtigung der Almfläche) sichern prinzipiell den ökologischen Standard der Landwirtschaft.

Rund 45 % der landwirtschaftlichen Betriebe im regionalen Testgebiet werden als Milchviehbetriebe geführt. Mutterkuhbetriebe und extensive Rindermäster erreichen einen Anteil von etwa 26 %. Weitere 12 % der Betriebe halten Schafe, Ziegen oder Pferde. Die restlichen 17 % haben gemischte Tierhaltungsformen. Die 1.300 Betriebe bewirtschaften zusätzlich noch 200 Almbetriebe. Diese befinden sich oft im gemeinsamen Besitz oder sind eingetragene Nutzungsrechte im Waldgebiet. Die Almwirtschaft selbst wird nur in seltenen Fällen als Milchwirtschaft geführt.

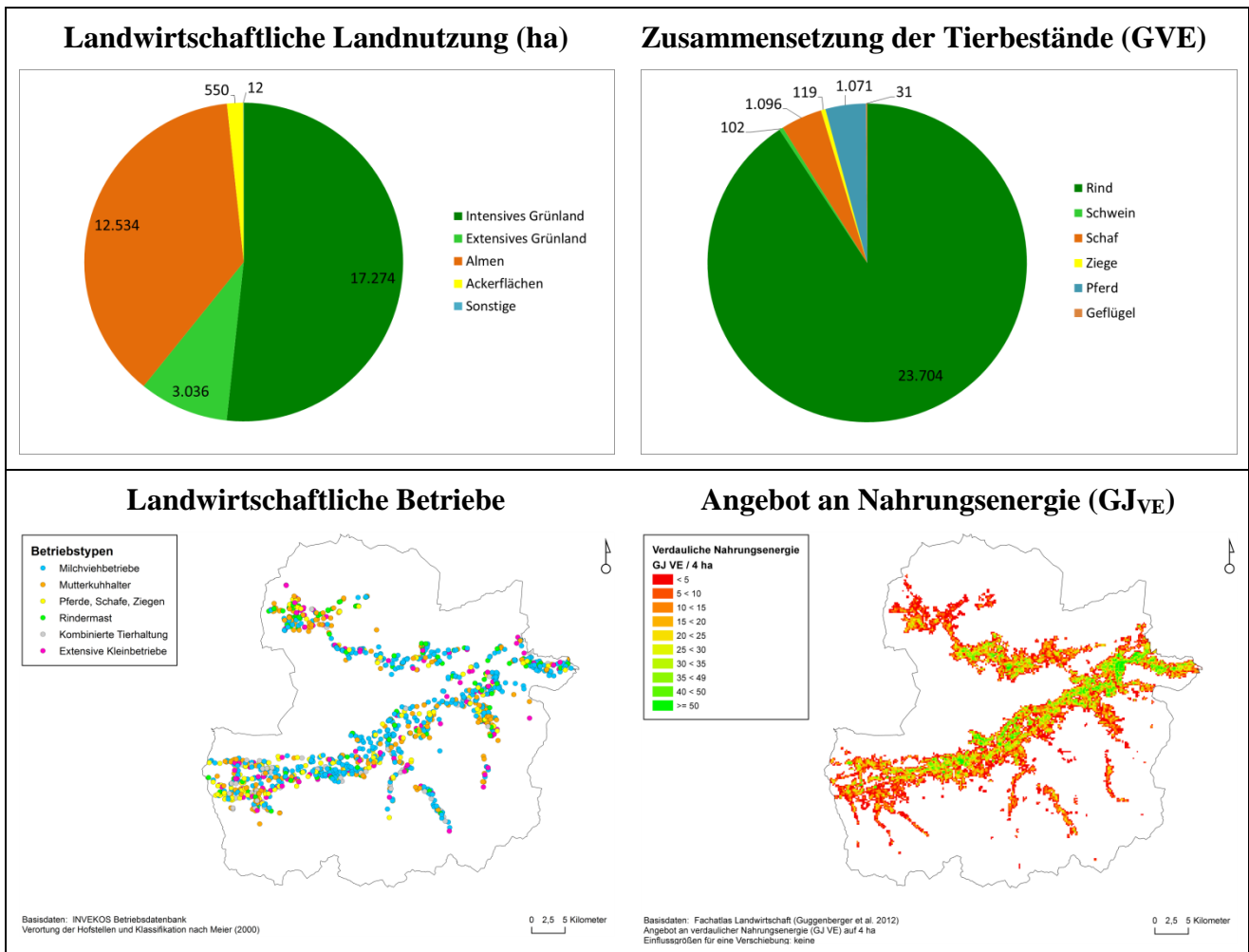


Abbildung 95: Agrarstruktur und Nahrungsangebot in der Testregion

Die vorkommenden Betriebstypen passen sich an die Wirtschaftsstruktur der Region an. Die fruchtbaren freien Talsohlen werden außerhalb der lokalen Siedlungskerne von Milchviehbetrieben dominiert. Dieser arbeitsintensive, aber noch relativ ertragreiche, Betriebszweig wandelt sich in den Tourismusgebieten im oberen Ennstal, im Ausserland oder in der Nähe zu Wirtschaftszentren in extensive Mischformen mit unterschiedlichen landwirtschaftlichen Nutztieren. Nur wenn lokal wenige Optionen bestehen, verbleibt die Milchviehhaltung in den Alpentälern. Ein Beispiel dafür ist das Großsölkatal.

Das Angebot an verdaulicher Nahrungsenergie für die Wohnbevölkerung besteht ausschließlich aus tierischen Produkten, die auf den nationalen Märkten in Getreide, Gemüse und Obst getauscht werden müssen. Die Landwirtschaft der Region kann für die Ernährung der Bevölkerung rund 146 TJ_{VE} pro Jahr anbieten. Die Leistungsfähigkeit der lokalen Flächen (siehe Abbildung 95, rechts unten) unterscheidet sich lokal bis zum Faktor 5 und beträgt im Mittel nur rund 7 GJ_{VE} pro ha. Im Vergleich zur Bundeslandwirtschaft mit allen Kulturarten – diese leistet 14,3 GJ_{VE} pro ha – erreicht das regionale Testgebiet nur etwa die Hälfte der Produktivität.

5.2.1.2 Angebot an forstlicher Biomasse

Der Holzvorrat im Wald, dieser ist im Methodenteil genau beschrieben, wurde aus der österreichweiten Waldkarte entnommen (Bauerhansl *et al.*, 2007). Dieser Datensatz hat seine räumliche Auflösung aus einem 30 Meter Landsat TM-Bild übernommen. Im Zuge der überwachten Klassifikation durch die Autorengruppe wurden bereits einzelne, freistehende Bäume erkannt und, wenn auch nur mit sehr geringem Holzvorrat pro 30 Meter Pixel, in die Waldmaske aufgenommen. Dies ist auch der Grund, warum sich die beiden Geodatensätze der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung (als Nahrungsertrag in Abbildung 95, rechts unten) und die Waldmaske (als Holzvorrat in Abbildung 96, links oben) innerhalb der Täler optisch überschneiden. Fast jedes größere Feld in den Gunstlagen wird von einem Saum an Randgehölzen begleitet. Eine doppelte Erfassung in der lokalen Fracht an Nahrung bzw. Holz findet nicht statt. Dort, wo der Holzvorrat zunimmt, sinkt die Ertragsleistung der Landwirtschaft.

Die Waldbestände im regionalen Testgebiet werden innerhalb der 4 ha großen OTUs zu 87 % von reinem Nadelwald dominiert. Reine Laubwälder können nur in 7 % der Waldbereiche gefunden werden. Die restlichen 6 % entfallen auf Mischtypen zwischen Nadel- und Laubwald. Das theoretische Waldpotenzial (Holzvorrat) der Region beträgt über 28 Millionen Vorratsfestmeter bei einem Zuwachs von rund 650.000 Vorratsfestmetern pro Jahr und einem mittleren Umtrieb von 89,4 Jahren. Die Ernte dieses Holzvorrates ist nicht ohne weiteres möglich. Technische Parameter, wie die Möglichkeit zur Ernte und Bringung, reduzieren die Gesamtmenge im Mittel bereits mit einem Faktor von 84 % für die Erntetechnik und um 68 % für die Distanz zwischen Standort und Forststraße. Die entscheidende Nutzungsreduktion in der Region bringt aber der hohe Anteil an Waldgebieten mit Schutzfunktion. Diese Wälder können nur in sehr bescheidenem Ausmaß genutzt werden. In Summe aller technischen und rechtlichen Aspekte reduziert sich das theoretische Waldpotenzial auf einen nutzbaren Holzvorrat von 15,6 Millionen Vorratsfestmetern bei einem jährlichen Zuwachs von 377.000 Vorratsfestmetern. Diese Holzmenge würde bei voller Ernte jährlich zur Verfügung stehen, wobei der Energieholzanteil über ein Maximum von 35 % nicht hinauskommt. Da der Nutzungswille der Waldbesitzer im Mittel allerdings nur bei 86,4 % liegt, können pro Jahr tatsächlich nur rund 293.000 Vorratsfestmeter geerntet werden. 99.400 Vorratsfestmeter stehen als Sortiment Energieholz zur Verfügung und können in Summe einen Heizwert von 187 GWh erzeugen. Das entspricht einem Heizwert von 1.884 kWh pro Vorratsfestmeter. Ein Wert, der bei der dominierenden Holzart und dem verfügbaren Segment nur unter optimalen Lager- und Trocknungsbedingungen erreicht werden kann.

Die beiden unteren Karten in Abbildung 96 zeigen jeweils einmal die Mengen an jährlich verfügbarem Energieholz bzw. dessen Energie innerhalb einer 4 ha Zelle. Die häufigste Erklärung für das jährlich geerntete Holz liegt in der rechten oberen Karte in Abbildung 96. Die praktische Nutzungswahrscheinlichkeit aller Nutzungsfaktoren strebt in weiten Teilen der Hochlagen gegen null. Die Waldkarte zeigt zwar gelegentlich noch starke Potenziale, diese können aber aus rechtlichen Gründen nicht genutzt werden. Im Gegensatz zu diesen Flächen sind die Wälder in Tallagen oft gut bestockt, vollständig erschlossen und können leicht bewirtschaftet werden. Kleine

Waldbesitzer bewerten diese Holzvorräte gelegentlich als sichere Sparkasse und ernten – wenn überhaupt – oft viel zu spät. Das schadet dem langfristigen Ertrag und steigert zugleich den möglichen Schaden bei Umweltkatastrophen oder Schädlingsbefall.

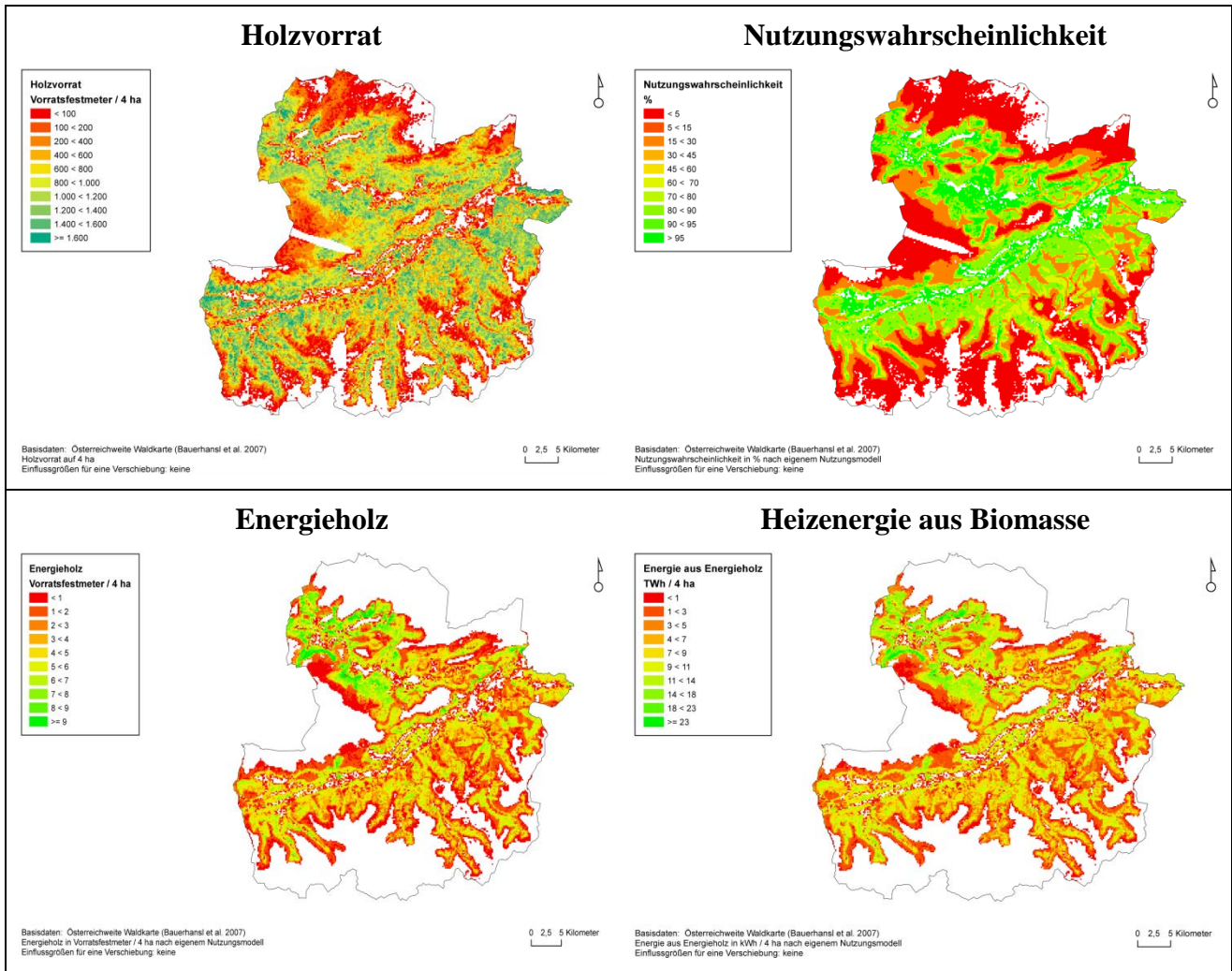


Abbildung 96: Energieangebot aus Biomasse und bedeutende Einflussgrößen

Ein nicht bewertbarer, aber in Expertenkreisen immer wieder diskutierter Aspekt ist der Zugriff der lokalen Energienachfrage auf die Energieholzmenge. In der Region gibt es nur mehr ein einziges Sägewerk, und dieses erzeugt seine Schnittware in hohem Ausmaß für die Weiterproduktion von Transportpaletten auf dem eigenen Gelände. Der bei weitem höhere Teil wird an die wenigen großen österreichischen Sägewerke verkauft. Die Händler und Transportunternehmen, die die Holzlogistik beherrschen, haben ein nachweisbar höheres Interesse an großen Handels- und Frachtmengen, weshalb oft nicht nur die qualitativen Segmente sondern auch das Energieholz aus der Region entnommen werden. Dieser Aspekt trifft auch für den im Ausseerland dominanten Waldbesitz der Österreichischen Bundesforste zu. Dieses Unternehmen hat bedeutende Lieferverträge mit städtischen Fernwärmenetzen und nutzt zur Abdeckung die im Bundesgebiet verteilten eigenen Waldbestände. Kleine regionale Heizwerke in den Gemeinden klagen jedenfalls über Versorgungsprobleme.

5.2.1.3 Angebot an elektrischem Strom aus der Wasserkraft

Die jährliche Gesamtleistung der Kleinwasserkraft im regionalen Testgebiet ist erfreulich hoch und beträgt 210 GWh. Diese Energie ist zu 59 % den hohen Niederschlägen in den Schladminger und Niederwölzer Tauern zu verdanken, die bei dichtem Grundgestein hohe Fallhöhen bereitstellen. Noch höhere Niederschläge finden wir im Salzkammergut. Das poröse Grundgestein des Toten Gebirges und des Dachsteins vernichtet aber die lokalen Fallhöhen. Das Sickerwasser tritt erst an der Talsohle aus und führt zu langen, flachen Ausleitungsstrecken. Auf diesem Wege sammelt es sich und kann an zwei Steilstufen zwischen dem Ausseerland und dem Ennstal verwertet werden. Die Kraftwerke Mandling und das Speicherkraftwerk Salza beziehen große Teile ihres Wassers aus dem Kalkgebirge. Ein weiteres Kraftwerk wurde an der Traun errichtet. In Summe stammen – auch wenn oft nicht auf eigenem Boden in Strom umgesetzt – rund 41 % der elektrischen Energie aus dem Ausseerland.

Das bei weitem größte Wasserkraftwerk in der Region ist das Speicherkraftwerk Sölk der Verbund Hydropower GmbH. Dieses Kraftwerk bezieht nicht nur das Standortgewässer, den Sölkbach, mit ein, sondern nutzt durch Zuleitung über lange Stollen auch den Kleinsölkbach, den Walchenbach und den Bach aus dem hinteren Donnersbachtal. Die Jahresleistung dieses beachtlichen Bauwerkes beträgt mit 206 GWh noch einmal jene Energiemenge, die von den Kleinwasserkraftwerken geliefert wird. In Stein an der Enns wird die vom Generator erzeugte Energie auf 110 kV transformiert und auf der untersten Spannungsebene in das Netz der Überlandleitungen eingespeist. Die Hälfte des lokalen Wasserkraftpotenzials kann so nicht mehr innerhalb des regionalen Testgebietes genutzt werden. Ein Aspekt, der, ebenso wie die Abfuhr von Energieholz, die Chancen der Region schwächt und der in der Diskussion noch besprochen wird.

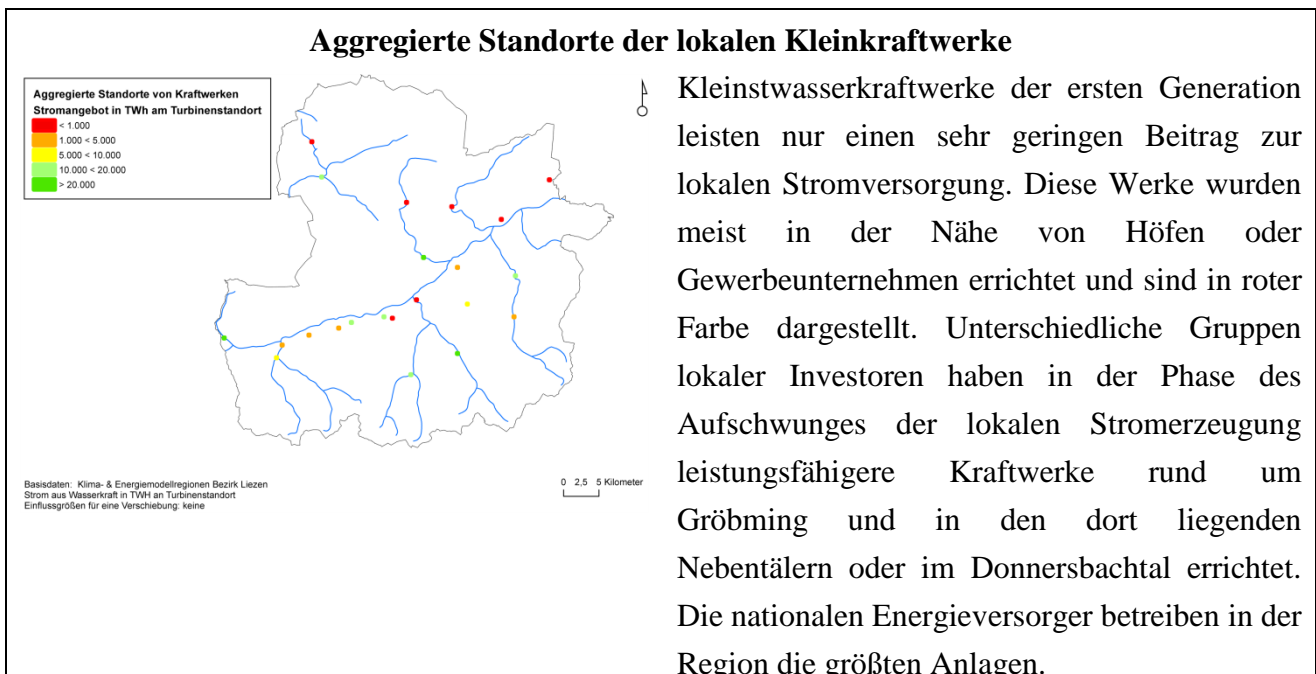


Abbildung 97: Strom aus Wasserkraft

5.2.2 Gegenwärtige Nachfrage nach Energie

Die Energienachfrage im regionalen Testgebiet wurde ohne die beiden in der Region ansässigen Erzeuger von Gipskartonplatten für die Bauindustrie bewertet.

5.2.2.1 Nachfrage nach Nahrungsenergie

Die Nachfrage der 55.400 in der Region als Haupt- oder Nebenwohnsitz gemeldeten Personen wirkt als direkter Treiber für die Bestimmung der Nahrungsenergie. Die Anzahl der Personen muss aber nicht vollständig versorgt werden, weil rund 9 % als Nebenwohnsitz gemeldet wurden. Besonders hohe Nebenwohnsitzanteile sind in der Gemeinde Altaussee und Ramsau am Dachstein zu verzeichnen. Die Gesamtheit der Bevölkerung benötigt pro Jahr in Summe 226 TJ verdauliche Nahrungsenergie.

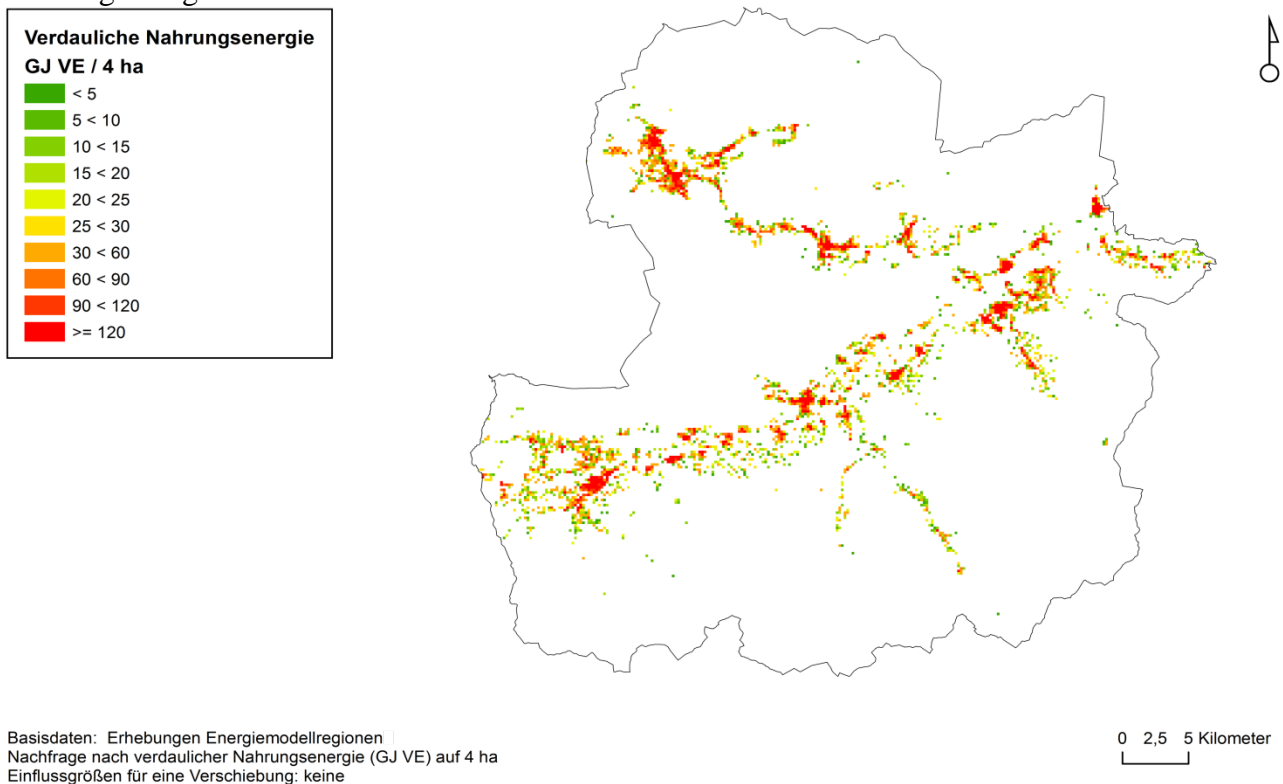


Abbildung 98: Nahrungsnachfrage in der Testregion

Abbildung 98 zeigt indirekt die lokale Siedlungsstruktur. Da die Nachfrage nach Nahrungsenergie nicht von der lokalen Gewerbestruktur beeinflusst wird – der Nahrungsbedarf im Bereich Tourismus wurde kartographisch nicht berücksichtigt, beträgt aber noch einmal zusätzlich 20 % – kann die räumliche Verteilung grundsätzlich für alle Energiefragen der Haushalte verwendet werden. In der später gezeigten Regionalisierung mit dem Algorithmus BRG wurden 9 Hauptorte als Seeds definiert. Tatsächlich bilden sich im regionalen Testgebiet viele kleinräumige Siedlungskerne. In Kenntnis der Baustrukturen haben nur Schladming, Haus, Gröbming, Öblarn, Irdning, Stainach, Bad Mitterndorf und Bad Aussee historische Kerne. Diese Orte sind deutlich gewachsen und bilden die Hauptorte der Leader Region. Johann Gabriel Seidl hat Schladming 1840 am Beginn der industriellen Revolution besucht und zählt in Schladming 170 Häuser mit 933

Bewohnern (Stipperger, 1990). Bei der Bewertung im Rahmen der Klima- und Energiemodellregion Schladming wurden für die Stadt Schladming 851 Wohnobjekte und 402 Gewerbeobjekte gezählt. Die Bevölkerung hat sich mit 5.427 Einwohnern fast versechsfacht. Schladming ist damit die am stärksten gewachsene und lokal verdichtete Siedlung in der Leader Region. Im Vergleich zur sonstigen Siedlungsstruktur steht Schladming mit seiner Dichte deutlich über der ortsüblichen Struktur und darf als einziger urbaner Raum im regionalen Testgebiet angesehen werden. Ein Aspekt, der in der Bildung von Regionen noch offensichtlich werden wird.

5.2.2.2 Nachfrage nach Heiz-Biomasse

Holz ist das historische Heizmaterial der Region. Bis zur Verfügbarkeit fossiler Energieträger beruhte die Wärmeproduktion der Region ausschließlich auf der Nutzung der Wälder. Die Verwertung lag dabei anteilmäßig deutlich über den auf der Seite des Angebotes modellierten 35 %. Der Bergbau in den Schladminger Tauern und die Sudhäuser im Ausseerland nutzten praktisch das gesamte verfügbare Holz. Das führte in der Region zur Waldverwüstung, die erst mit dem kaiserlichen Patent von 1852 gestoppt werden konnte. Die Energienachfrage aus Biomasse beträgt in der Testregion 242,4 GWh pro Jahr. 56 % der Nachfrage stammen aus dem Bereich der privaten Haushalte, welche die gewonnene Wärme vor allem zu Heizzwecken verwenden. Dabei besitzen aber nicht alle Nutzer eine eigene Feuerstelle, sondern nutzen auch bäuerliche Wärmeversorgungsnetze. Stückgutöfen als zentrale Heizanlagen sind selten geworden; öfters finden sich automatische Pelletsöfen und Heizsysteme mit Waldhackgut. Praktisch bedeutend, aber nicht differenzierbar, sind die kleinen Feuerstellen, die über Wohnraumöfen große Verbreitung gefunden haben. 44 % der Energie aus Biomasse werden in Gewerbebetrieben benötigt. Etwas mehr als die Hälfte dieser Energie dient einfachen Heizzwecken von Gebäuden, der Rest wird als Prozesswärme benötigt.

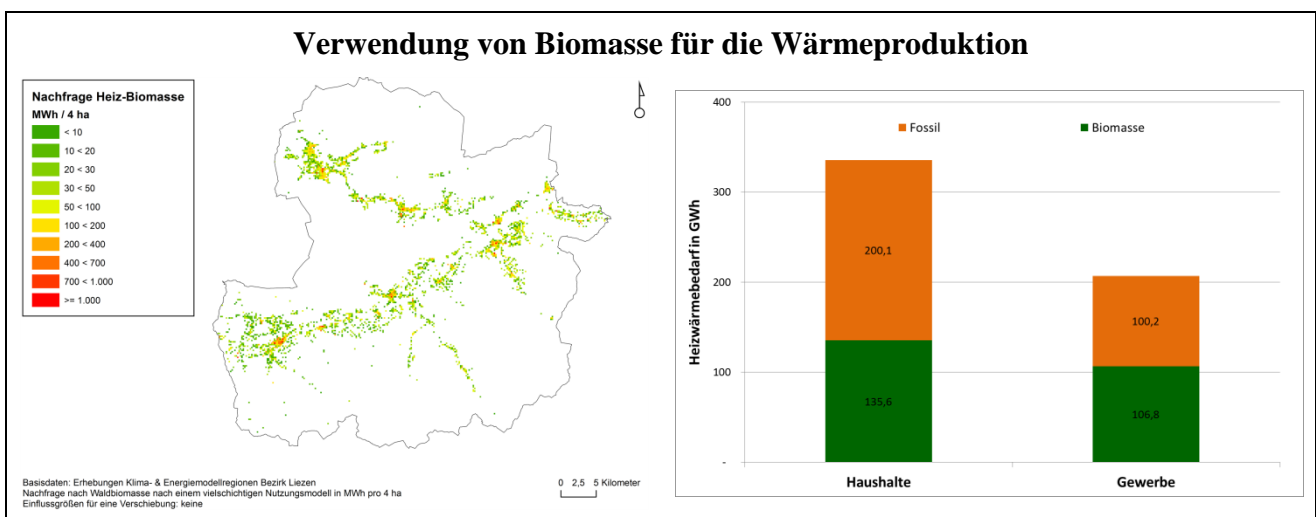


Abbildung 99: Nachfrage nach Energie aus Biomasse für die Wärmeerzeugung

Kartographisch ergibt sich kein differenziertes Bild. Energie aus Biomasse wird in geringeren Mengen in vielen OTUs nachgefragt. Typischerweise verwenden die weit verstreuten Einzelgehöfte das Brennholz aus ihren eigenen Wäldern. Konzentrationen sind dann erkennbar, wenn dichte

Siedlungsstrukturen mit Nahwärmenetzen versorgt werden oder eine industrielle Nachfrage nach Energie aus Biomasse besteht. Nachfragespitzen werden selten erreicht und sind, wenn doch vorhanden, in der Region gut über ihre Wasserdampfsäulen zu erkennen.

5.2.2.3 Nachfrage nach Strom

Die gegenwärtige Nachfrage nach elektrischem Strom beträgt in der Region 258 GWh pro Jahr. Diese Nachfrage wird zu 85 % von den regionalen Gewerbebetrieben benötigt. In den Arbeitsprozessen wird Strom vor allem als universelle Antriebsleistung verwendet. Diese konzentriert sich über die Maschinenausstattung bzw. die Verortung auf wenige OTUs innerhalb der Region. Da die folgende Regionalisierung des Stromangebotes der Wasser- bzw. Windkraftwerke aus der Angebotsseite in Richtung der Nachfrage verläuft, wurden OTUs mit einer Nachfragespitze über 350.000 kWh mit ihren 24 Nachbarn vereinigt und wieder gleichmäßig verteilt. Diese Maßnahme verhindert, dass bei der Ausführung der BRG durch das Hinzufügen einer einzelnen OTU eine deutliche Bilanzüberschreitung erreicht wird. Sichtbar wird die Maßnahme durch die quadratischen Blöcke in Abbildung 100. Die verbleibenden 15 % an Strombedarf für die privaten Haushalte verteilen sich gut in der Region. Der Jahresgang des Stromverbrauches wurde nicht untersucht. Über die Klassifikation der Gewerbeunternehmen belasten 15 % der Stromnachfrage ausschließlich die Wintersaison. Für die privaten Haushalte dürfte vorläufig ebenso eine Dominanz der Wintersaison erkennbar sein. Dies gilt, solange sich Klimaanlage in der Region nicht stärker verbreiten.

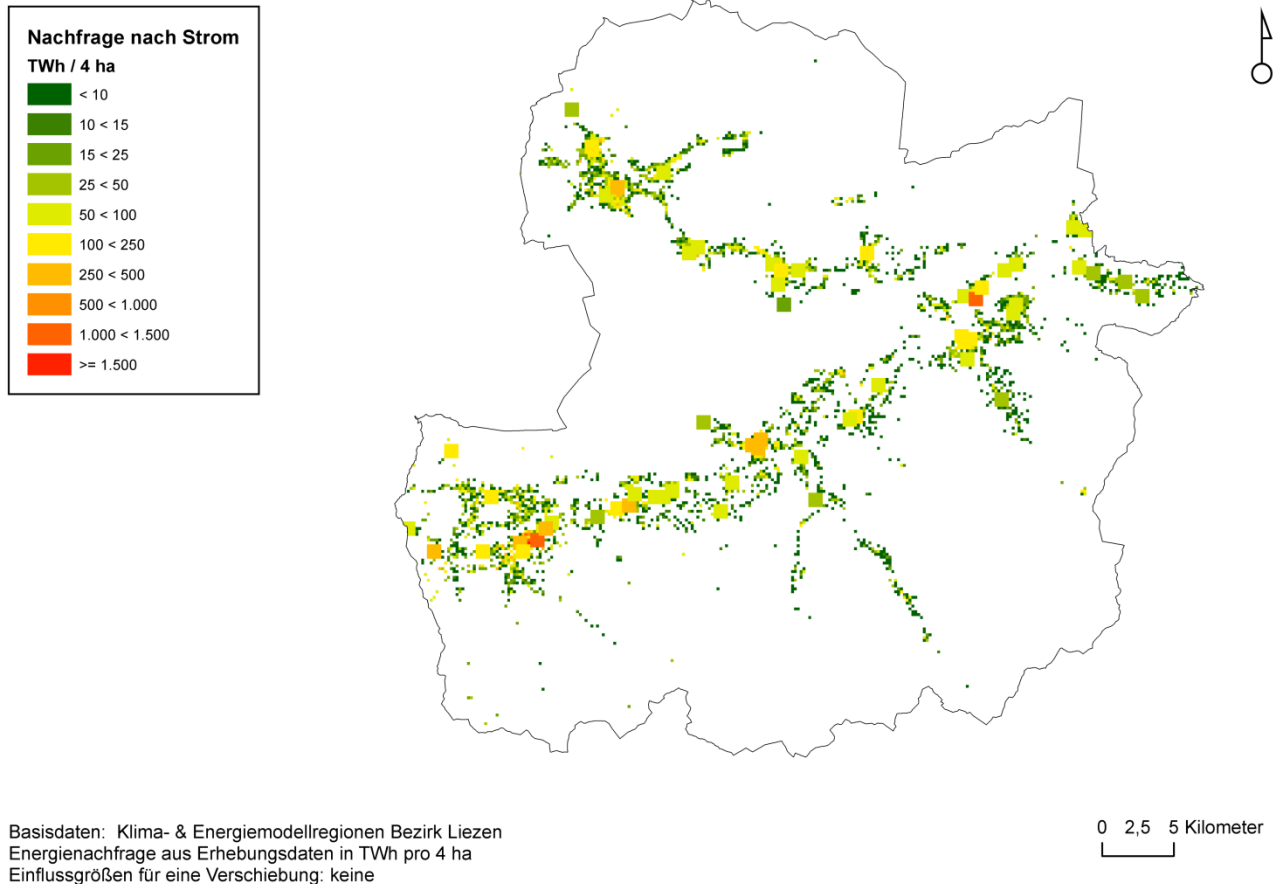


Abbildung 100: Nachfrage nach Strom

5.2.2.4 Nachfrage nach fossiler Energie

Fossile Energieträger spielen im regionalen Testgebiet eine bedeutende Rolle. Die Gesamtsumme von 794,5 GWh verteilt sich nach Nutzergruppen zu 65 % auf die Haushalte und zu 35 % auf die Gewerbebetriebe. Bewertet man die Nachfrage nach dem Nutzungszweck, so dominiert die Nachfrage nach Mobilität den Verbrauch zu 60 %. Die Wärmeversorgung von Wohngebäuden benötigt rund 38 % der verbrauchten fossilen Energieträger. Dank des hohen Anteils an elektrischer Eigenversorgung in der Region beträgt der Anteil von Strom aus fossilen Quellen nur rund 2 %.

Als Infrastruktur für die Versorgung fossiler Energie steht in den Gemeinden Aigen im Ennstal, Wörschach, Stainach und im Ausseerland eine Ferngasleitung zur Verfügung. Haushalte mit Ölheizungen beziehen ihren Brennstoff über regionale Händler. Koks und Kohle wird kaum mehr verwendet. Die individuelle Mobilität wird durch das Tankstellennetz gut abgedeckt.

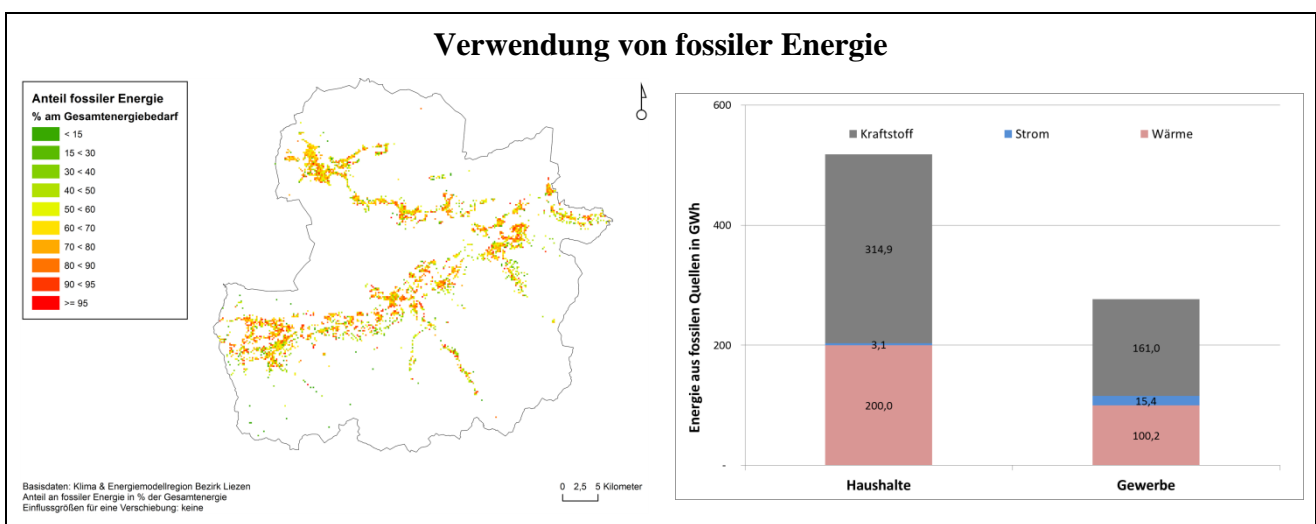


Abbildung 101: Verwendung fossiler Energie

Die regionale Abhängigkeit von fossiler Energie am Gesamtenergiebedarf (ohne Nahrungsenergie) von rund 60 % ist räumlich schwer zu differenzieren. In Abbildung 101, links, zeigen orange oder rote OTUs vor allem dann eine vollständige oder nahezu vollständige Abhängigkeit von fossiler Energie, wenn sich die bauhistorische Entwicklung der Region mit der Gewerbestruktur überlagert. Beobachtbar ist das bei höherer Dichte von Hotels und Tourismuseinrichtungen in einzelnen Ortsteilen von Schladming und Ramsau am Dachstein sowie bei älteren Wohnobjekten. Eine hochgradige, dunkelgrün dargestellte Autarkie wird innerhalb eines OTU nur dann erreicht, wenn das verwendete Heizsystem der Wohngebäude auf Biomasse oder Strom beruht und der Altersdurchschnitt der Bewohner sehr hoch ist. Beide Aspekte treffen fast nie zu, und es verbleibt bei der Bewertung für viele OTUs die Grundlast der Mobilität. Hellgrüne Bereiche kennzeichnen Siedlungsgebiete und Einzelobjekte, die zumindest die Wärmeversorgung mit nachhaltigen Methoden bewerkstelligen. Dies gelingt vielen Einzelobjekten, trifft aber auch für die mit Nahwärmenetzen versorgten Gebiete in Schladming, Haus im Ennstal und Irdning zu. Dass sich die Fracht fossiler Energie auf die dichten Siedlungsgebiete konzentriert, muss nicht extra ausgeführt werden.

5.2.3 Bilanzierung und Regionalisierung in den Szenarien

5.2.3.1 Regionales Bilanzierungsergebnis

5.2.3.1.1 Nahrungsversorgung

Die regionale Nahrungsbilanz wird von zwei Bereichen bestimmt. Der dominierende Partner des Nahrungsangebotes ist die Landwirtschaft, die im regionalen Testgebiet, wie bereits beschrieben, nur eine an das Grünland angepasste Effizienz erreichen kann. Die Nachfrage wird durch die Bewohner und ihre Altersverteilung bestimmt. Beide Aspekte, sowohl das Angebot als auch die Nachfrage, wurden mit wissenschaftlichen Methoden und verfügbaren Daten bewertet und in verschiedenen Szenarien verändert.

Die Nachfrage nach verdaulicher Nahrungsenergie bewegt sich bei den regionalen Bilanzierungsergebnissen zwischen 195 und 227 TJ_{VE}. Diese Elastizität von 16 % beschreibt zugleich auch den Anpassungsspielraum zwischen der gegenwärtig tendenziell übergewichtigen Bevölkerung und einer knappen Ernährungssituation, die nicht unterschritten werden sollte. Dies vor allem deshalb, weil das auslösende Szenario der Energiewende mit zusätzlicher körperlicher Arbeit verbunden ist und der festgelegte Wert dann schon in Richtung einer Mangelernährung abwandert.

Das Angebot an verdaulicher Nahrungsenergie kann mit einem Breitenpektrum zwischen 127 und 153 TJ_{VE} umschrieben werden. Ausgehend von einer aktuellen Leistungsfähigkeit von 146 TJ_{VE} kann ein wärmeres Klima Vorteile bringen und die Nahrungsproduktion steigern. Zugleich geht aber in allen Szenarien die Aufgabe von Grenzertragsflächen weiter. In den Szenarien *Biologische Landwirtschaft* und *Energiewende* wird zudem die Zufuhr externer Futtermittel eingeschränkt. Diese Aspekte reduzieren gemeinsam das Angebot. Für die hier definierte Entwicklung wird an einer durch die Tierhaltung dominierten Landwirtschaft festgehalten. Ausgehend von der Gegenwart kann nur die *Lineare Fortschreibung* für eine gewisse Zeit um bis zu 5 % von den wärmeren Klimabedingungen profitieren. In beiden Reduktionsszenarien sinkt das Angebot unter die Ist-Situation. Bei einer vollständig biologischen Landwirtschaft beträgt die Reduktion nur rund 4 %, eine Energiewende würde das Angebot um fast 13 % senken.

Tabelle 28: Verdauliche Nahrungsenergie im regionalen Testgebiet

	Verdauliche Nahrungsenergie in TJ _{VE}			
	Ist Situation	Lineare Fortschreibung	Biologische Landwirtschaft	Energiewende
Nachfrage	226,5	210,7	194,8	194,8
Angebot	146,0	152,5	140,5	127,4
Bilanz	- 80,5	- 58,2	-54,3	-67,5

Die landwirtschaftlichen Lieferungen der Region bestehen vor allem aus tierischen Produkten wie Milch und Fleisch. Dies treibt die Angebotsmenge an wirksamem Nahrungsprotein mit einem Bereich zwischen 2.325 und 2.682 Tonnen XP_W weit nach oben. Das Verhältnis zwischen Energie und Eiweiß liegt in der Nachfrage bei 1:4,2, im Angebot bei 1:18,4. Das lokal erzeugte

Nahrungsprotein muss also auf geeigneten Märkten in Nahrungsenergie umgetauscht werden. Dies wird werthaltig sicherlich immer in einem Maßstab von über 1 möglich sein, und die deutliche Nahrungslücke aller Szenarien im Energiebereich kann so geschlossen werden. Dies gilt, solange die Märkte gut funktionieren.

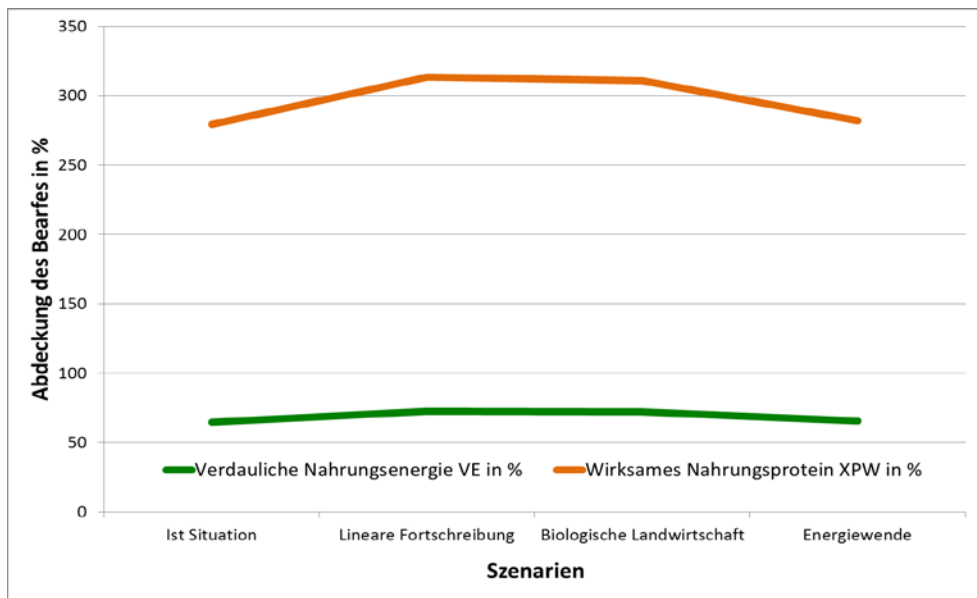


Abbildung 102: Abdeckung des Nährstoffbedarfes im regionalen Testgebiet

Das Szenario *Energiewende* ist sich der Märkte nicht sicher und legt großen Wert auf den Aspekt der regionalen Autarkie. Diese kann nur durch eine Umwandlung der landwirtschaftlichen Strukturen in der Region erreicht werden. Die dominierende Haltung von Wiederkäuern wäre dabei aus den günstigeren Lagen zu verdrängen, um die Grünlandflächen mit höheren Bonitäten (Grünlandzahl) in Ackerland umzuwandeln. Auf diesen Flächen wären so lange Brotgetreide, Kartoffel, Obst und Gemüse anzubauen, bis die Flächeneffizienz unter jene der Tierhaltung fällt. Diese würde im Szenario *Energiewende* bei 6,1 GJ pro ha liegen. Ein Grenzwert, der im Anbau von Roggen bereits bei einem Ertrag ab rund 500 kg pro ha und bei Kartoffeln im Bereich von 4 Tonnen erreicht wird. Im östlichen Bereich des Ennstals und in den südexponierten Gunstlagen des Ennstals und im Ausseerland stehen ausreichend Flächen zur Verfügung, die eine Ertragssicherheit in dieser Höhe und deutlich darüber gewährleisten.

Historisch erinnert sich das Szenario der *Energiewende* in der Nahrungsversorgung der Agrarstruktur, die in der Region bis 1930 vorherrschend war. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde in der Region um Liezen Erwerbsobstbau betrieben (Krenn und Aron, 2006) und jede Dorfgemeinschaft verfügte über ausgedehnte Gartenflächen. Landwirtschaftliche Betriebe bauten vor allem Roggen an, und gelegentlich wurde sogar Weizen erzeugt. Auch wenn dies in der aktuellen Schlagnutzung nicht mehr abgelesen werden kann, so kennt doch die regionale Küche „Roggerne“ und „Woazerne“ Krapfen. *Energiewende* bedeutet in diesem Sinn innerhalb der Leader Region Ennstal Ausseerland eine Rückbesinnung auf traditionelle Anbauformen.

5.2.3.1.2 Konventionelle Energie

Die Bilanzierung der konventionellen Energiebereiche außerhalb der Nahrungsversorgung folgt zwar auch dem Ausgleichsprinzip, hat aber zusätzlich Freiheitsgrade durch technische Maßnahmen und deren Wirksamkeit. Liegt die maximale Elastizität der Nachfragenachfrage bei 16 %, so erreichen wir über die sachgerechte Dämmung von Wohngebäuden rasch eine Energieeinsparung, die ohne Berücksichtigung der Vorleistungskette vier- bis fünfmal so hoch ist. Aufbringungsseitig besteht im Bereich der Wind- und Sonnenkraft ein hohes Potenzial an elektrischer Energie und der Hebefaktor für Erdwärme liegt bei 1:5. Nur der Forstbereich ist ähnlich der Landwirtschaft an seine biologischen Wachstumsfaktoren gebunden, hat aber zumindest die Freiheit, über den Anteil an Energieholz zu bestimmen. Es wurde zwar schon im Bereich der Definition der Szenarien angesprochen, darf aber hier noch einmal wiederholt werden: Die finale Energiewende wurde so konstruiert, dass die fossilen Energieträger weitgehend durch andere Energie- und Technologieformen kompensiert werden können. Ausmaß und Aspekte werden hier nicht wiederholt, sondern können in Kapitel 3 nachgelesen werden. Die Nachfrage nach konventioneller Energie für die Bereitstellung von Wärme, Kraft/Licht und Mobilität beginnt mit 1.319 GWh bei der *Ist-Situation* und reduziert sich im Szenario der *Energiewende* um 40 % auf 788 GWh. Die Nachfrage nach Wärme kann über Dämmung von Gebäuden ohne Verlust der Versorgungsqualität reduziert werden. Technologisch wird Wärme so weit als möglich durch Biomasse zur Verfügung gestellt. Eine verbleibende Lücke ist über die Installation von Erdwärmepumpen zu schließen. Die Mobilität muss sich den Gegebenheiten einer Energiewende beugen, d. h., es darf weniger Fahrleistung in Anspruch genommen werden. Durch die Steigerung der E-Mobilität gelingt hier aber auch eine technologische Verbesserung, die dafür sorgt, dass ein Minimum der notwendigen individuellen Transportaktivitäten aufrecht erhalten werden kann. Die Wärmenachfrage ist nach Umsetzung aller Maßnahmen um 44 % und die Nachfrage nach Energie zum Zweck der Mobilität um 50 % gesunken. Nur die Nutzung von Strom für den Antrieb von Maschinen und die Beleuchtung wird nicht stark sinken. Beide Systeme können bereits heute schon effizient betrieben werden, weshalb eine maximale Reduktion von 12 % geplant wurde.

Tabelle 29: Konventioneller Energiebedarf im regionalen Testgebiet

Funktion	Energiebedarf GWh		Energie- wende
	Ist Situation	Lineare Fortschreibung	
Wärme	537	394	252 ¹
Kraft/Licht	248	233	219
Mobilität	534	401	267
Gesamt	1.319	1.027	788

¹ Rund 50 GWh der Wärme werden zusätzlich durch Wärmepumpen zu Lasten des Kontos Kraft/Licht erzeugt.

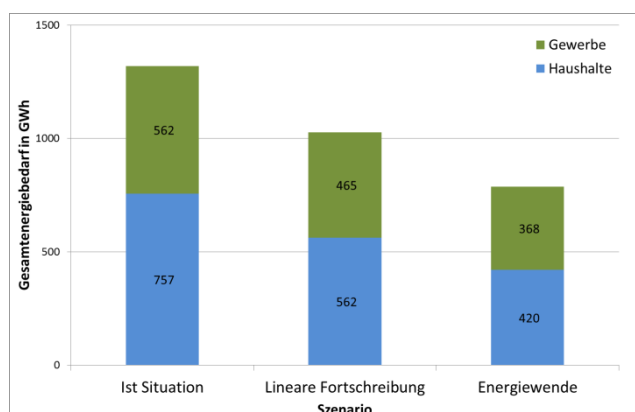


Abbildung 103: Auswirkung der Energieeinsparung in den Nutzergruppen

Erfassungsdaten und Modell in den Klima- und Energiemodellregionen im Bezirk Liezen zeigen, dass die Gesellschaft sehr hohe Energiemengen in das eigene Konsumverhalten investiert. Während gewerbliche Strukturen bis zu einem gewissen Grad schon immer in die Optimierung ihrer Prozesse investiert haben, blieb die Entwicklung der Haushalte eher statisch. Die Ergebnisse des Szenarios *Energiewende* zeigen in Abbildung 103, rechts, dass die Haushalte 45 % ihrer Energie einsparen müssen, während die gewerbliche Struktur bei gleichen Vorgaben nur 35 % einzusparen hat. Alle Daten auf der Seite der Energienachfrage lassen vermuten, dass die Energiewende im regionalen Testgebiet zu folgendem Ergebnis führen wird: Sowohl die privaten Haushalte als auch die Gewerbebetriebe müssen in Gebäude und Anlagen investieren und haben dafür über einen Zeitraum von rund 40 Jahren mit zusätzlichen Kosten rechnen. Diese Maßnahme sichert die Versorgung mit Wärme und Antriebsleistung bzw. Licht im gewohnten Ausmaß. Verändern wird sich auf jeden Fall das Mobilitätsverhalten. Hier ist mit einer deutlichen Reduktion der möglichen Fahrleistung zu rechnen.

Das Energieangebot im regionalen Testgebiet verändert sich über die Szenarien hinweg zu einer geplanten regionalen Autarkie. Die Ist-Situation zeigt die gegenwärtigen Versorgungsstrukturen, während die finale Energiewende für eine ausgeglichene Bilanz zusätzliche Produktionsquellen benötigt. Diese wurden im Bereich der Szenarien formuliert. Als strategisches Ziel gilt dabei ein Entwicklungspfad, der die globalen Energieträger im Zuge der Szenarien zu den lokalen verschiebt, wobei die *Lineare Fortschreibung* als Zwischenschritt zu sehen ist. Das lokale Energieangebot spannt dabei einen Bereich zwischen 400 und 730 GWh auf (Tabelle 30). Das entspricht einer Steigerung von rund 82 %.

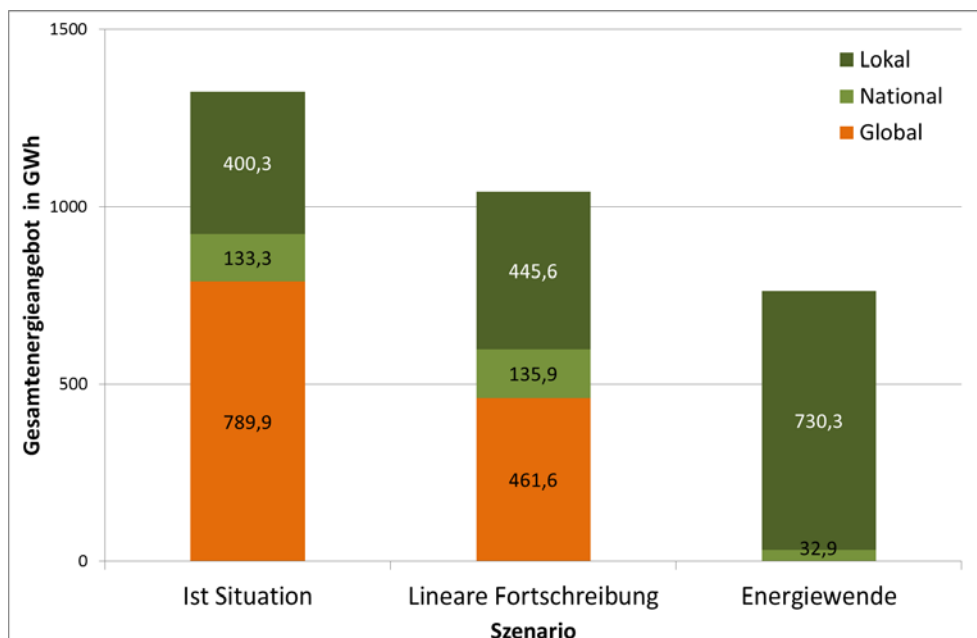


Abbildung 104: Konventionelles Energieangebot in der Region Ennstal Ausseerland

Bedeutendster Aspekt der finalen Versorgungsstruktur ist ein Windpark, der mit einer Jahresleistung von 150 GWh etwa 20 % des Endenergiebedarfes abdecken muss. Dieser Windpark ist unbedingt von einer lokalen Investorengruppe zu errichten, da nur diese Maßnahme den Zugang

zum erzeugten Strom sicherstellt. Die bereits gut ausgebaute Wasserkraft erzeugt durch Repowering und ein neues Kraftwerk um 38 % mehr, wobei noch einmal daran erinnert werden darf, dass das größte Wasserkraftwerk der Region keinen Beitrag zur lokalen Versorgung leisten kann. Die geplante Steigerung des forstlichen Biomassepotenzials in der Region beruht auf der vollen Nutzung des Zuwachses im Wirtschaftswald und auf einer um 5 % stärkeren Nutzung der Wälder in Schutzfunktion. Die zweite Maßnahme kann, muss aber nicht, realisiert werden, da das Szenario *Energiewende* bereits einen Überschuss von 27 GWh erwirtschaftet, der an die nationale Versorgung abgeliefert werden kann. Eine Steigerung von 21 % ist aber zu realisieren. Auch wenn der absolute Anteil der individuellen Versorgungsleistung der Wohnbevölkerung über thermische Solaranlagen und Photovoltaik am Ende nur 5 % des Gesamtenergiebedarfes ausmacht, so ist doch eine enorme Steigerung des Anteils um 433 bzw. 510 % notwendig. Im Austausch zwischen Biomasse und Ethanol belastet das Szenario *Energiewende* auch kaum das nationale Budget. Derzeit benötigt die Region noch rund 133 GWh aus der nationalen Energieaufbringung, und diese Energiemenge steigt bei der *Linearen Fortführung* noch geringfügig auf 136 GWh, bis diese bei der *Energiewende* auf 32,9 GWh abfällt. Die globale Nachfrage nach fossiler Energie kann bereits durch die noch konservativen Einsparungsansprüche der *Linearen Fortführung* um 42 % gesenkt werden und läuft in der finalen Situation gegen null aus.

Tabelle 30: Konventionelles Energieangebot im regionalen Testgebiet

	Konventionelles Energieangebot in GWh								
	Ist-Situation			Lineare Fortschreibung			Energiewende		
	Lokal	National	Global	Lokal	National	Global	Lokal	National	Global
Fossile Energie			789,9			461,6			
Biomasse	187,1	51,4		192,7	1,1		253,9	-27,0	
Wasserkraft	206,0	81,9		229,0	134,8		285,0	6,5	
Windkraft							150,0		
Photovoltaik	3,0			8,2			16,0		
Thermische Solarenergie	4,2			15,6			25,4		
Bio-Ethanol								53,4	
Teilsomme	400,3	133,3	789,9	445,6	135,9	461,6	730,3	32,9	
Gesamt		1323,5			1043,1			763,2	

Tabelle 30 vereint die mehrfach angesprochenen Wirkungen von Märkten mit dem Aspekt der Regionalisierung. Fossile Energie kann nur auf dem globalen Markt bezogen werden, lokale Energie hängt vollständig von den regionalen Möglichkeiten ab. Das Ausmaß der Unabhängigkeit, die Energie-Community spricht gerne vom Autarkiegrad, entsteht durch die Gegenüberstellung von gesamter Nachfrage und lokalem Angebot. Der Begriff ist nicht ganz scharf, im Wortsinn aber gut für die philosophische Denkweise geeignet, da autark als selbstgenügsam definiert ist. Die Energiewende der Region Ennstal Ausseerland ist durch eine Einsparung von 581 GWh an Energie stärker über die Einsparungen zu führen, der 1,8 mal stärker sein muss als die Bemühungen um zusätzliche erneuerbare Energie in einer Höhe von 330 GWh.

Entlang der zeitlichen Entwicklungskette zeigt Abbildung 105, dass der einfache technische Fortschritt, der mit dem Szenario der *Linearen Fortführung* definiert wurde, bereits einen absoluten Anstieg des Autarkiegrades um 13 % bringt. Das scheint noch nicht viel zu sein, aber es ist im Vergleich zum Ausgangspunkt immerhin eine Steigerung von 42 %. Diese Wirkung wird vor allem auf der Nachfrageseite ausgelöst. Erst ein massiver Schub in beiden Bereichen ermöglicht die Erfüllung der *Energiewende*.

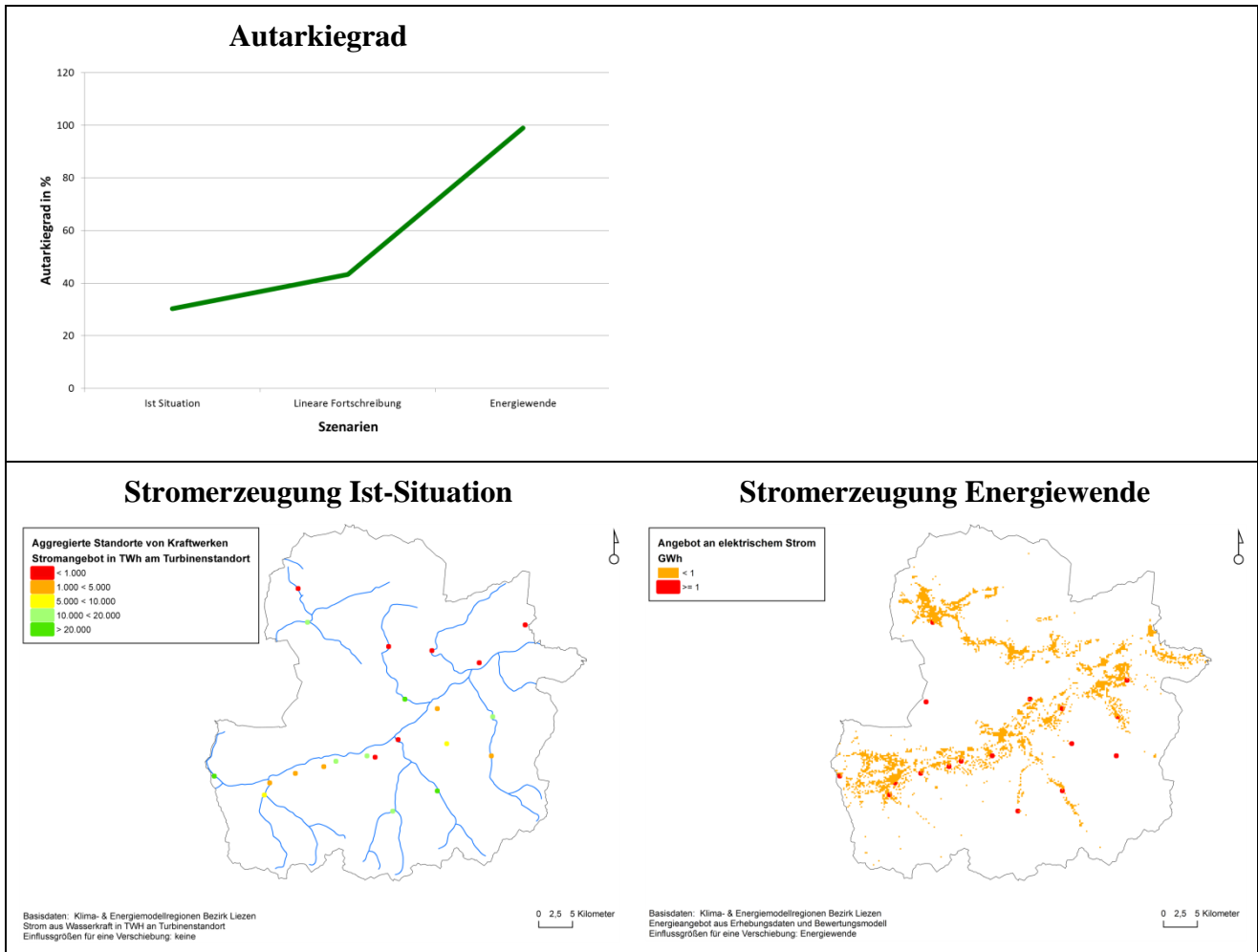


Abbildung 105: Autarkiegrad und Partizipation an der Stromerzeugung in der Testregion

Eine letzte für die Energiewende notwendige Änderung im Verhaltensmuster wird noch besprochen. Derzeit ruht die Versorgung mit elektrischer Energie in den Händen der Versorgungsunternehmen, die von ihrem Standort aus das Netz speisen und die Leitungsstruktur erstellen und warten. Kunden werden alleine schon aus Sicherheitsgründen aus dem Prozess ausgegrenzt. Der perfekte Kunde konsumiert und zahlt. Abbildung 105 unten links zeigt diese Situation. Die rechte Abbildung, die die Stromerzeugung nach der Energiewende zeigt, ist ein Hinweis darauf, dass viele bzw. eigentlich alle in der Region am Thema der Stromproduktion partizipieren können. Der Beitrag an Endenergie mag gering sein, aber die Haltung zur Gesamtfrage ändert sich. Die eigene thermische Solar- oder Photovoltaikanlage ist ungeachtet der Wirkung der Märkte die kleinste Einheit der Regionalisierung. Die starke Identifizierung der Besitzer bestätigt Toblers Gesetz.

5.2.3.2 Bildung von Versorgungsregionen

Obwohl die Bilanzierungsergebnisse bereits ausführlich über die Testregion informieren, kann ein lokales Maßnahmenpaket für die unterschiedlichen Szenarien doch noch kleinräumiger definiert werden. Weder Angebot noch Nachfrage an Nahrung oder konventionelle Energie ist in den Städten und Dörfern der Region gleich verteilt. Zur Anwendung kommt dafür wieder der Algorithmus BRG, der für größere Orte eine Versorgungsregion bildet.

5.2.3.2.1 Nahrungsversorgung

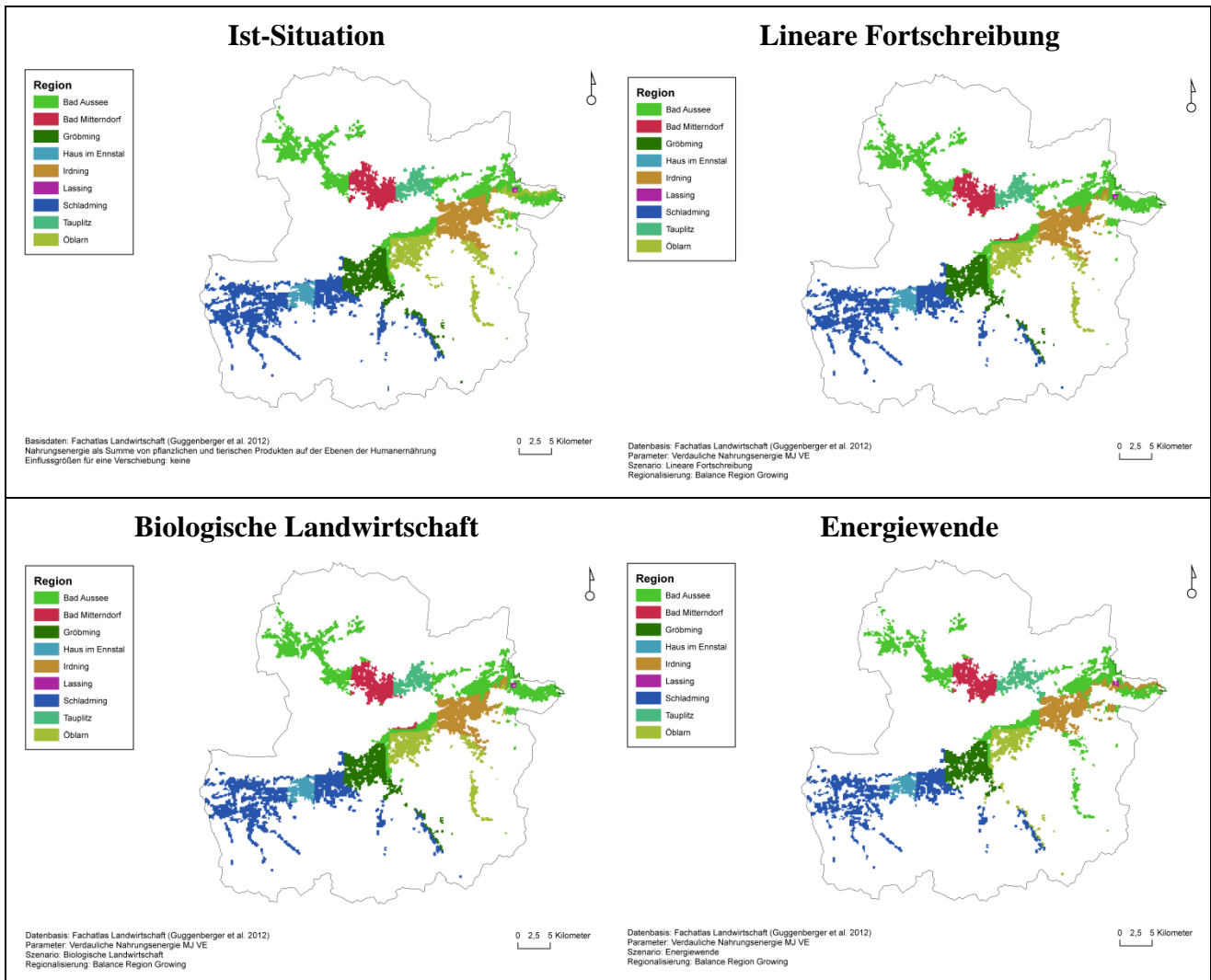


Abbildung 106: Einzugsgebiete kleinregionaler Ernährung in den Szenarien

Von Westen her greift die Nahrungsnachfrage der Stadtgemeinde Schladming und Ramsau am Dachstein bis auf die Höhe von Assach im Ennstal nach dem regionalen Angebot der Testregion und bezieht auch noch das Kleinsölktal mit ein. Haus im Ennstal wird rasch vom dominanten Nachfragegebiet umflossen. Gröbming bezieht neben dem eigenen Gemeindegebiet noch den fruchtbaren Mitterberg und den Taleingang der Sölktäler sowie das Großsölktal mit ein. Die Nachfrage der kleineren Gemeinde Öblarn wird vom stärkeren Nachbarn Gröbming in Richtung

Süd-Osten verdrängt. Die Nachfrage bezieht deshalb nicht nur das eigene Gemeindegebiet sondern auch Teile des Donnersbachtals mit ein. Der Ort Irdning verschmilzt mit den Orten im Irdninger Becken zu einer eigenen Ernährungsregion. Die Versorgungsregionen im Ausseerland werden vom Westen her durch die dominanten Nachfragen der Gemeinden rund um Bad Aussee angetrieben. Bad Mitterndorf und Tauplitz können sich zwar eigene Gebiete sichern, der noch verfügbare Rest des Testgebietes wird aber für die Abdeckung des Nahrungsbedarfes im inneren Salzkammergut benötigt.

Wie schon in der nationalen Analyse unter 5.1.3.2 für den inneralpinen Bereich erkennbar, zeigt Abbildung 106 die Unbeweglichkeit möglicher Versorgungsgebiete in den Szenarien. Die Gesamtanalyse hat gezeigt, dass die Gesamtbilanz in allen Ansätzen negativ ist. Da das Angebot im nahezu reinen Grünlandgebiet wenig differenziert ist, trifft die Parametrisierung der Szenarien auf alle gleichmäßig zu. Trotz geringfügiger Grenzverschiebungen bestätigen alle Ansätze, dass das geringe Angebot in den nachfragestarken Gebieten weit in die Region hinaus wirkt. Die Stadt Schladming dominiert die gesamte gleichnamige Region, und das Kerngebiet im inneren Salzkammergut (Bad Aussee, Altaussee und Grundlsee) muss vom gesamten Ausseerland und den verfügbaren Restgebieten im Ennstal mitversorgt werden. Wie bei der nationalen Analyse zeigt sich aber wieder die Wirkung des Grenzpolygons. Im Osten schließt an die Testregion die Stadt Liezen an. Würde diese mitbilanziert, verbliebe das Gebiet des inneren Salzkammergutes in einem starken Defizit, welches wahrscheinlich auch im dort angrenzenden Raum in Oberösterreich nicht zu decken wäre.

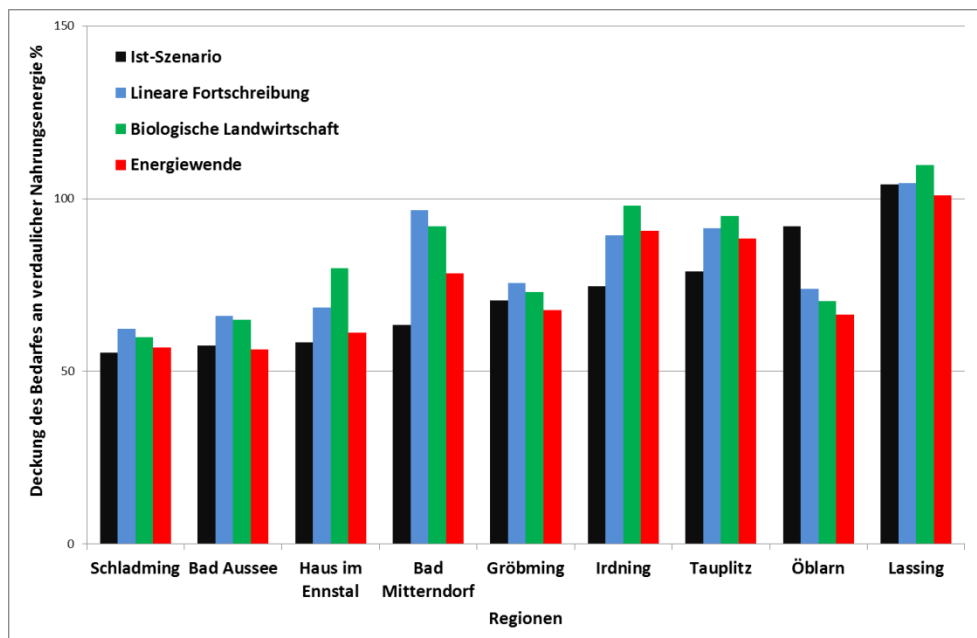


Abbildung 107: Verdauliche Nahrungsenergie in den einzelnen Ortsgebieten

Diese Aussagen können durch den Deckungsgrad der Ernährung mit verdaulicher Nahrungsenergie in Abbildung 107 noch verdeutlicht werden. Die beiden Städte Schladming und Bad Aussee kommen nicht über einen Versorgungsgrad von 60 % hinaus und begrenzen auch die Versorgungschancen der näher liegenden Orte wie Haus im Ennstal oder Bad Mitterndorf.

Gröbming ist selbst schon ein sehr verdichtetes Siedlungsgebiet mit schwachen Versorgungschancen durch die vom Ertrag her noch schwächeren Gebirgstäler im Süden. Erst wenn sich die Siedlungsstruktur auflockert und die Orte weit genug von den Ballungszentren entfernt sind, stellt sich eine vernünftige Nahrungsbilanz ein. Irnding, aber vor allem Lassing profitieren zusätzlich von der in Richtung Liezen steigenden Fruchtbarkeit der Landwirtschaft.

5.2.3.2.2 Wärme aus Biomasse

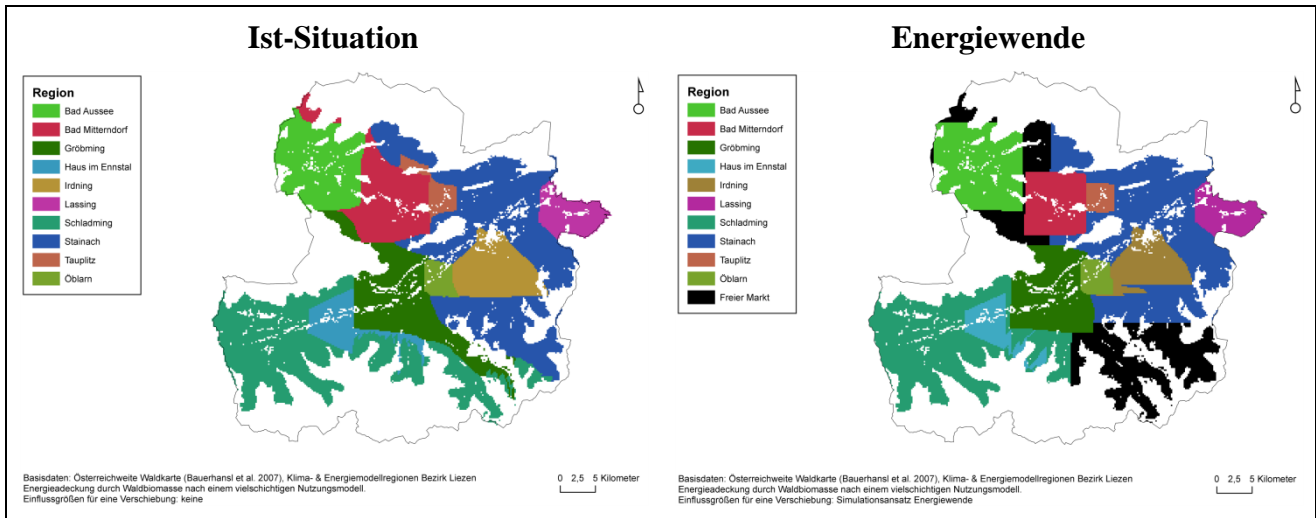


Abbildung 108: Versorgungsregionen mit Wärme aus Biomasse

Die vollständige Bereitstellung von Heizenergie über die Waldbiomasse um die Nachfrage in den Haushalten und Gewerbebetrieben abzudecken, gelingen in der *Ist-Situation* ebenso wenig wie die Abdeckung des Nahrungsbedarfes. Ein möglicher *freier Markt* kann derzeit nicht beliefert werden – im Gegenteil – eine externe Zufuhr muss die aufgebauten Kapazitäten unterstützen. Für die Analyse der Regionalisierung ist es wichtig, dass über die Existenz eines industriellen Biomassekraftwerks in Stainach informiert wird. Die Landgenossenschaft Ennstal betreibt an diesem Standort eine Anlage, die auf kleinem Raum ein Vielfaches der Energienachfrage erzeugt. Der Algorithmus BRG nimmt deshalb für diese Seed eine viel höhere Entwicklungsgeschwindigkeit auf als für andere Startpunkte in der Region. Stainach dominiert mit seiner Nachfrage die gesamte östliche Hälfte des regionalen Testgebietes und beeinflusst die anderen Orte sehr stark. Vom Westen her drängt Schladming sehr stark in die Waldgebiete der Schladminger Tauern und dehnt seine Nachfrage sogar bis in die Sölkäler aus. Gröbming wird von Westen und Osten her bedrängt. So schwach die Nahrungsversorgung im Ausseerland ist, so gut ist die Verfügbarkeit von forstlicher Biomasse. Die Wälder sind flächig vorhanden und haben eine bessere Ertragsleistung als jene im Süden der Region. Alle Orte im Ausseerland können ihre Nachfrage besser abdecken als die Gebiete des Ennstals.

Im Szenario *Energiewende* wurde die Wärmenachfrage massiv gesenkt. Nun kann die Region vollständig versorgen und sogar noch 9 % an Biomasse auf den *freien Markt* exportieren werden. Die Exportgebiete entstehen dort, wo die räumliche Nachfrage loser verteilt ist. An der zunehmend wieder viereckigen Form der Versorgungsregionen kann die vollständige Abdeckung des Bedarfes

auch optisch abgelesen werden. Abbildung 109 zeigt diese Erkenntnis mit den Autarkiegraden in den Ortsgebieten. Bereits im Szenario der linearen Fortschreibung, und noch deutlicher in der Energiewende können 8 von 10 Ortsgebieten vollständig versorgt werden. Die Orte Lassing und Irdning werden von Stainach her so stark bedrängt, dass der Bedarf nicht in einer eigenen Ortsregion abgedeckt werden kann, sondern vom regionalen freien Markt entnommen werden muss.

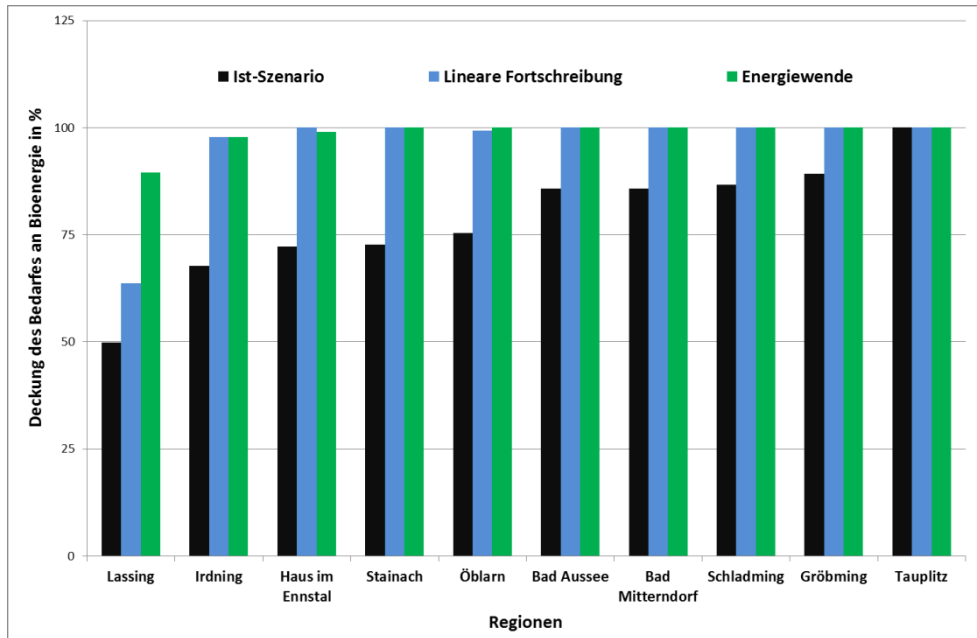


Abbildung 109: Energie aus Biomasse in den einzelnen Ortsgebieten

5.2.3.2.3 Strom

Die Regionalisierung der Stromversorgung unterscheidet sich methodisch deutlich von der Bildung der Nahrungs- und Biomasseregionen. In diesen beiden Ansätzen startet BRG mit einer hohen Nachfrage in den Ortszentren und sucht sich zur Abdeckung land- oder forstwirtschaftliche OTUs. In beiden Fällen steht jedem Seed eine große Menge an potenziellen Bilanzpartnern gegenüber. Beim Strom ist das genau umgekehrt. Alle OTUs im Siedlungsgebiet benötigen Strom, geliefert werden kann aber nur von einer begrenzten Menge an Wasser- oder Windkraftwerken. Würde also BRG wieder von der Nachfrage zur Angebotsseite analysieren, würden jene Seeds, die ein Kraftwerk als erstes erreicht, den vollen Ertrag – dieser würde dann wohl fast immer deutlich über dem Bedarf liegen – für sich in Anspruch nehmen. Dies würde zu keiner Lösung führen. Deshalb startet BRG für die Regionalisierung der Stromversorgung von den Angebotsspitzen und sucht sich nach dem bereits bekannten Muster die Nachfrage in den Siedlungsgebieten. Der Unterschied liegt dann in der Interpretation, die aus der Sicht des Kraftwerksbetreibers zu lesen ist. Ein Betreiber kann so formulieren: „Mein Versorgungsgebiet nach BRG reicht von ... bis ...“. In Kenntnis von politischen Ortsgebieten können die Bewohner aber auch erkennen: „Ortsteil ... wird von Wasserkraftwerk ... versorgt“.

Im regionalen Testgebiet stehen 24 potenzielle Energielieferanten für die regionale Stromversorgung zur Verfügung. Bedingt durch ihre Lage und das Alter schwankt die

Angebotsbreite enorm. Der im Szenario *Energiewende* geforderte Windpark liefert 150 GWh, das kleinste private Wasserkraftwerk nur 0,1 GWh. Der Ausbreitungsdruck nach BRG unterscheidet sich also deutlich und führt bei benachbarten Kraftwerken zu hoher Konkurrenz, die dazu führt, dass einzelne Kraftwerke ihr Potenzial nicht regionalisieren können. Zugleich gibt es aber Nachfragespitzen, die dazu führen, dass einem Kraftwerk mehr an Nachfrage zugemutet wird als dieses abarbeiten kann. Entschärft wurde dies etwas durch die lokale Aufteilung der Spitzen auf die Nachbarzellen.

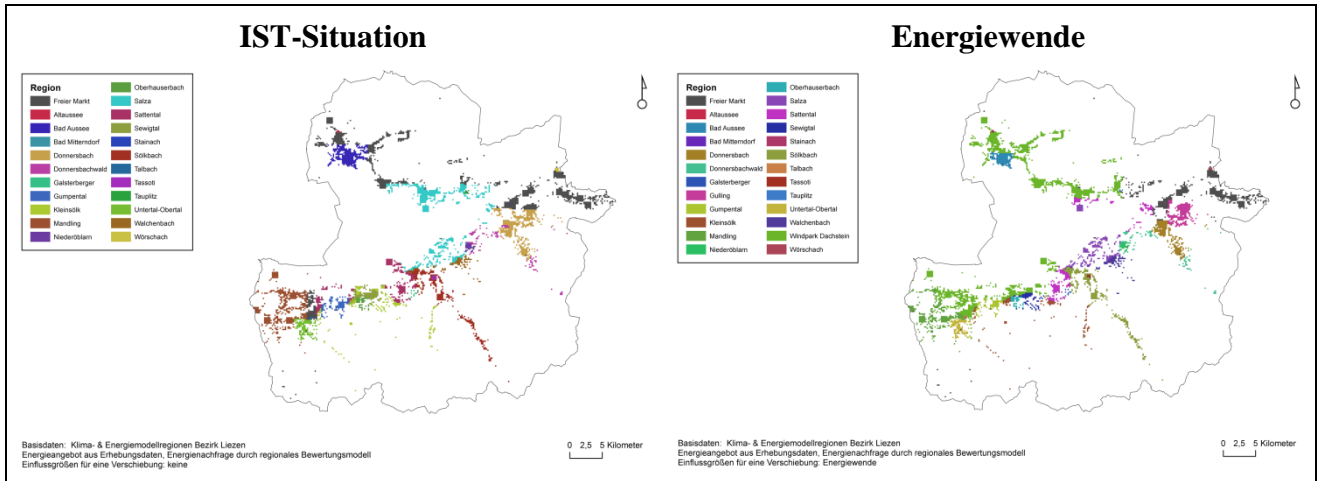


Abbildung 110: Ausbreitungsgebiete der Energieversorger

Die kleinen Wasserkraftwerke, das wird schnell sichtbar, erschöpfen im *Ist-Szenario* ihre Leistung bereits in unmittelbarer Nähe und werden durch die Zugabe eines einzelnen OTUs bereits überfordert. Zu sehen ist dies in Abbildung 111 bei den kleinen Kraftwerken im rechten Bildbereich. Die linke Gruppe dagegen liegt im Konkurrenzkampf, und weil die Gruppe Sölkbach tief im Tauerntal liegt, kann sie ihre Potenziale nicht verorten. Das gilt auch für die Kraftwerke Walchenbach und Niederöblarn, die in Konkurrenz mit dem Speicherkraftwerk Salza stehen.

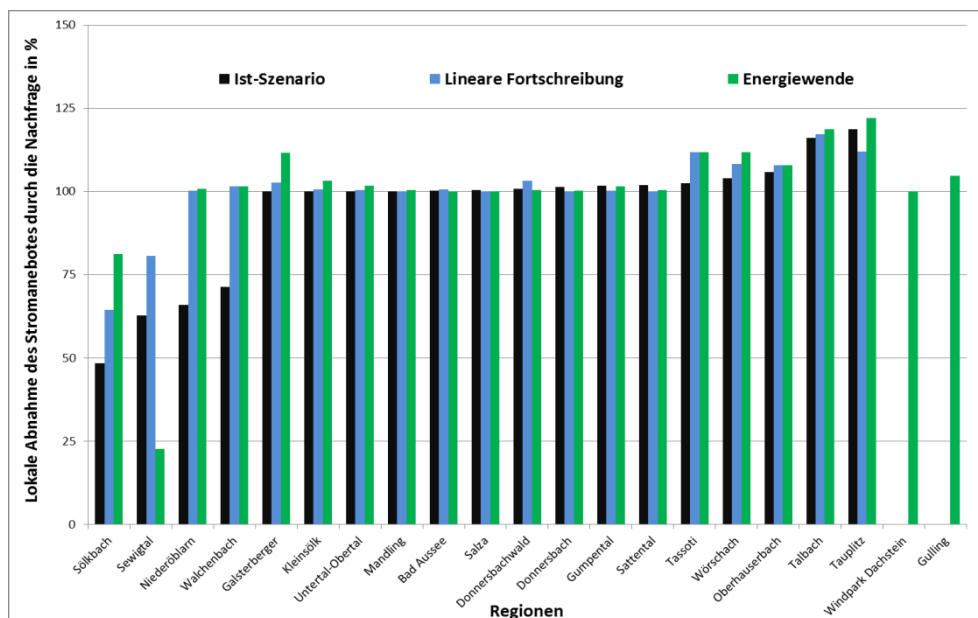


Abbildung 111: Marktausbreitung der einzelnen Stromlieferanten

Im Szenario *Energiewende* ergänzen der Windpark Dachstein und ein Wasserkraftwerk an der Gulling das Energieangebot. Die Nachfrage bezüglich Strom ist in diesem Szenario deutlich gestiegen. Zwar decken viele Photovoltaikanlagen nun auch einen kleinen Anteil des Haushaltsstromes ab, aber die großen Versorger sind noch immer die zentralen Kraftwerke. Zwar ändert sich die Situation der räumlichen Konkurrenz nicht wirklich, aber die großen Energielücken können nun regional geschlossen werden. Dies gelingt, indem die freien Kapazitäten der Sölkäler und des Walchentaales in den noch unterversorgten Raum im Osten des lokalen Testgebietes umgeleitet werden. Der Windpark am Dachstein versorgt im Prinzip nun das gesamte Ausseerland und schließt jene Lücken im südlicher liegenden Ennstal, die von der dort gut verfügbaren Wasserkraft nicht geschlossen werden können.

5.3 Erkenntnisse zum Einsatz des Balance Region Growing

Die bisher im Ergebnisteil besprochenen Kapitel bilden den didaktischen Aufbau der Arbeit ab. Der umfassende Bereich der Methodik liefert die Themenbereiche sowie deren Funktionen, und steuert mit BRG einen eigenen Algorithmus für die Regionalisierung bei. Die Simulation bietet mit der *Ist-Situation*, der *linearen Fortschreibung*, der *biologischen Landwirtschaft* und der *Energiewende* vier Szenarien an, die ein breites Handlungsfeld ermöglichen. Die Ergebnisse verbinden schließlich alle Bereiche und erzeugen nationale und regionale Aussagen. Im Rahmen der Diskussion werden einzelne Ergebnisse noch in Beziehung zu bekannten Arbeiten und Haltungen gestellt. Die praktischen Erfahrungen mit dem Algorithmus BRG sind aber nicht Teil der fachlichen Diskussion, sondern eher Ergebnis des Arbeitsprozesses. Deshalb werden die Stärken und Schwächen nicht diskutiert, sondern nur bewertet.

5.3.1 Stärken

5.3.1.1 Experimentelle Unterstützung bei der Festlegung von Seeds

BRG kann in seiner Anwendung potenzielle Seeds finden oder Vorgaben durch die Anwender berücksichtigen. Praktisch empfiehlt sich ein zweitstufiger Prozess. Mit den beiden Stellgrößen *Moving Window Size for Agglomeration* und *Times of Standard Deviation for Threshold* kann im experimentellen Ansatz eine sinnvolle Grundgesamtheit an Seeds definiert werden. Deren Grundeigenschaft, das ist ein lokales Maximum in der Nachfrage, deckt sich oft mit bereits bestehenden Bewertungsschemen. Diese können in einem zweiten Arbeitsschritt berücksichtigt werden und führen dann zu einem fixen Set an Seeds. Dieser Ansatz wurde in dieser Arbeit etwa mit den Stadtregionen in Österreich umgesetzt. Der experimentelle Ansatz der Nahrungsnachfrage ergibt in einem ersten Schritt bei einer Minimaldistanz von 9 km und einem Grenzwert der um vier Standardabweichung über dem Mittelwert liegen, 42 Seeds. Tatsächlich wurden von der Statistik Austria aber 34 Stadtregionen definiert, die auch so akzeptiert wurden. Für die Stadtregionen wurde dann jenes Seed fixiert, das im freien Spiel der Werte festgelegt wurde. Ein Beispiel dafür kann in Abbildung 112 studiert werden.

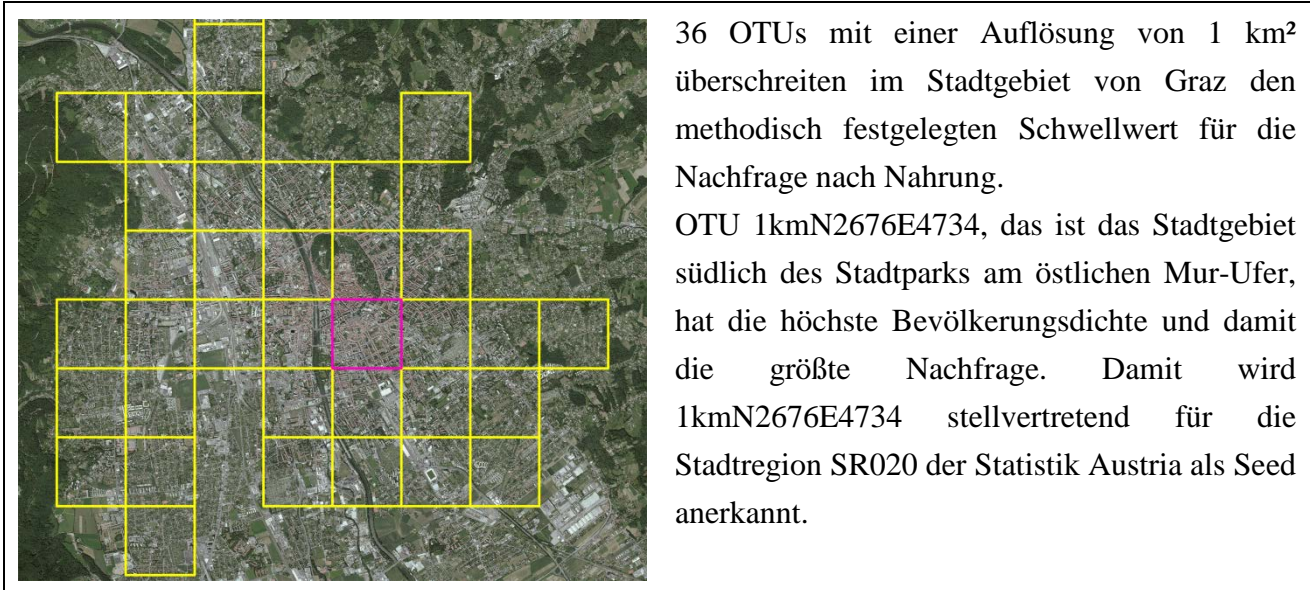


Abbildung 112: Auswahl einer Seed aus potenziellen Kandidaten

5.3.1.2 Freie Entwicklungsdynamik für Regionen

BRG hat kein geplantes Ausbreitungsverhalten. Die Regeln des Algorithmus sind prinzipiell schlicht und lauten in bildlicher Sprache: Bewege dich spiralförmig um deine Seeds und sammle OTUs bis du „satt“ bist oder keine Partner mehr zur Verfügung stehen. Richte deine Geschwindigkeit dabei am aktuellen „Hunger“ aus. Vergiss nicht – du bist nicht allein!

BRG bildet, wenn dieses auch nicht im Sinne dieser Entwicklungstechnik implementiert wurde, in seinem Verhalten ein *Multithreading* ab. Die Interaktionen, die dabei zwischen den einzeln agierenden Seeds und den potenziellen Bestandteilen einer Region möglich sind, können unter konkurrierenden Bedingungen nicht prognostiziert werden. Jeder Thread darf in der aktuellen Fassung von BRG seine Teilaufgaben erfüllen. Das führt zu reproduzierbaren Ergebnissen. Die Ergebnisse sind jedenfalls dynamisch, hoch interessant und dabei gut verständlich. Das Beispiel in Abbildung 113 ist eine Analyse des bereits besprochenen Ergebnisses einer Regionalisierung für Waldbiomasse für Heizzwecke im Ist-Szenario im lokalen Testgebiet und zeigt folgende Dynamiken:

1. Die Stadt Schladming sammelt im dicht besiedelten Gebiet sehr rasch eine enorme Wärmenachfrage auf. Dabei wird gegen Westen bald die Regionsgrenze und gegen Norden eine künstliche Barriere erreicht. Die Wirkung der Barriere wird noch gezeigt. Die sich bildende Region kann sich also nur nach Osten ausbreiten.
2. Schon bald wird dabei die kleinere Region Haus im Ennstal erreicht. Diese wächst zwar der Region Schladming zuerst entgegen, ist dabei aber zu langsam und wird zusehends von Schladming umlaufen. Die eigene Ausbreitungsrichtung ist damit auch Osten, wobei es zum Konfliktzeitpunkt aber annähernd gleich starke Nachfragen gibt. Dies ist an dem sich öffnenden Trichter zu erkennen.
3. Haus und Schladming treten schließlich mit Gröbming in Kontakt, das sein Gebiet aber nun ebenfalls nicht mehr nach Westen ausbreiten kann. Zugleich von der großen Nachfrage in

Stainach (6) auch von Osten her bedrängt, bleibt nur mehr der Süden bzw. Norden. In Richtung Süden geht der konkurrierende Wettstreit rasch verloren. Gröbming kann nur einen schmalen Streifen des eigenen kleinregionalen Gebietes in den Söltkälern binden. Der westliche Teil fällt an Schladming, der östliche an Stainach.

4. Stainach nutzt das größte regionale Biomassekraftwerk und breitet sich am Beginn 40-mal schneller aus als alle anderen Seeds. Mit dieser Geschwindigkeit erreicht Stainach rasch die Gebiete in Gröbming, kesselt die kleine Region Lassing (5) in seiner Ecke ein und liefert sich mit der Region Irnding einen Wettkampf (6), den diese Region schließlich verliert.
5. Lassing wird auf drei Seiten von der Regionsgrenze eingeengt, verliert zu schnell die Gebiete im Westen und bleibt so übermäßig stark unterversorgt.
6. Irnding kann sich über einige Runden hinweg mit dem „Rückenwind“ von Stainach gegen Süden ausbreiten. Bald schon hat aber Stainach aufgeholt und Irnding erkämpft sich noch zwei Landzungen (gelbe Box) bevor es schließlich umschlossen wird.

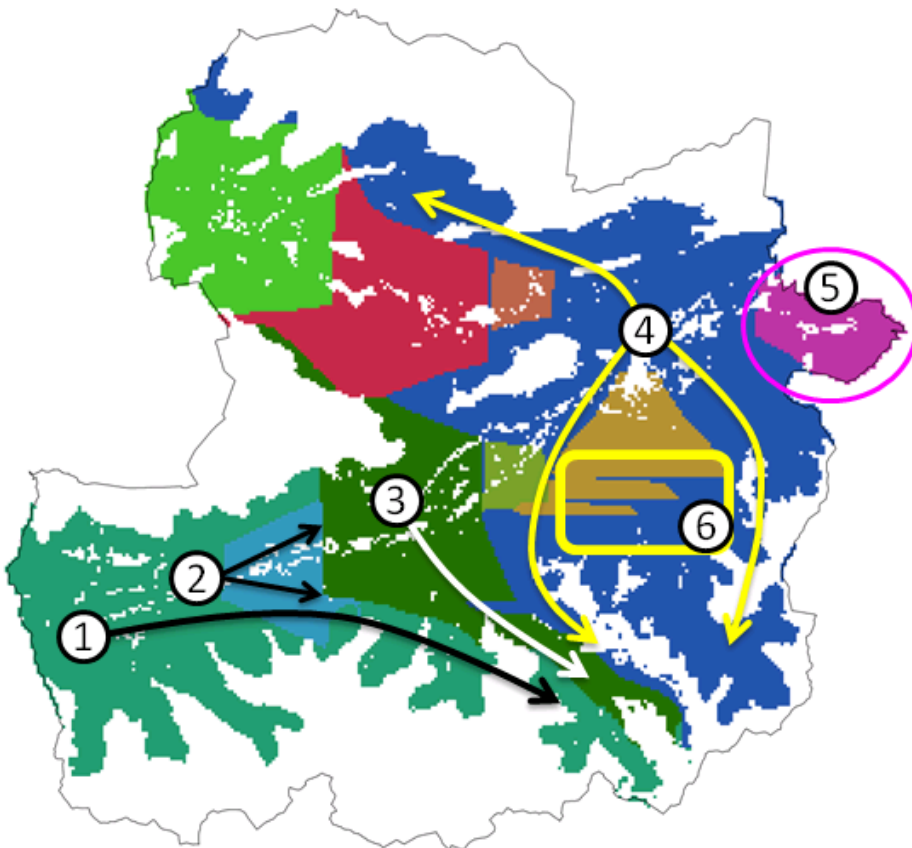


Abbildung 113: Entwicklungsdynamik in Versorgungsregionen

In vielen Absätzen dieser Arbeit werden die räumliche und die marktwirtschaftliche Frage angesprochen. Hier treffen beide wieder aufeinander. Das Prinzip von Angebot und Nachfrage bestimmt die Entwicklungsgeschwindigkeit einer Region, die Form selber kann sich aber nur aus der räumlichen Struktur und der Interaktion der Regionen abbilden. Eine für beide Disziplinen zunehmend versöhnliche Entwicklung.

5.3.1.3 Freier Ansatz in der Bilanzierungsrichtung

In der Datenstruktur des BRG finden sich zwei entscheidende Datenfelder, die aktuell den Namen *Demand* und *Supply* tragen. Zusammen definieren diese Felder die Grundregel von Märkten: Das Spiel von Angebot und Nachfrage. Typischerweise orientiert sich die Bilanzierung immer am Wunsch der Kunden ihren Bedarf zu decken. In solchen Fällen füllen die NutzerInnen ihre Nachfrage-bzw. Angebotsdaten in die gleichlautenden Felder. Wie am Beispiel der Regionalisierung von Wasserkraftwerken zu sehen war, kann die Bilanzierungsrichtung aber auch anders interpretiert werden. Ein Kraftwerksbetreiber, der Kunden sucht, bildet nicht sein Stromangebot sondern seine Nachfrage zur Abnahme von Waren ab und füllt diese deshalb in das Feld *Demand* ein. Die Kunden wiederum befriedigen diesen Wunsch nach Abnahme und melden die Bereitschaft im Feld *Supply* an. Der zweite Interpretationsansatz benötigt einen konsequenten Rollenwechsel aus der Sicht des Kunden in die des Verkäufers. Ohne auch nur ein Zeichen an BRG zu ändern, können Nachfrage- und Angebotsregionen gebildet werden.

5.3.1.4 Freie Themenwahl

Alles, was bewertet werden kann, kann mit BRG auch bilanziert werden. Einige nicht ganz ernst zu nehmende Beispiele im Sinne von Angebotsregionen wären:

- Schulen kennen ihre Kapazitäten und suchen sich Kinder in der richtigen Altersstruktur
- Mehre Apotheken kaufen eine große Angebotsmenge an Aspirin und versuchen gemeinsam optimale Verkaufsregionen zu gestalten
- Die katholische Kirche leidet an Priestermangel und versucht eine optimale Besetzung in größeren Kirchengemeinden.

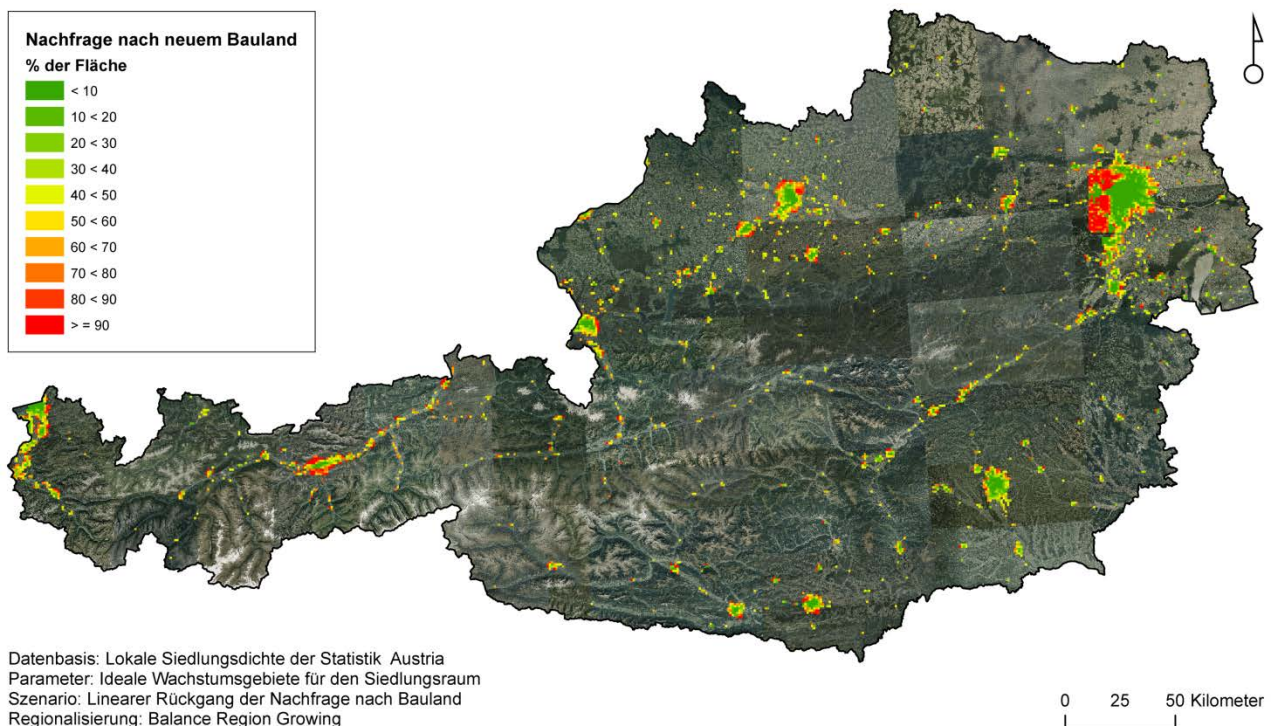


Abbildung 114: Nachfrage nach Siedlungsgebieten

Auch außerhalb der abgearbeiteten Energiefrage kann BRG nützlich sein. In der Definition der nationalen Szenarien für die Nahrungsversorgung wurde der Aspekt der Versiegelung land- und forstwirtschaftlicher Flächen mit 95.000 ha angegeben. Dieser gesamte Flächenanspruch wurde mit BRG in eine regionale Verteilung umgewandelt, wobei diesmal die Grenzwerte für die räumliche Distanz und die Höhe der Nachfrage auf ein Minimum gesetzt wurden. So ergaben sich 2.161 Seeds, die sich in ihrer Ausrichtung dem qualitativ schlechteren Produktionsgebiet für Nahrung zuwenden mussten. Diese Parametrisierung führt dazu, dass sich die Städte eher in den Wald ausbreiten müssen und das fruchtbarere Ackerland erhalten bleibt. Vor allem bei Wien und Innsbruck ist das auch in Abbildung 114 deutlich sichtbar.

5.3.1.5 Grenzbildung möglich

Das Untersuchungsgebiet des BRG wird grundsätzlich durch die Selektion von Zellen aus dem Geographical Grid System (INSPIRE, siehe 3.2.2) definiert. Nur im Datensatz potenziell vorhandene OTUs können auch zu Regionen zusammengefasst werden. Die Nachbarschaft sich bildender Regionen hängt dabei vorerst nicht von der Parametrisierung ab, sondern benötigt lediglich die Nachbarschaft in der Schachbrett-Metrik. Noch einmal: Nach außen hängen die Grenzen von Regionen von der Existenz potenzieller OTUs ab.

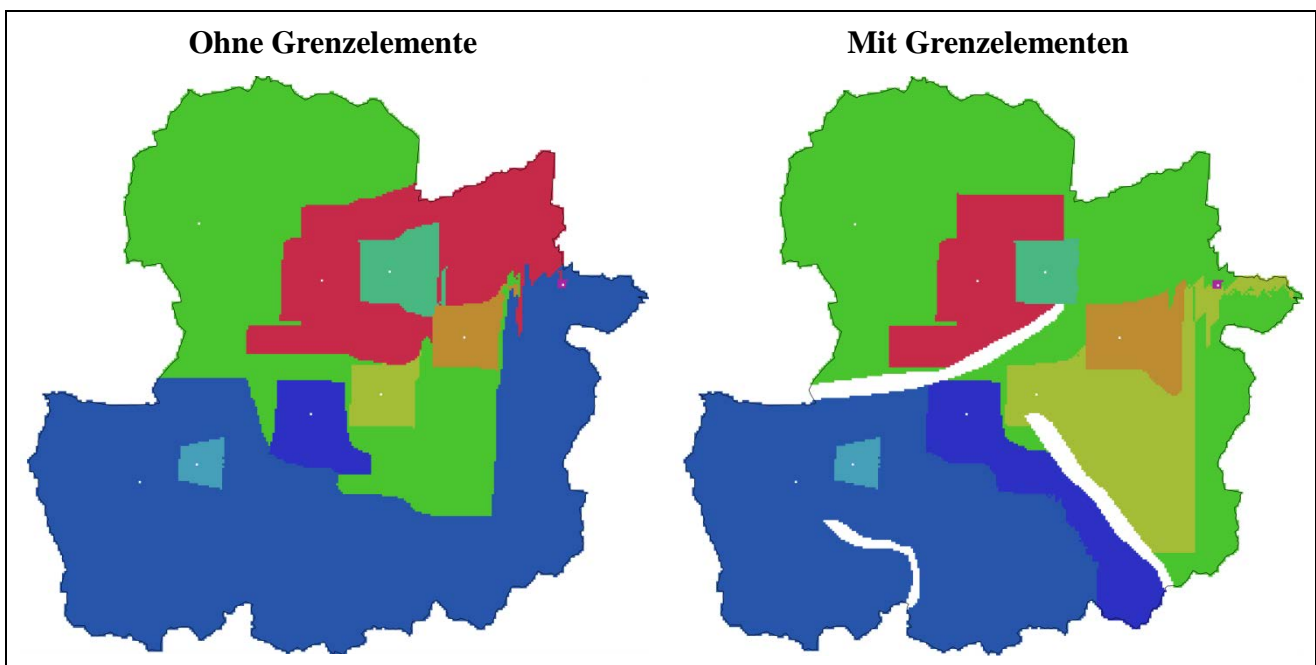


Abbildung 115: Ergebnis einer Regionalisierung ohne bzw. mit subjektiven Grenzelementen

Die in blau gehaltene Region im oberen Ennstal wird topographisch vom Ausseerland durch das Dachsteinplateau so abgegrenzt, dass nur eine mehrtägige Wanderung die Regionen verbindet. Diese Region erfährt außerdem in den tief eingeschnittenen Tälern der Tauern eine weitere Strukturierung, die keinen Übergang kennt. Beide Aspekte sollten von BRG berücksichtigt werden. Anderenfalls würde das Ergebnis stark vom praktisch Möglichen abweichen. Wie positiv die Grenzbildung arbeitet, kann in Abbildung 115 gezeigt werden. Durch das vollständige Löschen von

einigen OTUs entlang der Bergrücken und im Dachsteingebiet entwickelt sich die Region wie gewünscht. Die Region um Schladming verbleibt im sich nach Osten ausdehnenden Ennstal und kann das Irndinger Becken auch nicht im Süden umlaufen. Das gibt den Gebieten im Ausseerland die Chance, auf Flächen im fruchtbaren Bereich nahe Liezen zuzugreifen. Diese Gebiete sind über die E651 und die B145 auch tatsächlich verbunden.

5.3.1.6 Hohe Leistungsfähigkeit des Datenmodells

Viele positive Eigenschaften von BRG, besonders die freie Entwicklungsdynamik, führen zu intensiven Suchzugriffen auf die Datenstruktur. Die Möglichkeit des Fall-Back's kann etwa dazu führen, dass sich die Suche eine Zeitlang eher rückwärts bewegt und dafür unzählige nicht wirksame Suchzugriffe notwendig werden. Der für BRG notwendige Suchbaum – dieser wurde bei der Darstellung des Algorithmus ausführlich beschrieben – ermöglicht so rasche Zugriffe, dass ein Prozess des „Try & Error“ in Kauf genommen werden kann. Der Kernprozess von BRG konnte in der nationalen Anwendung pro Sekunde über 665.000 OTUs prüfen. Diese Performance reicht aus, um einen Durchlauf in rund 3 Minuten abzuschließen. Da der Prozess einen statischen Anteil an Operationen auszuführen hat, steigt die Anzahl der Zugriffe pro Sekunde mit der Anzahl der Objekte.

Tabelle 31: Zugriffsgeschwindigkeit BRG

Anwendung	Objekte	Seeds	Zugriffe OTU	Sekunden	Zugriffe/Sekunden
Nahrung National	83000	34	131.702.471	198	665.164
Forstbiomasse Regional	49252	10	32.267.534	65	496.424

5.3.2 Schwächen

5.3.2.1 Ausbreitungsmodell

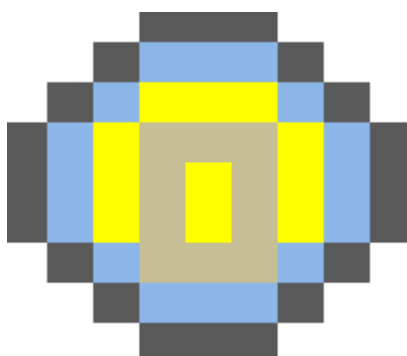


Abbildung 116: Kreisförmige Ausbreitung im BRG

Das Ausbreitungsmodell der Manhattan-Metrik ist die schlichtest denkbare Ausbreitungsstruktur innerhalb der OTUs von BRG. Die sich in freien Gebieten ergebenden Regionen werden als große Quadrate sichtbar; eigentlich würde man sich ohne Vorwissen eher einen Kreis wünschen. Dieser Kreis könnte auch in geometrischen Rasterstrukturen nach folgender Überlegung implementiert werden: Ausgehend von der Standardimplementierung erreicht der Rundumlauf eine kreisförmige Struktur, in welcher gelegentlich einzelne Ekelemente ausgelassen werden und die Bewegungsrichtung

nicht mehr horizontal bzw. vertikal sondern schräg verläuft. BRG V2.0 wird diese Ausbreitungsvariante anbieten. Vorläufig reicht aber das Zeitbudget nicht aus, um diese komplexere Bewegungsart zu implementieren und vor allem zu testen.

5.3.2.2 Isolationsgefahr

Die Einführung von Grenzelementen kann die Ausbreitung von Regionen über natürliche Grenzen (etwa Gebirgszüge) hinweg verhindern. Dies unterstützt die Bildung von empirischen Regionen. Ein zweiter Fall regionaler Anomalien kann aber damit nicht gelöst werden. Unterschiedliche Dichten in Nachfrage und Angebot ermöglichen einzelnen Seeds, die natürlichen Gebiete anderer zu umlaufen. Gelingt dies in einem Zug vollständig, bleiben Regionen frühzeitig isoliert, weil sie nach der Schachbrett-Metrik keine OTUs mehr anschließen können.

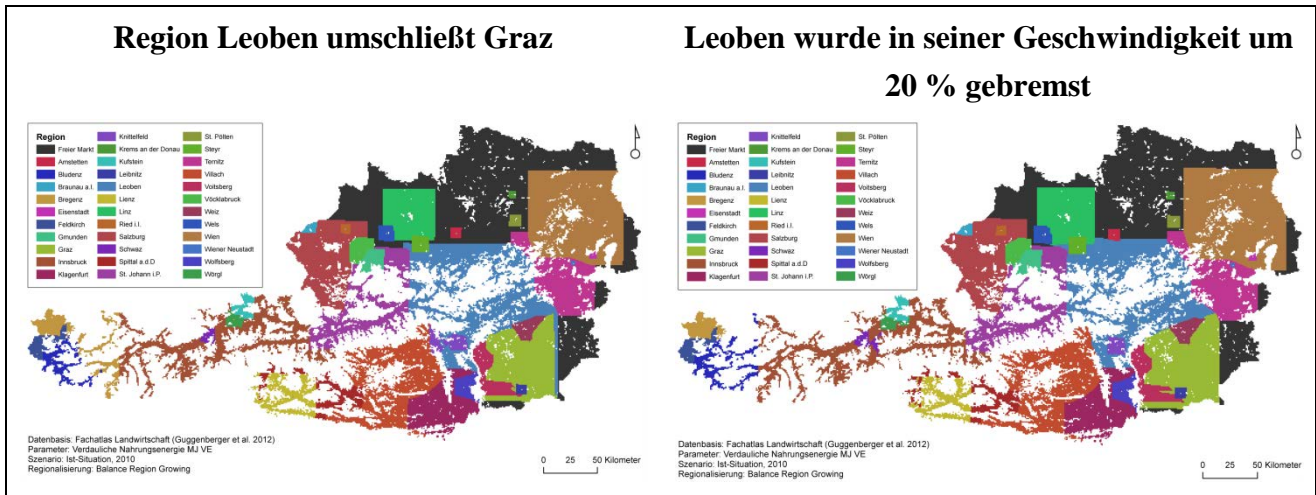


Abbildung 117: Isolationsgefahr von Regionen

Abbildung 117 links zeigt das bereits aus Abbildung 91 bekannte Bild von aktuellen Versorgungsregionen für Nahrung auf nationaler Ebene. In dieser Abbildung konnte Leoben im rechten unteren Kartenausschnitt Graz in einem Zug vom restlichen Gebiet in der Oststeiermark abschneiden. Da aus dem Westen andere Regionen nachrücken, konnte Graz keine weiteren Gebiete mehr dazugewinnen und blieb in der Bilanz unterversorgt. Das, obwohl in nächster Nähe noch freie OTUs zu finden sind. In der linken Abbildung wird nun die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Leoben durch einen manuellen Eingriff um 20 % gesenkt. Leoben kann so Graz im Osten nicht einschließen und breitet sich eher nach Norden aus. Die Situation ist geklärt.

Obwohl die Isolationsgefahr gelöst werden kann, ist sie als Schwäche zu bezeichnen. Der Grund liegt in den empirisch gesteuerten Eingriffen. Die Annahme, dass Leoben Graz im Osten nicht umlaufen sollte, ist subjektiv. Das unterscheidet dieses Problem letztlich auch von der Nutzung allgemein anerkannter Grenzelemente. Die manuelle Veränderung in der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Seeds muss gut überlegt und auf jeden Fall dokumentiert werden.

6 Diskussion

Achtung vor der Scheibenwelt! Terry Pratchett's fantasievoller Entwurf einer anderen, flachen Welt darf als Bild für eine ständig drohende Systemgrenze des Denkens verstanden werden (Pratchett, 1983). Nur die Gelehrten der Scheibenwelt wissen, dass diese auf vier Elefanten ruht, die wiederum auf dem Rücken von Groß-A'Tuin, einer Schildkröte, stehen. Groß-A'Tuin fliegt durch das Weltall. Die mystischen Verstrickungen der Gelehrten, diese Interpretieren das Geschehen meist mit einer Mischung aus Halbwissen und Magie, erinnern an die Entwicklung der Wissenschaft im ausklingenden 16. Jahrhundert. Sir Isaac Newton (1643 – 1727) fällt als „letztem Magier“ die Ehre zu, das Zeitalter der Aufklärung auf der „Kugelwelt“ endgültig eingeleitet zu haben (Fauvel *et al.*, 1988).

Das Bild der Scheibenwelt mit seinem im Abgrund endenden Rand soll hier als Bild für die Systemgrenze von wissenschaftlichen Untersuchungen verstanden werden. Die Aufgabe der Systemgrenze ist vor allem die Darstellung des Rahmens einer wissenschaftlichen Arbeit. Dieser beschreibt, welche Aspekte eingeschlossen wurden und gibt Auskunft über bedeutende Bereiche, die ausgenommen blieben. Niemand kann alle Aspekte und Wechselwirkungen berücksichtigen die global bestehen oder sich in der Zukunft entwickeln könnten. Zur eigenen Sicherheit und zur Orientierung des Lesers muss – zumindest ungefähr – dargestellt werden, wie sich das Puzzle der eigenen Arbeit in das Gesamtbild einfügt oder einfügen könnte.

Der methodische Teil dieser Arbeit in Kapitel 2 und Kapitel 3 bildet innerhalb der Systemgrenze dieser Arbeit den statischen Kern. Dieser hat den Anspruch einer gegenwärtigen Gültigkeit. Die Formeln zur physikalischen Bewertung von Teilgrößen stellen das aktuelle Wissen dar. Das gilt auch für die naturwissenschaftlichen Kernfunktionen im landwirtschaftlichen Teilbereich der Nahrungsbereitstellung. Die Daten, die mit den Methoden und Funktionen bewertet werden, kommen im hohen Ausmaß aus verlässlichen Quellen und haben eine enorme Dichte. Die erste Systemgrenze betrifft die räumliche Zuordnung der Daten. Landwirtschaftliche Daten beziehen sich auf die Verwaltungsgrenzen von Österreich, die konventionellen Energiedaten auf das Grenzpolygon des regionalen Testgebietes. Während die Nahrungsdaten zumindest rechnerisch die Import-/Exportmengen von Österreich berücksichtigen, bleibt das regionale Testgebiet von allen Märkten isoliert. Es treibt wie ein Boot im Meer der (Energie)Märkte. Im zentralen Thema der Energieversorgung berücksichtigt die Arbeit neben den üblichen Formen der fossilen und erneuerbaren Energiequellen auch die Nahrung und geht damit weiter als die meisten Arbeiten im Themenfeld. Allerdings verbleibt der Handel mit Waren außerhalb der Systemgrenze. Die damit verbundene graue Energie bleibt unberücksichtigt.

Die Systemgrenze definiert sich so: Die wissenschaftliche Arbeit verwendet ein allgemein gültiges Methodenspektrum und wendet diese im Bereich der Ernährung auf die vollständigen nationalen Daten von Österreich an. Die Anwendung der Methoden aus dem Bereich der konventionellen Energie im regionalen Testgebiet der Leader Region Ennstal Ausseerland entspricht wegen der marktwirtschaftlichen Isolation einer Fallstudie für autarke Kleinregionen.

Wie sich zeigen wird, kann aus der Bewertung der Nahrungsversorgung eine operative Handlungsempfehlung und aus dem regionalen Testgebiet ein strategisches Verhalten abgeleitet werden. Beide Ergebnisse sind aber zuerst in den Rahmen bestehender nationaler und internationaler Studien einzubetten. Sowohl im Bereich der Ernährung als auch im Energiebereich wird sich zeigen, dass beide Ressourcen zumindest mittelfristig nicht knapp sind, aber der praktische Umgang zu Problemen führt. In Nahrungsbereich zeigen sich Verteilungsprobleme, im Bereich der fossilen Energiequellen definieren Umweltwirkungen die Einsatzgrenzen. Beide Aspekte können mit den Arbeiten der Umweltgeschichte verbunden werden.

6.1 Konventionelle Energie

6.1.1 Energieangebot fossiler und erneuerbarer Energie

6.1.1.1 Vergangenheit und Umbruch

Bis zum Beginn der gegenwärtigen historischen Epoche, der Neuzeit, stellte sich die Frage nach dem Energieangebot nur im Rahmen der natürlichen Energiequellen. Die dezimierte Bevölkerung des Mittelalters nutzt biogene Ressourcen wie Holz, Wind- und Wasserkraft im Rahmen der natürlichen Verfügbarkeit ohne Einschränkungen. Eine Ausnahme bilden die frühindustriellen Regionen der Eisen- und Glasverarbeitung, die im nahen Umfeld erste Mängel an Brennholz erlebten (Paysen, 2010). Die Güterströme sind in dieser Zeit aber so gering, dass von einem solaren Zeitalter gesprochen werden kann. Dies ändert sich rasch mit dem Beginn der Renaissance. Die Hinwendung der Menschen zu den Naturwissenschaften bringt ihnen geisteswissenschaftlich mit dem anthropozentrischen Weltbild eine neue Denkschule mit selbstbewusster Identität (Van Dülmen, 2002). Auf den Schultern arabischen Wissens stehend reißen Gelehrte des Abendlandes wie Kopernikus, Galilei und zuletzt Newton die Mauern des theozentrischen Weltbildes ein. Selbst die Spaltung der römischen Kirche durch Luther ist ein Zeichen des neuen Selbstbewusstseins (Von Loewenich und Beyschlag, 1968). Mit einer neuen Identität, einer steigenden Anzahl von Erfindungen und effizienten Methoden der Schifffahrt erobert Europa im Kolonialismus und dem Industriezeitalter die Welt. Erfolge und Wirkungen sind bekannt und werden später noch genauer besprochen.

6.1.1.2 Zukunft

In Kapitel 4.1 wurden einleitend zur Parametrisierung der Simulationsgrößen die treibenden Kräfte verschiedener marktwirtschaftlicher Modelle beschrieben. Neben Kapital und Arbeit spielt in allen Modellen die Verfügbarkeit von Ressourcen eine Rolle. In der Energiefrage dominieren die Endlichkeit fossiler Energiequellen sowie die Dichte und jahreszeitliche Schwankung erneuerbarer Energie das Thema. Für den Bereich der fossilen Energiequellen zeigt die Deutsche Rohstoffagentur, dass potenzielle Ressourcen an fossiler Energie mit einem Energiegehalt von 532 Zettajoule (ZJ) bewertet werden können (Andruleit *et al.*, 2011). Die Zusammensetzung der Ressourcen besteht zu 11,5 % aus Kohlenwasserstoffen, die sich zu 5,7 % auf konventionelle

Kohlenwasserstoffe (Erdöl und Erdgas), zu 2,6 % auf nicht konventionelles Erdöl (Ölsande, Schweröl und weitere) und zu 3,2 % auf nicht konventionelles Erdgas (Schiefergas, Gashydrat und weitere) verteilen. 86,8 % der Ressourcen lagern in den Hart- und Weichbraunkohlelagern dieser Welt. Der Anteil an Energie aus spaltbarem Material beträgt 1,7 %. Diese enorme Energiemenge würde bei einem gegenwärtigen Energieverbrauch von rund 500 EJ/a über 1.000 Jahre ausreichen. Verwertbar ist diese Energiemenge praktisch aber nur zu 7,4 % was die Verfügbarkeit bei konstantem Verbrauch auf 70 bis 80 Jahre Peak beschränkt. Das Potenzial an Kohlenwasserstoffen kann bis zum Ende des 21. Jahrhunderts noch zu 33 % und das spaltbare Material zu 12 % genutzt werden. Die Kohlenflöze sind nur zu 4,6 % technisch nutzbar. Innerhalb der praktisch nutzbaren Ressourcen dominiert trotzdem mit rund 55,6 % immer noch die Kohle. Erdöl bzw. Erdgas haben einen Anteil von 41,7 % das spaltbare Material kann nur 2,7 % beitragen. Ähnliches gilt für die erneuerbaren Energiequellen. Moriarty und Honery beschreiben in ihrer Arbeit, vergleichbar mit den Analysen der fossilen Energie, das theoretische Potenzial (earth energy flow) und das nutzbare Potenzial als Zusammenfassung einer Literaturarbeit über 10 globale Studien (Moriarty und Honery, 2012). Die theoretische globale, jährliche Strahlungsenergie wird mit 3,9 Millionen EJ, die Windenergie mit 28.400 EJ und die geothermale Energie mit 1.300 EJ angegeben. Gezeiten- und Wasserkraftwerke leisten potenziell 845 EJ und die Biomasse könnte – wiederum nur potenziell – 3.000 EJ/a beisteuern. Selbst wenn das solare Potenzial nur zu 1 % genutzt wird, ergibt sich eine potenzielle Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie von über 72.000 EJ pro Jahr. Das ist ein 144-faches des Bedarfes. Das technisch nutzbare Potenzial beträgt nach der Ansicht der Autoren zwischen 0,35 und 8,02 % des theoretischen Potenzials. Dies bedeutet eine jährliche Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie zwischen 260 und 5.820 EJ, wobei das technische Potenzial von Wasserkraftwerken und der Biomasse an besten ausgenutzt wird.

6.1.1.3 Gegenwart und Wende

Was wir heute erleben, ist der logische Übergang vom fossilen Energiezeitalter in die Zeit der erneuerbaren Energie. Dass dieser bereits begonnen hat, ist weniger an der Diskussion um den Peak Oil (Hubbert, 1956) abzulesen, als an der Tatsache, dass die Ölmärkte in stärkere Schwankungen verwickelt sind, während sich die wissenschaftliche Community (IPCC, 2014) und die Wirtschaft (Münchner Rückversicherung, 2016) zusehends mit den Umweltwirkungen des fossilen Zeitalters beschäftigen. Wie in der Renaissance muss dieses neue Energiezeitalter zuerst geisteswissenschaftlich vorbereitet werden. Die praktische Umsetzung wird mit ihren natürlichen und technischen Möglichkeiten folgen. Die unterschiedlichen Haltungen zur Energieversorgung der Zukunft schlagen sich in bedeutenden Studien nieder. Dies betrifft sowohl die Aufbringungsmenge an Energie als auch deren Herkunft. Aus der Fülle an Studien wurden jene ausgewählt, die eine Projektionsebene in das Jahr 2050 gelegt haben. Sechs Studien wurden für die österreichischen Verhältnisse ausgewählt und zwei für die weltweite Entwicklung. Eine zusätzliche Studie zeigt die Vorstellungen der europäischen Kommission. Vier der sechs österreichischen Studien planen eine vollständige Autarkie. Für die Zusammensetzung der Energiearten wurden die bedeutendste europäische Studie und die eigenen Ergebnisse aus dem regionalen Testgebiet

hinzugefügt. Alle Energiearten wurden in ihrer Arbeitseinheit, angegeben als Tera-Watt-Stunden (TWh) angegeben. Diese Entscheidung vereinfacht den Vergleich zwischen Leistung aus elektrischer Energie und Wärme.

Alle Ergebnisse können in Abbildung 118 und Abbildung 119 verglichen werden. Folgende Studien wurden in die Untersuchung einbezogen:

- Energiestrategie Österreich 2020 des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMLFUW, 2010): Nicht als Studie, sondern als Statement im Umfeld der Europäischen Energieziele, verfassen die zuständigen Ministerien eine Informationsschrift, die sowohl die strategischen Schritte zur Energiewende als auch die angestrebten Energieziele angibt. Der Anteil erneuerbarer Energie liegt bei rund 37 %, ohne dass die Herkunftsquelle näher definiert wäre. Die Gesamtleistung aller Energiequellen liegt mit 302 TWh pro Jahr bei 74 % des Bruttoinlandverbrauches aus dem Jahr der Veröffentlichung.
- Energieautarkie für Österreich 2050 im Auftrag des Klima- und Energiefonds (Streicher *et al.*, 2010): Die Autoren der Studie zielen auf eine vollständige Unabhängigkeit Österreichs bei der Versorgung von Energie ab. Export/Import wird zugelassen, im Jahressaldo strebt die Bilanz gegen null. Die zwei untersuchten Varianten zeigen im *Konstantszenario* eine Entwicklung auf dem Niveau der gegenwärtigen Wertschöpfung und lassen im *Wachstumsszenario* ein Wirtschaftswachstum von 0,8 % pro Jahr zu. Unter Ausschöpfung der technologischen Quellen und ohne zusätzliche Nutzung landwirtschaftlicher Fläche kann im verwendeten Szenario *Wachstum* ein Energiepotenzial von 226 TWh pro Jahr bereitgestellt werden. Das Portfolio der Bereitstellung wird von der Biomasse dominiert und von der Wasserkraft ergänzt. Die Nutzung der Sonnenenergie und die Erdwärme sind in ähnlichem Ausmaß, aber in geringerem Anteil vertreten. Die Windkraft spielt keine große Rolle.
- REGIO Energy im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (Stanzer *et al.*, 2010): Als einzige Studie bewertet REGIO Energy die Energiepotenziale auf der Ebene der politischen Bezirke in Österreich. Der Ansatz zielt auf die Differenzierung lokaler Unterschiede ab und verwendet bestehende Quellen der Wissenschaft und Verwaltung. Das Leistungspotenzial der erneuerbaren Energie springt über mehrere Bewertungskaskaden im Szenario *midi* auf einen Endwert von 301 TWh pro Jahr. REGIO Energy hat eine starke Präferenz für die Nutzung von thermischer Solarenergie und Photovoltaik.
- Energie [R]evolution Österreich 2050 im Auftrag von EVN, Greenpeace und Gewerkschaft vida (Bliem *et al.*, 2011): Diese Studie bezieht im Bereich der Potenzialanalyse stärker bereits verfügbare Vorstudien ein und setzt dabei ebenfalls auf eine vollständige Energieautarkie von Österreich bis zum Jahr 2050. Als Energiepotenzial wird aber eine deutlich niedrigere Leistung von 188 TWh pro Jahr ausgegeben. Das Portfolio an Energiequellen wird von der Biomassenutzung dominiert. Der Ausbau von Wasser- und Windkraft wurde defensiv bewertet. Die Sonnenenergie hat größere Bedeutung.

- Energiezukunft Österreich 2050 im Auftrag von Global 2000, Greenpeace und WWF (Veigl, 2015): Als Konsequenz von noch deutlicheren Einsparungen im Energiebereich plant diese Studie nur einen defensiven Ausbau des Leistungsangebotes erneuerbarer Energie auf 169 TWh pro Jahr. Die Verteilung entspricht den bekannten Strukturen.
- Szenario erneuerbare Energie 2030 und 2050, Umweltbundesamt (Krutzler *et al.*, 2016): Neben den bereits bekannten Energiequellen der erneuerbaren Energie berücksichtigt die Studie noch den Einsatz fossiler Energie in einer Höhe von 22 %, wobei 7 % des Gesamtenergiepotenzials auch wieder exportiert werden. Mit der Umwandlung fossiler Energieträger und unter Berücksichtigung der gesamten nationalen Erzeugung erneuerbarer Energie steht im Szenario erneuerbare Energie eine Leistung von 278 TWh pro Jahr zur Verfügung. Die Relationen zwischen den einzelnen Energiearten aus dem Bereich der erneuerbaren Energien folgen dem Trend der Studien.
- EU Energy Roadmap 2050 im Auftrag der Europäischen Kommission (European Commission, 2009): Als Mission Statement der europäischen Kommission verbindet das Dokument erstmals offiziell die Energie- und Klimapolitik mit dem eingeschlagenen Weg einer Energiewende. Im Szenario *Energy Efficiency* wurde für das Jahr 2050 ein Endverbrauch von 10.600 TWh bei einer Eigenaufbringung von 7.900 TWh definiert. In der Eigenaufbringung erreichen die erneuerbaren Energien einen Anteil von 64 %, wobei die Biomasse und die Windkraft eine viel stärkere Rolle spielen als andere erneuerbare Quellen. Mit Berücksichtigung der fehlenden mindestens 3.200 TWh – diese werden wohl zu 100 % aus externen fossilen Lagern stammen – sinkt der Anteil der erneuerbaren Energie auf rund 49 %. Das ist immer noch ein sehr ambitioniertes Ziel!
- World Energy Scenario 2050 (World Energy Council, 2013): Die Zusammenfassung des lesenswerten Reports steht in Opposition zur europäischen Energiepolitik. Das World Energy Council zeigt ein Versorgungssystem, das im Jahr 2050 selbst im optimistischen Szenario Symphonie zu $\frac{3}{4}$ aus fossiler oder nuklearer Energie besteht und einen Energieanspruch von 187.000 TWh aufweist. Dieser Wert liegt um 35 % über dem Weltenergiebedarf von 2010. Diese Studie kann bestenfalls als Worst-Case-Szenario für eine weltweite Entwicklung dienen, ist aber deshalb so wertvoll, weil sie sowohl in der Argumentation von Veränderungen als auch im vorgeschlagenen Spektrum von Maßnahmen vollständig das nachklassische Wirtschaftsmodell vertritt.
- Energy [r]evolution - A Sustainable World Energy Outlook 2015 im Auftrag von Greenpeace (Teske *et al.*, 2015): Das Maximal-Szenario *Advanced* zeigt die konsequente Fortführung des Gedankens aus der gleichnamigen Nationalen Studie von Bliem *et al.* 2011 auf globalem Niveau. Fossile Energie wird hier nicht mehr eingesetzt, und das globale Leistungsangebot sinkt auf 67.700 TWh pro Jahr. Das ist rund die Hälfte des gegenwärtigen Niveaus. Die Studie bewertet die Nutzung von Biomasse anders als alle vergleichbaren Studien. Biomasse wird als zukünftiger Industrierohstoff verstanden, der nicht energetisch verwertet wird. Die Energie der Zukunft stammt in der weltweiten Studie zu 71 % aus Wind- und Sonnenkraftwerken.

Das zukünftige Angebot an Energie in Österreich wird von den 6 vorgestellten Studien unterschiedlich bewertet. Die Unterschiede sind nicht auf Abweichungen in den Potenzialberechnungen zurückzuführen, sondern sind Ausdruck der inneren Haltung der Autorengruppen. Im Mittel der Studien wird ein Leistungsangebot von 244 TWh ($\pm 21,8\%$) pro Jahr zum Ausdruck gebracht. Dies bedeutet eine Reduktion von 38,7 % zum Bruttoinlandsverbrauch aus dem Jahr 2014. Noch deutlicher sind die Unterschiede auf europäischem und dem weltweiten Niveau.

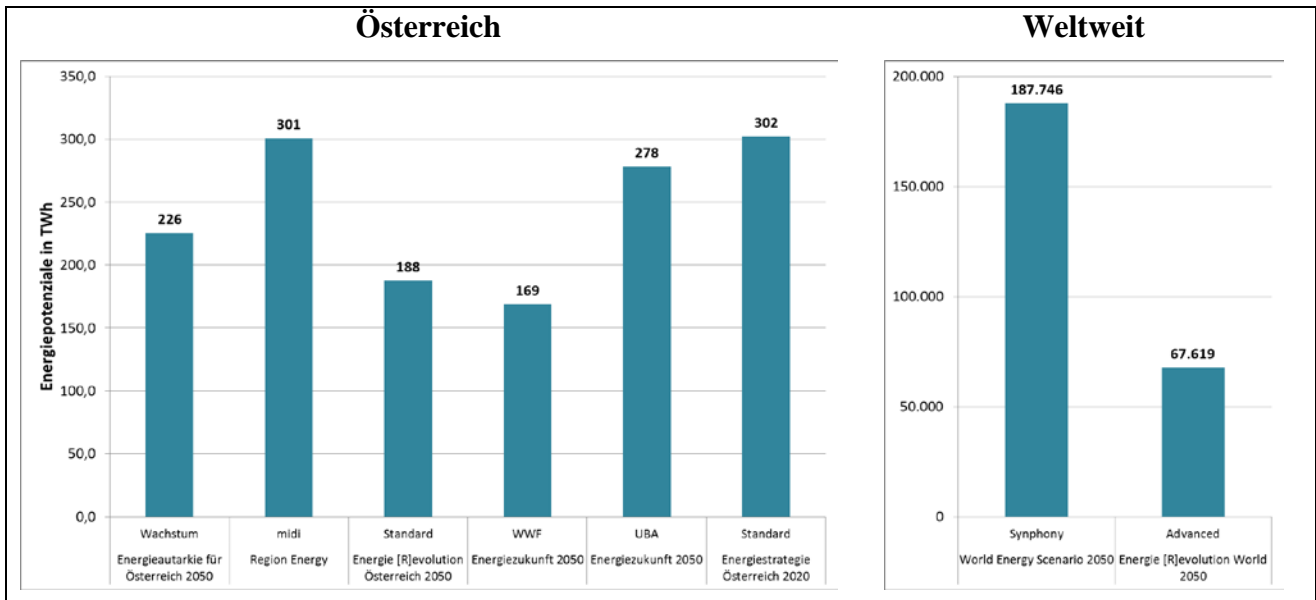


Abbildung 118: Energiepotenziale in Österreich und der ganzen Welt im Jahr 2050

Innerhalb der Studien für eine Energiezukunft in Österreich schwanken die regionalen Energiequellen deutlich. Die mittlere Nachfrage nach Bioenergie im Energiemix liegt bei 33,6 % ($\pm 26,1\%$), die Nachfrage nach Strom aus Wasserkraft erreicht 25,1 % ($\pm 30,9\%$). Solare Energie soll zukünftig 17,9 % ($\pm 56,1\%$) der Energie liefern, Windenergie ergänzt den Mix mit einem Anteil von 10,4 % ($\pm 53,7\%$). Als letzte erneuerbare Quelle können 9 % ($\pm 62,2\%$) aus der oberflächlichen und tiefen Geothermie gewonnen werden. Der Rest von 3,7 % entfällt auf eine fossile Restnutzung.

Wenn wir noch einmal 10 Studien in das Untersuchungsportfolio aufnehmen, werden sich die absolute Höhe des zukünftigen Energiepotenzials und die relative Verteilung in den möglichen Quellen verändern. Bleiben wird aber die unterschiedliche Unsicherheit in den verschiedenen Energiequellen. Die Nutzung von Biomasse und Strom aus Wasserkraft ist für alle Autorengruppen fast doppelt so gut einschätzbar wie der Ausbau von Wind- und Sonnenkraft sowie die Nutzung der Geothermie. Die höhere Sicherheit auf der Ebene des nationalen Energiemix hängt mit dem besseren Wissen in diesen Bereichen und dem tatsächlichen Ausbau in der Nutzung zusammen. Bei der Diskussion der Nahrungsbereitstellung wird sich aber zeigen, dass unter Nutzung nationaler Biomassestudien ein ähnliches unsicheres Bild zu erkennen ist.

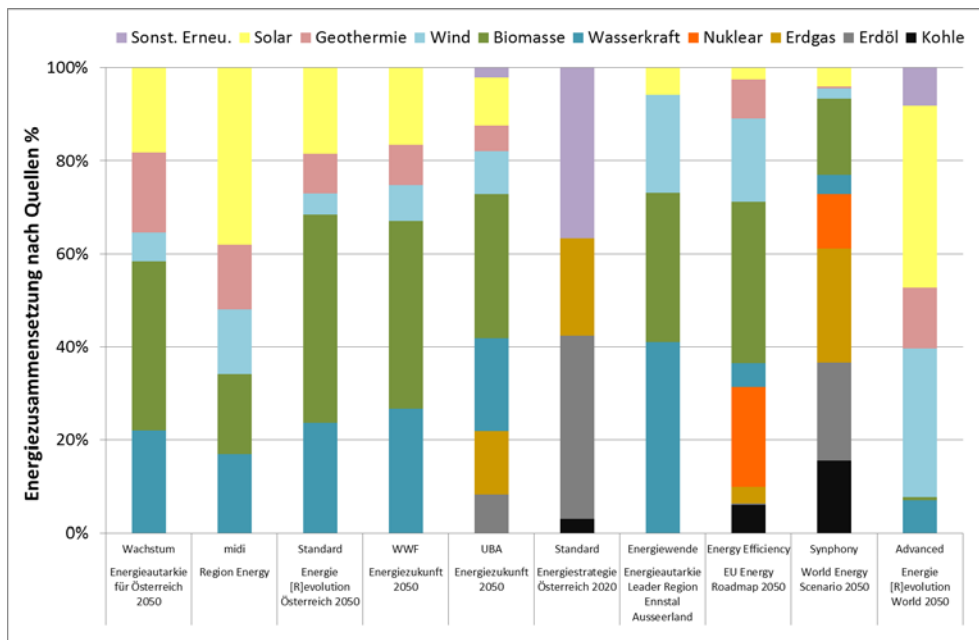


Abbildung 119: Zusammensetzung der Energieversorgung im Jahr 2050

Alle Studien, das gilt für die nationalen, europäischen und weltweiten, messen der Nutzung elektrischer Energie besonders hohe Bedeutung bei. Physikalisch ist das logisch, liefert doch die Mehrzahl der erneuerbaren Technologien Strom, und Arbeit kann mit elektrischer Energie effizienter erledigt werden. Die Steigerungsrate in den Studien aus Abbildung 120 liegt zwischen 66 und 200 %.

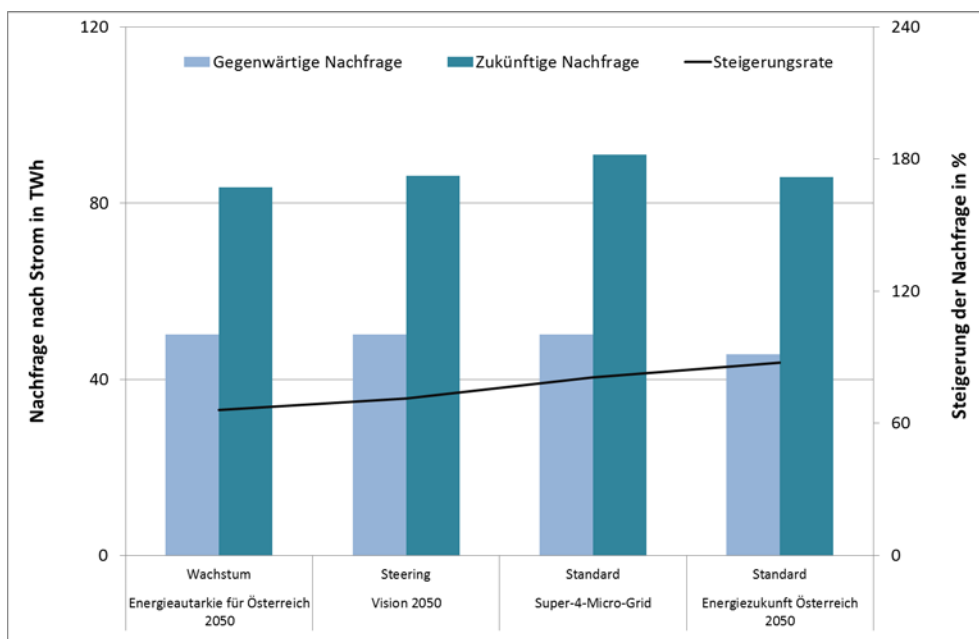


Abbildung 120: Zukünftige Nachfrage nach Strom

Die zwei zusätzlich genutzten Strom-Studien wurden von der Österreichischen Energieagentur (Renner *et al.*, 2010) und vom Klima- und Energiefonds (Boxleitner *et al.*, 2011) beigesteuert.

6.1.2 Energienachfrage in den Sektoren

Die Energiepotenziale stehen in enger Verbindung mit der Nachfrage nach Energie. Lokale Aufbringung dominiert einige nationale Studien und gewinnt auch in kontinentalen Konzepten zunehmend an Bedeutung. Das Leistungsangebot an Energie wird von den Sektoren vor allem in Arbeit und Wärme umgewandelt. Die Umwandlung ist verlustbehaftet. Von den drei in Abbildung 121 dargestellten Sektoren können zwei einer direkten Personengruppe zugeordnet werden.

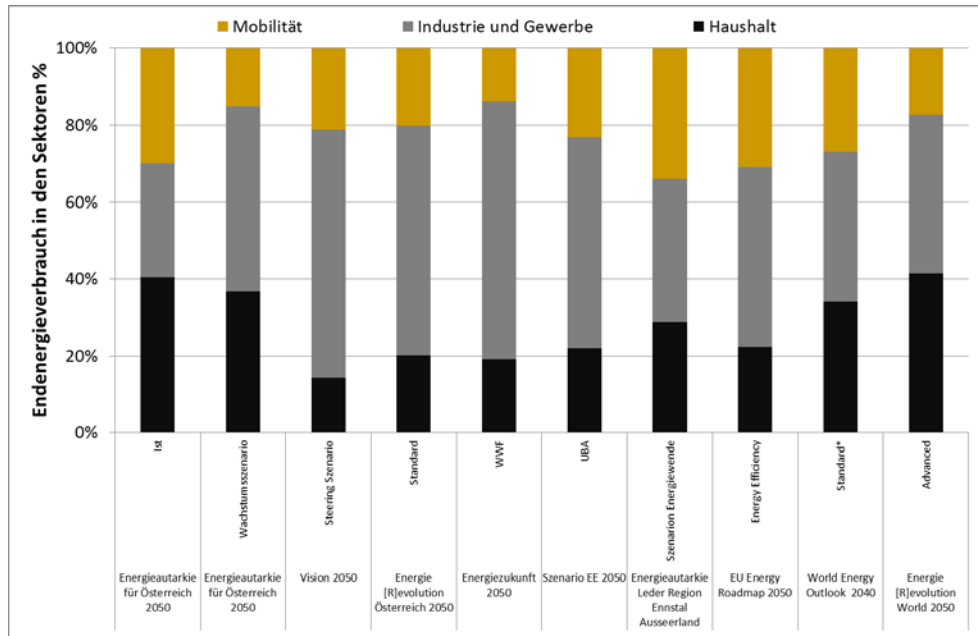


Abbildung 121: Verteilung des Energieverbrauchs in den Sektoren

Die Haushalte benötigen Energie in erster Linie für die Erzeugung von Wärme und Kälte, für Beleuchtungszwecke und den Betrieb aller Arten elektrischer Geräte. In Österreich nutzt diese Gruppe gegenwärtig 40 % der Endenergie. Der zukünftige Energiemix beschneidet diese Gruppe deutlich. Mit Ausnahme der globalen Studien wird den Haushalten in Zukunft ein Energieanteil von maximal 24 % zugesprochen. Dies bedeutet für diese Gruppe eine Reduktion von rund 40 % zum gegenwärtigen Verbrauch. Die Einsparungen sind notwendig und möglich. Der hohe Verbrauchsanteil ist vor allem die Folge der ineffizienten Nutzung und Beheizung der Wohngebäude. Abhilfe schaffen hier eine Modernisierung der Gebäudehülle und der Heiztechnik sowie ein geändertes Nutzungskonzept. Im Eigenversuch konnte der Primärenergiebedarf um 70 % gesenkt werden. Voraussetzung für die Umsetzung ist ein langfristiges Nutzungs- und Finanzierungskonzept, das im eigenen Fall dazu geführt hat, dass die Summe aller Nutzungsarten (Energieeinsparung, Raumklima, Gebäudewert, Individualität, Autarkie) heute größer ist als die Investitionen.

Im Sinn der gegenwärtigen Organisation unserer Gesellschaft muss der Energieanspruch von Industrie und Gewerbe hoch bleiben. Die Einsparung der Haushalte kann in vielen Produktionsprozessen viel effizienter und sinnvoller genutzt werden und sichert so die Wertschöpfung unserer nachklassischen Marktwirtschaft. Über die meisten Studien hinweg wurde die Einsparungsrate für den produzierenden Sektor unterdurchschnittlich angesetzt. Dies zeigt sich

in Abbildung 121 durch einen überproportionalen Anspruch im zukünftigen Energieangebot. Dieser liegt bei 51 %. Auch unter diesem geringeren Einsparungsdruck können nicht alle industriellen Leistungen aufrechterhalten werden. Thermische Prozesse der Bauindustrie – diese benötigen exorbitant hohe Energiemengen – können sicher nicht mehr weiterbetrieben werden. Insgesamt ist eine Verdrängung von Massenprodukten in Richtung von Qualitätsprodukten zu forcieren.

Eine gesamtgesellschaftliche Frage ist die Erneuerung unseres Mobilitätskonzeptes. Die Lösung in Ballungszentren und Langstrecken liegt in der Nutzung von terrestrischen Massentransportmitteln. Die Infrastruktur im Bahn- und Schiffsverkehr ist vorhanden, die marginalen Zusatzkosten pro Passagier sind minimal. Lösungswürdig ist der Individualverkehr, der gegenwärtig mindestens 30 % des nationalen Energiebudgets verbraucht. Physikalisch ist die Lösung unumstritten: Personenkraftwagen verbrennen ihren fossilen Kraftstoff in Benzin oder Dieselmotoren und nutzen dabei nur 18 % als tatsächliche Antriebsleistung an den Rädern (Marx, 2013). Fahrzeuge mit Elektroantrieb hingegen bringen bis zu 85 % des gespeicherten Stroms als Antriebsleistung auf die Räder. Fahrzeuggröße, Form und Bereifung haben zusätzlichen Einfluss auf deren Effizienz. Die Reduktion des sektoralen Anspruchs für Mobilität um 25 % ist ein weiterer Beitrag zur Sicherstellung des Energieangebotes für den produzierenden Bereich. Viele von uns – so auch ich – erwerben in diesen Tagen ihr letztes Auto mit Verbrennungsmotor. Dieser wird sparsam und mit sinkenden Laufleistungen das Ende des fossilen Zeitalters der Mobilität erleben. Die Sicherheit dieser Aussage spiegelt die eigene Erfahrung im Umgang mit elektrischen Speichern – dem Pferdefuß der E-Mobilität – wieder. Seit rund 10 Jahren werden professionelle Fluggeräte mit Elektroantrieb betrieben und die Leistungsdichte pro kg Speichereinheit hat sich in dieser Zeit von 60 auf rund 240 Wh/kg vervierfacht.

6.1.3 Energie im regionalen Testgebiet

Die absolute Höhe des Leistungsangebotes im regionalen Testgebiet beträgt 0,3 % des nationalen Energiebedarfes. Die relative Darstellung in Abbildung 119 zeigt, dass die Ausbaupläne für die Windenergie progressiv, die Pläne für die solare Energienutzung konservativ sind. Die Verschiebungen im sektoralen Verbrauch sind nicht deutlich. Die Unterschiede zu nationalen oder globalen Strategien sind kein Zufall. Die Region verfügt mit der Windenergie über ein Potenzial, das pro Investment fast doppelt so viel an Energie liefern kann, als dies mit einer solaren Energienutzung möglich wäre (Freeman und Skumatz, 2011). Die gute Basisausstattung mit Biomasse und Wasserkraft nimmt zumindest psychologisch etwas den Druck von den Einwohnern der Region. Die klimatischen Nachteile schlagen sich aber in der geforderten Sanierungsrate für Wohngebäude nieder. Der Zuspruch von 34 % des Endenergieverbrauches in den Haushalten wird durch die lokale Vermischung von privater und gewerblicher Nutzung in den Wohngebäuden (Tourismus) erzwungen. Der etwas überdurchschnittliche Anteil an Mobilitätsbedarf ist die Antwort auf die ländliche Struktur. Die Gesamtkonfiguration ist regional stimmig und handelt im Sinne des Grundgedankens aller Studien. Das Ergebnis ist aber doch unterschiedlich.

6.1.4 Das Wesentliche zur konventionellen Energie

Eine Expertenstudie zu potenziellen Energiereserven bewertet die globalen Reserven fossiler Energie mit 532.090 Exajoule, die aber nur zu 7,1 % in nutzbare Reserven umgewandelt werden können (Andruleit *et al.*, 2011). Dies bedeutet bei gegenwärtigem Verbrauch das Ende des fossilen Zeitalters in 70 bis 80 Jahren. Der Literaturreview im Bereich der erneuerbaren Energien beeindruckt mit enormen Zahlen im Energiefluss einzelner Technologien. Dies schrumpft im nutzbaren Zugriff aber ebenso auf einen Bereich zwischen 260 und 5.820 EJ pro Jahr (Moriarty und Honery, 2012). Wird nur der untere Bereich möglich, halbiert sich der verfügbare Weltenergieeinsatz, an der oberen Grenze gibt es Energie im Überfluss. Insgesamt darf angenommen werden, dass die Weltgemeinschaft eine Antwort auf die Verknappung von Energie finden wird. Verstärkt wird dieser Eindruck durch 25 Studien für die OECD-Staaten, Südamerika und Afrika. Die Entwicklung von Asien, vor allem in Indien und China scheint aber unsicher.

Auf nationaler, europäischer und amerikanischer Ebene herrscht Unsicherheit über die Geschwindigkeit der Energiewende und den zukünftigen Energiemix. Deutlich ist in jeder Studie die Handschrift der Autorengruppe zu lesen. Dies gilt sowohl in der Auswahl von Technologien als auch in der Zielgröße des Energieangebotes. Nachvollziehbar ist, dass Umweltorganisationen stärker auf die solare Nutzung setzen und Flüsse und Wälder schonen wollen, während Studien im Auftrag der Wirtschaft eine langsame Entwicklung beschreiben. Solche Studien bevorzugen bekannte Technologien und setzen damit auf Sicherheit. Tatsache ist, und das gilt auch für die Konfiguration der eigenen Szenarien im regionalen Testgebiet, dass alle Studien stark von subjektiven Zügen geprägt sind. Den einen allgemeinen Energieplan gibt es deshalb nicht!

6.2 Energie aus Biomasse

Erneuerbare Energie ist nicht automatisch umweltverträglich. Unsachgemäße Umsetzung führt lokal zu negativen Effekten in den betroffenen Ökosystemen mit dem Potenzial gesamtgesellschaftlicher Schäden. Als Lehrbeispiel gilt Haiti. Die unkontrollierte Nutzung der äquatorialen Regenwälder als Energiequelle (Holzkohle) hat zu starken Bodenverlusten durch Erosion geführt. Dies wiederum schmälerte die Nahrungsproduktion. Das Land leidet zudem seit Jahrzehnten an instabilen Regierungen. Die schlechten ökonomischen Verhältnisse und das niedrige Bildungsniveau fördern das Bevölkerungswachstum. Das treibt den negativen Kreislauf weiter an. Auf Haiti sind im Zeitintervall 2014-2016 rund 53,4 % der Bevölkerung unterernährt. Die Tendenz ist steigend. In Kuba, nur 90 km von Haiti entfernt, kann praktisch keine Unterernährung festgestellt werden. Diese Tatsache ist deshalb bemerkenswert, weil Kuba seit mindestens vier Jahrzehnten vom Welthandel ausgeschlossen ist. Der Energieverbrauch in Kuba beträgt heute 1.031 Rohöleinheiten (12.000 kWh) pro Einwohner (Wirtschaftskammer Österreich, 2016). Der vergleichbare Verbrauch in Österreich (ohne 16 % Raumwärme (Statistik Austria, 2015c), die in Kuba praktisch nicht benötigt wird) beträgt das 3,4-fache. Kuba ist damit das nachhaltigste entwickelte Land der Welt. Die Verantwortung für eine lokale Umsetzung der Energiewende liegt eindeutig in der Hand der Nationalstaaten.

Gibt es in der Verwendung von Biomasse aber nicht auch eine globale Verantwortung? Ja, vor allem dann, wenn die Energieproduktion über landwirtschaftliche Flächen geführt wird und der Welthunger noch nicht bezwungen werden konnte (FAO, 2015b). Diese Arbeit befasst sich über weite Strecken mit der Bereitstellung von Nahrung für die österreichische Bevölkerung. In den Szenarien dieser Arbeit, im Besonderen dem Szenario *Energiewende*, wird deutlich in den landwirtschaftlichen Kreislauf eingegriffen. Die dort definierten Ziele decken die Pläne des Österreichischen Biomasseverbandes oder überschreiten diese sogar (Österreichischer Biomasseverband, 2015). Ohne eine Prüfung über mögliche Interaktionen mit den Kernproblemen des Welthungers sollten wir keine umfangreiche energetische Nutzung landwirtschaftlicher Flächen freigeben.

6.2.1 Globale Ernährungssituation

Die Welternährungsorganisation FAO hat in ihrem Bericht *The State of Food Insecurity in the World 2015* zum Welthunger deutlich Stellung genommen (FAO, 2015b). Dieser Bericht steht für die Bewertung um die Erreichung der Zieldefinition 1C des Millennium Gipfels von New York im Jahre 2000 (FAO, 2015a). Für die Welternährung lautet das Millenniumsziel: *Halve, between 1990 and 2015, the proportion of people who suffer from hunger*. Als Treiber für den Hunger in verschiedenen Ländern der Welt wurden vier Bereiche beschrieben:

- **Lokale Naturkatastrophen:** Lokale Naturkatastrophen, das sind Erdbeben, welche die Infrastruktur der Lebensmittelproduktion zerstören, oder Überflutungen und Muren in Folge von Starkniederschlägen (Dartmouth Flood Observatory, 2016) treten weltweit in hoher Dichte auf. Als kurzfristige Ereignisse entstehen lokal unterschiedliche Schadensmuster. Fluten im Flachland zerstören möglicherweise eine Ernte vollständig, eine neue Aussaat ist aber in der Regel bald wieder möglich. Erdbeben stören seltener als Hangrutschung oder Felssturz die landwirtschaftlichen Flächen. Fluten und Erdbeben haben ein strukturiertes Schadmuster, das eine Einbettung in regionale Hilfsstrukturen mög in ganz Südostasien lich macht. Ihr Auftreten würde in der Medizin als akut bezeichnet werden. Trockenheit ist hingegen chronisch. Niederschlag ist die natürliche Folge des lokalen Wettersystems. In Kapitel 2 wurden viele Aspekte bereits besprochen, die sich in einer weltweiten Karte mit hohen Trockenheitsrisiken abbilden lassen (National Integrated Drought Information System, 2016). Trockenheit betrifft nicht nur kleine Gebiete, sondern alle im stationären Wettergebiet liegenden landwirtschaftlichen Flächen. Eine Hilfe aus den regionalen Strukturen ist nicht zu erwarten. Ein besonders hohes Risiko für eine pathologische 2-jährige Dürre betrifft Südost- und Ostafrika, die Arabische Halbinsel, den Süden von Pakistan, den Südhang des Himalayas bis nach Myanmar, Indonesien und Australien. Die globale Wetteranomalie El Niño überlagert dieses Standardsystem in nicht regelmäßigen Zyklen und verhindert die Regenzeit in ganz Südostasien, während Südamerika unter Fluten leidet (Nash, 2002).
- **Politische Instabilität:** Selbst in fruchtbaren Regionen der Erde ist die Bestellung von Feldern ein langfristiges Investment der Wohnbevölkerung. Viele Ackerflächen dieser Erde sind durch

die Kulturleistung von Generationen bäuerlicher Familien entstanden, die den Boden mechanisch aufbereitet und mit Nährstoffen angereichert haben. Die Grundvoraussetzung der Landwirtschaft, das ist der gesicherte Besitz des Bodens, ist in vielen Gebieten der Welt schlecht geregelt. Die Einführung von rechtsverbindlichen Systemen stößt schnell an ihre Grenzen (Mithöfer *et al.*, 2008). Diese Landlosigkeit erleichtert vor allem in Afrika offene Bürgerkriege zwischen den Ethnien, die zusätzlich von religiösen Aspekten, Migration und extern geschürten Konflikten überlagert werden. Neben direkten Auswirkungen der Bürgerkriege – die Wohnbevölkerung kann nicht geordnet anbauen und ernten – werden einige Kriege durch die externe Vergabe von Landnutzungsrechten an andere Länder finanziert. Direktes Land Grabbing findet auf der ganzen Welt statt, und alle Nationen beteiligen sich direkt oder indirekt (Kress, 2012).

- Bevölkerungswachstum: Reproduktion ist eine Basisfunktion jeder Population nach natürlichen Prinzipien. Unter der Voraussetzung einer langfristigen Fruchtbarkeit der potenziellen Mütter und einer geringen Sterblichkeitsrate senken alle Tierarten und der Mensch ihre Reproduktionsintensität und umgekehrt. Im Schnitt der entwickelten Regionen der Erde stirbt 1 Kind von 152 Kindern vor dem fünften Geburtstag, in der Sub-Sahara Region in Afrika 1 Kind von 9 Kindern (UNICEF, 2013). Die zentralen Auslöser der Sterblichkeit sind der fehlende Zugang zu keimfreiem Trinkwasser und ausreichend Nahrung. Beide Mängel fördern eine Vielzahl von Erkrankungen, die letztlich als Todesursache diagnostiziert werden. Gesellschaftliche Haltungen und Zwänge überlagern das natürliche Verhalten der Reproduktion, wobei eine starke Beziehung zwischen Wohlstand, Bildung und dem Bevölkerungswachstum festgestellt werden kann (Coale und Hoover, 1958).
- Export/Verwendungsänderung: Die lokale Produktion von Nahrung ist noch kein Garant für eine ausreichende Nahrungsproduktion der Bevölkerung. Mehrere südamerikanische Länder exportieren so hohe Mengen an Sojabohnen nach Nordamerika und Europa, dass künstlich entstandene Knappheit die lokalen Nahrungspreise nach oben treibt. Das bekannteste Beispiel für eine künstliche Verknappung ist die Tortilla-Krise in Mexiko in den Jahren 2006/2007. Die hohe US-Exportquote von Mais für die Ethanolherzeugung führte binnen weniger Wochen zu einem Anstieg des Preises für Maisgries um das 5-fache (Bräuninger *et al.*, 2008). Dieses Extremereignis ist in latenter Form als indirektes Land Grabbing in vielen Ländern zu finden (Beispiel Soja- und Palmölproduktion).

Im Welthungerbericht 2015 (FAO, 2015b) und dem Enddokument zur Erreichung der Millenniumsziele (FAO, 2015a) wird – wenn auch nicht alle Ziele vollständig erreicht wurden – ein positiver Bericht gelegt. Zwischen 1990 (Welthungergipfel von Rio) und 2015 wurden viele Teilziele aus dem Bereich der Weltentwicklung erreicht. Die Bereiche Unterernährung und Kindersterblichkeit sind für unsere Frage nach der Verwendung landwirtschaftlicher Flächen als Energiequelle besonders wichtig. Hier wurden folgende Fortschritte möglich:

1. Die Rate unterernährter Menschen konnte seit 1990 um 216 Millionen Menschen reduziert werden. Dies, trotz eines Bevölkerungszuwachses von rund 40 %. 2015 waren 795 Millionen Menschen unterernährt. Das sind 10,7 % in ungleichmäßiger Verteilung. Unterernährung ist, das kann in 6.2.1 nachvollzogen werden, eine multiple Mischung aus den vier besprochenen Aspekten. Subsahara-Afrika, besonders Ostafrika, leidet unter einer Mischung aus Dürre, Überbevölkerung und politischer Instabilität. Süd- und Südostasien werden von Dürren und Überbevölkerung bedroht. Während diese Region erste Tendenzen in Richtung einer Entspannung zeigt, steuert Ostafrika auf die nächste Katastrophe zu.
2. Die Kindersterblichkeit konnte mehr als halbiert werden. Zwischen 1990 und 2015 sinkt die Sterblichkeit von Kindern unter 5 Jahren weltweit von 12,7 Millionen auf 6 Millionen.

Die globale Ernährungssituation ist gemäß FAO nicht vollständig gelöst, aber die Entwicklung kann positiv bewertet werden. Trotz eines deutlichen Anstiegs der Weltbevölkerung verbessert sich die Situation. Die Frage nach der Weltkapazität bleibt noch ungeklärt. Die Entwicklung befindet sich in vielen Bereichen aber immer noch auf den in Kapitel 4.1 beschriebenen systemdynamischen Modellen (Meadows *et al.*, 2004). Die globale Ressourcenausstattung, Sterblichkeitsrate, Geburtsrate und Umweltverschmutzung sind vollständig auf Kurs, die Depression bei der ökonomischen Bereitstellung von Gütern aller Art ist noch nicht so klar ausgebildet. Allerdings stagniert das Wirtschaftswachstum in den Industrieländern seit der Bankenkrise 2007. Erste Experten gehen dazu über, die Peaks der Meadows-Kurven als Plateau zu interpretieren.

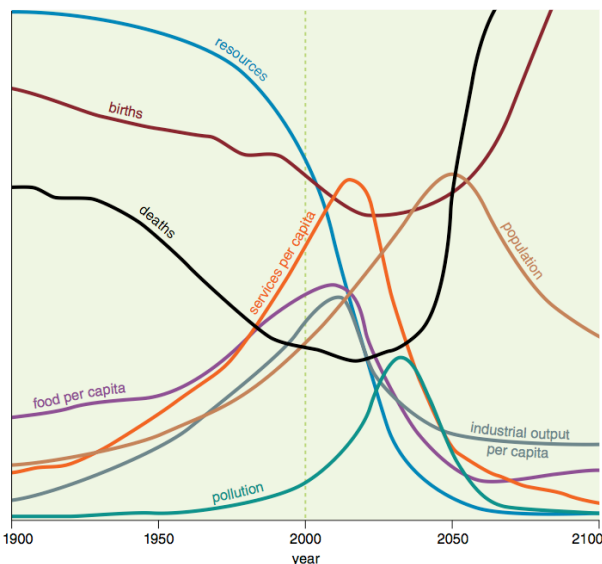


Abbildung 122: Systemdynamische Entwicklung nach Meadows

Die Erkenntnisse der FAO sind vorerst beruhigend. Zwischen der Frage des Welthungers und der nationalen Verwendung von biogenen Betriebsmitteln in der Landwirtschaft bzw. der Verwertung von Nahrung als Energieträger stehen aber immer noch latente Probleme, die sich als Umweltwirkungen bemerkbar machen. Diese Probleme sind ethisch nicht so kritisch wie die Frage

des Hungers, aber sie tragen mittelfristig zur lokalen und globalen Verschmutzung der Umwelt bei und müssen deshalb gelöst werden.

6.2.2 Nahrungsverluste in der Verwertungskette

Die Ergebnisse dieser Arbeit zu den verschiedenen Szenarien zeigen schon per Definition, dass landwirtschaftliche Flächen unter bestimmten Umständen zur alternativen Nutzung für energetische Zwecke herangezogen werden könnten. Von größter Bedeutung für dieses Vorhaben ist die Balancierung von Nahrungsangebot und Nahrungsnachfrage im Sinne des gesellschaftlichen Ernährungsstatus. Während die Angebotsseite, das ist die Landwirtschaft bzw. der Nahrungsimport, an natürliche Produktionsbedingungen gebunden ist, bildet die Nahrungsnachfrage in Österreich das gesellschaftliche Ernährungsverhalten ab. Die Wohnbevölkerung isst im Schnitt zu viel und das in einer medizinisch ungünstigen Konfiguration. Im Nahrungsangebot, das in dieser Arbeit aus den landwirtschaftlichen Betriebsdaten und dem pro Kopf-Verbrauch inklusive Importquote hochgerechnet wurde, sind Überschussmengen von rund 4 Millionen GJ an verdaulicher Nahrungsenergie integriert. Der Verarbeitungsprozess von Milch und Fleisch wurde nicht vollständig abgebildet. Subjektiv werden noch einmal zusätzlich 15 % der Nahrungsleistung dieser Zweige, das sind 2,1 Millionen GJ, unterstellt. Auf dem Nahrungsmarkt gibt es in Summe über 6,1 GJ an verdaulicher Nahrungsenergie, die von der ohnehin übergewichtigen Bevölkerung beim besten Willen (Gott sei Dank) nicht mehr gegessen werden können. Über die Eingangsdaten aus Tabelle 26 und unter Verwendung einer Deutschen Studie über die Zusammensetzung von Lebensmittelabfällen in den Haushalten (Kranert *et al.*, 2012) wurde eine Brutto-Verlustrate von 573.000 Tonnen an Nahrungsenergie mit einem Energiegehalt von 10,7 MJ_{VE} berechnet. Als vermeidbare Verluste wurden 4,8 % der Nahrungsenergie eingestuft.

Tabelle 32: Eckdaten Nahrungsangebot und Nahrungsverluste in Österreich

Nahrungsquelle	Angebot		Mengen und Energieverteilung VE			
			Verteilung quantitativ %		Verteilung qualitativ %	
	t	GJ _{VE}	Angebot	Abfall ¹	Angebot	Abfall
Stärke, Öl und Zucker	1.176.531	16.440.749	15,2	25,0	44,7	62,9
Obst	504.971	1.161.433	6,5	22,0	3,2	9,1
Gemüse	1.311.205	1.966.807	16,9	30,0	5,4	8,1
Fleisch und Fisch	958.441	9.635.053	12,4	8,0	26,2	14,5
Milchprodukte	2.639.437	5.173.296	34,1	8,0	14,1	2,8
Getränke	1.151.035	2.374.506	14,9	7,0	6,5	2,6
Summe	7.741.621	36.751.844	100	100	100	100

¹(Kranert *et al.*, 2012)

Ausgangspunkt für die Bewertung von Nahrungsverlusten sind Menge und Energiedichte des gegenwärtigen Nahrungsangebotes aus Tabelle 25. Weil Kranert *et al.* 2012 die Stoffgruppen als quantitative Verluste angegeben hat, wurden die Nahrungsquellen summiert, wobei die Gruppe der Nahrungsreste gleichmäßig verteilt wurde. In Tabelle 32 lässt sich nun beobachten, wie sich die quantitative Zusammensetzung der Einzelkomponenten im Lebensmittelabfall aus qualitativer Sicht

in Richtung der Klasse Stärke, Öl und Zucker verschiebt. Die ungenutzte Entsorgung dieser Komponenten wirkt besonders ungünstig und steigert die Energiekonzentration von der frischen Nahrung (9,4 MJ_{VE}) zu Lebensmittelabfall (10,7 MJ_{VE}) um 1,2 MJ_{VE} pro kg Nahrung. Diese Energiekonzentration führt bei einem Überangebot von 6,12 Millionen GJ_{VE} zu einer potenziellen Verlustmenge von 570.000 Tonnen Lebensmitteln.

Tabelle 33: Nachfrageüberschuss als Basis zur Verlustbewertung von Lebensmitteln

Parameter	Einheit	Wert
Energetische Überproduktion	GJ _{VE}	4.017.395
Nicht berücksichtigte Abfälle	GJ _{VE}	2.100.000
Überstand	GJ _{VE}	6.117.395
Energiedichte im Abfall	MJ _{VE} /kg	10,7
Lebensmittelabfall	T	572.598
Unvermeidbare Verluste ¹	%	35,2
Energieverluste	GJ _{VE}	3.964.072
Mengenverluste	GJ _{VE}	371.043
Energieverluste	%	10,7
Mengenverluste	%	4,8

¹(Pladerer *et al.*, 2016)

Bedeutend für die Bewertung der Nahrungsverluste bzw. der Verluste im Allgemeinen ist die Interpretation von Verlusten. Wir sollten – auch wenn das quantitativ oft schwer zu bestimmen ist – folgende Verluste unterscheiden:

- **Nicht-Ernte:** Das sind pflanzliche Bestandteile, die im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion und Ernte absichtlich oder unabsichtlich nicht genutzt werden. Mechanische Verluste treten im Grünland als Bröckelverluste am Feld oder als Kornverluste bei der Ernte von Getreiden, Öl- oder Eiweißsaaten auf. Diese Verluste verlassen nicht die Systemgrenze der Landwirtschaft und sind deshalb nicht als Nahrung zu bezeichnen. Sie gehen nicht verloren, sondern treten wieder als Nährstoffe in den Stoffkreislauf ein. Gewollter Vertreter dieser Nutzungsart ist die Gründüngung im Ackerbau. Hier werden Pflanzen ganz bewusst zum Schutz der Bodenoberfläche und zum Zweck der Nährstoffanreicherung angebaut. Ähnliches gilt auch für Feldgemüse, das – aus welchen Gründen auch immer – im Kreislauf verbleibt. Mit dem System der AGS wurde die Nicht-Ernte quantitativ mit 1,990.000 Tonnen Trockenmasse bei einem kalorimetrischen Brennwert von 17,9 MJ/kg T und einem Proteingehalt von 13,9 % bewertet. Die Nicht-Ernte ist in Österreich potenziell nur minimaler Bestandteil der möglichen Ernte. Begrifflich kann die Nicht-Ernte methodisch noch erweitert werden. Das Szenario einer biologischen Landwirtschaft oder das Fehlen von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln würde die Nicht-Ernte-Rate deutlich nach oben treiben. Technisch und methodisch hat die österreichische Landwirtschaft aber, außerhalb von Naturkatastrophen, eine hohe Erntesicherheit.
- **Verlust in der Verarbeitung, im Handel und im Haushalt:** Unter Annahme einer über alle Prozesse (Verarbeitung, Handel, Haushalt) hinweg gleichen Verlustrate werden jährlich absolut betrachtet rund 570.000 Tonnen an Nahrung nicht dem Endzweck zugeführt. Diese Menge

deckt sich – in Anbetracht der Methode und der allgemeinen Datenlage – gut mit der aktuellsten Studie in Österreich (Pladerer *et al.*, 2016), in der für diesen Zweig in Summe 756.000 Tonnen errechnet wurden. Aus dieser Studie wurden auch die rund 35 % der unvermeidlichen Nahrungsverluste übernommen. Die Bewertung und Schlüsse zu den Nahrungsverlusten sollten nicht auf der Ebene der Frischmasse sondern besser über die Menge an verdaulicher Nahrungsenergie gezogen werden. Der unterschiedliche Wassergehalt hat großen Einfluss auf die Bewertung. Die vermeidbaren Verluste an Nahrungsenergie betragen so in Österreich rund 4,8 %. Das ist der Ertrag von rund 66.000 ha Ackerland. Dass die zwei unterschiedlichen Ansätze zu so ähnlichen Ergebnissen kommen, ist erfreulich.

Auf der Basis der eigenen Daten stehen der Wohnbevölkerung in Österreich pro Tag (ohne Getränke auf Wasserbasis) 2,5 kg an Lebensmitteln zur Verfügung. Davon werden 0,13 kg als vermeidbarer Verlust nicht notwendigerweise verloren. Energetisch bedeutet dies einen Verlust von 1,29 MJ an verdaulicher Nahrungsenergie. Das entspricht einer Menge von 100 Gramm Brot. Ähnlich wie auch bei Pladerer *et al.* 2016 werden die Ergebnisse von vergleichbaren Studien in Frage gestellt. Im FAO Report „Global food losses and food waste“ wird für Europa ein Lebensmittelverlust von 290 kg angegeben (Gustavsson *et al.*, 2011). Abzüglich der unvermeidbaren Verluste würde das eine 4-fache Verlustrate bedeuten. Die Annahmen über Verluste in Handel und Verarbeitung sind in dieser Arbeit zu hoch. United Against Waste hat in einer aktuellen Studie Verlustraten von Großküchen untersucht und dabei bei Beherbergungsbetrieben Verlustraten zwischen 15 und 19 % gefunden (Schranzhofer *et al.*, 2015). Die Raten von Großküchen erreichen im Mittel einen Wert von 29 %. In Anbetracht der ausgegebenen Tellermengen und notwendigen Überschüsse an Buffetanlagen steht diese Erkenntnis aber nicht im Widerspruch zu den eigenen Bewertungen.

6.2.3 Bioenergie aus der Landwirtschaft

Bei der Diskussion der konventionellen Energiezukunft unter 6.1.1 beansprucht die verwendete Studie Bioenergie im Energiemix mit einem Anteil von 33,6 % ($\pm 26,1$ %). Die absoluten Energiemengen liegen dabei zwischen 67 und 132 TWh pro Jahr (siehe Abbildung 123). Als Ausgangspunkt darf die Analyse von Kranzl *et al.* 2009 (BMVIT 2010) angenommen werden, die das gegenwärtige Biomasseangebot energetisch mit 52 TWh pro Jahr bewertet. In Abbildung 124 zeigt sich, dass sich dieses nationale Angebot zu über 85 % aus forstlicher Biomasse bildet. Ein noch nennenswerter Anteil wird aus der Verbrennung von Abfall und nur ein ganz geringer Anteil direkt aus der Landwirtschaft geliefert. Die zukünftigen Verwertungspfade zeigen, dass die einzelnen österreichischen Autorenguppen in Zukunft eine stärkere Präsenz der Landwirtschaft im Sektor der Biomasseerzeugung für energetische Zwecke sehen. Kranzl *et al.* 2009 (BMVIT 2050) liegen mit ihrer Maximalvariante im Jahr 2050 zwar möglicherweise bereits außerhalb des in der Landwirtschaft Umsetzbaren, markieren damit aber eine Obergrenze. Der EEA-Report 6/2013 zeigt die europäische Variante eines Energie-Mix im Biomassebereich. Die unterschiedlichen Flächenverhältnisse bilden sich deutlich in der Studie ab. Österreich hat auf seinem Staatsgebiet

einen Waldanteil von rund 48 %, in der europäischen Union liegt dieser Anteil um 10 % tiefer, wobei der Norden deutlich dichter bewaldet und weniger ertragreich ist. Deshalb ist auch die Nachfrage nach Agrarland im EU-Mix deutlich höher.

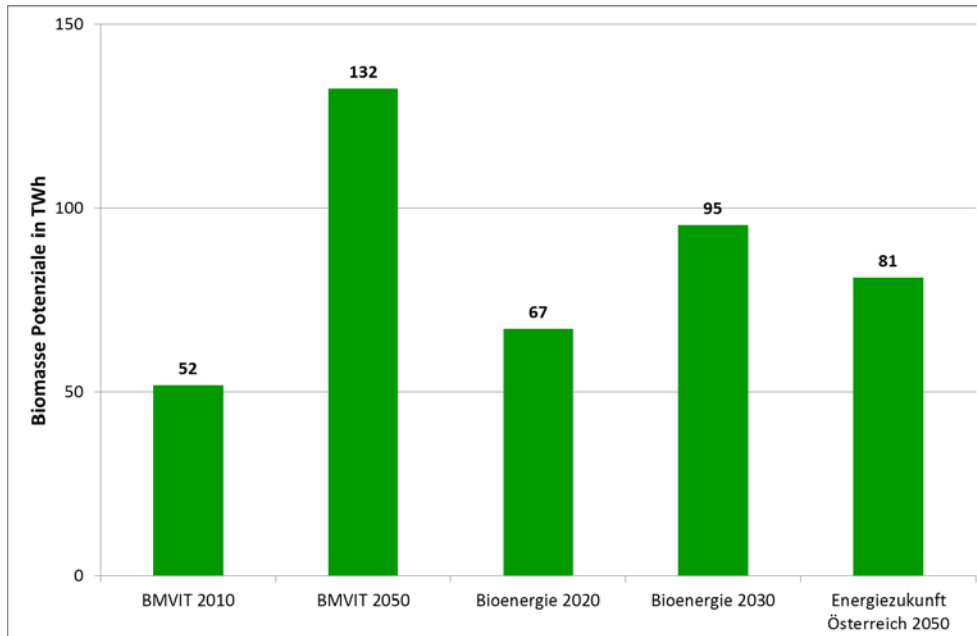


Abbildung 123: Bioenergiepotenziale in Österreich

Die meisten Studien zum Biomasseangebot, hier wird nur eine Auswahl gezeigt, sind Auftragsarbeiten wissenschaftlicher Institutionen. Die in regelmäßigen Intervallen erscheinenden Studien des Österreichischen Biomasseverbandes (Biomasseverband, 2016) sind in einen Verein eingebettet, dem die führenden heimischen Unternehmen des Sektors angehören. Der Verein steht in enger Verbindung zu den Landwirtschaftskammern und Forstdirektionen. Dieser Aspekt wird hier deshalb erwähnt, weil die Studienreihe Bioenergie 2020 (Jauschnegg und Pfemeter, 2012) bzw. Bioenergie 2030 (Österreichischer Biomasseverband, 2015) in einem kurzen Bewertungsintervall zu einem optimistischeren Bild geführt hat. Insgesamt scheinen den Autorengruppen 27 TWh mehr möglich zu sein, und ein größerer Anteil soll aus der Landwirtschaft kommen. Bei genauer Betrachtung der Arbeiten zeigt sich ein Einfluss der Definition von Abfall, der in der späteren Arbeit etwas deutlicher der Landwirtschaft zugeordnet wurde.

Die größte Hoffnung im Biomasseverband liegt aber noch immer auf der vollständigen, fachlich richtigen Nutzung der heimischen Wälder. Wald hat eine an den Standort angepasste Wachstumsdynamik. Diese lässt nach einem geringen Jugendwachstum einen lange ansteigenden Zuwachsgradienten folgen. Ab einem von der Baumart und dem Standort abhängigen Alter sinkt der Zuwachs und damit die Effizienz des Waldes. Dieses in der Natur sehr weit verbreitete Muster empfiehlt eine rechtzeitige Ernte. Waldbesitzer müssen auch heute noch von diesem Aspekt oft erst überzeugt werden, da Waldbestände keine Signale der Reifung – etwa wie Obst mit seiner Farbe – aussenden. Die Langsamkeit der Prozesse ist schwer zu beobachten.

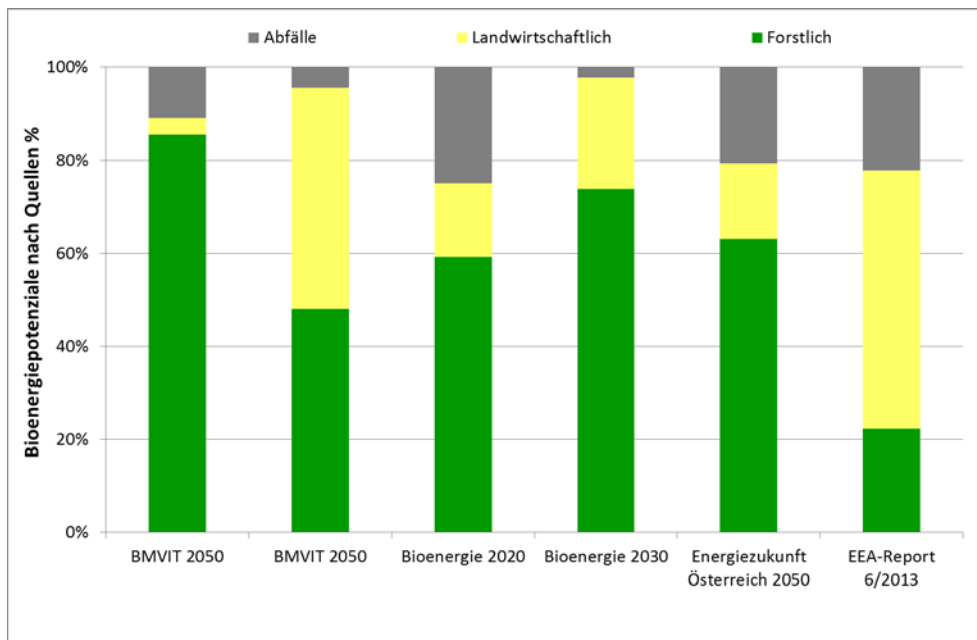


Abbildung 124: Mögliche Anteile von Land- und Forstwirtschaft im Bioenergiebereich

Ohne darauf näher einzugehen, empfehlen sich für alle Autorengruppen die Arbeiten des Biomasseverbandes. Dieser Verein hat die größte Dichte an Experten und steht zudem in Verbindung mit den politischen Entscheidungsträgern. Die Pläne des Biomasseverbandes scheinen zudem mit dem tatsächlichen Ausbau der verschiedenen Sparten eng in Verbindung zu stehen, weil geplante Prozesse oft Jahre später tatsächlich zu beobachten sind. Das Szenario *Energiewende* in dieser Arbeit lehnt sich deshalb in seiner Konfiguration auch an den für 2030 geplanten Weg an.

6.2.4 Das Wesentliche zur Energie aus Biomasse

Die Umwandlung von Biomasse in erneuerbare Energie ist viel kritischer als die Installation von neuen Technologien zur Umwandlung von Sonnenenergie in Strom oder Wärme. Zum Einen besteht eine enge Verbindung zwischen den verwendeten Pflanzen und ihren Habitaten und zum Anderen entstehen rasch ungewollte Konkurrenzsituationen zwischen der Energiewirtschaft und anderen Verwertungszweigen. Die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen führt hier schnell zu der ethischen Frage, ob angesichts von 795 Millionen unterernährten Menschen potenzielle Nahrung überhaupt in Energie verwandelt werden darf. Aus den maßgeblichen Berichten der FAO wurden unter 6.2.1 die Treiber für den Welthunger herausgearbeitet. Die Bewertung der vier Faktoren zeigt, dass drei von vier Faktoren (Naturkatastrophen wie Dürren, politische Instabilität und Bevölkerungswachstum) keine Frage der weltweiten Verwertung von Biomasse sind. Dies gilt aber nicht für den vierten Aspekt, das ist die Umwandlung globaler Ressourcen in Nahrung oder Energie. Die klassische Verwertung von Biomasse in der Tierhaltung und die Umwandlung von Stärke oder pflanzlichen Ölen verschieben die weltweiten Biomasseströme maßgeblich und sind deshalb als kritisch zu betrachten. Für Österreich kann eine Analyse dieser Ströme nur im Rahmen der europäischen Datenquellen durchgeführt werden. Aus dem Marktbericht Getreide (Eurostat, 2015a), dem Marktbericht Milchprodukte (European Commission, 2016d), dem Marktbericht

Rindfleisch (European Commission, 2016a) und den groben Informationen zur Schweine- und Geflügelfleischproduktion (European Commission, 2016b, 2016c) kann eine einfache Bilanz über die Import/Export-Ströme der europäischen Landwirtschaft erstellt werden. Diese Mengenbilanz zeigt einen Exportüberschuss von Getreide aller Art in der Höhe von 17,7 Millionen Tonnen, dem ein Importbedarf von rund 35,6 Millionen Tonnen an Ölsaaten und Ölen gegenübersteht. Die Viehwirtschaft verwandelt die eigenen Ressourcen und die Importmengen in Milch und Fleisch für die europäische Bevölkerung. Die Überschüsse von 1,7 Millionen Tonnen Milchprodukte und 3,8 Millionen Tonnen Fleisch werden exportiert. Die Mengenangaben sind allerdings nicht besonders nützlich, weil sich der Energiegehalt der Produkte im Sinne der menschlichen Ernährung doch deutlich unterscheidet. In Tabelle 34 wurden die Mengen als verdauliche Nahrungsenergie bewertet und bilanziert. Die Ernährungsleistung der Ölsaaten wurde mit $13,2 \text{ MJ}_{\text{VE}}/\text{kg}$ sehr niedrig angesetzt.

Tabelle 34: Import/Exportbilanz EU 27 an verdaulicher Nahrungsenergie

Import/Exportbilanz EU	
PJ verdauliche Nahrungsenergie	
Stärke	225
Ölsaaten	-473
Milch	31
Fleisch	32
Summe	-186

Wenig überraschend zeigt sich, dass die Exportüberschüsse an Milch und Fleisch erst durch den Import von Ölsaaten möglich werden. Deren wenig effiziente Umwandlung erhöht den Exportdruck für die europäischen Landwirte und führt zu sinkenden Preisen. Die Sorge der europäischen Bauern um ihre ökonomische Zukunft erinnert an die Kerngruppe des Welthungers. 2/3 dieser Menschen sind Kleinbauern, die zwar meist aus ökologisch-gesellschaftlichen Gründen leiden, die aber auch die Folgen der überfüllten Märkte der ersten Welt zu spüren bekommen (Reichert *et al.*, 2011). Im Sinne der globalen Ernährungsfrage und zur Absicherung des lokalen Handelspreises müsste lediglich der Soja- und Palmölimport der EU in die hungernden Zielländer Afrikas und Asiens umgeleitet werden. Unterernährung ist damit kein Weltproblem sondern ein Logistik- bzw. Handelsproblem, denn die Nahrungsenergie bzw. Protein aus Soja könnten sich die Länder der Dritten Welt auch ökonomisch leisten. Geklärt wurde hier in diesem Zusammenhang auch die Frage bezüglich des Umganges mit Lebensmittelabfällen, die in Österreich mit einem Anteil von 4,8 % bewertet wurde. Das ist immer noch hoch genug, um gesellschaftlich daran zu arbeiten, steht aber in keinem Verhältnis zu den landwirtschaftlichen Masseströmen.

Die Erkenntnis erleichtert die Bewertung der Legitimität einer energetischen Nutzung landwirtschaftlicher Flächen in Österreich für energetische Zwecke insofern, als wir feststellen müssen: Die Veränderung unserer Agrarstruktur in Richtung erneuerbare Energie ist dann legitim, wenn es uns gelingt, die Sojaimporte durch eigenes Proteinfutter zu substituieren. Diese Maßnahme erhöht die Chancen, die Sojabohne an die hungernde Schicht der Weltbevölkerung weiterzugeben.

Noch eingehen müssen wir auf die Umweltwirkungen der Biomassenutzung. Dieser bisher nur in einigen Nebensätzen erwähnte Aspekt bestimmt die Nachhaltigkeit der Biomasseverwertung und ist deshalb langfristig fast noch wichtiger als die Frage um die Planung zukünftiger Energiesysteme. Oder anders formuliert: Wenn uns die Unsicherheit über die tatsächliche Entwicklung der Energiesysteme der Zukunft von einem Prozess sprechen lässt, sollten wir ein verlässliches Risikomanagement einplanen, damit wir im postfossilen Zeitalter nicht wieder an die Grenzen unserer Ökosphäre stoßen. Bioenergie muss ethisch und nachhaltig vertretbar sein!

6.3 Umweltwirkungen als Wachstumsgrenze

Die Grenzen des Wachstums sind und waren immer sichtbar! An jenem Tag, an dem mit der Rodung von Wildpflanzen zugunsten von Urkorn die Landwirtschaft begründet wurde, ist auch das in Formel 3 beschriebene Grundproblem entstanden. Nur zur Erinnerung: Jede Umsetzung von Ressourcen führt zu Umweltwirkungen. Deren Summe UW_t muss immer kleiner sein als die langfristig natürlich verträgliche Summe an Schädwirkungen für die Umwelt UV_∞ oder mathematisch ausgedrückt, $UW_t < UV_\infty$. Formel 4 zeigt uns, dass sich die Schädwirkungen zwischen den Technologien ja sogar regional unterscheiden und es auch die Chance auf Wiedergutmachung gibt. Die damit beschriebene Risikobewertung ist unscharf, vage und unsicher. Empfehlungen enden leicht im Spekulativen. Seriöse Wissenschaftler im Bereich der Folgenabschätzung haben es nicht leicht! Produktionsfunktionen und ökonomische Bewertungen haben es da viel leichter. Sie lösen klar auf und verleihen so Technikern und Ökonomen ein sicheres Auftreten. Dies gelingt dieser Gruppe aber nur aus zwei Gründen. Erstens gibt es nur ein sehr schlechtes historisches Gedächtnis, welche Unheil Technik und Ökonomie schon angerichtet haben und zweitens ignorieren diese Gruppen gerne die Systemgrenzen ihrer Betrachtungen. Das geschieht nicht fahrlässig, sondern ist Folge der Konzentration des Expertenwissens in Fachbereichen. Gegen das erste Problem hilft eine historische Betrachtung und gegen das zweite ein möglichst interdisziplinäres Arbeitsfeld.

Der Lehrstuhl für Umweltgeschichte an der Alpen-Adria-Universität Klagenfurt hat eine Reihe von Arbeiten hervorgebracht, die einen historischen Blick auf die Entwicklung der produzierenden Gesellschaft geben. Ein mit nationalen Daten gut versorgtes Werk ist das Buch „Vom Ende der Fläche“ (Sieferle *et al.*, 2006) Mit dem Werk „Geschichte unserer Umwelt“ liegt aktuell ein besonders griffiges Buch vor, das die Wirkung von Produktionsfunktionen auf die Umwelt in sechzig Fallstudien dokumentiert (Winiwarter und Bork, 2015). Die unter 6.3.1 dargestellten Erkenntnisse sind eine persönliche Zusammenfassung von Kapitel 3 dieses Buches. Dieses Kapitel ist hilfreich für die Entwicklung und Prüfung der individuellen Haltung zum Thema.

Ein interdisziplinäres Forschungsfeld für Umweltwirkungen ergibt sich bei der Durchführung von Lebenszyklusanalysen. Was bis zur Einführung dieser Wissenschaft oft nur spekulativ formuliert wurde, haben Wissenschaftler aus verschiedensten Sparten in Inventare, Wirkungsanalyse und Folgeabschätzungen gegossen. Im Forschungsprojekt FarmLife hat eine interdisziplinäre Gruppe der HBLFA Raumberg-Gumpenstein/Irdning-Donnersbachtal und der AGROSCOPE Reckenholz,

Zürich, ein landwirtschaftliches Betriebsmanagement-Werkzeug entwickelt, das auch die betrieblichen Umweltwirkungen bewertet (Herndl *et al.*, 2015). Unter 6.3.2 wird gezeigt, wie sich die Erkenntnisse der Umweltgeschichte und wissenschaftlich bewertete Umweltwirkungen in Handlungsempfehlungen umwandeln lassen. So bildet sich eine tragfähige Schicht, auf der das letzte Kapitel der Diskussion bearbeitet werden kann.

Beide Aspekte führen zur Erkenntnis, dass die Erfüllung von $UW_t < UV_\infty$ über der Produktionsfunktion aus Formel 2 steht. Oder noch exakter: Die Umwandlung von potenziellen Angeboten der lokalen Ressourcenfreisetzung P_{rt} wird durch die UV_∞ begrenzt. Dadurch wird UV_∞ zur Abbruchgröße der Produktion und zur Grenze des Wachstums.

6.3.1 Erkenntnisse der Umweltgeschichte

Winiwarter und Bork, 2015, zeigen in ihrem Buch sechzig Fallstudien im Spannungsfeld zwischen der Umwelt einerseits und Veränderungen, Agrargesellschaften, Handel, Transport, Kolonialisierung, Politik und Industrialisierung andererseits. Das Spektrum ist vielfältig und endet mit wesentlichen Gedanken zur Konzeption einer vorsorgenden Gesellschaft.

Wesentlich für deren Begründung ist die innere Haltung der Menschen zur Widerstandskraft der Natur gegen negative Wirkungen. Dabei sind grundsätzlich vier Vorstellungen möglich (Thompson *et al.*, 1990):

- Der Egalitarismus steht für eine zerbrechliche Natur, die unwiderruflich zerstört wird, wenn die bestimmenden Elemente aus ihrem Gleichgewicht (franz.: *égalité*, Gleichheit) gebracht werden. Besorgt steht der Egalitarismus allen Arten von Ungleichheit gegenüber und verbindet mit dieser Haltung nicht nur eine Schutzfunktion gegenüber der Natur, sondern fordert auch eine Gleichheit in der Gesellschaft bzw. Gemeinschaft.
- Der Individualismus wurde in seinem Wesen bereits bei den nachklassischen Wirtschaftsmodellen beschrieben. Der Vorteil des einzelnen, des Individuums, steht im Mittelpunkt und aus dieser Position wird auch die Natur als elastisch und nachsichtig betrachtet. Diese Haltung ermöglicht eine ungezügeltere Weiterentwicklung von Technologie und Ökonomie im Rahmen der Güterproduktion.
- Die Hierarchie erlaubt eine individuelle Entwicklung im Rahmen der Ökologie und Ökonomie. Sie anerkennt aber auch die Existenz von Grenzen, die bei ihrer Überschreitung zum Zerbrechen der Ökosysteme führen werden. Der Einleitungstext des Kapitels, Formel 3 und viele Querverweise während der Konzeption der Methoden, der Simulation und Diskussion zeigen, dass die gesamte Arbeit von dieser Haltung geprägt wird. Die individuelle Entwicklungsfreiheit sollte nur das notwendige Minimum betragen. Das erhöht die Chancen, dass der kritische Bereich lange nicht erreicht wird. Vorsorgend soll diese Haltung von einer externen, hierarchisch über den Menschen stehenden Macht, etwa dem Staat, abgesichert werden.

- Der Fatalismus bestreitet die Zusammenhänge zwischen gesellschaftlichem Handeln und den möglichen Umweltwirkungen. Beides mag erkennbar sein, aber die Beziehung wird in Frage gestellt. Die Zukunft entwickelt sich nicht geplant sondern frei nach ihren Wirkungsprinzipien.

Die ersten drei Vorstellungen können in der Festlegung einer maximalen langfristig verträglichen Summe an Umweltwirkungen (UV_{∞}) abgebildet werden. Der Egalitarismus wird nur eine minimale Summe festlegen, der Individualismus eine möglichst hohe. Die Hierarchie verwendet Werkzeuge des Risikomanagements und der Bewertung von Umweltwirkungen, um einen defensiven Wert zu formulieren. Dieses Verhalten ermöglicht zum Einen (manchmal) die Wirkung von Reparaturprozessen und erhöht die Chance, den letalen Wendepunkt der Ökosysteme lange nicht oder gar nicht zu erreichen. Die drei Haltungen können auch in der Gegenüberstellung der geplanten Energiezukunft unter 6.1.1 beobachtet werden. Studien im Auftrag der NGOs folgen der Vorstellung des Egalitarismus und geben niedrige Zukunftspotenziale an, während die Energieinstitute der fossilen Energieindustrie den Individualismus abbilden. Viele interdisziplinäre Forschungsgruppen finden sich, wie die Forschungsgruppe Ökoeffizienz der HBLFA, im Konzept der Hierarchie wieder.

Entscheidend für die Entwicklung einer vorsorgenden Gesellschaft ist die Anleitung. Expertenwissen war in der Vergangenheit kein wirklich erfolgreiches Konzept, da viele Experten aus mehreren Gründen nicht völlig frei sind, sondern oft der Sache dienen oder dienen müssen. Zudem leben wir nicht mehr in einer Wissens- sondern in einer Entscheidungsgesellschaft. Nach den Autoren des Buches *Geschichte unserer Umwelt* wird eine Gesellschaft erst durch ihr Verhalten der Empathie zur vorsorgenden Gesellschaft. Die vorsorgende Haltung ist nicht ängstlicher Natur, sondern folgt aktiv der Vision einer wünschenswerten positiven Zukunft.

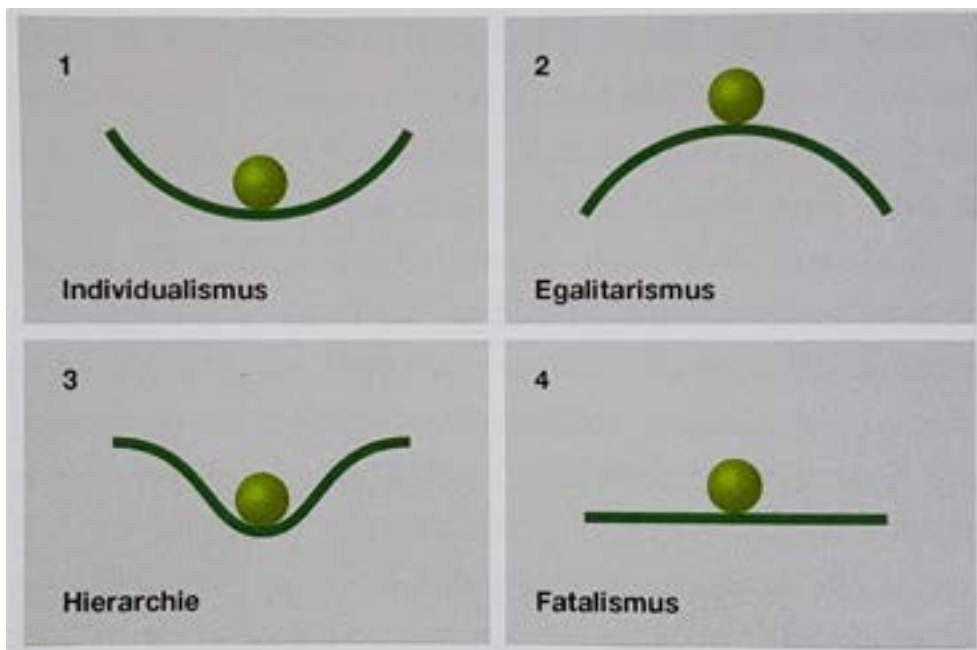


Abbildung 125: Wie stellen wir uns die Natur vor? (Winiwarter und Bork, 2015, Seite 160)

6.3.2 Ökobilanzierung als Optimierungswerkzeug

Noch einmal darf an dieser Stelle an Formel 4 erinnert werden. Sie lautet:

$$UW = \sum_{u=1}^n \sum_{r=1}^n \sum_{t=1}^n I (d_{urt} - h_{urt})$$

wobei

UW	=	Summe aller Umweltwirkungen in allen Regionen und Technologien
u	=	Umweltwirkung (z.B. Treibhausgase, verschmutztes Wasser, ...)
r	=	Region
t	=	Technologie
I	=	Nachhaltiger Impuls
d_{urt}	=	Höhe des Schadens, der durch eine Technologie in einer Region möglich ist
h_{urt}	=	Wiederherstellungsrate des Schadens durch die Natur oder Technologien

Was bisher ganz allgemein abgehandelt wurde, kann an dieser Stelle für landwirtschaftliche Betriebe konkretisiert werden. An die Stelle des nachhaltigen Impulses I tritt das bewertbare Inventar, das für die Produktion von Lebensmitteln notwendig ist. Abbildung 126 zeigt unterschiedliche Inventare mit verschiedener Umlaufgeschwindigkeit. Die Betriebsflächen können als einziges Inventar als fix betrachtet werden, während Gebäude und Maschinen langfristig genutzt werden. Betriebsmittel wie Kraftstoff, Tierfutter, ... werden zugeführt und rasch verbraucht. Als gesellschaftliche Leistung der Produktion entstehen Nahrungsmittel, als innerbetriebliche Leistung fällt zumindest in der Tierhaltung Wirtschaftsdünger an.

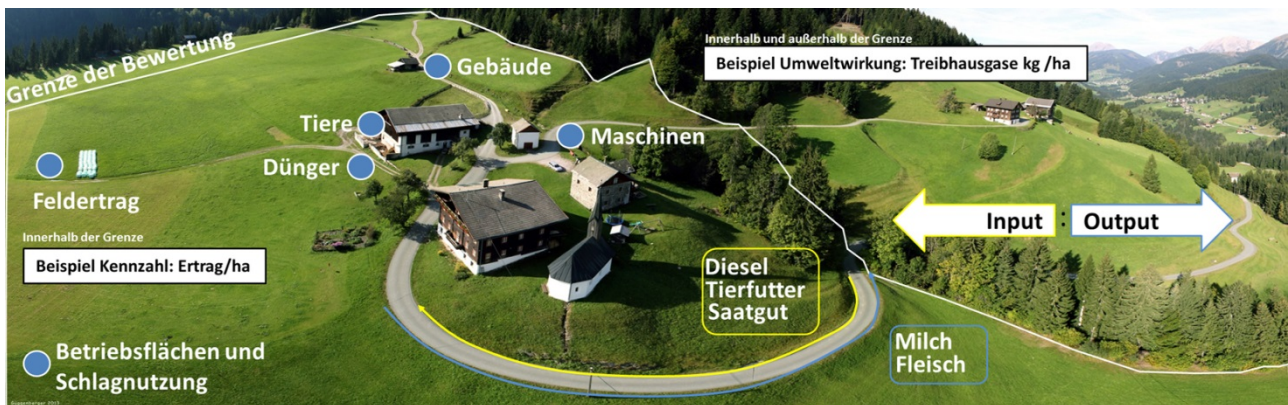


Abbildung 126: Der landwirtschaftliche Betrieb und sein Inventar

Jedes Inventar wird im Rahmen der Ökobilanzierung erfasst und mit speziellen Techniken auf Stoffgruppen aufgeteilt. Das so sehr granular zerlegte Inventar kann in seinen Umweltwirkungen entweder direkt oder mit Modellen indirekt bewertet werden. Weil das in dieser Kürze schwer zu verstehen ist, kann ein kurzes Beispiel zur Berechnung der Treibhausgasbelastung eines Milchviehbetriebes nicht schaden:

1. Der Betrieb besitzt Maschinen und Gebäude. Diese lassen sich qualitativ und quantitativ beschreiben. Ein Traktor, etwa, kann grob in die Fraktionen Werkzeugstahl, Gusseisen und Kunststoffe zerlegt werden. Das Gleiche gelingt bei den Gebäuden, die in Betoneisen, Fertgbeton, Holz und Glas zerlegbar sind. Für jede der genannten Fraktionen ist der Aufwand

an fossiler Energie und damit der Anfall an Treibhausgasen bei der Verarbeitung bzw. Verbrennung als d_{urt} bekannt, weil der ganze wissenschaftliche Zweig des Life Cycle Assessment (LCA) damit beschäftigt ist, die Vorleistungsketten zu analysieren. Computerprogramme wie SimaPro stellen diese Daten den Anwendern zur Verfügung (PRÉ CONSULTANTS, 2011). Die Berechnung der Umweltwirkungen besteht dann nur mehr aus mehreren Multiplikationen bzw. Addition.

2. Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) sind oft unvermeidbare Gase biochemischer Herkunft, die sich durch hohe Schädwirkungen im Hinblick auf ihre Wirkung als Treibhausgase auszeichnen. Diese Gase können am landwirtschaftlichen Betrieb nicht quantitativ bewertet werden. Allerdings haben unterschiedliche Forschungsgruppen multiple Modelle zur Bewertung des Gasanfalls erstellt. In diese Modelle fließen Informationen über den Tierbestand und das Leistungsniveau, die Fütterung, die Düngung usw. ein. Das Ergebnis kann letztlich wieder zur Betriebssumme an Umweltwirkungen addiert werden.

Die Umweltwirkungen UW sind als Ergebnis praktisch schwer zu bewerten. Die Befragung von Milchbauern über ihre Produktionsleistung in Liter Milch pro ha ergibt ein völlig anderes Bild als die Befragung nach den t CO_2 -Äquivalenten pro ha als Treibhausgase. Die Milchleistung wird sehr zielsicher bewertet, der Anfall an Treibhausgasen ist völlig abstrakt. Damit die Bewertung in Handlungsoptionen umgewandelt werden kann, empfiehlt sich eine Umwandlung der Mengeninformaton in einen relativen Vergleich.

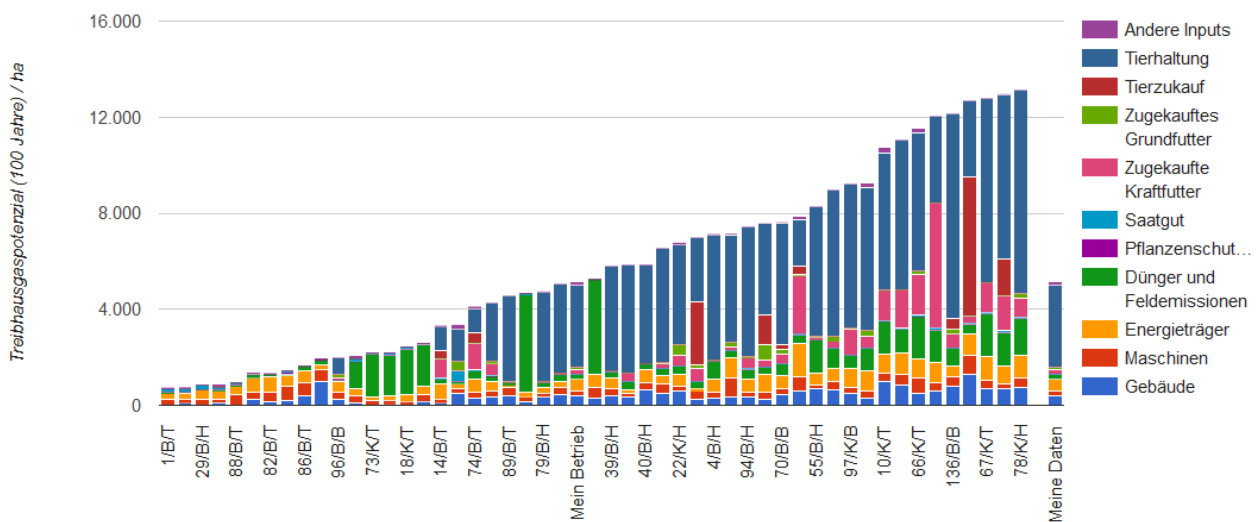


Abbildung 127: Bewertung des Treibhauspotenzials von Milchviehbetrieben in Österreich

In Abbildung 127 kann sich jener Betrieb, der im Säulendiagramm als „Mein Betrieb“ gekennzeichnet ist, bezüglich seines Treibhausgaspotenzials in 100 Jahren pro ha qualitativ einordnen. Der Betriebsleiter sieht, dass er im Vergleich mit verschiedenen Betriebstypen im Mittelfeld liegt. Die Zerlegung der Säule in Input-Gruppen zeigt, dass die Tierhaltung rund $\frac{3}{4}$ der Größe bestimmt. Das restliche Viertel wird vom Dieseleinsatz und der fossilen Energie in Maschinen und Gebäuden bestimmt. Diese drei Gruppen treten somit als Verbesserungsbereiche

hervor und können gezielt von der Beratung bearbeitet werden. Ungeachtet des Einsatzgebietes (Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistung, ...) kämpfen alle Anwendergruppen der LCA mit den gleichen Problemen. Die Erstellung des zerlegten Betriebsinventars I ist eine technisch aufwändige und datenintensive Aufgabe. Die Erstellung der Wirkungsabschätzung d_{urt} ist noch komplexer und benötigt hohen Input der Systemwissenschaften. Der Umgang mit dem Ergebnis schließlich fordert sowohl die Kommunikation als auch die anzuschließenden Entscheidungsstrukturen des Individuums. Die qualitative Absicherung von I und d_{urt} ist eine Frage der Verfügbarkeit von geeigneten Arbeitskräften und damit eine Frage des Geldes. Die Interpretation der Ergebnisse kann nicht so einfach gelöst werden. Zumindest zwei zum Teil konkurrierende Systeme können beobachtet werden:

- **Bewertung pro Leistungseinheit:** Die Umweltwirkungen werden auf den Output der Produktionsfunktion umgelegt. Dies bedeutet für einen landwirtschaftlichen Betrieb, dass die Summe der Treibhausgase auf die Menge an Nahrung zu verteilen ist. Stahlwerke werden ihre Umweltwirkungen je Tonne Rohstahl angeben usw. Diese Sicht entspricht stark dem nachklassischen Wirtschaftsmodell, in dem die Effizienz von Leistungseinheiten aus dem Verbrauch von Gütern abzuleiten ist. Gesellschaftlich entspricht die Betrachtung pro Leistungseinheit dem Individualismus.
- **Bewertung pro betroffenem Medium:** Die Freisetzung von Gasen aller Art bewirkt eine Veränderung in der Atmosphäre. Das betroffene Medium ist also die „Luft“-Säule, die sich über dem Emittenten befindet. Bei konstanter Höhe kann das Medium auf die Grundfläche, in unserem Fall pro ha, bezogen werden. Umweltwirkungen in flüssiger Form müssen auf die Fracht der verdünnenden Flüssigkeit – zumeist Wasser – bezogen werden. Feststoffliche Umweltwirkungen sind wieder eine Flächenfrage. Als Produktionsbezug wären nur Umweltwirkungen zu akzeptieren, die sich auf das Produkt auswirken. Medikamente der Tiermedizin könnten etwa pro Tonne Fleisch angegeben werden. Da sich die Bezugsgröße direkt an das geschädigte Medium wendet, wird hier die Haltung des Egalitarismus abgebildet.

Beide Bezugsgrößen können sich nicht der in Formel 4 als Fracht beschriebenen Summe der Umweltwirkungen UW entziehen. Diese ist in ihrer maximal verträglichen Menge begrenzt. Für beide Ansätze gilt, dass sich tatsächliche Verbesserungen im Produktionssystem positiv auswirken. Gelingt etwa die Bewirtschaftung der Felder mit einem neuen Wundertraktor mit der Hälfte des Kraftstoffes, dann wirkt sich das in der Leistungseinheit und im Flächenbezug positiv aus. Leider sind solche grundsätzlichen Verbesserungen selten.

Gängig ist der Versuch, die Bewertung über den Divisor zu beeinflussen. Diese Versuche stören sich allerdings wechselseitig. Im Falle einer Steigerung der Leistungseinheiten über höhere Inputs wird sich die Fracht im lokalen Medium anreichern und dort zu Schäden führen. Umgekehrt führt eine größere Fläche bei gleicher Leistung zu einer Verdünnung des Outputs, was zu einer negativen Bewertung pro Leistungseinheit führt. Bei Umweltwirkungen mit lokalem Bezug empfiehlt sich, schon im eigenen Interesse der lokalen Bevölkerung, das betroffene Medium als Bezugsgröße.

6.4 Handlungsfelder

6.4.1 Praktische Handlungsfelder

Die vier nachhaltigen Angebotsbereiche Nahrung, Wärme, Elektrizität und Mobilität können alle sektoralen Leistungen einer nationalen, vorsorgenden Volkswirtschaft erfüllen. Nahrung und Wärme können zweckgebunden in die Nachfrage überführt werden. Die Bereitstellung von Elektrizität ist eine universelle Leistung mit mehreren Nutzungspfaden. Die konventionelle Mobilität auf Basis von Verbrennungsmotoren hat geringe Bedeutung, da sie nachfrageseitig durch die E-Mobilität aller Formen substituiert wird. Tabelle 35 zeigt die Schlüsselgrößen der Produktionsfunktion aus Formel 2 und integriert den wichtigsten Faktor aus der Bewertung der Umweltwirkungen. Damit schließt sich der Betrachtungskreis dieser Arbeit, der mit genau dieser Formel auf Seite 9 begonnen hat. Die Tabelle bewertet subjektiv alle Parameter mit Pfeilen, die die Entwicklung anzeigen. Die Umweltwirkungen werden, da auch stark von der Haltung mitbestimmt, mit Smileys dargestellt.

Tabelle 35: Handlungsfelder auf dem Weg zu einer vorsorgenden Gesellschaft in Österreich

Bereich	Angebot				Nachfrage/Umsetzung		
	Einzelangebot P_{rt}	Wirkungsgrad η_t	Flächenverbrauch f	Bewertung der Schadwirkung d_{urt}	Einzelbedarf D_{rb}	Wirkungsgrad $\frac{1}{\eta_b}$	Nutzer N_{rb}
Nahrung	↗	↔	↘		↘	↔	
Pflanzlich	↑	↔	↔	☺	↗	↔	
Tierisch	↓		↓	☹	↘		
Wärme	↓		↑		↔	↑	
<i>Haushalt</i>	↓		↗				
Biomasse	↗		↔	☹		↑	
fossile Quellen	↘			☹			
solare Quelle	↑		↑	☺			
<i>Wirtschaft</i>	↘	↔	↑		↔		
Biomasse	↗		↑	☹			
fossile Quellen	↘			☹		↗	
solare Quelle	↗		↑	☺			↗
Elektrizität	↑		↗		↑	↔	
Wasserkraft	↗		↔	☺			
Photovoltaik	↑		↑	☺	↑		
Windkraft	↑	↔	↔	☺		↔	
Biomasse	↗		↔	☹			
Fossile Quellen	↘			☹	↓		
Mobilität	↘				↘		
Fossile Quellen	↘			☹	↓	↔	
Biokraftstoff	↗	↔	↗	☹	↓	↔	
Elektrizität	Angebot aus dem Sektor Elektrizität				↑	↑	

↔ gleichbleibend ↘ leicht sinkend ↓ stark sinkend ↗ leicht steigend ↗ stark steigend

☺ geringe Wirkung

☹ mittlere Wirkung

☹ hohe Wirkung

Praktische Ansätze ergeben sich dort, wo besonders starke Wirkungen zu erwarten sind. Die Handlungsfelder einer vorsorgenden Gesellschaft in Österreich sind aus der Sicht der nachhaltigen Energieversorgung:

1. Veränderung der Ernährungsgewohnheiten: Die sinkende Nachfrage nach Nahrung im Allgemeinen und tierischer Nahrung wie Milch und Fleisch im Speziellen schlägt in die Produktion durch. Erzeugnisse aus der pflanzlichen Produktion wandern stärker in die Humannahrung. Eine Ausweitung der Flächen ist nicht notwendig, aber die Umwandlung in der Tierproduktion sinkt und damit der Flächenanspruch der Landwirtschaft. Eine stärker auf pflanzliche Nahrung ausgerichtete Gesellschaft kann trotz moderatem Zuwachs mit weniger Fläche versorgt werden.
2. Steigerung des Wirkungsgrades in der Wärmeversorgung von Haushalten: Bei gleichem Anspruch an Endenergie kann eine bessere Dämmung der Gebäude die Wärmenachfrage markant reduzieren. Eine Forcierung von Solarwärme und leichte Steigerungen im Biomassebereich ermöglichen eine deutliche Reduktion der fossilen Energie.
3. Mobilität durch elektrische Energie: Der Wirkungsgrad von Elektromotoren liegt so deutlich über den Möglichkeiten von Verbrennungsmotoren, dass ein Durchbruch des elektrischen Antriebskonzeptes nicht mehr zu verhindern ist. Durch optimierte Versorgungslösungen und die Verbesserung mobiler Speicher kann die E-Mobilität auch praktisch umgesetzt werden. So kann der fossile Energieeinsatz deutlich gesenkt werden.
4. Strom durch erneuerbare Energie: Die steigende Nachfrage nach Strom öffnet die Türen für eine breite Installation unterschiedlicher Technologien. Die Bewertung der Umweltwirkungen in Tabelle 35 ist als subjektiv Bewertung zu verstehen.
5. Problemfeld der Prozesswärme: Offen bleibt vorerst die Erzeugung von Prozesswärme für die Industrie und das produzierende Gewerbe. Wärme aus erneuerbaren Quellen erreicht nicht die für die Produktion notwendige Temperatur. Alternative Verwendung von Biomasse oder Elektroöfen ist nur für qualitativ hochwertige Produkte möglich. Die Massenenergie für einfache Schmelz- und Trockenprozesse kann nicht nachhaltig bereitgestellt werden.

Die isolierten Handlungsfelder decken sich weitgehend mit den nationalen Zielen des Österreichischen Ernährungsberichtes (Elmadfa *et al.*, 2012) und den praktischen Zielen der Energiestrategie Österreich (BMLFUW, 2010).

6.4.2 Strategische Handlungsfelder

Für die Implementierung der praktischen Handlungsfelder im Bereich einer nachhaltigen Energieversorgung muss langfristige Einigkeit über den Umsetzungsprozess bestehen. Die gilt für die ausgerufene Energiewende ebenso wie für alle anderen langfristigen Aufgaben. Eine intrinsische Lösung ist nicht zu erwarten, da die legitimen, individuellen Haltungen von Menschen (siehe 6.3.1) vorläufig zu unterschiedlich sind. Verstärkt wird die fehlende Einigkeit durch den gegenwärtig geringen ökonomischen Druck und die gefühlte Abwesenheit von Umweltwirkungen in den Ländern der OECD. Für eine erfolgreiche Umsetzung benötigen wir verlässliche Informationen über die bereits geschehenen und noch möglichen anthropogenen Veränderungen, einen klaren gesetzlichen Rahmen und praktisch umsetzbare Handlungskonzepte.

6.4.2.1 Langfristige Dokumentation mit permanentem Informationscharakter

Die Wirkung der Treibhausgase etwa ist allgemein bekannt und kann praktisch beobachtet werden. Trotzdem verweigert die Gesellschaft eine aktive, freiwillige Teilnahme an einer spürbaren Wende. Der Grund liegt in der individuellen Anpassung, die innerhalb der Veränderungsmodelle möglich ist. Im hierarchischen Modell glauben wir an eine gewisse Elastizität der Natur innerhalb nicht exakt definierbarer Grenzen. Erst wenn die Grenze überschritten wird, rechnen wir mit der Katastrophe. Diese sprunghaften Ereignisse treten tatsächlich auf, aber bisher wurde entweder über die Konsequenz geschwiegen, oder eine Reparatur war möglich. Dazu drei exemplarische, lokale Beispiele:

1. Tschernobyl 1986 und Fukushima 2011 stehen für die größten zivilen nuklearen Katastrophen. Innerhalb der definierten Sperrzonen mit einem Radius von 30 bzw. 40 km wird es zukünftig praktisch keine Zivilisation mehr geben. In beiden Fällen wurde die Radioaktivität aber auch in so hohem Ausmaß über die Atmosphäre verfrachtet, dass die Unfälle praktisch auf der ganzen Welt nachgewiesen werden können. In Fukushima entweicht bis heute radioaktives Kühlwasser in den nördlichen Pazifik. Es gibt bis heute keine offizielle Zahl an Toten in Folge der nuklearen Katastrophen. Im Falle von Tschernobyl wurden 58 Menschen direkt durch die Explosion getötet. IPPNW gibt an, das mindestens 15 % der an der Sicherung der Unglücksstelle beteiligten Zwangsarbeiter – das sind 112.000 Menschen – in den Folgejahren an Krebs verstorben sind. In ganz Europa schätzt IPPNW die Toten in Folge von Tschernobyl auf 240.000 (IPPNW, 2016). Mit Ausnahme der direkt betroffenen Menschen werden diese Katastrophen weltweit inzwischen einfach zu Kenntnis genommen. Die 80 km² akut verloren gegangenen Fläche sind global bedeutungslos und die Dosen der Verstrahlung sind so gering, dass sie sich global mit allen anderen Umweltwirkungen vermischen. Das Leben geht weiter.
2. Die Bevölkerung des Görtschitztales in Kärnten erlebte am 26. November 2014 eine sprunghafte Veränderung in der Wahrnehmung ihres Lebensumfeldes. Ein lokales Zementwerk emittierte in seinen Abgasen über längere Zeiträume unbemerkt Hexachlorbenzol (HCB) als Folge der Auflösung einer Altlastendepotie. HCB hat eine stark krebserregende Wirkung und lagert sich im Körperfett aller Organismen ein. Die stark betroffene lokale Landwirtschaft hat

gemeinsam mit Wissenschaftlern rasch ein Sanierungsprogramm in die Wege geleitet, welches alle kontaminierten Produkte und Individuen (Futter, Wirtschaftsdünger, Tiere) aus dem Produktionskreislauf entfernte (Gasteiner *et al.*, 2016). Die humanmedizinischen Auswirkungen sind noch nicht bekannt, akut gibt es keine Toten zu beklagen. Die Umweltkatastrophe wird zu einem endlosen Rechtsakt. Das Leben geht weiter.

3. Das Schwarzenseetal, das ist der alpine Talschluss des Kleinsölktales in der Steiermark, wurde am 17. Juli 2010 durch extremen Starkregen binnen 6 Stunden massiv zerstört. Muren, Felsstürze und die Folgen einer sich schlagartig auflösenden Stauung des Niederschlagswassers richteten im Kleinsölktal Schäden in Millionenhöhe an. Die lokal bisher ungekannte Intensität des Extremereignisses wurde sofort mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht. Expertisen geben dieser Vermutung Recht. Das also indirekt von unserer Gesellschaft verstärkte Ereignis hat alle Hilfslinien von öffentlicher und privater Seite aktiviert. Die Infrastruktur wurde wieder hergestellt, die Natur hilft sich selbst. Man hat etwas gelernt (Guggenberger, 2011) und das Leben geht weiter.

Die natürliche Akzeptanz der Grenzeffekte lässt uns auch unter schlechteren Bedingungen zum Alltag zurückkehren. Was am ersten Tag einer Katastrophe noch Entsetzen auslöst, ist am hundertsten Tag die Normalität. Diese Anpassungsfähigkeit mag wichtiger Bestandteil der Evolution sein (Oeser, 2011), als normaler Prozess auf dem Weg zu einer vorsorgenden Gesellschaft sollten Katastrophen aber nur die Ausnahme darstellen. Dies gilt umso mehr, als die praktischen Handlungsfelder bekannt sind. Die einzige, wirksame Maßnahme gegen das Vergessen im Rahmen der Anpassung ist die Dokumentation des Urzustandes. Diese Dokumentation geschieht weltweit in verschiedenster Form und ist weiter zu stärken.

6.4.2.2 Investition in die Forschung und Entwicklung

Sowohl die praktischen Handlungsfelder einer Energiewende als auch die gesellschaftlichen Hintergründe sind fatalistisch angreifbar. Wirkungszusammenhänge können leicht pseudowissenschaftlich verzerrt werden (Klimalüge (Olson, 2010), Energielüge (Appel und Kaiser, 2008)). Zwar hält die Kritik einer sachlichen Prüfung nicht stand, aber sie eignet sich hervorragend als Kontrapunkt für gesellschaftliche Diskussionen von Menschen, die an bestehenden Mustern festhalten wollen. Die einzige Gegenmaßnahme ist die wissenschaftliche Aufarbeitung aller Zusammenhänge und Wirkungen im betroffenen Themenfeld und eine klare Kommunikation durch die Community. Die vorsorgende Gesellschaft braucht einen Handlungspfad, der die – manchmal als negativ empfundenen – Veränderungen verlässlich absichert. Veränderungen müssen ihre Prophezeiung tendenziell wahr machen, und die Wissenschaft hat dafür zu sorgen (Albert, 1980). Die Weiterführung der Arbeit in den technischen Disziplinen der erneuerbaren Energie und der Landwirtschaft sind selbstverständlich. Ohne Forschung und Entwicklung würde es viele Technologien heute nicht geben. Kritisch darf angemerkt werden, dass auch viele Umweltwirkungen nicht vorhanden wären, aber es besteht doch die Hoffnung, dass neue Entwicklungen im Sinne einer vorsorgenden Gesellschaft wirken. Das Spannungsfeld wurde von Friedrich Dürrenmatt (1921-1990) in „Die Physiker“ hervorragend aufbereitet (Dürrenmatt, 1980).

6.4.2.3 Rahmengesetzgebung mit ausgearbeiteten Umsetzungsprogrammen

Gesellschaften müssen angeleitet werden! Für eine nachhaltige Ressourcenausnutzung in unseren Regionen benötigen wir eine Liste klar abgegrenzter Aufgaben. Diese müssen stimmig in das Vorgehensmodell für die Abwicklung von Projekten eingebettet werden (Guggenberger *et al.*, 2014). Die in dieser Arbeit dominant besprochene Energiewende, aber auch die Fragen um eine zukünftige, gesunde und verantwortungsvolle Erzeugung von Nahrung befinden sich in unterschiedlich weit entwickelten Stadien der Umsetzung.

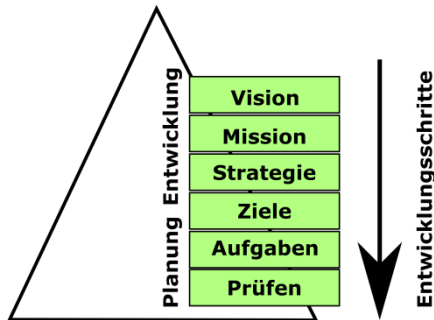


Abbildung 128: Vorgehensmodell Projektmanagement

Als erfolgreiches Beispiel einer vollständigen strategischen Vorbereitung eines langfristigen Projektes kann die biologische Landwirtschaft in Österreich dienen. Sie hat alle Bereiche erfolgreich durchlaufen und bietet sowohl interessierten Landwirten als auch den Konsumenten ein stimmiges Konzept. Die Vision des einzelnen Landwirtes ist eine naturnahe Produktion, die gemeinsam mit Berufskollegen in Verbänden wie Bio Austria zu einer Mission gebündelt wurde. Als strategisches Konzept gelten eine sorgsame Auswahl an Betriebsmitteln und ein natürlicher Umgang mit Boden, Pflanzen und Tieren. Für jeden Teilbereich wurden Ziele und verpflichtende Aufgaben definiert, die auch kontrolliert werden. Konsumenten träumen davon, an der heilen Natur teilzuhaben und sich gesund zu ernähren. Der Handel bündelt für die Konsumenten diesen Wunsch in Produktlinien der biologischen Landwirtschaft, bietet die Waren an und prüft einerseits die Verlässlichkeit der Produktion und andererseits das Ausmaß der Wunscherfüllung bei den Konsumenten. Rahmengesetzgebung (834/2007/EU, 2007) und ein vollständiges Umsetzungsprogramm (Bio Austria, 2016) sind vorhanden.

Im Bereich der konventionellen Energiewende befindet sich der Veränderungsprozess in den unterschiedlichen Bereichen auf sehr unterschiedlichen Entwicklungsstufen. In einigen Teilbereichen wurden die gesetzlichen Rahmenbedingungen auf nationaler (BGBl. 72/2014, 2014) und europäischer Ebene (2012/27/EU, 2012) bereits geschaffen. Zu den gesetzlichen Rahmenbedingungen wurde eine Monitoringstelle eingerichtet, die zumindest ein Bewertungskonzept für die Analyse der Energieeffizienz vorgelegt hat (Adensam *et al.*, 2013). Mit Ausnahme der Verpflichtung zur Vorbildwirkung durch die Gebietskörperschaften und der Verpflichtung zur Erstellung von Energieausweisen für Neubauten und Altbauten im Angebotsfall hat die Gesetzgebung keine bindenden Regeln erlassen. Die vom Themenfeld der Energiewende betroffene Umweltgesetzgebung wurde noch nirgendwo an die neue Situation angepasst. Aus der Sicht des Rechtsstaates wurden zusammenfassend noch keine verbindlichen Regelungen für die

Energiewende getroffen. Deshalb fehlen einer vorsorgenden Gesellschaft von morgen auch noch die detaillierten Umsetzungsprogramme. Das bedeutet aber nicht, dass die Verwaltung und Politik nicht schon erste Impulse für den Wandel gesetzt hätte. In verschiedenen Bereichen wurde mit mehr oder weniger großen Summen (Förderung) ein Anreiz für die Veränderung der Gesellschaft angeboten. Das BMLFUW hat mit den Klima- und Energiemodellregionen eine national sehr erfolgreiche Struktur geschaffen, die bei eigener Entwicklungsfreiheit stark ko-finanziert wird. Das Gleiche gilt im Bereich F&E für die Projektschiene Klima- und Energiefonds. Aus eigener Erfahrung in allen drei Bereichen darf angemerkt werden, dass das Konzept definitiv richtig entwickelt wurde, um das Anliegen der Energiewende in die Bevölkerung zu tragen. Der Mangel an Tiefgang sollte allerdings bei nächster Gelegenheit – am besten, wenn nach 2016/2017 der Ölpreis wieder anzieht – ausgebessert werden. Die kleinen Energieregionen könnten noch viel effizienter arbeiten, wenn sie mit mehr Kapazitäten und Verbindlichkeit ausgestattet werden. Heute leisten diese Zellen der Energiewende in erster Linie noch Überzeugungsarbeit, morgen sollten sie verbindliche Arbeitsprogramme umsetzen.

Im Bereich der privaten Haushalte entspricht die vielfach notwendige umfassende thermische Sanierung der inzwischen sehr erfolgreich gelösten Frage der Abwasserentsorgung. Das Ursprungsproblem der nicht geklärten Entsorgung von Abwässern war ebenso wie die Klimaerwärmung eine Umweltwirkung. Toxische Stoffe aus dem Einsatz chemischer Substanzen, biologische Keime aller Art und Nährstoffe aus den Nahrungsketten führten in den erwähnten Gewässern zur Eutrophierung. Alle Städte und Dörfer Österreichs wurden in den letzten 30 Jahren rechtlich zur Errichtung von Infrastruktur zur Abwasserentsorgung und -aufbereitung verpflichtet. Mit der Errichtung von Kanalnetzen wurden gewerbliche Unternehmen beauftragt, die Wohnbevölkerung wurde bei der Finanzierung beraten und auch öffentlich unterstützt. Im zukünftigen Arbeitsprogramm aller Städte und Gemeinden sollte diese rechtlich-technische Erfahrung des Kanalbaus für die thermische Sanierung von Wohngebäuden nachvollzogen werden. Im Unterschied zur Abwasserentsorgung fallen nach der Errichtung keine laufenden Folgekosten an. Ökonomische Berechnungen zeigen, dass die Investitionen einer Wärmedämmung innerhalb von 20 Jahren auch bei sehr geringen Energiekosten refinanziert werden können. Fehlende Impulse könnten in Zukunft von der Verwaltung ausgehen.

6.5 Regionen als Einheiten mit Zukunft

Die meisten der bisher diskutierten Bereiche verbinden die Modelle aus Kapitel 2 über die grundlegenden Bilanzfunktionen mit den Ergebnissen in Kapitel 5. Methoden und Daten der Geoinformatik unterstützen die naturwissenschaftlichen und physikalischen Methoden in ihrer Ergebnisfindung aus dem Hintergrund und treten erst wieder bei der Vorstellung des Algorithmus des Balance Region Growing (BRG) in Kapitel 3 sowie bei der räumlichen Ergebnispräsentation in den Vordergrund. Die Auswahl von Studien zur Aufbereitung der Diskussion um die klassischen erneuerbaren Energieträger und die Nahrungsversorgung der Welt in diesem Kapitel liefern weitere

räumliche Anhaltspunkte. Nun wollen wir hier alle Teilaspekte mit regionalem Anspruch zusammenführen.

Nach Toblers Messfelder stehen sich regionale Ereignisse nahe. Lokale Energieangebote in Nahrung, Biomasse und Strom suchen sich demnach eher einen lokalen Markt. Dem steht der Wunsch nach Gütertausch entgegen, der über die Märkte erst dann global geführt werden kann, wenn die regionalen Handelshindernisse beseitigt werden (Levitt, 1983). Die Standpunkte würden dann keinen Unterschied machen, wenn weltweit vergleichbare Standards zu finden wären. In einer solchen Welt würde unser Algorithmus BRG bei gleichen Kosten gleichwertige Regionen verhandeln, und die Einbindung von Gütern in diese Regionen wäre ein komparativer Vorteil, weil zumindest die Transportfrage lokal besser zu lösen wäre (Sieferle *et al.*, 2006). Die Welt ist nun aber nicht gleich, weshalb zwei existierende Ansätze zu besprechen sind:

- Beschaffung von Gütern zu ähnlichen Bedingungen – fairer Handel: Manchen Regionen, etwa den inneralpinen Städten, mangelt es an Nahrung. Überschüsse aus Nachbarregionen, die zu ähnlichen Bedingungen erzeugt wurden, können räumlich als Exklave angesehen werden und sind damit im Sinne der zentralen Produktionsfunktionen inklusive der Nebenfunktionen eigenes Territorium. Hier treffen sich die antizipative Haltung von Tobler und der Wunsch nach Marktwirtschaft. Qualitative Anforderungen sind hier nicht angebracht, da alle territorialen Partner die gleiche Verantwortung trifft. Regionen, die nach diesem Prinzip definiert werden, bleiben in Folge der ökonomischen Gesamtleistung in ihrer Gütermenge auf das Mögliche begrenzt. Wenn regionale Vorteile entstehen, dann in Folge der besseren natürlichen Ausstattung. Dazu ein landwirtschaftliches Beispiel: Milch nach biologischen Regeln kann im Tiroler Pitztal oder im Salzburger Flachgau erzeugt werden. Im Flachgau herrschen insgesamt bessere Produktionsbedingungen. Diese führen dazu, dass eine Einheit etwas günstiger erzeugt werden kann. Der Vorteil ist aber nicht so groß, dass er die Milchproduktion in Tirol verdrängen könnte.
- Bereicherung: Das gelingt erst, wenn die Flachgauer Bauern Betriebsmittel nach geringerem Standard beschaffen. Da dies in der biologischen Landwirtschaft im Prinzip nicht möglich ist, arbeiten diese Betriebe als konventionelle Landwirte und kaufen z.B. gentechnisch verändertes Sojaschrot aus Südamerika. Dieses Futtermittel wird in der Regel unter nicht nachhaltigen Bedingungen erzeugt. Langfristig erzeugen mit externen Mitteln angefeuerte Produktionssysteme lokale Überschüsse, die lokal zu hohen Gütermengen und global zu noch höheren Umweltwirkungen führen. Die stoffliche Überproduktion führt mittelfristig zur Verdrängung von lokalen Betrieben, die nach höheren Standards produzieren wollen. Nur der Konsument kann, falls er dazu überhaupt in der Lage ist, der Massenausbreitung minderwertiger Güter Einhalt gebieten. Die Ignoranz der lokalen Standards, wir können sie auch Werte nennen, trennt in diesem Fall das globalisierte Verhalten ganz deutlich vom ersten Gesetz der Geographie.

Die hier vielleicht etwas eigenartig anmutende Exkurs in die Produktionskonzepte hat ein ganz konkretes Ziel: Toblers Gesetz der Regionalisierung hatte messtechnische und beschreibende Hintergründe. Wenn wir aber vorsorgende Gesellschaften zu modellieren haben, dann benötigen wir die Empathie der Menschen. Diese bilden sich im fairen Handel auch marktwirtschaftlich ab.

Im regionalen Kontext sprechen wir dann wohl am besten vom Heimatgefühl. Heimat im Sinne einer vorsorgenden Gesellschaft sind Planungsregionen, in denen sich Menschen mit eigenen Mitteln und Verantwortung an die Lösung ihrer eigenen Probleme heranwagen. Wie gut das funktioniert, zeigen die Blaulichtorganisationen, viele NGO's und die lokalen Vereine in allen Ländern der Welt. Toblers Gesetz in diesem Sinne lautet: "Everyone is related to everyone else, but people with the same problems inside their environment are more related."

Zur Erreichung des Projektzieles, das ist die Chance auf Eigenversorgung mit allen Formen der erneuerbaren Energie im Rahmen eines geregelten Ressourcenmanagements in vorsorgenden Gesellschaften, wird an dieser Stelle eine klare Präferenz für kleine Regionen ausgesprochen. Die Gründe dafür sind:

- die starke Empathie, die sich aus dem Heimatgefühl entwickelt.
- die Tatsache, dass die Energiewende einen nicht klar definierten Prozess darstellt, der ohnehin an die natürlichen lokalen Voraussetzungen gebunden ist.
- die Erkenntnis, dass auch Anlagen zur Erzeugung von erneuerbarer Energie zu Umweltwirkungen führen. Die Einbindung der betroffenen Menschen führt zu besser angepassten Lösungen.

Der Algorithmus BRG leistet mit allen weiteren Werkzeugen der Geoinformation einen Beitrag zur Definition und Optimierung von Regionen.

7 Empfehlungen

Die allgemeine Zusammenfassung dieser Arbeit spricht mögliche Handlungsoptionen an, kann die einzelnen Bereiche aber nicht ausreichend adressieren. Deshalb werden abschließend die wesentlichen Erkenntnisse aus den eigenen Ergebnissen und der Diskussion zu den betroffenen Strukturen zugeordnet. Die getroffene Empfehlung wurde zusätzlich durch nicht wissenschaftlich abgesicherte Eigenmeinungen des Autors ergänzt.

7.1 Bundesverwaltung

7.1.1 Ernährungsstrategie

Unter 2.2.1 zeigt die Analyse des Body-Mass-Index, dass die Bevölkerung Österreichs in den einzelnen Altersklassen übergewichtig ist. Für Männer wurde ein Bereich zwischen 16 – 22 % und für Frauen ein Bereich zwischen 9 – 19 % gefunden (Statistik Austria, 2014a). Dieses Übergewicht steigert den Bedarf an verdaulicher Nahrungsenergie und wirksamem Nahrungsprotein im Durchschnitt um 13 %. Die österreichische Landwirtschaft und der in einigen Bereichen vorkommende Importüberschuss decken den nationalen Gesamtbedarf zu 112,5 %. Am Nahrungsmarkt herrscht ein Überangebot, das negative Einflüsse auf die Gesundheit (Elmadfa *et al.*, 2012) der Bevölkerung und auf die ökonomischen Chancen der Marktteilnehmer hat (BMLFUW, 2013). Die ökonomischen Folgen von Übergewicht und Adipositas betragen in der Schweiz im Jahr 2012 rund 8 Milliarden CHF (Bundesamt für Gesundheit, 2015). Dieser Wert wird in Österreich möglicherweise noch überschritten. Das permanente kostengünstige Überangebot an Nahrung wird durch günstige Rohstoffpreise der Primärproduktion angetrieben. Die österreichischen Landwirte können nur deshalb mit den gegenwärtigen (niedrigen) Produkterlösen umgehen (Agrarmarkt Austria, 2016), weil die zuständige Bundesverwaltungsbehörde im Jahr 1,4 Milliarden € in Form von unterschiedlichen landwirtschaftlichen Zahlungen an die Betriebe überwiesen hat. Bereits über 500 Millionen € dieser Summe werden verwendet, um die Mengenproduktion im Rahmen des ÖPUL-Programmes zu drosseln. Nachhaltige Landwirtschaft in Österreich ist ein Anliegen der Bundesbehörden.

Aus marktwirtschaftlichen, ökologischen und ethischen Gründen empfiehlt die vorliegende Arbeit eine Fortsetzung und, wenn möglich, Beschleunigung der landwirtschaftlichen Produktion in Richtung geschlossener Betriebskreisläufe. Die Arbeit bietet mit den zwei Szenarien *Biologische Landwirtschaft* und *Energiewende* auch zwei alternative Wege an. In beiden Szenarien würde eine Räumung der Märkte bei höheren Produktpreisen eintreten. Gleichzeitig würde das Nahrungsangebot in den Bereich der empfohlenen Nahrungspyramide gerückt. Ein Aspekt, der ohnehin im Trend der Gesellschaft liegt und politisch umsetzbar ist. Das spart langfristig hohe Gesundheitskosten. Beide Szenarien würden zusätzlich einen Beitrag zur Lösung des Hungerproblems in Afrika und Südasien liefern. Jährlich werden rund 650.000 Tonnen Sojabohnen bzw. Sojaschrot aus Südamerika nach Österreich exportiert. Selbst wenn wir nur die qualitativ bessere Hälfte davon direkt in die betroffenen Gebiete bringen, würden rund 3 Millionen Menschen

nicht mehr hungern. Im Szenario *Energiewende* wird die Ethanol-Produktion angetrieben. Hier ergibt sich eine Substitution von Soja durch Schlempen.

7.1.2 Erneuerbare Energie

Die Klima- und Energiemodellregionen, die in den letzten Jahren über den Klimafonds Österreich installiert wurden, können eine Keimzelle der nationalen Energiewende werden. Der Ansatz, aus einer Basiserhebung heraus die Stärken und Schwächen grob zu bewerten und erste Umsetzungsprogramme zu starten, entspricht einem vielversprechenden Bottom-up-Ansatz. Aus der eigenen Erfahrung in den Klima- und Energiemodellregionen im Ennstal und Ausseerland hat sich gezeigt, dass in der derzeitigen Konstellation praktisch nur Projekte mit Vorbild- und Bildungscharakter umgesetzt werden können. Selbst wenn die Modellregionsmanager die Kompetenz zur operativen Lösung von thermischen Sanierungsverfahren oder zur Planung neuer Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energie haben, reicht die schwache Dotierung der Regionen nicht für den Beginn einer tatsächlichen Wende aus. Gemeinden, die für die Ko-Finanzierung notwendig sind, wollen aber gerade solche Schritte sehen. Viele, ursprünglich sehr ambitionierte, Akteure stehen heute ob dieser Erwartungshaltung zu Unrecht im Kritikpunkt der lokalen Geldgeber.

Weil, wie in 6.5 argumentiert, in kleinen Regionen die Energiewende am besten bewältigt werden kann, empfiehlt sich für den ländlichen Raum eine Koppelung zwischen den nationalen Leader-Regionen und den inzwischen geschaffenen Klima- und Energiemodellregionen. Leader ist lokal gut positioniert und kann über die zweite Säule gehaltvolle finanzielle Transaktionen abwickeln. Die Modellregionsmanager könnten sich im Verbund mit Leader ausschließlich auf ihre Öffentlichkeitsfunktion und die Vorbereitung von Projekten konzentrieren. Die Abwicklung würden Interessenten dann über die Leader-Schiene durchführen. Diese Maßnahme benötigt keine großen Investitionen seitens der öffentlichen Hand und würde 52 % der österreichischen Bevölkerung auf 88 % der Bundesfläche erreichen.

Die österreichische Bevölkerung ist investitionsbereit. Umsetzungen erfolgen schleppend, wenn der Prozess Technik-Finanzierung-Förderung auf schlecht gefüllte Fördertöpfe oder bürokratische Hindernisse stößt. Idealerweise erleben potenzielle Kunden im Sanierungsbereich oder Menschen mit dem Wunsch, eine eigene Photovoltaikanlage zu besitzen, einen One-Stop-Shop mit Förderungsanreiz. Wie umsetzungsfreudig Menschen auf solche Angebote reagieren, konnte in Deutschland ab 2008 beobachtet werden.

7.2 Regionalverwaltung

7.2.1 Bildung von Regionen

Regionen sind sich ihrer selbst bewusst. Politische oder natürliche Grenzen verfestigen seit Jahrhunderten das Zugehörigkeitsgefühl der Einwohner. Regionen, wir sprechen von Gebieten mit mehreren 10.000 Einwohnern, haben neben der kulturellen Identität auch einen ökonomischen

Schwerpunkt. Es gibt land- und forstwirtschaftliche, touristische, technologische, industrielle, gemischte und zuletzt städtische Regionen. Unter 6.5 wurden Regionen als Gebiete mit einer hoffnungsvollen Zukunft dargestellt. Diese Aussage betrifft den stärkeren Umsetzungswillen der direkt betroffenen Wohnbevölkerung, nicht aber die Frage nach der Eignung einer Region für zukünftige Aufgaben. In Abbildung 94, rechts, werden die österreichischen Stadtregionen in Hinblick auf die Versorgungssicherheit mit Nahrung geprüft. Nahrung ist eine Funktion der Fläche und kann deshalb stellvertretend auch für andere erneuerbare Energiequellen stehen. Die angesprochene Abbildung zeigt, dass die von der Statistik Austria mit den Städten festgelegte Einwohneranzahl – und damit auch die räumliche Grenze – nur ganz selten mit dem Einzugsgebiet der Versorgung übereinstimmt. Nur ganz kleine Städte in den Gunstlagen können ihre Einwohner innerhalb der Stadtgrenzen ernähren. Alle Städte in den haupt- und südalpinen Lagen benötigen viel mehr Fläche für die Nahrungsbeschaffung als derzeit vorgesehen. Aber auch Graz und Linz müssten ihre Stadtgrenzen deutlich erweitern. Wien wurde als Stadtregion bereits jetzt – zumindest in Bezug auf die Nahrungsversorgung – mit einer adäquaten Größe definiert. Was hier am Beispiel der Nahrung mit dem Algorithmus BRG bereits untersucht wurde, ist für die Wärme- und Stromversorgung noch nachzuholen.

Eine der ersten Aufgaben von Entscheidungsträgern in bestehenden Regionen ist eine Stärken-Schwächen-Analyse im Hinblick auf die Energiewende. Die Prüfung kann Grundlage für den wirtschaftlichen Umbau einer Region sein, aber auch zu Veränderungen in Regionsgrenzen führen. Mögliche Synergien mit Nachbarregionen sind zu nutzen. Für eine österreichische Region, die Leader Region Ennstal Ausseerland, die als regionales Testgebiet verwendet wurde, kann bereits eine exemplarische Aussage gemacht werden:

In der untersuchten Region wird die Landwirtschaft aktuell durch die Viehzucht, bevorzugt die Milchwirtschaft, dominiert. Die erzeugten Lebensmittel können auf Basis der verdaulichen Nahrungsenergie die Bevölkerung nur zu 65 % ernähren. Eine Rückbesinnung auf den traditionellen Getreide-, Gemüse- und Obstbau im Rahmen einer Energiewende kann das Defizit aber weitgehend beseitigen. Eine gute Versorgungslage mit forstlicher Biomasse und elektrischer Energie schafft die Grundlage für die Verarbeitung von lokalen und importierten Gütern. Die Handwerkstradition für diese Chancen ist aber nicht mehr sehr ausgeprägt. Die Kompetenz im Umgang mit Menschen und die außergewöhnlich schöne Gebirgs- und Seenlandschaft bilden eine langfristige Grundlage für den Tourismus. Das Energiedefizit für die Spitzenabdeckung im Wintersport kann durch lokale Windkraftwerke und kleinere Pumpspeicher gedämpft werden.

Wenn alle Regionen über solche Profile verfügen, können Synergien gefunden werden. Die Region Liezen, östlich der Leader Region gelegen, verfügt über Kompetenzen in der Metallverarbeitung. Westlich und nördlich schließen an die Leader-Region ähnliche Gebiete an. Möglicherweise ist eine Fusion im Bereich Tourismus sinnvoll und die Großregionen Schladming-Dachstein, Ausseerland, Salzkammergut und Radstadt/Obertauern treten im Sommer gemeinsam gegen andere Urlaubsdestinationen in Südeuropa an.

7.2.2 Die Region im Staat

Eine stärkere Identität der Regionen mit mehr Initiative und Eigenverantwortung muss im Lastenausgleich des Bundes berücksichtigt werden. Stadtregionen waren in der Vergangenheit erfolgreicher in der Finanzierung ihrer Anliegen als Regionen im ländlichen Raum. In Anbetracht der Aufgaben im Rahmen einer Energiewende und der lokal notwendigen Chancen dürfte sich auch in Zukunft nichts an dieser Situation ändern. Zweifelsohne ist die verdichtete Infrastruktur der Städte noch schwieriger an die Zukunft anzupassen als die verteilte ländliche Struktur. Regionsübergreifende Aufgaben innerhalb des Staates müssen auch in Zukunft gemeinsam gelöst werden. Der gemeinsame Betrieb eines intelligenten Stromnetzes und ein hochfrequenter öffentlicher Verkehr werden hier eine entscheidende Rolle spielen. Die starke Präferenz von Regionen als Hotspots der Energiewende wurde vor dem Hintergrund einer vorsorgenden Gesellschaft definiert.

7.3 Gesellschaft

Der Systemwechsel von der ausklingenden Industriegesellschaft in eine nachhaltige ressourcenschonende, solare Gesellschaft wird in den nächsten fünfzig bis einhundert Jahren vor allem eine neue geisteswissenschaftliche Haltung hervorbringen. Die letzte deutliche Wende in diesem Bereich, das war die Renaissance, wird insofern korrigiert, als der Mensch sich seiner Rolle in der Natur wieder bewusst wird. Das darf nicht als Rückschritt in der Entwicklung der Menschheit sondern als konsequente Umsetzung des neuen Wissens über die Zusammenhänge und Wirkungsmechanismen der Natur verstanden werden. Mit dem Wissen von heute würde Michelangelo das zentrale Fresko in der Sixtinischen Kapelle heute so malen: Gott überträgt Adam den göttlichen Funken und überantwortet ihm zugleich die Weltkugel.

Persönlich wird vom Autor nach längerer naturwissenschaftlicher Forschungserfahrung folgende Haltung eingenommen:

- Gelingt der Systemwechsel aus dem fossilen Zeitalter in das zweite solare Zeitalter ohne dramatische Umweltwirkungen, steht einer angepassten Menschheit eine lebenswerte Zukunft bevor.
- Die kritische Zeit des Systemwechsels ist eine Zeit der Aufgabe, des Sterbens und der Neuorientierung. Umweltwirkungen spielen eine große Rolle.
- Die entscheidenden Verbesserungen zum ersten solaren Zeitalter sind die energetischen Möglichkeiten, die sich aus der Stromproduktion auf solarer Basis ergeben.
- Die Konvertierung der Energiegesellschaft kann lose von übergeordneter Stelle koordiniert werden. Stattfinden muss sie auf kleinregionaler Ebene nach den lokalen Möglichkeiten unter dem Aspekt der Versorgungssicherheit.

Literatur

- 809/2014/EU (2014): Durchführungsverordnung (EU) Nr. 809/2014 der Kommission hinsichtlich des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems, der Maßnahmen zur Entwicklung des ländlichen Raumes und der Cross-Compliance.
- 834/2007/EU (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91.
- 2007/2/EG (2007): Richtlinie 2007/2/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 14. März 2007 zur Schaffung einer Geodateninfrastruktur in der Europäischen Gemeinschaft (INSPIRE).
- 2010/30/EU (2010): Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen durch energieverbrauchsrelevante Produkte mittels einheitlicher Etiketten und Produktinformationen.
- 2012/27/EU (2012): Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz.
- Adensam, H.; Bogner, T.; Geissler, S.; Groß, M.; Hofmann, M.; Krawinkler, R.; Kulterer, K.; Ploiner, C.; Renner, S.; Simader, G.; Thenius, G. und Tretter, H. (2013): Methoden zur richtlinienkonformen Bewertung der Zielerreichung gemäß Energieeffizienz- und Energiedienstleistungsrichtlinie 2006/32/EG, Österreichische Energieagentur, Wien, 122 S.
- Agrana (2009): Bioethanol - Jetzt tankt die Umwelt auf, Wien, 28 S.
- Agrarmarkt Austria (2016): Markt- und Preisberichterstattung. <https://www.ama.at/Marktinformationen/Aktuelle-Marktinformationen>, (2015-06-11).
- Agrarmarkt Austria (2015a): INVEKOS-GIS Benutzerhandbuch Version 1.5, Wien, 96 S.
- Agrarmarkt Austria (2015b): Marktinformationen - Getreide und Ölsaaten, Wien, 4 S.
- Albert, H. (1980): Fortschritt und Rationalität der Wissenschaft, Mohr Siebeck, Tübingen, 482 S.
- Albertz, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, Wiss. Buchges, Darmstadt, 249 S.
- Andruleit, H.; Babies, H.G.; Bahr, A.; Kus, J.; Meßner, J. und Schauer, M. (2011): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 94 S.
- Appel, H.-G. und Kaiser, U. (2008): Die Energielücke - und was sie kostet, Eigenverlag, Wilhelmshaven, 113 S.
- Auer, I.; Böhm, R.; Jurkovic, A.; Lipa, W.; Orlik, A.; Potzmann, R.; Schöner, W.; Ungersböck, M.; Matulla, C.; Briffa, K.; Jones, P.; Efthymiadis, D.; Brunetti, M.; Nanni, T.; Maugeri, M.; Mercalli, L.; Mestre, O.; Moisselin, J.-M.; Begert, M.; Müller-Westermeier, G.; Kveton, V.; Bochnicek, O.; Stastny, P.; Lapin,

- M.; Szalai, S.; Szentimrey, T.; Cegnar, T.; Dolinar, M.; Gajic-Capka, M.; Zaninovic, K.; Majstorovic, Z. und Nieplova, E. (2007): HISTALP-Historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27 (1), 17-46.
- Awrangjeb, M.; Ravanbakhsh, M. und Fraser, C.S. (2010): Automatic detection of residential buildings using LIDAR data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65 (5), 457-467.
- Banko, G.; Grillmayer, R.; Ortner, S. und Perger, C. (2010): Land Information System Austria (Lisa) Datenmodell Version 3.1, Umweltbundesamt, Wien, 111 S.
- Bartelme, N. (2005): Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen, Springer, Berlin, 454 S.
- Bauerhansl, C.; Koukal, T. und Schadauer, K. (2007): Erste österreichweite Waldkarte. *Forstzeitung* 12, 26-27.
- Baumann, A. (2009): Energieertragsberechnung von Windkraftanlagen, VDM, Saarbrücken, 164 S.
- Bayer, G.; Sturm, T. und Hinterseer, S. (2011): Kennzahlen zum Energieverbrauch in Dienstleistungsgebäuden, Kennzahlen zum Energieverbrauch in den Bereichen Lebensmitteleinzelhandel, Nichtlebensmitteleinzelhandel, Beherbergung, Gastronomie, Bürogebäude und Krankenhäuser, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik, Wien, 27 S.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2011a): Gruber Tabelle zur Fütterung in der Rindermast, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Freising-Weihenstephan, 86 S.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Pferdefütterung, Grundlagen einer bedarfsgerechten Versorgung, Gruber Tabellen, Freising-Weihenstephan, 93 S.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2011b): Futterberechnung für Schweine, Gruber Tabellen, Freising-Weihenstephan, 120 S.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2011c): Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen, Gruber Tabelle, Freising-Weihenstephan, 86 S.
- Beckmann, N.; Kriegel, H.-P.; Schneider, R. und Seeger, B. (1990): The R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles. *Geographic Proceedings 1990 ACM/SIGMOD International Conferences of Management of Data*, Atlantic City, USA, 322-331.
- Beichler, A. und Bernsteiner, A. (2010): Der Einsatz digitaler Bodenkarten in der landwirtschaftlichen Umweltberatung anhand der Österreichischen Bodenkartierung bzw. der digitalen Bodenschätzreinkarte. 2. Umweltökologisches Symposium, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, Österreich, 105-110.
- Bellof, G. (2008): Leistungsgerechte Fütterung von Schafen bei angepasstem Kraftfuttereinsatz. 5. Fachtagung für Schafhaltung 2008, 1-5.
- BGBI. 9/2004 (2004): Bundesgesetz, mit dem ein Bundesgesetz über das Gebäude- und Wohnungsregister (GWR-Gesetz) geschaffen und das Vermessungsgesetz geändert wird.

- BGBI. 72/2014 (2014): Energieeffizienzpakt des Bundes.
- BGBI. 163/1999 (2000): Bundesgesetz über die Bundesstatistik (Bundesstatistikgesetz 2000).
- BGBI. 485/2004 i.d.g.F. (2004): Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen über die Mindestanforderungen für die Haltung von Pferden und Pferdeartigen, Schweinen, Rindern, Schafen, Ziegen, Schalenwild, Lamas, Kaninchen, Hausgeflügel, Straußen und Nutzfischen (1. Tierhaltungsverordnung).
- Biberacher, M.; Gadocha, S.; Schardinger, I.; Zocher, D.; Dröscher, A.; Heimrath, R.; Schranzhofer, H.; Bärenthaler, J.; Puchas, K. und Niederl, A. (2010): Räumliche Modelle als Entscheidungsgrundlage für die Inwertsetzung regional verfügbarer Energiepotenziale zur CO₂-neutralen Deckung des lokalen Wärmebedarfs, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 128 S.
- Biberacher, M.; Hausl, S.; Schardinger, I.; Zocher, D.; Gadocha, S.; Schmidt, J.; Schönhard, M.; Gass, V.; Mayr, D.; Leduc, S.; Kalt, G. und Guggenberger, T. (2011): Regionale integrative Beurteilung von Bioenergie-Nutzungspfaden auf Basis räumlicher Aspekte, Research Studios Austria, Salzburg, 10 S.
- Biermann, F.; Bräuniger, M.; Rossen, A. und Schlitte, F. (2013): Prognose der wirtschaftlichen Entwicklung bis 2030 in Bayern und Deutschland, Hamburgerisches Weltwirtschaftsinstitut, Hamburg, 39 S.
- Biermayr, P.; Eberl, M.; Enigl, M.; Fechner, H.; Kristöfel, C.; Leonhartsberger, K.; Maringer, F.; Moidl, S.; Schmidl, C.; Strasser, C.; Weiss, W. und Wopienka, E. (2015): Innovative Energietechnologien in Österreich, Marktentwicklung 2014, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 237 S.
- Bio Austria (2016): Produktionsrichtlinien Bio-Austria, Wien, 120 S.
- Biomasseverband, Ö. (2016): Österreichischer Biomasseverband. <http://www.biomasseverband.at>, (2015-05-04).
- Bischof, G. und Gocht, W. (1984): Energietaschenbuch 2. Auflage, Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 446 S.
- Bittermann, W. (2015): Energiebilanz für Österreich 1970-2014, Statistik Austria, Wien.
- Blaschke, T. (2010): Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65 (1), 2-16.
- Bliem, M.; Friedl, B.; Balabanov, T. und Balabanov, I. (2011): Energie [R]evolution Österreich 2050, Institut für Höhere Studien, Wien, 177 S.
- BMFLUW (2013): Sonderrichtlinie des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, GZ BMLFUW-LE.1.1.1/0171-II/2/2014, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 168 S.
- BMLFUW (2006): Richtlinie für die sachgerechte Düngung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 80 S.
- BMLFUW (2010): Energiestrategie Österreich 2020, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 140 S.

- BMLFUW (2012): Grüner Bericht 2012, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 336 S.
- BMLFUW (2013): Grüner Bericht 2013, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 341 S.
- BMWFW (2014a): Energiestatus Österreich 2014, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien, 163 S.
- BMWFW (2014b): Wohnungspolitik und Wohnungswirtschaft in Österreich. Zahlen, Daten und Fakten, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, Wien, 33 S.
- Böhm, R.; Auer, I.; Brunetti, M.; Nanni, T. und Schöner, W. (2001): Regional temperature variability in the European Alps 1760-1998 from homogenised instrumental time series. *Journal of Climatology* 21, 1779-1801.
- Böhm, R.; Auer, I.; Schöner, W.; Ganekind, M.; Gruber, C.; Jurkovic, A.; Orlik, A. und Ungersböck, M. (2009): Eine neue Website mit instrumentellen Qualitätsklimadaten für den Großraum Alpen zurück bis 1760. *Wiener Mitteilungen* 216, 7-20.
- Boller, B.C. und Nösberger, J. (1987): Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low level of N-fertilization. *Plants and Soil* 104, 219-226.
- Boxleitner, M.; Grois, C.; Chochole, M.; Brauner, G.; Hieb, J.; Springer, C.; Blöschl, G.; Maier, C. und Schmöller, H. (2011): Super-4-Micro-Grid, Klima- und Energiefond, Wien, 192 S.
- Bräuninger, M.; Leschus, L. und Vöpel, H. (2008): Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen: Ziele, Probleme und Instrumente. *Wirtschaftsdienst* 88 (1), 54-61.
- Bruckmann, G. und Fleissner, P. (1989): Am Steuerrad der Wirtschaft: Ein ökonomisch-kybernetisches Modell für Österreich, Springer Verlag, Wien, 224 S.
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (2012): Digitale Katastralmappe (DKM), Wien.
- Bundesamt für Gesundheit (2011): Proteine in der Ernährung des Menschen: Empfehlungen, Bern, 4 S.
- Bundesamt für Gesundheit (2015): Kosten von Übergewicht und Adipositas, Bern, 2 S.
- Bundesamt für Umwelt (2010): Karte Stickstoff-Deposition.
<http://www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/schadstoffkarten/stickstoff-deposition/index.html?lang=de>, (2015-04-07).
- Bundesamt für Wald (2013): Österreichische Waldinventur, Wien.
- Bundesamt für Wald (2007): Elektronische Bodenkarte.
<http://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7048>, (2012-04-16).
- Bundesamt für Wald (2015): Waldbericht 2015, Wien, 81 S.
- Bundesverband Solarwirtschaft Deutschland (2013): Markteinbruch durch Förderkappung. <http://www.solaranlage-ratgeber.de/photovoltaik/photovoltaik-wirtschaftlichkeit/einspeiseverguetung>, (2014-02-12).

- Butte, N.F. (1996): Energy requirements of infants. *Public Health Nutrition*: 8 (7A), 953-967.
- Caputa, J. (1966): Contribution à l'étude de la croissance du gazon des pâturages naturels à différentes altitudes. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 5, 393-426.
- Caputa, J. und Schechtner, G. (1970): Wachstumsrhythmus und Stickstoffwirkung auf natürlichen Beständen der Bergweiden. *Das wirtschaftseigene Futter* 16, 165-182.
- CELEX Nr. 381L0676 (2012): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm 2012 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Aktionsprogramm Nitrat 2012).
- CNES (2011): Pleiades. Centre national d'études spatiales, <https://pleiades.cnes.fr>, (2013-09-14).
- Coale, A.J. und Hoover, E.M. (1958): *Population Growth and Economic Development in Low-Income Countries*, Princeton Legacy Library, Princeton, 383 S.
- Coriolis, G.G. (1835): Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps. *Journal de L'ecole Polytechnique* 24, 142-154.
- Dartmouth Flood Observatory (2016): Global Archiv Map of Extreme Flood Events since 1985. <http://www.dartmouth.edu/~floods/Archives/GlobalArchiveMap.html>, (2016-05-03).
- De Ponti, T.; Rijk, B. und Van Ittersum, M.K. (2012): The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108, 1-9.
- Delaunay, D.; Li, W. und Bodere, S. (2013): Calibrating a CDF canopy model with the EC1 vertical profile of mean wind speed and turbulence. 13th International Conference of Wind Energy, Amsterdam, Netherlands, July 2011
- Demir, N. und Baltasavias, E. (2012): Automated Modeling of 3D Building Roofs using Image and Lidar Data. XXII ISPRS Congress, Melbourne, 6 S.
- DGE (2015): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 2. Auflage. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Umschau, Bonn, 220 S.
- Dissemond, H. und Zaussinger, A. (1995): Stroh, ein nachwachsender Rohstoff für die energetische Nutzung. *Die Bodenkultur* 46, 63-81.
- DLG (1997): DLG Futterwerttabelle für Wiederkäuer. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft 7. Auflage, Frankfurt am Main, 117 S.
- Dudhia, J. (1993): A Nonhydrostatic Version of the Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation Tests and Simulation of an Atlantic Cyclone and Cold Front. *American Meteorological Society* 121 (5), 1493-1513.
- Duffie, J.A. und Beckman, W.A. (2013): *Solar Engineering of Thermal Processes*, 4th Edition, Wiley, New York, 936 S.
- Dürrenmatt, F. (1980): *Die Physiker*, Neufassung, Diogenes, Zürich, 96 S.
- Ecoinvent (2011): *Ecoinvent LCA-Database*, Ecoinvent, Zürich.

- Einstein, A. (1905): Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* 322 (6), 132-148.
- Eitzinger, J. (2007): Einfluss des Klimawandels auf die Produktionsrisiken in der österreichischen Landwirtschaft und mögliche Anpassungsstrategien. *Ländlicher Raum* (Online Fachzeitschrift des BMFLUW) 10 (2007), 1-8.
- Elmadfa, I.; Hasenegger, V.; Wagner, K.; Putz, P.; Weidl, N.-M.; Wottawa, D.; Kuen, T.; Seiringer, G.; Meyer, L.; Sturtzel, B.; Kiefer, I.; Zilberszac, A.; Sgarabottolo, V.; Meidlinger, B. und Rieder, A. (2012): Österreichischer Ernährungsbericht 2012, Bundesministerium für Gesundheit, Wien, 424 S.
- Enercon (2015): Enercon E-141 EP4 Binnenland. <http://www.enercon.de>, (2016-01-09).
- Environmental Systems Research Institute (2015): Arc-Gis. 10.2.
- Erdas (2010): Erdas Field Guide, Norcross, 842 S.
- Esri (2008): An overview of the Solar Radiation tools. http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=An_overview_of_the_Solar_Radiation_tools, (2015-04-16).
- Esri (2012): ArcObjects Online. <http://edndoc.esri.com/arcobjectsonline/>, (2012-08-15).
- Eßl, A. (1987): Statistische Methoden in der Tierproduktion: eine anwendungsorientierte Einführung, Österr. Agrarverl., Wien, 316 S.
- European Commission (1999): Livestock Manures – Nitrogen Equivalents. Establishment of Criteria for the Assessment of Nitrogen Content in Animal Manures, Brussels, 27 S.
- European Commission (2001): ESDI Organisation and E-ESDI Action Plan, Brussels, 37 S.
- European Commission (2009): Energy Roadmap 2050, Brussels, 114 S.
- European Commission (2016a): Beef and Veal Market Situation, Brussels, 38 S.
- European Commission (2016b): Agriculture and Rural Development - Poultry meat. http://ec.europa.eu/agriculture/poultry/index_en.htm, (2015-05-06).
- European Commission (2016c): Agriculture and Rural Development - Pigmeat. http://ec.europa.eu/agriculture/pigmeat/index_en.htm, (2015-05-06).
- European Commission (2016d): EU Milk Market Observatory - EU Dairy Exports to Third countries, Brussels, 17 S.
- European Environment Agency (2013): EEA reference grid. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-reference-grids-2>, (2015-12-14).
- Eurostat (2014): Regional Yearbook 2014, Eurostat, Luxembourg, 334 S.
- Eurostat (2015a): EU Cereals Trade 2015/2015 Marketing year. AGRI C 4, European Commission, Brussels, 30 S.
- Eurostat (2013): Overweight and obesity - BMI statistics. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Overweight_and_obesity_-_BMI_statistics, (2016-01-15).

- Eurostat (2015b): Eurostat grid generation tool for ArcGIS.
<http://www.efgs.info/data/eurogrid/eurostat-grid-generation-tool-for-arcgis/view>, (2015-12-14).
- FAO (2015a): The Millennium Development Goals Report 2015, Food and Agriculture Organization of the United Nation, 75 S.
- FAO (2015b): The State of Food Insecurity in the World 2015, Food and Agriculture Organisation of the United Nation, Rome, 62 S.
- FAO/WHO/UNU (2004): Human Energy Requirements. FAO/WHO/UNU Expert Consultation, 2001-10-17, Rome, 103 S.
- FAO/WHO/UNU (1985): Energy and protein requirements, World Health Organization, Geneva, 103 S.
- Fauvel, J.; Flood, R.; Shortland, M. und Wilson, R. (1988): Let Newton be! A new perspective on his life and works., Oxford University Press, Oxford, 288 S.
- Fekete, M.B.; Vörösmarty, C.J. und Grabs, W. (2000): Global, composite runoff fields based on observed river discharge and simulated water balance, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 109 S.
- Ferrel, W. (1858): The influence of the earth's rotation upon the relative motion of bodies near its surface. *Astronomical Journal* 5 (109), 97-100.
- Finotti, E.; Guggenberger, T. und Zainer, I. (2012): Forschungs- und Erlebniswerkstatt Liezen: Energie, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 42 S.
- Fleckvieh Austria (2006): Fleckvieh - Top Genetic aus Österreich, Zwettl, 4 S.
- Fleissner, P. (2010): Szenarien der österreichischen Volkswirtschaft bis 2050. Studie „Save our Surface“ im Auftrag des Österreichischen Klima- und Energiefonds, Umweltbüro Klagenfurt, Klagenfurt, 138 S.
- Forrester, J.W. (1971): World dynamics. 2nd edition Pegasus Communications, Littleton 160 S.
- Franzen, M. und Mandlbürger, G. (2003): Die neue Generation des digitalen Geländemodells von Österreich. *VGI –Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation* 91 (3), 154-162.
- Freeman, D.J. und Skumatz, L. (2011): Comparing Energy Efficiency, Renewable Energy and Generation. ACEEE, Energy Efficiency as a Resource, Niagara Falls Conference Center, 31 S.
- Gansterer, M. (2014): Mehr Öffentlichen Verkehr mit hoher Qualität, Verkehrsclub Österreich, Wien, 4 S.
- Gasteiner, J.; Buchgraber, K.; Steinwidder, A. und Zefferer, P. (2016): Endbericht Hexachlorbenzol (HCB), HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding-Donnersbachtal, 66 S.
- Geoinformatik GmbH (Hrsg.) (2015): ArcGis 10.3, Wichmann, Berlin - Offenbach, 889 S.
- Geoland (2015): Geoland.at - Das kostenlose Geodatenportal der österreichischen Länder. <http://www.geoland.at/>, (2015-09-08).
- Geppert (2013): Geppert Diagonal Turbinen.
<http://www.geppert.at/index.php?lang=2&hID=93>, (2014-07-16).

- GfE (1996): Energie-Bedarf von Schafen. Proceedings of the Society of Nutrition Physiology 5, 149-152.
- GfE (1998): Formeln zur Schätzung des Gehaltes an umsetzbarer Energie in Futtermitteln aus Aufwüchsen des Dauergrünlandes und Mais-Ganzpflanzen. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 65, 229-234.
- GfE (1995): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastrinder. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, DLG, Frankfurt, 88 S.
- GfE (1999): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Legehennen und Masthühner (Broiler). Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, DLG, Frankfurt.
- GfE (2003): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Ziege. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, DLG, Frankfurt, 122 S.
- GfE (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, DLG, Frankfurt, 136 S.
- GfE (2006): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung für Schweine. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, DLG, Frankfurt, 247 S.
- Giesecke, J.; Heimerl, S. und Mosonyi, E. (2014): Wasserkraftanlagen: Planung, Bau und Betrieb, 6. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg, 940 S.
- Gis Steiermark (2015): Digitaler Atlas Steiermark: Klimatologie & Meteorologie. Land Steiermark, <http://gis2.stmk.gv.at>, (2015-09-14).
- Gollnick, V. (2009): Technologische Perspektiven der Emissionsreduktion in der Luftfahrt. Lufthansa Cargo Climate Care Conference, Frankfurt, 25 S.
- Görres, B. (2010): Vom globalen Bezugssystem bis zur Umsetzung für die Praxis. DVW-Schriftenreihe 63, 39-57.
- Grady, S.A.; Hussaini, M.Y. und Abdullah, M.M. (2005): Placement of wind turbines using genetic algorithms. Renewable Energy 30 (2), 259-270.
- Green, M.A.; Emery, K.; Hishikawa, Y.; Warta, W. und Dunlop, E.D. (2015): Solar cell efficiency tables (Version 45). Progress in Photovoltaics 23 (1), 1-9.
- Greimel, M.; Handler, F. und Blumauer, E. (2002): Arbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Irnding, 53 S.
- Gröger, G. und Plümer, L. (2012): CityGML – Interoperable semantic 3D city models. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 71, 12-33.
- Gruber, L.; Pries, M.; Schwarz, F.-J.; Spiekers, H. und Staudacher, W. (2006): Schätzung der Futteraufnahme bei der Milchkuh. DLG-Information 1/2006, 1-29.
- Gruber, L.; Guggenberger, T.; Steinwidder, A.; Schauer, A.; Häusler, J.; Steinwender, R. und Sobotik, M. (1998): Ertrag und Futterqualität von Almfutter des Höhenprofils Johnsbach in Abhängigkeit von Standortfaktoren. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 4.

- Alpenländisches Expertenforum - Zeitgemäße Almbewirtschaftung sowie Bewertung von Almflächen und Waldweiden, 63-93.
- Gruber, L.; Steinwider, A.; Guggenberger, T.; Schauer, A.; Häusler, J.; Steinwender, R. und Steiner, B. (2000): Einfluss der Grünlandbewirtschaftung auf Ertrag, Futterwert, Milcherzeugung und Nährstoffausscheidung. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 27. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Irdning, 41-88.
- GSV (2015): Fact Sheet SCHIENE, Gesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Wien, 2 S.
- Guggenberger, T. (2006a): Nährstoffbilanzierung in Grünlandbetrieben. Wissenschaftstag der Gregor Mendl Universität Brunn, Brunn, 1-12.
- Guggenberger, T. (2006b): Nährstoffbilanzierung in den österreichischen Grünlandbetrieben. Alpenländisches Expertenforum 2006, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 43-50.
- Guggenberger, T. (2011): Fallstudie zur Anwendbarkeit und Vollständigkeit der „Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel“ am Beispiel der Katastrophe im steirischen Kleinsölketal vom Sommer 2010, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 18 S.
- Guggenberger, T. und Bartelme, N. (2005): GIS gestützte Modellierung der Nährstoffbilanzen Teil1: Erstellung eines geographischen Informationssystems zur Beurteilung ökologischer Zusammenhänge, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 60 S.
- Guggenberger, T. und Nussbaumer, E. (2012): Vollanalyse des Energiebedarfes und der erneuerbaren Energiepotenziale der land- und forstwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft im Enns-Grimming-Land, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 501 S.
- Guggenberger, T.; Bartelme, N. und Leithold, A. (2009a): Erneuerbare Energie und Lebensmittel - weniger Konkurrenz durch räumliche Planung. Universität Rostock, 29. GIL. Jahrestagung Rostock, 53 -56.
- Guggenberger, T.; Bartelme, N. und Leithold, A. (2009b): Agricultural-GIS-Sphere – An innovative expert system for national renewable energy and food planning. University Wageningen, Joint international agricultural conference, University Wageningen, 743-750.
- Guggenberger, T.; Nussbaumer, E.; Pötsch, T. und Stangl, G. (2013a): Vollanalyse des Energiebedarfes und der erneuerbaren Energiepotenziale der land- und forstwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft in der Klima- und Energiemodellregion Eisenwurzen, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 528 S.
- Guggenberger, T.; Nussbaumer, E.; Pötsch, T. und Kopfsguter, T. (2013b): Vollanalyse des Energiebedarfes und der erneuerbaren Energiepotenziale der land- und forstwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft in der Klima- und Energiemodellregion Ausseerland-Salzkammergut, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 455 S.
- Guggenberger, T.; Nussbaumer, E.; Pötsch, T. und Sulzenbacher, N. (2013c): Vollanalyse des Energiebedarfes und der erneuerbaren Energiepotenziale der

- land- und forstwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft in der Kleinregion Schladming, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 507 S.
- Guggenberger, T.; Nussbaumer, E.; Pötsch, T.; Finotti, E.; Schiefer, B. und Bollhammer, R. (2011): Energiewende Ennstal, Abschlussbericht, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 41 S.
- Guggenberger, T.; Hofer, O.; Fahrner, W.; Sucher, B.; Wiedner, G. und Bader, R. (2012a): Fachatlas Landwirtschaft - Entwicklung landwirtschaftlicher Geodaten im Geographical Grid System Austria - Tabellenteil, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 183 S.
- Guggenberger, T.; Hofer, O.; Fahrner, W.; Sucher, B.; Wiedner, G. und Bader, R. (2012b): Fachatlas Landwirtschaft - Entwicklung landwirtschaftlicher Geodaten im Geographical Grid System Austria - Forschungsbericht, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 331 S.
- Guggenberger, T.; Ringdorfer, F.; Blaschka, A.; Huber, R. und Haslgrüber, P. (2014): Praxishandbuch zur Wiederbelebung von Almen mit Schafen, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irnding, 150 S.
- Gustavsson, J.; Cederberg, C.; Sonesson, U.; Van Otterdijk, R. und Meybeck, A. (2011): Global Food Losses and Food Waste. Food and Agriculture Organisation of the United Nation, Interpack 2001, Düsseldorf, 37 S.
- Gutser, R. (2006): Bilanzierung von Stickstoffflüssen im landwirtschaftlichen Betrieb zur Bewertung und Optimierung der Düngestrategie. *Acta agriculturae Slovenica* 87 - 1, 129-141.
- Hadley, G. (1735): Concerning the cause of the general trade winds. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 29, 58-62.
- Hall, P.A.V. und Dowling, G.R. (1980): Approximate String Matching. *ACM Comput. Surv.* 12 (4), 381-402.
- Hantsch, S. und Moidl, S. (2007): Das realisierbare Windkraftpotenzial in Österreich, *IG Wind*, St. Pölten, 40 S.
- Haralick, R.M. und Shapiro, L.G. (1985): Survey. *Image Segmentation Techniques. Computer Vision, Graphics and Image Processing* 29, 100-132.
- Haubold, H.J. und John, R.W. (1982): Der gegenwärtige Stand der Theorie und der analytischen Auswertung von nichtresonanten thermonuklearen Reaktionsraten. *Astronomische Nachrichten* 303 (3), 161-187.
- Hausberger, S. (2008): Aktualisierung der Emissionsdaten und Modellberechnung zum Verkehr in Österreich - Trends und Ausblick bis 2030, Technische Universität Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz, 48 S.
- Hausl, S.; Biberacher, M. und Gadocha, S. (2012): RESRO: A spatio-temporal model to optimise regional energy systems emphasising renewable energies. *EDP Sciences, EPJ Web of Conferences*, 8 S.
- Hawksworth, J. und Danny, C. (2015): *The world in 2050*, PricewaterhouseCoopers, London, 46 S.
- Hege, U. (1995): Nährstoffbilanzierung als Kontrollinstrument ordnungsgemäßer Landwirtschaft (Feld-, Stall-, Hoftorbilanz). Tagung des Verbandes der

- Landwirtschaftskammern e. V. und des Bundesarbeitskreises Düngung, Würzburg, 129-137.
- Herndl, M.; Baumgartner, D.U.; Guggenberger, T.; Bystricky, M.; Gaillard, G.; Lansche, J.; Fasching, C.; Steinwidder, A. und Nemecek, T. (2015): Einzelbetriebliche Ökobilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 93 S.
- Herrera, A.O.; Scolnik, H.D.; Chichilnisky, G.; Gallopin, G.C.; Hardoy, J.E.; Mosovich, D.; Oteiza, E.; Brest, G.L.; Suarez, C.E. und Talavera, L. (1976): Catastrophe or new Society? A Latin America world model, IDRC, Ottawa, 104 S.
- Hess, J. (1997): Biologischer Landbau: Systemimmanenter Zwang zu möglichst geschlossenen Nährstoffkreisläufen. Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft – Ein Instrument für den Umweltschutz? Umweltbundesamt (Hrsg.), Workshop 1996-06-20, Wien, 71-76.
- Hexagon AB (2015): tridicon CityModeller. <http://www.tridicon.de/>, (2015-12-06).
- Hiebl, J.; Reisenhofer, S.; Auer, I.; Böhm, R. und Schöner, W. (2011): Multi-methodical realisation of Austrian climate maps for 1971–2000. *Advances in Science & Research* 6 (1), 19-26.
- Hirschberger, P. (2006): Potenzial der Biomassenutzung aus dem Österreichischen Wald unter Berücksichtigung der Biodiversität, World Wildlife Fund, Wien, 60 S.
- Hofierka, J. und Kanuk, J. (2009): Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools. *Renewable Energy* 34 (10), 2206-2214.
- Hois, C. (2004): Feldstudie zur Gewichtsentwicklung und Gewichtsschätzung beim wachsenden Pferd. Dissertation, Ludwig-Maximilians Universität München, Tierärztliche Fakultät, 287 S.
- Hopfner, K.; Amon, B.; Amon, T. und Boxberger, J. (1999): Effizienter Stromeinsatz in der Landwirtschaft, Universität für Bodenkultur, 102 S.
- Horowitz, W. (1988): The Babylonian map of the world. *Iraq* 50, 147-165.
- Hubbert, M.K. (1956): Nuclear Energy and the Fossil Fuels. Shell Spring Meeting of the Southern District, American Petroleum Institute, San Antonio, Texas, 56 S.
- IGWind (2015): Google Maps Windkraft-Landkarte. www.igwindkraft.at, (2015-09-11).
- Imrek, E. (2012): Das europäische Referenzsystem ETRS89 und dessen Bezug zum österreichischen System der Landesvermessung MGI. Impulsveranstaltung Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2012-10-10, Wien, 1-26.
- INSPIRE Thematic Working Group (2014): Data Specification on Geographical Grid Systems – Technical Guidelines, Brussels, 28 S.
- IPCC (2014): Climate Change 2014 - Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 138 S.
- IPPNW (2016): IPPNW-Report. 30 Jahre Leben mit Tschernobyl, 5 Jahre Leben mit Fukushima, Internationale Ärzte für die Verhütung des Atomkrieges, Berlin, 80 S.

- Italian Ministry for the Environment Land and Sea (2010): Water in the Alps. Alpine Water Conference 2010, Venice, 200 S.
- Jähne, B. (2012): Digitale Bildverarbeitung, 7. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 711 S.
- James, I.M. (1999): History of Topology, Elsevier, Oxford, 1056 S.
- Jauschnegg, H. und Pfemeter, C. (2012): Bioenergie 2020 - Wärme, Strom, Treibstoffe, Österreichischer Biomasseverband, Wien, 23 S.
- Johnson, B. und Xie, Z. (2013): Classifying a high resolution image of an urban area using super-object information. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 83, 40-49.
- Kapusta, F.; Starnberger, S. und Mandl, D. (2010): KMU-Initiative zur Energieeffizienzsteigerung. Begleitstudie: Kennwerte zur Energieeffizienz im KMU, Energieinstitut der Wirtschaft GmbH, Wien, 153 S.
- Katzlberger, G. (2016): Regionalstatistische Auflösung der Einwohner von Österreich 2011, Statistik Austria, Wien.
- Kober, L. (1938): Der geologische Aufbau Österreichs, Springer, Wien, 206 S.
- Kranert, M.; Hafner, G.; Barabosz, J.; Schneider, F.; Lebersorger, S.; Scherhauser, S.; Schuller, H. und D., L. (2012): Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland, Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft, Stuttgart, 42 S.
- Kraut, H. (2013): Der Nahrungsbedarf des Menschen: Stoffwechsel, Ernährung und Nahrungsbedarf, Energiebedarf, Proteinbedarf, Springer, 216 S.
- Krenn, A.; Winkelmeier, J.; Tiefgraber, C.; Cattin, R.; Müller, S.; Truhetz, H.; Biberacher, M. und Gadocha, S. (2011): Windatlas und Windpotenzialstudie Österreich, Klima- und Energiefonds, Wien, 51 S.
- Krenn, K. und Aron, A. (2006): Rosenapfel, Krummstiel und Schafnase. Da schau her. Die Kulturzeitschrift aus Österreichs Mitte. 27 (2), 3-6.
- Kress, D. (2012): Investitionen in den Hunger? Land-Grabbing und Ernährungssicherheit in Subsahara-Afrika, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer, Wiesbaden, 168 S.
- Kreuzer, B. (2013): Solardachkataster Steiermark - Kurzinformation, Fachabteilung Energie und Wohnbau Graz, 6 S.
- Krutzler, T.; Wiesenberger, H.; Heller, C.; Gössl, M.; Stranner, G.; Storch, A.; Heinfellner, H.; Winter, R.; Kellner, M. und Schindler, I. (2016): Szenario Erneuerbare Energie 2030 und 2050, Umweltbundesamt, Wien, 28 S.
- KTBL (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, 1180 S.
- Kunz, S.; Dällenbach, F.; Schaffner, B.; Buser, H.; Heinz, H.-R. und Dominique, R.S. (2004): Konzept Windenergie Schweiz - Grundlagen für die Standortwahl von Windparks, BFE, BUWAL, ARE, UVEK, Bern, 34 S.
- Land Kärnten (2012): Informationsblatt für die Errichtung von Wasserkraftwerken, Unterabteilung Wasserwirtschaft, Klagenfurt, 6 S.
- Land Steiermark (2015): Straßenverkehr 2014, Kfz-Bestand, Neuzulassungen, Unfallgeschehen. Steirische Statistiken 5/2015, 59.

- Landesstatistik Steiermark (2010): Regionale Bevölkerungsprognose. Heft 13/2010, Land Steiermark, Graz, 132 S.
- Lang, S. und Blaschke, T. (2007): Landschaftsanalyse mit GIS, Ulmer, Stuttgart, 404 S.
- Längauer, M. (2012): Wird die Produktionsgrundlage der Landwirtschaft knapp? Ökosoziales Forum, Bodenverbrauch in Österreich, 2012-12-13, Wien.
- Lemp, D. und Weidner, U. (2005): Segment-Based Characterization of Roof Surfaces using Hyperspectral and Laser Scanning Data. Proceedings IGARSS 2005 Symposium, Seoul, Korea.
- Leontief, W.W. (1951): Input-output economics. Scientific American 185 (4), 15-21.
- Levenshtein, V.I. (1966): Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals. Soviet Physics 10, 707-710.
- Levitt, T. (1983): The Globalization of Markets. Harvard Business Review 25 (3), 17-19.
- LGBI. Nr. 44/2012 i.d.g.F. (2013): LGBI. Nr. 44/2012 Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 20.06.2013, mit der ein Entwicklungsprogramm für den Sachbereich Windenergie erlassen wird.
- Linnemann, W.; Hoogh, J.d.; Keijzer, M.A. und Heemst, H.D.J.v. (1979): MOIRA, Model of International Relations in Agriculture, North-Holland, Amsterdam, 379 S.
- Löfgren, H. und Robinson, S. (1999): Spatial networks in Multi-Region Computable General Equilibrium Models. TM Diskussion Paper 35, 1-31.
- Loibl, W.; Beck, A.; Dorninger, M.; Formayer, H.; Gobiet, A. und Schöner, W. (2007): Generation of climate change scenarios for the Alps with the meso-scale models MM5 and ALADIN, ARC systems research GmbH, Wien, 86 S.
- Longley, P., A.; Goodchild, M.F.; Maquire, D.J. und Rhind, D.W. (2005): Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications, Wiley, New York, 404 S.
- Lüscher, A. (1989): Überwinterung und Frühlingsaufwuchs von Weißklee (*Trifolium repens* L.) - Dynamik der Kohlenhydratreserven und biologische N₂-Fixierung, ETH-Zürich, Zürich, 59 S.
- Lüthi, T. (2015): Dachauswertungen aus LiDAR Punktwolken. <http://www.pro-geo.ch/wordpress/dachauswertungen-aus-lidar-punktwolken/>, (2015-10-12).
- Macchiavelli, N. (1513): Il Principe, Florenz.
- Maidment, D. und Djokic, D. (2000): Hydrologic and Hydraulic - Modelling Support with Geographic Information Systems, Esri Press, Redlands, 204 S.
- Mankiw, N.G. (2001): Grundzüge der Volkswirtschaftslehre, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 868 S.
- Marmidis, G.; Lazarou, S. und Pyrgioti, E. (2008): Optimal placement of wind turbines in a wind park using Monte Carlo simulation. Renewable Energy 33 (7), 1455-1460.
- Marx, K. und Engels, F. (1867): Das Kapital, Band I: Kritik der politischen Ökonomie, Meissner, Hamburg, 802 S.

- Marx, P. (2013): Wirkungsgrad-Vergleich zwischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Fahrzeugen mit Elektromotor. <http://www.mx-electronic.com/>, (2016-01-29).
- Meadows, D.; Randers, J. und Meadows, D. (2004): Limits to Growth. The 30-year update., Chelsea Green Publishing Company, Vermont, 338 S.
- Meadows, D.; Meadows, D.; Randers, J. und Behrens, W.W. (1972): The Limits to Growth, Universe Book, New York, 205 S.
- Meijer, L. (2012): World Hydropower Capacity Evaluation - Theoretical Background. Master Thesis, University of Technology Delft, Department of Water Management, 32 S.
- Mesarovic, M.D. und Pestel, E.C. (1974): Mankind at the turning point, E.P. Dutton, New York, 210 S.
- Milch, I. (2006): Tokamak und Stellarator – zwei Wege zur Fusionsenergie: Fusionsforschung. Physik in unserer Zeit 37 (4), 170-177.
- Milimonka, A.; Richter, K. und Sieber, R. (1996): The influence of competition between white clover and grass on nitrogen transfer., 16th EGF-Meeting "Grassland and land use systems", Grado, 265-268.
- Mithöfer, K.; Schär, P. und Huber, M. (2008): Neuentwicklung eines GIS-gestützten Landkatasters in Tansania. J. Strobl, T. Blaschke und G. Griesebner (Hrsg.), 20. AGIT-Symposium 2008, Salzburg, 699-704.
- Moitzi, G. (2006): Möglichkeiten zur Kraftstoffeinsparung - Richtiger Einsatz von Maschinen und Geräten im Pflanzenbau. Ökosoziales Forum Österreich, Wintertagung 2006, Ackerbautag II der Wintertagung 2006, 1-2.
- Moriarty, P. und Honery, D. (2012): What is the global potential for renewable energy? Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 244-252.
- Moritz, H. (1980): Advanced Physical Geodesy, Wichmann, Karlsruhe, 898 S.
- Mosetti, G.; Poloni, C. und Diviacco, B. (1994): Optimization of wind turbine positioning in large windfarms by means of a genetic algorithm. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 51 (1), 105-116.
- Müller, C. (1998): Von der lokalen Ökonomie zum globalisierten Dorf. Bäuerliche Überlebensstrategie zwischen Weltmarktintegration und Regionalisierung, Campus, Frankfurt, 221 S.
- Münchner Rückversicherung (2016): Naturkatastrophen weltweit 1980 - 2012. <https://www.munichre.com>, (2016-04-28).
- Nash, J.M. (2002): El Niño: Unlocking the Secrets of the Master Weather-Maker, AOL/Time Warner, New York, 340 S.
- National Academy of Sciences (2005): Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients), The National Academies Press, Washington D. C., 1357 S.
- National Integrated Drought Information System (2016): Global Drought Map. <https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/drought/global>, (2016-05-03).
- Neddermann, B. (2013): Wind Energy Development 2012 in Germany Benefits from Repowering. DEWI MAgazin 42, 42-50.

- Nguyen, H.T.; Pearce, J.M.; Harrap, R. und Barber, G. (2012): The Application of LiDAR to Assessment of Rooftop Solar Photovoltaic Deployment Potential in a Municipal District Unit. *Sensors* 12, 4534-4558.
- OECD (2015): Country MAP Profiles. Organisation for Economic Co-operation and Development <http://www.oecd.org/ctp/dispute/countrymapprofiles.htm>, (2016-01-02).
- Oeser, E. (2011): *Katastrophen: Triebkraft der Evolution*, Primus, Darmstadt, 208 S.
- Olson, H.G. (2010): *Handbuch der Klimälüge*, TvR, Jena, 62 S.
- Open Geospatial Consortium (2015): OGC Standards. <http://www.opengeospatial.org/docs/is>, (2015-12-12).
- Österreichische Bundesbahnen (2015): *ÖBB-Bilanz 2014, Geschäftsbericht*, Wien, 200 S.
- Österreichische Wasserwerke (2015): *Wasserressourcen in Österreich*. <http://www.wasserwerk.at/home/alles-ueber-wasser/wasserressource/16>, (2015-03-03).
- Österreichischer Biomasseverband (2015): *Bioenergie 2030*, Wien, 68 S.
- Otsu, N. (1979): A threshold selection from gray-level histogram. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 9 (1), 62-66.
- Pal, N.R. und Pal, S.K. (1993): A review on image segmentation techniques. *Pattern Recognition* 26 (9), 1277-1294.
- Pavlovic, M.; Prentice, A.; Thorsdottir, I.; Wolfram, G. und Branca, F. (2007): Challenges in Harmonizing Energy and Nutrient Recommendations in Europe. *Annals of Nutrition & Metabolism* 51, 108-114.
- Paysen, A. (2010): *Nachhaltige Energiewirtschaft? Brenn- und Kohlholznutzung in Schleswig-Holstein in Mittelalter und früher Neuzeit*. Dissertation, Christian-Albrecht-Universität Kiel, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, 377 S.
- Pidwirny, M. (2006): *Atmospheric Effects on Incoming Solar Radiation*. *Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7f.html>, (2015-05-12).
- Pladerer, C.; Bernhofer, G.; Kalleitner-Huber, M. und Hietler, P. (2016): *Lagebericht zur Lebensmittelabfällen und -verlusten in Österreich*, WWF Österreich, Mutter Erde, Wien, 33 S.
- Pollins, B.M. (1984): Progress in world modeling: Reflections on the past decade. *Behavioral Science* 29 (3), 162-168.
- Pötsch, E.M. (1998): Über den Einfluß der Düngungsintensität auf den N-Kreislauf im alpenländischen Grünland. *Die Bodenkultur* 49, 19-27.
- Pötscher, F.; Winter, R. und Lichtblau, G. (2010): *Elektromobilität in Österreich. Szenarion 2020 und 2050*, Umweltbundesamt, Wien, 46 S.
- Pratchett, T. (1983): *The Colour of Magic*, Corgi, Rushden, 288 S.
- PRÉ CONSULTANTS (2011): *SimaPro 7.3.3*.
- Prem, J. (2012): *Holzeinschlag 2011*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 8 S.
- QGIS Development Team (2015): *Quantum Gis. 2.8.1*.

- Rechenberg, P. (2000): Was ist Informatik? 3. Auflage, Hanser, München, Wien, 356 S.
- Refractions Research (2016): PostGis. 2.2.1.
- Reichert, T.; Lanje, K. und Paasch, A. (2011): Wer ernährt die Welt? Die europäische Agrarpolitik und Hunger in Entwicklungsländern, Misereor, Aachen, 32 S.
- Renner, S.; Baumann, M.; Jamek, A.; Lang, B. und Pfaffenbichler, P. (2010): Vision 2050, Austrian Energy Agency, Wien, 161 S.
- Resch, R.; Schwab, E. und Schwaiger, E. (2009): Standortabhängige Auswirkungen differenzierter Grünlandbewirtschaftung auf Trockenmasse- und Qualitätsertrag. Bericht über das 4. Klimaseminar zum Thema Klimaveränderung - Anpassungsstrategien und Modellanwendungen für die Landwirtschaft, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 35-50.
- Rice, F., O.; Teller, E. und Hedberg, K.W. (1949): The Structure of Matter, John Wiley and Sons, New York, 374 S.
- Rosenblum, N. und Rawls, W.H. (1997): A world history of photography, Abbeville Press, New York, 438 S.
- Rothschild, K.W. (2004): Die politischen Visionen grosser Ökonomen. Kleine politische Schriften., Stämpfli, Bern, 218 S.
- Saake, G.; Heuer, A. und Sattler, K.-U. (2013): Datenbanken - Konzept und Sprache, mitp, Frechen, 800 S.
- Salletmaier, C. und Winkelmeier, H. (1994): Windenergie in Österreich: Voraussetzung - Situation - Bewertung - Perspektiven ; Bericht zum Forschungsauftrag GZ. 72.026/4-25/92 des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung und GZ. 01 2635/1-I/7/92 des Bundesministeriums für Umwelt Jugend und Familie, Wien, 277 S.
- Schadauer, K. und Neumann, M. (2008): Holz- und Biomasseaufkommenstudie für Österreich, Bundesforschungszentrum für Wald Wien, 50 S.
- Schaumberger, A. (2011): Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland. Dissertation, Technische Universität Graz, Institut für Geoinformation, 292 S.
- Schechtner, G. (1978): Produktionstechnische Voraussetzungen für Bergbauern. Der Alm- und Bergbauer 28, 56-70.
- Schneider, W.; Nelhiebel, P.; Aust, G.; Wandl, M. und Danneberg, O.H. (2001): Die landwirtschaftliche Bodenkartierung in Österreich. Mitteilung der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft 62, 39 - 68.
- Schranzhofer, A.; Rockenbauer, R.; Tragner, F.; Hala, V.; Hrad, M.; Ottner, R.; Obersteiner, G.; Schneider, F.; Lebersorger, S.; Manhart, A.M. und Maronier, C. (2015): Vermeidung von Lebensmittelabfall in Gastronomie, Beherbergung und Großküchen, United Against Waste, Wien, 52 S.
- Sedgewick, R. (2002): Algorithmen, 4. Auflage, Pearson Studium-IT, Hallbergmoos, 992 S.
- Seufert, V.; Ramankutty, N. und Foley, J.A. (2012): Comparing the yields of organic and conventional agriculture. Nature 485 (7397), 229-232.

- Shepley, J.R. und Blair, C. (1955): Die Wasserstoffbombe: Der Konflikt - Die Bedrohung - Die Konstruktion., Steingrüben, Stuttgart, 288 S.
- Shih, F.Y. und Cheng, S. (2005): Automatic seeded region growing for color image segmentation. *Image and Vision Computing* 23 (10), 877-886.
- Sieferle, R.P.; Krausmann, F.; Schandl, H. und Winiwarter, V. (2006): Vom Ende der Fläche, Böhlau, Wien, 370 S.
- Skoda, G. und Lorenz, P. (2007): Mittlere Niederschlagshöhe - Modellrechnung mit unkorrigierten Daten. In FÜRST and HÖRHAN: Hydrologischer Atlas Österreich 3.0.0, Wien, 2 S.
- Smidt, S. und Obersteiner, E. (2005): Werden Waldgebiete durch Stickstoff eutrophiert? Bundesforschungszentrum für Wald, <http://bfw.ac.at/db/bfwcms.web?dok=5926>, (2015-07-04).
- SN 79/14/EC (2014): Conclusions on 2030 Climate and Energy Policy Framework, European Commission SN 79/14.
- Sohn, G. und Dowman, I. (2007): Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62 (1), 43-63.
- Solomon, S. (2007): Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 996 S.
- Sommer, W.; Bücker, P. und Brune, H. (2004): Nährstoffanfall in der Pferdehaltung. <https://www.landwirtschaftskammer.de>, (2015-03-03).
- Stachowiak, H. (1973): Allgemeine Modelltheorie, Springer, Wien, 281 S.
- Stanzer, G.; Novak, S.; Dumke, H.; Plha, S.; Schaffer, H.; Breinersberger, J.; Biermayer, P. und Spanring, C. (2010): REGIO Energy - Regionale Szenarien erneuerbarere Energiepotenziale in den Jahren 2012/2020, Klima- und Energiefond, Wien, 206 S.
- Statistik Austria (2007): Statistisches Jahrbuch Österreichs, Statistik Austria, Wien, 640 S.
- Statistik Austria (2012a): Bevölkerungsentwicklung. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/index.html, (2012-10-16).
- Statistik Austria (2012b): Bestand an Gebäuden und Wohnungen. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/wohnen/wohnungs_und_gebaeudebestand/index.html, (2012-10-17).
- Statistik Austria (2015a): KFZ-Bestand. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/strasse/kraftfahrzeuge_-_bestand/index.html, (2015-10-10).
- Statistik Austria (2015b): STATcube - Statistische Datenbank, Statistik Austria, Wien.
- Statistik Austria (2014a): Österreichische Gesundheitsbefragung 2014 - Body Mass Index (BMI) & Online-Datenquelle, Wien, 3 S.
- Statistik Austria (2014b): Vorausberechnete Bevölkerungsstruktur für Österreich 2014-2075 laut Hauptszenario. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelk

- [erung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html](http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html), (2015-11-11).
- Statistik Austria (2015c): Einsatz aller Energieträger in allen Haushalten nach Verwendungszwecken 2003 bis 2014.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html, (2016-02-24).
- Statistik Austria (2015d): Hauptvariantenanalyse der Bevölkerungsprognose 2014-2075.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html, (2016-02-24).
- Statistik Austria (2014c): Österreichs Städte in Zahlen, Verlag Österreich GmbH, Wien, 141 S.
- Statistik Austria (2015e): Gemeindeverzeichnis, Verlag Österreich GmbH, Wien, 169 S.
- Statistik Austria (2015f): Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 bis 2014.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html, (2015-10-10).
- Statistik Austria (2015g): Energieeinsatz im Haushalt.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html, (2015-10-10).
- Statistik Austria (2015h): Personenverkehr.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/verkehr/luftfahrt/personenverkehr/index.html, (2015-10-10).
- StatPoint (2009): Statgraphics Centurion XVI - User Manual, Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, 305 S.
- Steigenberger, K. und Feßl, T. (2013): Demographie und Verkehr in Österreich, Wirtschaftskammer Österreich, Wien, 44 S.
- Steinwiddler, A.; Krimberger, K. und Bader, R. (2011): Daten der nationalen Futterbilanz, Persönliche Mitteilung.
- Steinwiddler, A.; Gruber, L.; Guggenberger, T.; Gasteiner, J.; Schauer, A.; Maierhofer, G. und Häusler, J. (2006): Einfluss der Rohprotein- und Energieversorgung in der Fleckvieh-Jungbullenmast. Züchtungskunde 78(2), 136-152.
- Stemberger, W.; Banko, G.; Gallaun, H.; Grillmayer, R.; Krenn, P.; Mansberger, R.; Prüller, R.; Steinocher, K. und Walli, A. (2012): LISA – wie innovative Technologien die Beobachtung von räumlichen Prozessen und die Generalisierung einer Landbedeckungskarte ermöglichen. J. Strobl, T. Blaschke und G. Griesebner (Hrsg.), 24. AGIT-Symposium 2012, Salzburg, 84-89.
- Stipperger, W. (1990): Schladming einst. Heimatkundliche Blätter von Schladming 18, 52-55.

- Streicher, W.; Schmitzer, H.; Titz, M.; Tatzber, F.; Heimrath, R.; Wetz, I.; Hausberger, S.; Haas, R.; Kalt, G.; Damm, A.; Steininger, K. und Oblasser, S. (2010): Energieautarkie für Österreich 2050, Klima- und Energiefond, Wien, 141 S.
- Strimitzer, L. (2014): Holzströme in Österreich, Datengrundlage 2012, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 18 S.
- Tauernwind (2015): Windpark Oberzeiring.
http://www.tauernwind.com/windpark/windpark_sstart.htm, (2015-09-12).
- Teske, S.; Sawyer, S.; Schäfer, O.; Pregger, T.; Simon, S. und Naegler, T. (2015): Energy [r]evolution - A Sustainable World Energy Outlook 2015, Greenpeace, Hamburg, 364 S.
- Thompson, M.; Ellis, R. und Wildavsky, A. (1990): Cultural Theory, Westview, Boulder, 296 S.
- Thornthwaite, C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38 (1), 55-94.
- Thornthwaite, C.W. und Mather, J.R. (1955): The water Balance. *Climatology* 8, 1-104.
- Tiede, D. und Strobl, J. (2006): Polygon - based Regionalisation in a GIS Environment. In BUHMANN, E.; ERVIN, S.; JØRGENSEN, I. and STROBL, J.: Trends in Knowledge - Based Landscape Modeling, Wichmann, Heidelberg, 5 S.
- Tobler, W.R. (1970): A Computer Movie Simulation Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography* 46, 234-240.
- Torun, B.; Davies, P.; Livingstone, M.; Paolisso, M.; Sackett, R.; Spurr, G. und deGuzman, M. (1996): Energy requirements and dietary energy recommendations for children and adolescents 1 to 18 years old. *European Journal of Clinical Nutrition* 50 (Suppl. 1), 37-81.
- Truhetz, H.; Krenn, A.; Winkelmeier, J.; Müller, S.; Cattin, R.; Eder, T. und Biberacher, M. (2012): Austrian Wind Potential Analysis (AuWiPot). 12. Symposium Energieinnovation, Graz, Austria, 10 S.
- TU Wien (2014): Scop++ 5.5 Reference Manual, Technische Universität Wien, Wien, 379 S.
- Tzotsos, A.; Karantzalos, K. und Argialas, D. (2011): Object-based image analysis through nonlinear scale-space filtering. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66 (1), 2-16.
- Umweltdachverband (2010): Umweltfreundliche Nutzung der Windenergie - eine Frage der Standortwahl, Wien, 14 S.
- UNICEF (2013): Africa Key Facts and Figures for Child Mortality, United Nations International Children's Emergency Fund, African Leadership for Child Survival, New York, 4 S.
- Uppala, S.M.; Kallberg, P.W.; Simmons, A.J.; Andrae, U.; Bechtold, V.D.C.; Fiorino, M.; Gibson, J.K.; Haseler, J.; Hernandez, A.; Kelly, G.A.; Li, X.; Onogi, K.; Saarinen, S.; Sokka, N.; Allan, R.P.; Andersson, E.; Arpe, K.; Balmaseda, M.A.; Beljaars, A.C.M.; Berg, L.V.D.; Bidlot, J.; Bormann, N.;

- Caires, S.; Chevallier, F.; Dethof, A.; Dragosavac, M.; Fisher, M.; Fuentes, M.; Hagemann, S.; Hólm, E.; Hoskins, B.J.; Isaksen, L.; Janssen, P.A.E.M.; Jenne, R.; McNally, A.P.; Mahfouf, J.F.; Morcrette, J.J.; Rayner, N.A.; Saunders, R.W.; Simon, P.; Sterl, A.; Trenberth, K.E.; Untch, A.; Vasiljevic, D.; Viterbo, P. und Woollen, J. (2005): The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 131 (612), 2961-3012.
- Van Dülmen, R. (2002): *Die Entdeckung des Individuums. 1500-1800*, Fischer, Frankfurt, 176 S.
- Veigl, A. (2015): *Energiezukunft Österreich*, WWF, Global 2000, Greenpeace, Wien, 48 S.
- Verkehrsclub Österreich (2014): *Österreichs Autofahrer fahren immer weniger Kilometer*. <http://www.vcoe.at/news/details/vcoe-oesterreichs-autofahrer-fahren-immer-weniger-kilometer>, (2016-01-16).
- Vestas (2000): *Vestas V66-1,5*. <http://www.wind-turbine-models.com/turbines/15-vestas-v-66-1.65>, (2015-11-15).
- Vollmann, K. (2004): *Wohnbautätigkeit: Bewilligung & Fertigstellung 2002, Wohnbaukosten 2001*, Verlag Österreich GmbH, Wien, 161 S.
- Von Loewenich, W. und Beyschlag, K. (1968): *Humanitas, Christianitas*. Humanitas-Christianitas, Luther, Bielefeld, 411 S.
- Vosselman, G. und Maas, H.G. (2010): *Airborne and Terrestrial Laser Scanning*, Whittles Publishing, Dunbeath, Caithness, Scotland, 336 S.
- Vosselman, G.; Gorte, B.G.H.; Sithole, G. und Rabbani, T. (2004): *Recognising Structure in Laser Scanner Point Cloud*. *International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences* 46 (8), 33-38.
- Walras, L. (1896): *Éléments d'économie politique pure; ou, Théorie de la richesse sociale*, F. Rouge, Lausanne, 407 S.
- Walter, A.; Keuler, K.; Jacob, D.; Knoche, R.; Block, A.; Kotlarski, S.; Müller-Westermeier, G.; Rechid, D. und Ahrens, W. (2006): *A high resolution reference data set of German wind velocity 1951-2001 and comparison with regional climate model results*. *Meteorologische Zeitschrift* 15 (6), 585-596.
- Wehr, A. und Lohr, U. (1999): *Airborne laser scanning - an introduction and overview*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54 (2-3), 68-82.
- Weichhart, P. (2015): *Regionale Identität - eine kritische Auseinandersetzung*. oieb Workshop, 2015-12-10, St. Pölten, 1-24.
- Wieringa, J. (1986): *Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 112 (473), 867-889.
- Wildling, E. (2015a): *Versorgungsbilanz für tierische Produkte*, Statistik Austria, Wien, 7 S.
- Wildling, E. (2015b): *Versorgungsbilanz für pflanzliche Produkte*, Statistik Austria, Wien, 10 S.
- Winiwarter, V. und Bork, H.-R. (2015): *Geschichte unserer Umwelt. Sechzig Reisen durch die Zeit*, Theiss, Konrad, Stuttgart, 192 S.

- Winkelmeier, H.; Krenn, A. und Zimmer, F. (2014): Das realisierbare Windkraftpotenzial Österreichs für 2020 und 2030, Energiewerkstatt, Verein und technisches Büro für erneuerbare Energie, Friedburg, 37 S.
- Wirtschaftskammer Österreich (2016): Länderprofil Kuba, Wien, 8 S.
- Wöllinger, R. (2004): Durchschnittliche Zuwachsleistungen der Rinderkategorien Jungvieh bis 1/2 Jahr und Jungvieh 1-2 Jahre, Arbeitsgemeinschaft Rind, Wien.
- Wonka, E.; Kaminger, I. und Katzlberger, G. (2009): Regionalstatistische Auswertung mit geographischen Rastern in der Raumplanung. Informationen zur Raumentwicklung 10, 661-675.
- World Energy Council (2013): World Energy Scenarios: Composing energy future to 2050, London, 284 S.
- WWF (2011): Österreichs Fließgewässer - lebendig oder gestaut? World Wildlife Found Österreich,
http://www.wwf.at/de/view/files/download/showDownload/?tool=12&feld=download&sprach_connect=1637, (2015-12-27).
- ZAMG (2008): HISTALP - Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, <http://www.zamg.ac.at/histalp>, (2015-04-16).
- ZAMG (2016): Jahresrückblicke 2003, 2006 und 2015. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/jahresrueckblick>, (2016-02-24).

Forschungsbericht
GIS als Steuerungs- und Optimierungssystem für die nachhaltige Nahrungs- und Energieversorgung sozialer Gesellschaften

Herausgeber:

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein

Druck, Verlag und © 2016

ISBN-13: 978-3-902849-40-3