

VERÖFFENTLICHUNGEN

Heft 43

GIS gestützte Modellierung der Nährstoffbilanzen österreichischer Grünlandbetriebe

Teil I:

Erstellung eines geographischen
Informationssystems zur Beurteilung
ökologischer Zusammenhänge

Thomas Guggenberger
Norbert Bartelme

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades eines „Magister“ im Individuellen Diplomstudium Geoinformationstechnologie am Universitätszentrum Rottenmann, eingereicht am Institut für Geoinformation der Technischen Universität Graz bei Ao. Univ.-Prof. Dr. Norbert BARTELME.

Diese Arbeit ist im Rahmen des Projektes „GIS gestützte Modellierung der Nährstoffbilanzen österreichischer Grünlandbetriebe“ an der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft entstanden.

Impressum

Herausgeber

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

Direktor

Dr. Albert SONNLEITNER

Leiter für Forschung und Innovation

Dr. Anton HAUSLEITNER

Autoren:

Mag. Thomas GUGGENBERGER
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
E-mail: thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at

Ao.Univ.Prof. Dr. Norbert BARTELME
Leiter des Institutes für Geoinformation
Technische Universität Graz
E-mail: norbert.bartelme@tugraz.at

Druck, Verlag und © 2005

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning

ISSN: 3-901980-83-0

ISBN: 1026-6275

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1. Einleitung	1
2. Grundlagen und Aufgabenstellung	2
2.1 Naturwissenschaftliche Grundlagen	2
2.2 Arbeitsschritte	2
2.3 Gesetzliche Grundlagen des Emissions- und Immissionsschutzes	3
2.4 Überleitung	6
3. Material und Methoden der Modellbildung	7
3.1 Gundsätze der Modellbildung	7
3.1.1 Notwendigkeit des vereinfachten Denkens	7
3.1.2 Modelltheorie und Integration in die notwendigen Fachgebiete	7
3.1.3 Vorgehensweise und Grundregeln der Softwareentwicklung	8
3.1.4 Wichtige Schritte zur Entwicklung eines Datenmodells	8
3.1.5 UML als GI-Modellierungssprache	9
3.1.6 Datentypen der Geoinformatik	10
3.2 Analyse	11
3.2.1 Die interdisziplinären Zusammenhänge in einem GI-System	11
3.2.2 Datenbanken (DB) und Datenbank-Managementsystem (DBMS)	12
3.2.3 Designrelevante Auswahl des Datenbankmodells	15
3.2.4 Auswahl der Entwicklungsumgebung	16
3.2.5 Geodatenquellen	16
3.2.6 Fachdatenquellen	17
3.2.7 Zusammenfassung	17
3.3 Design: Neuentwicklungen einer GI-Datenstruktur	17
3.3.1 Peter Coad's „Modelling in Color“	17
3.3.2 Entwicklung neuer Entwurfsmuster für GI-Anwendungen	18
3.3.3 Object Data Stream (ODS)	19
3.3.4 Additional Data Stream (ADS)	21
3.3.5 Dynamische GI-Strukturen	21
3.3.6 Elementarbaustein Simple Content Object	23
3.3.7 Agricultural-GIS-Sphere (AGS)	23
3.4 Design: Praktische Umsetzung	24
3.4.1 Integration von Geo-Basis-Daten (DKM)	24
3.4.2 Integration der abgeleiteten Geo-Daten	26
3.4.3 Integration landwirtschaftlicher Fachdaten (Futtermittel)	26
3.4.4 Zusammenfassung Design	27

3.5	Implementierung	27
4.	Material und Methoden der Geodatenbearbeitung	28
4.1	Geodatengewinnung	28
4.1.1	Daten des Geländemodells	28
4.1.2	Daten der Grundstücke	30
4.1.3	Daten aus zusätzlichen Quellen	30
4.1.4	Nutzungspunkte als Analysegrundlage	31
4.1.5	Ausreißertest für Nutzungspunkte	33
4.2	Vergleichen von Adressdaten	33
4.3	Statistische Untersuchungen mit Geodaten	34
4.3.1	Geodatenanalyse mit multiplen Regressionen	34
4.3.2	Geostatistische Analyse	35
4.3.3	Modelle der geostatistischen Analyse	36
4.4	Präsentation und Interpretation	37
5.	Ergebnisse	39
5.1	Abgrenzung des Ergebnisrahmens	39
5.2	Selektion von Zielräumen	39
5.3	Lageparameter landwirtschaftlicher Betriebe	40
5.4	Die pflanzenbauliche Nutzung	42
5.5	Die Verteilung der tierischen Produktion	43
5.6	Leistungsdaten der Milchproduktion und Tierbesatz	45
5.7	Modell der österreichischen Grundfutterqualität	47
5.7.1	Statistisches Modell	47
5.7.2	Überführung lokaler Erkenntnisse in globale Ergebnisse	48
5.7.3	Futtermittelinhaltsstoffe	48
5.8	Bewirtschaftungsmaßnahmen	50
5.9	Erkenntnisse für die landwirtschaftliche Forschung	51
5.9.1	Exaktversuche und GIS	52
5.9.2	Interpretation von Ergebnissen	52
6.	Zusammenfassung	53
7.	Literaturverweise	55
8.	Anhang	57
8.1	Ergebnistabelle österreichischer Grundfutterqualität	57

Vorwort

Die Landwirtschaft ist heute mehr denn je mit dem Begriff der Nachhaltigkeit verknüpft. So findet man diesen Begriff bereits auf der Startseite der EU-Internetinformation zu den Bereichen Landwirtschaft und Lebensmittel (http://europa.eu.int/comm/agriculture/index_de.htm) – und sogar als den ersten in der Liste der großen Themen. Nachhaltige Landwirtschaft bedeutet, dass Europas natürliche Ressourcen und sein einzigartiges Umwelterbe auch zukünftigen Generationen erhalten bleiben. Dabei gilt es, wirtschaftliche, soziale und auch ökologische Herausforderungen anzunehmen. Auch die einleitenden Worte auf den Internetseiten des Österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft erwähnen an prominenter Stelle die Nachhaltigkeit im Sinne des schonenden Umganges mit natürlichen Ressourcen, des wirkungsvollen Ersetzens von begrenzten und knappen Gütern, der Reduktion der durch die industrielle Produktion entstehenden Umweltbelastungen und der Drosselung des Verbrauchs an nicht erneuerbaren Rohstoffen.

Ein verantwortungsbewusster Umgang mit den Ressourcen unseres Lebensraumes kann durch eine zeitgemäße Form der Speicherung, Bereitstellung und Analyse raumbezogener Information unterstützt werden. Der Bogen spannt sich von der Erfassung und Verwaltung über die Abfrage und einfache Internet-Auskunft bis hin zur Analyse komplexer Modelle. Durch das Aufzeigen von Zusammenhängen, durch die Zusammenschau vieler Faktoren aus demselben raum-zeitlichen Ausschnitt und durch die Vergleichsmöglichkeit werden Schlussfolgerungen nachvollziehbar und Entscheidungen besser begründbar – ein wichtiger Schritt in Richtung einer Objektivierung (Bartelme 2005).

Geographische Informationssysteme (GIS) erlauben die raumbezogene Verknüpfung von Fachinformation (im konkreten Fall von Information mit landwirtschaftlichem Hintergrund) mit geographischer Basisinformation (Gelände, Verkehr, Siedlungen, Gewässer usw.) und damit in einem weiteren Schritt auch mit Fachinformation aus anderen Domänen (etwa Klima, Kataster, Hydrologie, Wirtschaft). Steht zunächst der Wunsch im Vordergrund, raumbezogene Abhängigkeiten – solche die bereits bekannt sind, aber auch etwaige neue noch nicht erkundete Beziehungsmuster – graphisch in Kartenform, aber doch digital zu visualisieren, so wird bald nach den ersten Schritten einer GIS-Implementierung eines klar: Dieses Werkzeug gewinnt unheimlich an Wert, wenn man auch jene zahlreichen in Fachdatenbanken schlummernden Daten hinzu nimmt, die nach ihrer Geocodierung ebenfalls in diesem Raumbezug genutzt werden können und Anlass zu vielerlei Analysen geben – Analysen nicht nur durch das synoptische Betrachten aller Daten im selben Raum-Zeit-Ausschnitt, sondern auch durch entsprechende Programmwerkzeuge.

GIS können aber auch als Instrumente zur Planung eingesetzt werden. Die Variierbarkeit von Parametern erlaubt Simulationsstudien und die Gegenüberstellung von Alternativen. So hat sich die GIS-Technologie in die Richtung eines raumbezogenen Ressourcenplanungssystems hin entwickelt, das allen in einem Unternehmen zur Verfügung stehenden Ressourcen einen Raumbezug zuordnet und so strategische Prozesse optimieren hilft. Das Unternehmen kann im konkreten Fall der einzelne Bauernhof sein, der als kleinste wirtschaftliche, aber auch soziale und ökologisch wirksame Einheit in den Kreislauf landwirtschaftlicher Prozesse eingebunden ist. Größere Einheiten – wie etwa ein Zusammenschluss oder ein gemeinsames Auftreten aller landwirtschaftlichen Betriebe einer Region – können dann darauf aufbauen. Neben den Betrieben an der Basis und Zusammenschlüssen auf der mittleren Ebene kann dann ein Großteil der gesamten Landwirtschaft in einem Wirtschaftsraum zumindest in logisch-strukturellem Sinn zu einem System von aufeinander abgestimmten Komponenten zusammen gefügt werden. Das System INVEKOS auf EU-Ebene (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) stellt ein solches schrittweise eingeführtes System von Verordnungen zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedsstaaten dar.

Aus der Sicht der Geoinformatik ist die Anwendung der GIS-Technologie im landwirtschaftlichen Bereich weit mehr als nur eine von vielen weiteren Facetten, die das GIS-Spektrum bereichern. Die Prozesse, die rund um einen Bauernhof als zentralen Angelpunkt der in der vorliegenden Publikation erläuterten Datenstruktur angestoßen werden und ablaufen, sie sind durch landwirtschaftliche, technische, betriebswirtschaftliche und ökologische Aspekte geprägt. Es bedarf einerseits sowohl einer ganzheitlichen Sicht auf der konzeptionellen Ebene wie auch eines soliden Handwerkszeuges auf der datenbank- und programmtechnischen Implementierungsebene, damit im GIS ein realistisches und verwertbares Abbild der Realwelt entsteht.

Ao. Univ.-Prof. Dr. Norbert Bartelme

Vorwort

„Unsere unverzichtbaren Lebensgrundlagen sind saubere Luft, reines Wasser, unbelasteter Boden und funktionierende Ökosysteme. Durch das Forcieren moderner Technologien, umweltschonender Mobilität und den gezielten Einsatz der Umweltförderung vermindern wir die Belastung der Lebensgrundlagen“, steht im Leitbild des Lebensministeriums.

Mit der vorliegenden Diplomarbeit werden diese Vorgaben des Leitbildes in geradezu idealtypischer Weise umgesetzt. Durch systematische Kombination und Verwaltung der relevanten Daten und Informationen in einer bisher nicht bekannten Qualität und Tiefe wird auf wichtige Fragen der österreichischen Grünlandbetriebe eingegangen, so dass die Erstellung eines geographischen Informationssystems zur Beurteilung ökologischer Zusammenhänge möglich wird. Voraussetzung dafür ist der Einsatz Geografischer Informationssysteme (GIS) und eine umfassende Fachkompetenz im landwirtschaftlichen Bereich.

Thomas Guggenberger hat gemeinsam mit Mag. Schaumberger an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bereits 2003 damit begonnen, die technischen Voraussetzungen zur Implementierung von Geografischen Informationssystemen zu schaffen. Es wurde unter Nutzung der vorhandenen EDV-Anlage ein umfangreiches GIS-Softwarepaket erworben und damit das Werkzeug zur effizienten Verarbeitung raumbezogener Informationen für neue Aufgaben den Bereichen Forschung und Lehre zur Verfügung gestellt.

Die Methodenentwicklung dieser Diplomarbeit – die sogenannte „Ökolometrie“ - ist ein ganz entscheidender Schritt in eine neue Ausrichtung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Diese Ökolometrie soll ein Teilgebiet der Produktionsbiologie sein, welches die ökologischen Theorien sowie mathematische Methoden und statistische Daten aus gesicherten naturwissenschaftlichen Versuchen zusammenführt, um ökologietheoretische Modelle zu erstellen und ökologische Phänomene quantitativ zu analysieren. Ergebnisse dieser Fachrichtung können zur Überprüfung der Auswirkungen von zukünftigen Maßnahmen ebenso verwendet werden wie zur Beurteilung und Bewertung der Vergangenheit. Zu den wichtigsten Hilfsmitteln zählen komplexe räumliche Datenstrukturen, objektorientierte Modelle sowie Zeitreihenanalysen. Die Erkenntnisse der Ökolometrie sind Kennzahlen, die ein (ökologisches) System hinsichtlich ihres ökologischen Verhaltens beschreiben. Dazu gehören vor allem Nährstoffbilanzen und Stoffflüsse.

In einem weiteren Schritt sind aber auch Emissions- und Immissionskennzahlen im Zusammenhang mit der Nutztierhaltung i.S. eines Katasters denkbar. Für die betroffenen Landwirte selbst, für die Nachbarn und Anrainer, insbesondere aber für die Genehmigungsbehörden wäre das ein ganz entscheidender Vorteil. Die Ökolometrie kann und wird sich in unterschiedlichen Bereichen als Instrument zur Beurteilung der ökologischen Zusammenhänge etablieren.

Diese Diplomarbeit und die weiterführenden Projekte sind nicht nur im Einklang mit den nationalen und internationalen Forschungsvorgaben, sie bestimmen die Richtung mit bzw. geben sie eigentlich vor. Es werden vor allem aber auch Wege gewiesen, wie Konflikte verringert werden und neben den Landwirten auch einer interessierten Öffentlichkeit die ökologischen Zusammenhänge in anschaulicher Weise, quasi punktgenau mit moderner Technologie, näher gebracht werden können. Die Landwirtschaft ganz allgemein und die Forschung im Besonderen müssen diese neuen Möglichkeiten annehmen und einsetzen. Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein ist besonders stolz, mit dieser vielversprechenden neuen wissenschaftlichen Disziplin vorne mit dabei zu sein. Herzliche Gratulation für die geleistete Arbeit und alles Gute für die Zukunft zum Wohle unserer Anstalt und der österreichischen Landwirtschaft.

Dr. Anton Hausleitner
Leiter für Forschung und Innovation

Dr. Albert Sonnleitner
Direktor

1. Einleitung

Während die Entwicklung von Geoinformationssystemen (GIS) für Wirtschaft und Verwaltung ein dynamisches Wissensgebiet darstellt, wird dieser Zweig der Informatik im Auftrag der Landwirtschaft weniger genutzt. Ausnahmen davon finden wir in regionalen Projekten wie National- oder Naturparks und in der Wasserwirtschaft. Mit steigender Dichte an kompetentem Personal werden sich Geoinformationssysteme aber in den nächsten Jahren zu einer entscheidenden Technologie in der landwirtschaftlichen Forschung entwickeln. Diese wird dann ebenso wie die allgemeine EDV nicht mehr wegzudenken sein. Die derzeit entscheidende Frage nach dem WAS und WIE wird sich um das WO erweitern.

Mengenmäßig erfasste Produktion, betriebswirtschaftliche Überlegungen und ökologische Entwicklungen werden seit vielen Jahren in Nachschlagewerken wie dem Grünen Bericht dargestellt. Dabei kommen Tabellen und Übersichtsgraphiken zum Einsatz. Vor allem der graphische Bereich findet bei allen Benutzern besonderes Interesse und wird häufig zur gesellschaftlichen Meinungsbildung genutzt. Zumeist nach politischen Grenzen unterteilt, werden Informationen in stark generalisierter Form präsentiert. Im Gegensatz zu diesen statischen Graphiken verbergen sich hinter Geoinformationssystemen enorme Datenmengen und Berechnungsprozesse.

Dieses Projekt verpflichtet sich einer neuen Qualität der Erstellung von räumlichen Analysen, die von allen Interessentengruppen der Landwirtschaft genutzt werden können. Der Focus liegt

dabei auf der Entwicklung neuer Systeme und Methoden.

Im Rahmen der letzten Agrarreform haben sich die politischen Vertreter der österreichischen Landwirtschaft weiter zu einem nachhaltigen und ökologischen Weg in der Nahrungsmittelproduktion bekannt. Als Kenngröße dieses Weges wird gerne der Anteil an Biobetrieben genannt. Dies allein ist aber kein objektiver Maßstab zur Beurteilung der gesamten Landwirtschaft. Einen besseren Ansatz stellt die Berechnung von Betriebsbilanzen dar, da damit jeder Betrieb individuell beurteilt werden kann.

Ziel dieses Projektes ist die Erstellung und Visualisierung von Nährstoffbilanzen aller österreichischen Grünlandbetriebe unter Verwendung von GI-Technologie. Die dafür notwendigen exakten Untersuchungen sind nicht für jeden landwirtschaftlichen Betrieb zu realisieren. Durch die gemeinsame Verwendung von erfassten Datenbeständen aus dem Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (INVEKOS), der digitalen Katastralmappe (DKM), dem digitalen Geländemodell (DGM), aus Klima- und Bodenkarten, der Futtermitteldatenbank des Futtermittellabors Rosenau und den bestehenden Schätzmodellen für Futteraufnahme und Nährstoffausscheidung (GRUBER et al.), soll ein Modell zur Berechnung der Nährstoffbilanzen errichtet werden.

Die entstandene Symbiose aus GIS- und Produktionsdaten soll vorerst Auskunft über das betriebspezifische Verhalten der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium geben. Es kann aber auch eine

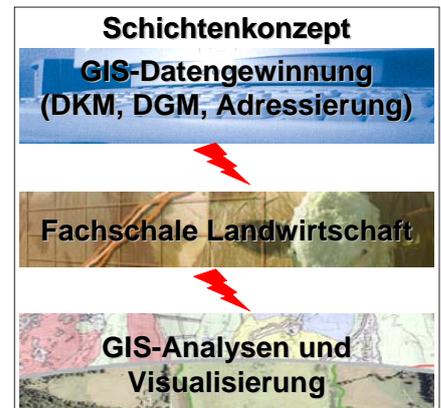


Abbildung 1: Kombination unterschiedlicher Datenquellen

wirtschaftliche Analyse sowie eine Mengenangabe der regional verfrachteten Futtermittel erwartet werden (Transport und Logistik).

Die betriebsindividuellen Nährstoffbilanzen sollen auf digitalen Karten in regional anonymisierter Form aufbereitet werden. Diese Karten stellen eine entscheidend verbesserte Dokumentation über die Produktion der österreichischen Grünlandwirtschaft dar.

Das vorliegende Dokument befasst sich in erster Linie mit den technischen Interaktionen zwischen Geodatenstrukturen und naturwissenschaftlichen Zusammenhängen. Aus der Sicht des Geoinformatikers werden Datenmodelle und räumliche Analysemethoden einer Diagnose unterzogen. Verwertbare Teile werden zu neuen Systemen verbunden, die zu einer schrittweisen Lösung der Aufgabenstellung führen. Sowohl die Diagnose, als auch der Weg der Errichtung eines Geoinformationssystems werden beschrieben.

2. Grundlagen und Aufgabenstellung

2.1 Naturwissenschaftliche Grundlagen

Ein Bauernhof ist einer Kreislaufwirtschaft unterworfen, die im Idealfall eine ausgeglichene Bilanz aufweist. Die am Betrieb geernteten Futtermittel stellen die Grundlage der Veredelungswirtschaft dar. Betriebsfremde Nährstoffe, die in der Form von zugekauften Kraftfuttermitteln (Getreide und Eiweißfuttermittel) in die Fütterung der Tiere eingebracht werden, erhöhen zwar einerseits die Produktionsmenge (Milch, Fleisch, ...) andererseits steigt aber auch der Anfall von tierischen Ausscheidungen und erhöht damit die Düngermenge (Festmist, Gülle, Jauche). In Biobetrieben mit extrem geringen Zukaufsmengen an Kraftfuttermitteln und zusätzlichem Verbot des Einsatzes von Handelsdünger entwickelt sich diese Bilanz möglicherweise negativ.

Die Landwirtschaft kann also, wie jeder andere produzierende Betrieb, als Emittent von Schadstoffen angesehen werden. Kritische Stoffe sind vor allem die Ausscheidungsprodukte der landwirtschaftlichen Nutztiere. Im Dünger ist beispielsweise der Stickstoff dann ein Problem, wenn dieser nicht fachgerecht und/oder in zu hohen Mengen ausgebracht wird. In Kombination mit leicht durchlässigen Böden kann es zu einer Verunreinigung des Grundwassers kommen.

Dieses Projekt konzentriert sich auf jene Fläche die Grünlandfutter produzieren. Dort schützt die hohe biologische Aktivität der Grasnabe das Grundwasser besser als es im Ackerbau der Fall ist. Neben den Düngeremissionen, die in der Form von Feststoffen auftreten, gibt es aber auch noch gasförmige Anteile. Bei der Düngerlagerung und Ausbringung entweicht ein Teil des Stickstoffs als Ammoniak. Hier produziert die Landwirtschaft ca. 97 % der Emissionen, das sind ca. 52.000 Tonnen. Durch die biologische Vergärung des Grünlandfutters im Pansen der Tiere wird zusätzlich noch Methan gebildet, welches als CH_4 -Gas eine weitere landwirtschaftliche Emissionsquelle darstellt (UBA, 2003).

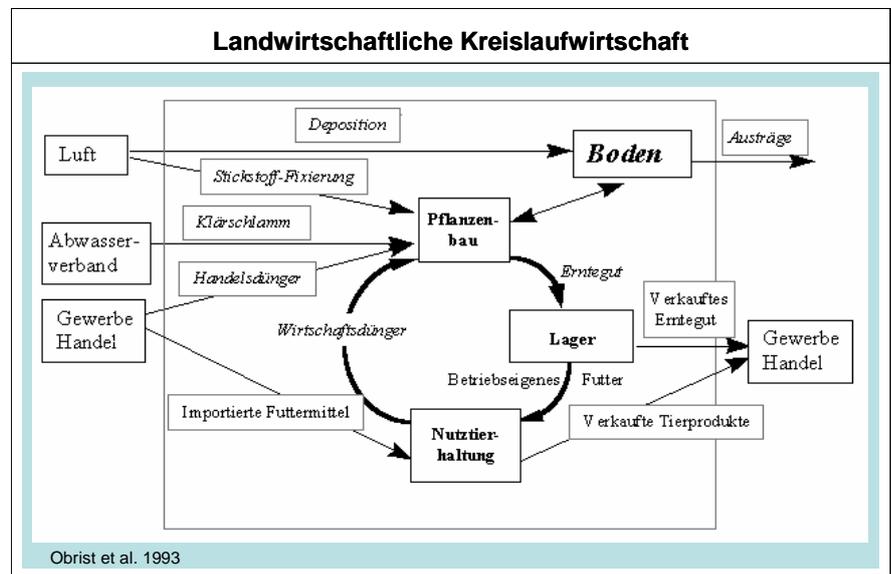


Abbildung 2: Landwirtschaftliche Kreislaufwirtschaft (OBRIST et al. 1993)

Sowohl die Düngermenge, als auch deren Emissionsrate hängt direkt mit der Intensität der landwirtschaftlichen Produktion zusammen.

Der landwirtschaftliche Betrieb kommuniziert auf der Nährstoffebene mit einer Reihe von Lieferanten, gibt aber auch Nährstoffe an Kunden ab. Die Abbildung weist die Luft (Stickstoff) und Abwasserverbände (Klärschlamm) als Lieferanten mit Lieferdruck aus. Handel und Gewerbe werden vom Landwirt bei Bedarf im Rahmen des Futter- und Düngerzukaufs beansprucht. Zusätzlich wird ein Teil der Nährstoffe durch Mineralisierung aus dem Boden nachgeliefert. Während die Luft, die Abwasserverbände, der Handelsdünger und die Mineralisierung direkt auf die landwirtschaftlichen Flächen wirken, kommt die Wirtschaftsdüngermenge indirekt zum Einsatz. Deren Menge wird durch die landwirtschaftliche Produktionskette mitbestimmt.

Diese kann vereinfacht so beschrieben werden: Die Landwirte ernten von den Grünlandflächen wirtschaftseigenes Futter. Dieses enthält die für die Ernährung der Tiere notwendigen Nährstoffe in mehr oder weniger großen Mengen. Der Nährstoffgehalt hängt von botanischen (Pflanzenfamilie, ...) und produktionstechnischen (Erntezeitpunkt, ...) Fakto-

ren ab. Ein Teil der Nährstoffe kann während der Lagerung verloren gehen. Die meisten Nährstoffe gelangen über die Fütterung von landwirtschaftlichen Nutztieren in die Produktionskette von Milch und Fleisch. Diese Produkte verlassen den Kreislauf und gelangen in den Handel. Abfallprodukte der Produktion in Form von Kot und Harn bilden die Wirtschaftsdüngermengen, die nach einer Lagerzeit wieder auf die Grünlandflächen ausgebracht werden.

2.2 Arbeitsschritte

Die landwirtschaftliche Kreislaufwirtschaft zu modellieren, heißt möglichst viele Echtdateien in ein Berechnungskonzept einzubringen. Die Tierbestände der landwirtschaftlichen Betriebe sind durch das INVEKOS ebenso bekannt wie die Flächennutzung. Zur Verfeinerung der tierischen Leistung können die Leistungsdaten der ZAR (Zentrale Arbeitsgemeinschaft der Rinderzüchter) herangezogen werden. Allgemeine geographische Informationen aus dem digitalen Kataster und dem digitalen Höhenmodell ergänzen diese Datenbestände durch ihren räumlichen Aspekt. Ein entscheidender Schritt für die Berechnung von Nährstoffbilanzen individueller Betriebe ist die Kenntnis über deren Grundfutterqualität und Ertrag. Da der Ertrag in diesem Projekt

nicht direkt bewertet werden kann, wird die Futterbasis über die Qualität des Grünlandes und deren Verzehrsmengen bei gegebener Leistung ermittelt. Zur Schätzung der Qualität wird ein eigenes Modell auf der Basis der Futteranalysendatenbank des Futtermittellabors Rosenau errichtet.

Die GIS gestützte Modellierung der Nährstoffbilanzen österreichischer Grünlandbetriebe wird in 6 Teilschritten, die in der angeschlossenen *Abbildung 3* ersichtlich sind, durchgeführt.

1. Schritt: GIS-Datengewinnung:

Aus der digitalen Katastralmappe DKM werden die Grundstücke, die im Bereich der Grünlandbetriebe betroffen sind selektiert. Aus dem digitalen Geländemodell DGM wird jedem dieser Grundstücke eine durchschnittliche Seehöhe, die Hangneigung und Exposition zugeordnet. Aus den Klimadaten des Hydrologischen Atlas können Temperatur und Niederschlagsdaten gewonnen werden. Durch die Verknüpfung von INVEKOS-Daten mit den Grundstücksdaten werden diese durch zusätzliche Attribute wie Besitzer, Bewirtschaftungsform und Intensität erweitert.

2. Schritt: Modell der österreichischen Grundfutterqualität

Das Futtermittellabor Rosenau der Niederösterreichischen Landeslandwirtschaftskammer verfügt über eine seit 1998 auch mit Einsenderadressen (= lokale Herkunft) versehene Analysendatenbank. Aus den derzeit rund 50.000 Datensätzen stehen derzeit ca. 20.000 Datensätze zur Modellbildung zur Verfügung. Die im GIS-Bereich gewonnenen Daten wie Höhenlage, Hangneigung und Exposition sollen neben Klimafaktoren und räumlichen Abgrenzungen, wie den Kleinproduktionsgebieten nach Wagner (WAGNER, 1990) in das Modell einfließen. Ziel des Modells ist die Schätzung der Grundfutterqualität jeder österreichischen Grünlandfläche über deren Parameter.

3. Schritt: Leistungsermittlung der tierischen Produktion

Für Kälber und Aufzuchttrinder wird das Leistungspotential an die allgemeinen Empfehlungen der Beratung angelehnt. Für Milchkühe werden die Leistungsdaten der Firma „Zucht-Data“ herangezogen.

Betriebe, die nicht Mitglied des Milchkontrollverbandes sind, werden über deren Referenzmenge beurteilt. Für Masttiere, Mastkalbinnen und Ochsen können ebenso Daten des INVEKOS und der Firma „Zucht-Data“ verwendet werden.

4. Schritt: Futtermengenermittlung

Im Modell soll eine bedarfsangepasste Fütterung aller am Betrieb vorhandenen Tiere unterstellt werden. Mittels Futteraufnahmeschätzungen und Nährstoffbedarfsermittlung wird die Menge des benötigten Grund- und Kraftfutters ermittelt. Dieser Bereich erfordert die Entwicklung einer Reihe von Berechnungsalgorithmen, die für jedes Tier in Österreich eine optimale Rationszusammensetzung in Abhängigkeit der am Betrieb vorhandenen Futtermittel und des tierischen Leistungsniveaus berechnen.

5. Schritt: Nährstoffbilanzierung

Die Nährstoffmenge aus dem Grundfutter wird dem berechneten Düngemittelanfall gegenübergestellt (Feldbilanz). Die in den Betrieb eingebrachten Nährstoffe (Futtermittel) werden den Nährstoffen die den Hof verlassen (Produkte) gegenübergestellt (Hoforbilanz).

Hinter der Nährstoffbilanzierung versteckt sich mehr als eine einfache Gegenüberstellung von Nährstoffmengen. Es müssen für jeden Verbraucher, also für jede Tierart die Bedarfsmengen von Nährstoffen in der Form von Erhaltung- und Leistungsbedarf festgestellt werden.

Die gestaltet sich schon aus der Sicht der Datenerfassung als besonders schwierig. Darüber hinaus befinden sich alle Komponenten in unterschiedlichen Systemen, die erst über den Endbedarf an Stoffen zusammengeführt werden können. Mit einer Präsentation von Bilanzierungsergebnissen kann also in dieser Diplomarbeit noch nicht gerechnet werden.

6. Schritt: Visualisierung

Moderne GIS-Systeme ermöglichen die Erstellung von 2- und 3-dimensionalen Abbildungen.

2.3 Gesetzliche Grundlagen des Emissions- und Immissionsschutzes

Die Bedeutung der Untersuchung ökologischer Zusammenhänge kann aus der gesellschaftlichen Meinung abgelesen werden. Der Zeitgeist fordert eine Minimierung der Umweltbelastung. Für die landwirtschaftliche Urproduktion wird zusätzlich auch noch ein hoher Qualitäts- und Gesundheitsfaktor der Produkte gefordert.

Das Abbild der gesellschaftlichen Meinung innerhalb einer Demokratie ist letztendlich die Gesetzgebung. Diese Arbeit erhält seine Berechtigung zum Teil Kraft der nationalen und internationalen Gesetzgebung. Eine kurze Übersicht soll an dieser Stelle eingearbeitet werden.

Die ersten Gesetze, die zum Schutz der Umwelt und aus Gründen der Lebensmittelsicherheit erlassen wurden, dienten zur Regulierung des Einsatzes von Spritzmitteln und Düngern im Pflanzenbau. Verordnungen zum Schutz des Trinkwassers folgten kurz danach. An eine rechtliche Regulierung der gasförmigen Emissionen wurde lange Zeit nicht gedacht. In den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts begann durch das Waldsterben, welches auf den Schwefelausstoß von Industrie und Verkehr zurückzuführen war, ein Umdenken im Umgang mit der Umwelt. In Österreich wurde 1972 ein Umweltministerium eingerichtet. Die EU folgte mit der Errichtung einer Generaldirektion für Umwelt und Verbraucherschutz. Rund 10 Jahre später fand die erste Weltklimakonferenz statt, dessen Schlussakt die Bedeutung einer internationalen Zusammenarbeit im Bereich des Umweltschutzes hervorhebt. Bei der Konferenz von Rio im Jahre 1992 wurde die Grundlage des

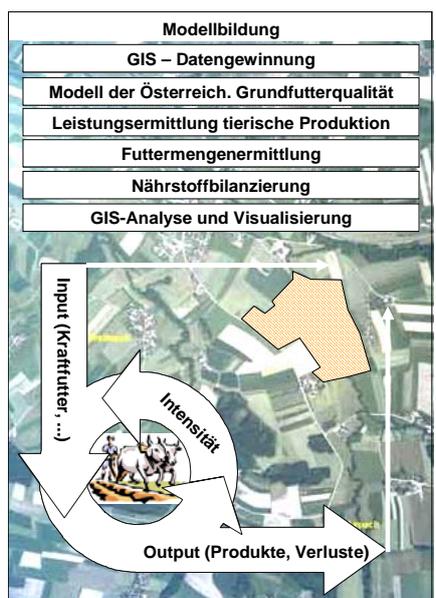


Abbildung 3: Schritte der Modellbildung

Entwicklungsgeschichte des nationalen und internationalen Umweltrechts

Wichtige Gesetze, Richtlinien, Institutionen und Programme

Thomas Guggenberger, Abteilung für Innenwirtschaft und Ökolometrie, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

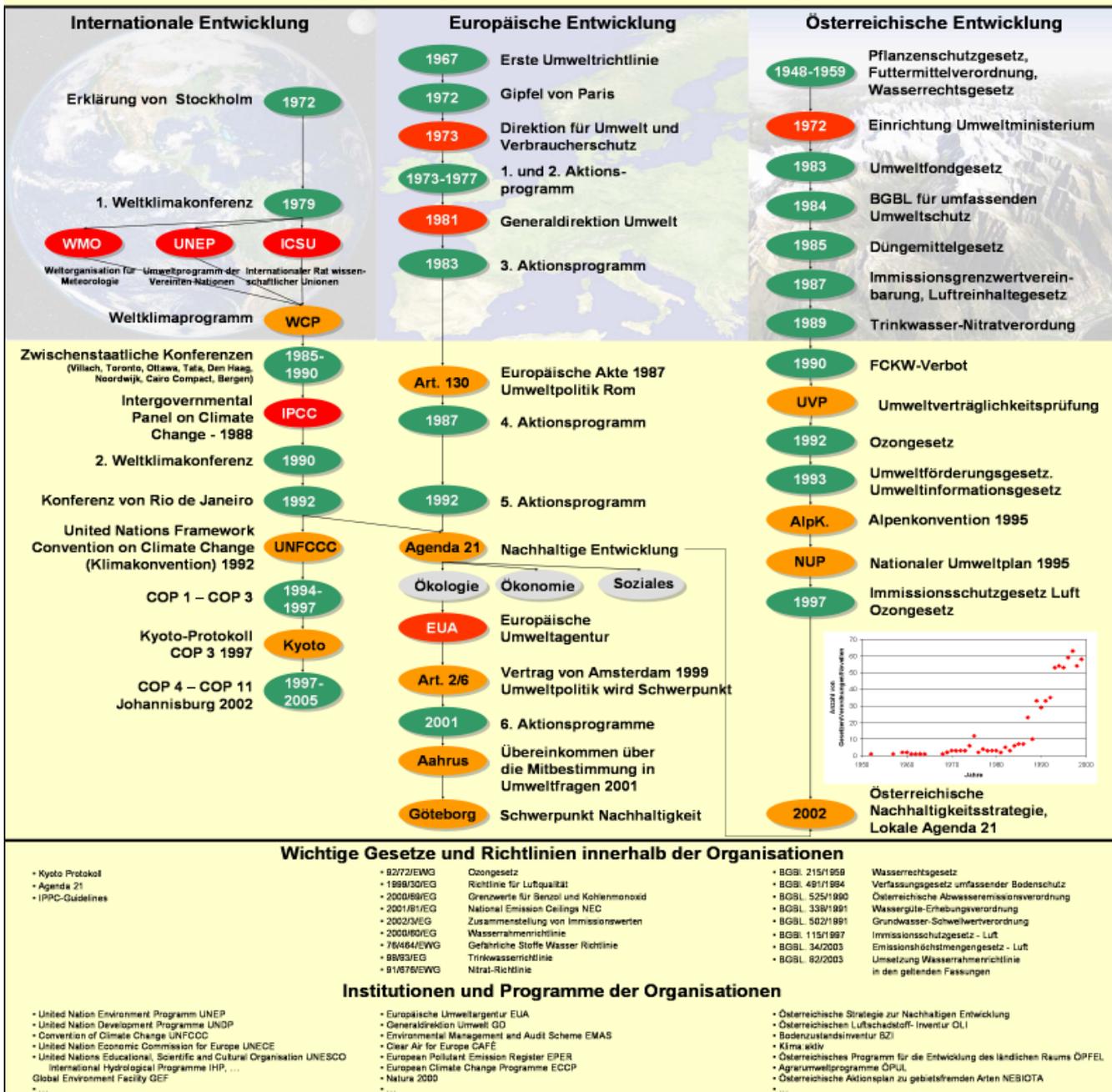


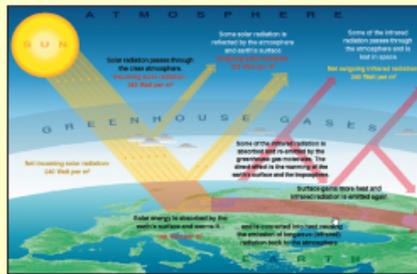
Abbildung 4: Übersicht Umweltgesetzgebung

Landwirtschaft und Klima-, Luft-, Wasser-, Bodenemissionen in Österreich

Thomas Guggenberger, Abteilung für Innenwirtschaft und Ökolometrie, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Klima

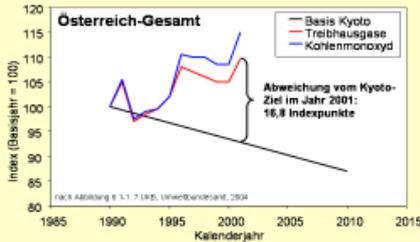
Die Sonne versorgt die Erdoberfläche mit Energie und lässt so Leben entstehen. Rund 30 % dieser Energie strahlen von der Erde aber wieder in der Form von Infrarotstrahlung in den Weltraum ab. Glücklicherweise verhindern die in der Atmosphäre natürlich vorkommenden Treibhausgase (Greenhouse Gases, ca. 1% der Atmosphäre) den völligen Verlust dieser Strahlung. Die Temperatur auf der Erde würde ohne sie um 30° C sinken. Durch die enorme Geschwindigkeit der Verbrennung fossiler Kohlenstoffquellen in den letzten 50 Jahren steigt der Anteil an Treibhausgasen aber deutlich an. Die Abstrahlung der Infrarotstrahlung wird zusätzlich behindert, und ein Temperaturanstieg ist die Folge. Klimamodelle des IPCC sagen einen Temperaturanstieg um rund 2° C mit allen seinen Folgen voraus.



- Treibhausgas sind:**
- Wasserdampf H₂O
 - Kohlendioxid CO₂
 - Ozon O₃
 - Methan CH₄
 - Lachgas N₂O
 - Fluorchlorkohlenwasserstoffe FCKW

Ein geringster Temperaturanstieg verändert metrologische Parameter wie Wolkendecke und Windverhältnisse. Einige führen dabei zu zusätzlichen Erwärmungen, andere zu Abkühlungen.

Derzeitige Energiestörung: 2,5 Watt/m²



Die Reduktionsziele im Kyoto-Protokoll sind ein erster Schritt um die Treibhausgas-Konzentrationen zu stabilisieren – dazu wäre generell eine Minderung um mindestens 70% notwendig. Österreich ist seinem Kyoto-Ziel (minus 13% bis zum Jahr 2010 auf Basis der Werte von 1990) nicht näher gekommen, sondern verzeichnete von 1990 bis 2002 einen Anstieg der Emissionen um über 10%. Dies ist vor allem auf den steigenden fossilen Brennstoffeinsatz zurückzuführen; den größten Zuwachs verzeichnete der Verkehrssektor (plus 62% seit 1990). Es müssen daher dringend zusätzliche Maßnahmenpakete implementiert werden, um die jährlichen Emissionen entsprechend zu reduzieren, aber auch die Anpassungsstrategien an die Auswirkungen des Klimawandels, wie beispielsweise Hochwasser, müssten entsprechend voran getrieben werden. (UBA, UKB 2004)

Treibhausgasemissionen des Landwirtschaftsbereiches bestanden im Jahr 2001 zu 53 % aus CH₄ und zu 47 % aus N₂O-Emissionen (in THG-Äquivalenten). Variierende Viehbestandszahlen, der (damit einhergehende) unterschiedlich hohe Anfall von organischem Dünger, die Art und Weise der Güllelagerung und der Viehhaltung, sowie die Düngeintensität sind die wesentlichsten Einflussgrößen der Emissionsentwicklung. Der Anteil der Landwirtschaftsemissionen im Jahr 2001 betrug mit 9 % um einen Prozentpunkt weniger als 1990 (UBA, 7.UKB, 2004).



Luft

Mensch und Umwelt sind in Österreich trotz zum Teil erheblicher Fortschritte in der österreichischen und europäischen Luftreinhaltepolitik vor allem bei den Luftschadstoffen Feinstaub, Ozon und Stickstoffoxide weiterhin hohen Belastungen ausgesetzt.

Luftschadstoff	Emision NEC	Investitions-Tonnen/Jahr	gesteuerte
Schwefeldioxid SO ₂	39.000	120	µg/m ³ 1
Stickoxide NO _x	103.000		
Ammoniak NH ₃	66.000		
Flüchtige Organische Verbindungen NMVOC	159.000		
Stickstoffdioxid NO ₂			80 µg/m ³ 1
Schwefeldioxid TSP			150 µg/m ³ 1
Feinstaub PM10			50 µg/m ³ 2
Ozon O ₃			110 µg/m ³ 3

1 ... Tagesmittelwert
2 ... Tagesmittelwert max. Anzahl an Überschreitungen
3 ... Gliedernde Achtstundensmittelwert
4 ... Jahresmittelwert

**Ammoniak 97 %
Stickoxide 2,5 %
NMVO 1 %**

Neben den Treibhausgasen Methan und Lachgas fällt in der Tierproduktion vor allem Ammoniak als zusätzlicher gasförmiger Schadstoff an. Mit einem Anteil von 37 % bei den versauernd wirkenden Luftschadstoffen leistet Ammoniak einen hohen Anteil bei der Eutrophierung. Zusätzlich ist die Landwirtschaft in geringem Ausmaß an der Bildung von Stickoxiden (2,5 %) und flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (1%) beteiligt. (UBA,7.UKB,2004)



**Nitrat, Nitrit
Ammonium
Na, K, Cl,
o-PO4-P**

Die Produktionskreisläufe der Landwirtschaft sind nicht vollkommen geschlossen. Betriebsfremde Futtermittel in der Tierhaltung oder zugekaufte Handelsdünger erhöhen die Nährstoffimporte. Diese reichern sich im Boden an und können je nach Löslichkeit mehr oder weniger schnell in das Grundwasser gelangen. Emissionsgrenzen werden über die „Richtlinien für sachgerechte Düngung“ eingeführt, und sollen sowohl den Boden, als auch das Grundwasser schützen.

Boden Wasser

Der Boden ist als Immissionsmedium der Luft einem ständigen Stoffeintrag ausgesetzt. Nutzung und Düngung durch die Landwirtschaft beeinflussen die Stoffbilanz. Als durchlässiges Medium gibt der Boden die Stoffe an das Grundwasser ab. Dort können Schadstoffe erkannt werden.

	Nitrat (mg/l)	Nitrit (mg/l)	Ammonium (mg/l)	Calcium (µg/l)	Chlorid (µg/l)	Kalium (µg/l)	Orthophosphat (µg/l)
Aufwärtstrend	5	9	0	1	49	14	40
Abwärtstrend	65	5	7	26	30	12	11
Kein Trend	52	23	47	4	7	62	49
Trendsunkelt	1	0	0	0	0	0	0
keine Berechnung	35	127	95	130	120	35	42
	34	60	34	42	34	60	34

Gesamtzahl der untersuchten Grundwassergebiete: 158
Quelle: UBA, 7.UKB, 2004, Tabelle 4.1-3

- **Stickoxide:** Entstehen als unerwünschtes Nebenprodukt der Verbrennung von Treibstoffen. Der landwirtschaftliche Anteil von 2,5 % konnte in den letzten Jahren nur geringfügig gesenkt werden. Insgesamt werden die Grenzen des NEC um 96.000 Tonnen überschritten. Stickoxide gefährden die Gesundheit des Menschen (Lunge) und tragen als Vorläufersubstanz zur Bildung von Ozon bei.
- **Ammoniak:** Die Ammoniakemissionen sind primär für die Bildung versauernder und eutrophierender Schadstoffe verantwortlich, darüber hinaus für die Bildung sekundärer Partikel. 97 % der Ammoniakemissionen Österreichs stammten 2001 aus der Landwirtschaft, der Großteil davon stammt aus der Nutztierhaltung und dem Güllemanagement im Zeitraum 1990 bis 2001 ist ein Anstieg um 3 % auf etwa 54.000 Tonnen zu verzeichnen. Die NEC Grenzen werden unterschritten.
- **Flüchtige Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC):** werden größtenteils durch die Verdunstung von Lösemitteln und Treibstoffen sowie durch unvollständige Verbrennungsvorgänge emittiert. Einen nicht unbedeutlichen Beitrag liefern auch biogene Quellen, hier vor allem der Wald. Die Grenzen des NEC werden derzeit um rund 73.000 Tonnen überschritten
- **Schwefeldioxid:** entsteht hauptsächlich beim Verbrennen von schwefelhaltigen Brenn- und Treibstoffen bei den Produktionsprozessen der Eisen- und Stahlindustrie, sowie der Schwefelsäureerzeugung in der chemischen Industrie.



- **Anorganische Schadstoffe in Böden:** Ein an über 200 Standorten in Österreich durchgeführtes Moosmonitoring auf Schwermetalleinträge aus der Luft zeigt folgende Werte (g/ha/Jahr): Blei 25 (rückläufig), Cadmium 2 (rückläufig), Nickel 50 (rückläufig), Chrom 15 (rückläufig), Kupfer 100 (steigend), Zink 330 (steigend) (UBA, 7.UKB, 2004)
- **Beispiele regionaler Belastungen im Boden:** Die Richtwerte für Blei werden auf 0,5 % der Acker-, 2,8 % der Grünland- und 8,2 % der Waldflächen vor allem nördlich des Alpenhauptkammes, am Südrand der Alpen und im Inntal überschritten. Cadmiumüberschreitungen werden auf 0,3 % der Acker-, 6,1 % der Grünland- und 8,2 % der Waldflächen vor allem in den nördlichen Kalkalpen und in Südkärnten gemessen.
- **Grundwasser:** Aus der Untersuchung von 158 Grundwassergebieten konnte ein Rückgang an Nitrat- und Nitritverunreinigungen erkannt werden. Bei 56 von 158 Gebieten wurde allerdings ein Aufwärtstrend für den Nährstoff Kalium festgestellt. Ebenso zeigen Natrium, Chlorid und Orthophosphat einen deutlichen Aufwärtstrend.
- **Oberflächenwasser:** Das Problem der Wassergüte sowohl bei den Fließgewässern, als auch bei den stehenden Gewässern ist nahezu gelöst.

Diese Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, versucht aber zentrale Positionen darzustellen.



Abbildung 5: Landwirtschaft und Emissionen

Kyoto-Protokolls geschaffen, das die Regulierung des Schadstoffausstoßes auf internationaler Ebene vorsieht. Parallel zur internationalen Ebene entwickelte die Europäische Union sechs Umweltaktionsprogramme, die zum großen Teil im Range einer Richtlinie stehen und von den Mitgliedsländern in nationales Recht umzusetzen sind. Dies gilt auch seit dem EU-Beitritt für Österreich. Bereits lange vorher wurden aber nationale Gesetze zum Schutz von Boden, Wasser und Luft beschlossen. Die Reduktion von festen, flüssigen und gasförmigen Emissionen konnten deutlich reduziert werden. Die im Kyoto-Protokoll fixierte Reduktion der Treibhausgase ist aber wohl nicht zu erreichen.

Der Anteil der Landwirtschaft an den Gesamtemissionen in Österreich ist als gering zu beurteilen. Durch die großflächige Bewirtschaftung des Bundesgebietes mit Dauergrünland und Wald verfügt Österreich über eine grüne Lunge, die einen Teil der lokalen Schadstoffe filtert und abbauen kann. Durch die Haltung von Nutztieren entstehen aber auch mineralische und gasförmige Abfallprodukte, welche die Umwelt belasten. Methan,

ein gasförmiges Abbauprodukt der Vergärung von organischen Stoffen, ist dabei ein bedeutendes Treibhausgas. Mineralische Stoffe wie Nitrat, Phosphor und Kalium gelangen bei zu intensiver Düngung auf strukturschwachen Böden bis in das Grundwasser.

Stoffbilanzierungen, die für alle gewerblichen und landwirtschaftlichen Unternehmen in Österreich zu fordern wären, würden potentielle Emittenten, weit über bestehende Gesetze, aufdecken. Dabei wird neben den Schadstoffen vor allem auch an die Verwendung von Energie gedacht. Die Produktion von diversen industriellen Rohmaterialien und der intensive Transport von Gütern könnte so in Frage gestellt werden. Dadurch würden die Chancen für nachhaltige, lokale Produktionssysteme entscheidend erhöht werden.

2.4 Überleitung

Innerhalb dieser Arbeit ergeben sich zwei große fachliche Blöcke, die auch in der Struktur dieses Dokuments ihren Niederschlag finden. Der erste Bereich befasst sich mit der Frage, welche Strukturen notwendig sind, um die 6 Schritte der

Aufgabenstellung zu bewältigen. Diese Strukturen werden in der Modellbildung besprochen.

Der zweite Bereich befasst sich mit den praktischen Methoden der Geoinformatik. Dort werden einzelne GIS - Analyseverfahren vorgestellt, und deren Integration in das Modell erörtert. Der theoretisch noch notwendige dritte Block, der die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge beschreibt, bleibt in dieser Arbeit ausgeklammert. Eine eigene Publikation darüber wird zu einem späteren Zeitpunkt noch veröffentlicht. In dieser Arbeit werden die neuen Ergebnisse über den Modellbau und die GIS – Analyse im Bereich Material und Methoden präsentiert. Die Resultate des naturwissenschaftlichen Themas werden im Bereich der Ergebnisse beschrieben. Dabei kann aber noch nicht mit den Endergebnissen der Nährstoffbilanzierungen als Feld- oder Hoftorbilanz gerechnet werden. Alle Eingangsdaten der Bilanzierung können aber aus dieser Arbeit entnommen werden. Es bieten sich also je nach Interessen der Bereich Material und Methoden und der Bereich Ergebnisse als Lieferant neuer Informationen an.

3. Material und Methoden der Modellbildung

3.1 Grundsätze der Modellbildung

3.1.1 Notwendigkeit des vereinfachten Denkens

Die geographische Sicht des Urmenschen war mit dem Horizont seines Jagdgebietes abgegrenzt.

Naturwissenschaftliche Zusammenhänge waren bestenfalls im Rahmen des Lebenserhaltungstriebes bekannt und soziale Interaktionen noch auf ein Minimum begrenzt. Im Laufe der Evolution entwickelte der Mensch aber über einige Sprungstellen (Sprache, Schrift, Abbildungen) die Fähigkeiten seine Umgebung zu untersuchen, die Erkenntnisse zu kombinieren und das Erlernte weiterzugeben. So entstanden als Urahnen der Geographischen Informationssysteme (GIS) die ersten lokalen Abbildungen unsere Erde (Plan der Stadt Nippur, 1500 v. Chr.). Herodot (500 v. Chr.) beschreibt immerhin schon eine Region, die von Spanien im Westen, den Alpen im Norden, Indien im Osten und Äthiopien im Süden begrenzt wird. Das grobe Ausmaß mag also ca. 8000 x 2000 km betragen haben. Die kleinste mit dem Auge erkennbare Einheit liegt dagegen im 1/100 mm Bereich. Seit damals hat sich mit technischen Hilfsmitteln die erkennbare (Um) Welt des Menschen um das 1,77E+28-fache vergrößert. Es ist unmöglich, diese enorme Spannbreite abzubilden und es wäre geradezu fahrlässig es hinsichtlich einer gegebenen Themenstellung zu versuchen. Der Focus für das Wesentliche würde verloren gehen.

3.1.2 Modelltheorie und Integration in die notwendigen Fachgebiete

In der klassischen Definition wird ein Modell als vereinfachtes Abbild der Realität angesehen.

Eine von breiten Kreisen der Forschung aufgenommene allgemeine Modelltheorie wurde 1973 von Herbert Stachowiak vorgeschlagen. Der in dieser Modelltheorie entwickelte Modellbegriff ist nicht auf eine Fachdisziplin festgelegt. Er will vielmehr domänenübergreifend, also allgemein anwendbar sein. Nach Stachowiak ist der Begriff Modell durch drei Merkmale gekennzeichnet:

1. *Abbildung.* Ein Modell ist immer ein Abbild von etwas, eine Repräsentation natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modell sein können.
2. *Verkürzung.* Ein Modell erfasst nicht alle Attribute des Originals, sondern nur diejenigen, die dem Modellschaffer bzw. Modellnutzer relevant erscheinen.
3. *Pragmatismus.* Pragmatismus bedeutet soviel wie Orientierung am Nützlichen. Ein Modell ist einem Original nicht von sich aus zugeordnet. Die Zuordnung wird durch die Fragen Für wen?, Warum? und Wozu? relativiert. Ein Modell wird vom Modellschaffer bzw. Modellnutzer innerhalb einer bestimmten Zeitspanne und zu einem bestimmten Zweck für ein Original eingesetzt. Das Modell wird somit interpretiert.

Ein Modell zeichnet sich also durch Abstraktion aus, also die bewusste Vernachlässigung bestimmter Merkmale, um die, für den Modellierer oder den Modellierungszweck wesentlichen Modelleigenschaften hervorzuheben (STACHOWIAK, 1973).

Unterscheidet man Modelle nach ihrer gedanklichen Ausrichtung, so ergeben sich beschreibende, vorhersagende, forschungsorientierte und planende Modelle (TOMLIN, 1990, PUTAR, 2003). Die beschreibenden und vorhersagenden Modelle sind für Geoinformatiker besonders wichtig, da mit ihnen Ereignisse der Vergangenheit und zukünftige Szenarien verbunden werden können. Ein Beispiel dafür ist die Analyse der Siedlungsentwicklung in Ballungsräumen mit dem Ergebnis von Raumordnungskonzepten für die Zukunft.

Eine weitere Einteilung von Modellen für die Geoinformatik orientiert sich nach den Bausteinen des Modells. Dabei können physikalische, analoge, konzeptionelle und digitale Modelle unterschieden werden.

Jedes der für dieses Projekt relevanten Fachgebiete bedient sich in hohem Maße der Abstraktion und bildet so die Realität als Modell ab. Diese Bereiche sind die Geoinformatik und die Digitalkartographie als kombinierte Fachrichtungen der Landwirtschaft aus dem Bereich der Biologie.

Geoinformatik und Digitalkartographie:

Die Modelle der Geoinformatik sind in erster Linie digitale Datenmodelle, welche die Realwelt mit ihren Objekten und deren Raumbezug in Datenbanken abzubilden versuchen (BARTELME, 2005: Kapitel 2.1). Dabei entstehen die zwei völlig unterschiedlichen Bereiche der Vektor- und Rasterdatensätze, auf die im Bereich der Datenbeschreibung noch näher eingegangen wird. Der Umgang mit diesen Datentypen erfordert in allen betroffenen Bereichen eine Anpassung

Tabelle 1: maximale und minimale Beobachtungsgrößen im Wandel der Zeit

Zeit	Messbarer Grenzwert in Meter		Verhältnis
	Minimum	Maximum	
500 v. Chr.	1.00E-05	8.00 E+06	1.77E+28
2000 n. Chr.	1.00E-14	1.42E+26	8.00E+14
Steigerung			1.42E+40
			1.77E+28

Quellen:

- <http://lexikon.astronomie.info/sterne/sterne.html>,
- <http://gutenberg.spiegel.de/fechner/epsyph11/epsyph11/epsyph11.htm>,
- <http://www.astronews.com/frag/antworten/frage026.html>

bzw. eine Erweiterung der bestehenden Methoden. Vor allem die Methoden der geometrischen Algorithmen bzw. der digitalen Bildverarbeitung wurden in der Geoinformatik massiv weiterentwickelt. Da sowohl die Geoinformatik als auch die Digitalkartographie identische Datenquellen und Softwaresysteme benutzt, verschmelzen diese Disziplinen immer mehr. Die Unterscheidung lässt sich aber am Endprodukt treffen. Die Digitalkartographie befasst sich in kartographischen Modellen mit der Erstellung von topographischen Karten. Die Geoinformatik entwickelt funktionale Systeme, die zur Optimierung diverser Fragestellungen oder zur räumlichen Orientierung dienen.

Landwirtschaft:

Die Modelle der Landwirtschaft kommen aus dem Bereich der Produktionsbiologie. Dort werden neben empirisch erfassten Zusammenhängen auch die Ergebnisse von Versuchsmodellen in mathematischen Zusammenhängen definiert. Seit einigen Jahren vereinen naturwissenschaftliche Modelle Grundlagedaten der GI-Systeme mit Fachdaten und deren Formelwelt. Heute zählt nicht mehr nur die Frage: Wie sind naturwissenschaftliche Phänomene ganz allgemein? Es gibt immer öfter die Erweiterung um die Frage des Ortsbezuges. Dadurch eröffnet sich ein nahezu endloses Betätigungsfeld. Die Grundlagenforschung der letzten Jahre will an unterschiedlichen Orten überprüft und angepasst werden.

3.1.3 Vorgehensweise und Grundregeln der Softwareentwicklung

Die Entwicklung von GI-Anwendungen hat großen allgemeinen Bezug zur Informatik. Aus diesem Grund sollen die wichtigsten Schritte des Software-Entwicklungsprozesses bei der Abwicklung dieses Projektes berücksichtigt werden. So kann das Fachgebiet des Software Engineering (SE) dazu beitragen, dass dieses Projekt zeitgerecht seine Ziele erreicht. Die wichtigsten Aktivitäten dieses Prozesses sind in der *Tabelle 2* aufgeführt.

Zu den Grundlagen des SE zählt neben den definierten Arbeitsschritten auch die Auswahl eines Vorgehensmodelles. Die in der *Tabelle 2* genannten Aufgaben werden nicht unbedingt linear abgearbei-

Tabelle 2: Arbeitsschritte bei der Entwicklung von Software

Arbeitsschritt	Aufgaben
Analyse	<ul style="list-style-type: none"> • Ermitteln der Problemstellung • Festlegen von Projektzielen (Sachziele, Terminziele, Kostenziele) • Evaluierung der technischen Möglichkeiten zur Umsetzung der Projektziele
Design	<ul style="list-style-type: none"> • Erschließung von Geo- und Fachdatenquellen • konzeptioneller Datenentwurf • logischer Datenentwurf • Definition der Funktionen und Schnittstellen
Implementierung	<ul style="list-style-type: none"> • physischer Datenentwurf • Programmieren von Funktionen
Test	<ul style="list-style-type: none"> • Systemtests • Evaluierung der Ergebnisse

tet, sondern können auch in Zyklen wiederholt werden. Da die Bearbeitung dieses Projektes auf weiten Strecken vom Autor durchgeführt wird, fällt die Entscheidung auf das Vorgehensmodell des explorativen Prototypings (SCHIFFER, 2004: Seite 45-48). Dabei wird die zu lösende Aufgabe in viele kleine Module zerteilt, welche dann Schritt für Schritt von der Analyse bis zur Implementierung in einem Prototyp verwandelt wird. Dieser Prototyp wird schlussendlich zum Produkt.

Der Vorteil dabei liegt darin, dass schon laufend Erkenntnisse und Ergebnisse gewonnen werden, und sich die Gefahr von zu spät erkannten Fehlentscheidungen minimiert. Die Aktivitäten des SE-Prozesses können aber auch in ein Flussdiagramm umgewandelt werden. *Abbildung 6* zeigt die Vorgehensweise in der Modellbildung und erweitert den Prozess um den Bereich der Entscheidungsfindung (MERWE, 1997: Kapitel 4). Dabei wird das Ergebnis der Modellbildung vor al-

lem hinsichtlich seiner Ergebnisse geprüft. Die Frage „Was ist wenn ...?“ Soll schon vor der Berechnung des Modells einen Ergebnisraum einschränken. So entstehen von vornherein mehrere Lösungsideen, die dann mit der tatsächlichen Lösung der Berechnung verglichen werden können. Es steht dann dem Entscheidungsträger immer noch die Möglichkeit offen, sich für das Ergebnis des Modells zu entscheiden oder alternative Lösungen zu akzeptieren.

Den Abschluss bildet immer eine möglichst gehaltvolle Dokumentation, die den Entscheidungsprozess beschreibt. So wird das Ergebnis auch für außenstehende Personen nachvollziehbar.

3.1.4 Wichtige Schritte zur Entwicklung eines Datenmodells

Die Abstraktion der Realwelt in ein Datenmodell kann systematisch in Einzelschritte zerlegt werden. Dabei sind die drei elementaren Abschnitte der Datenmodellierung vom konzeptionellen (Ab-

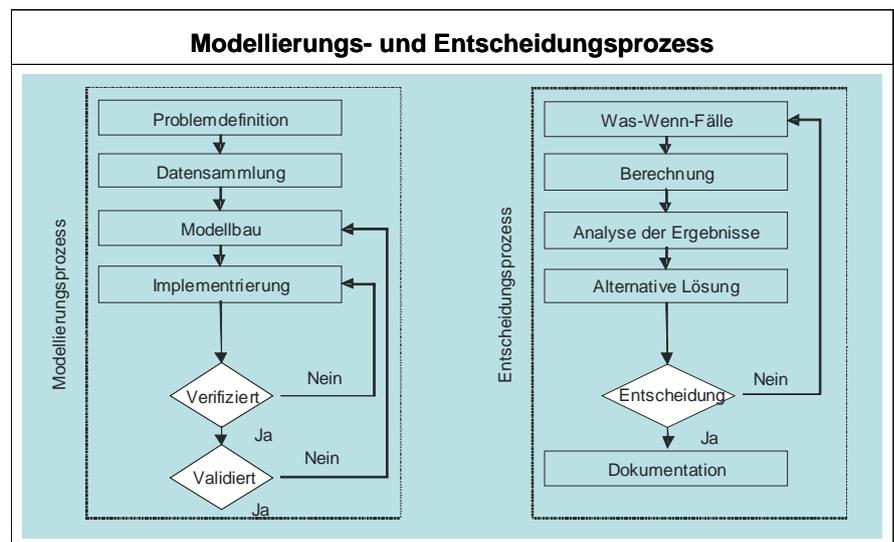


Abbildung 6: Flussdiagramm für SE und Entscheidungsprozesse

bildung von Objekten, Attributen und Interaktionen in einer Modellierungssprache) über den logischen (Überführung des Modells in einen Datenbankentwurf) bis zum physischen (Grundstruktur der Datenbank) Entwurf abzuarbeiten (SCHREFL, 2003: Kapitel Einführung). Es hat sich als sinnvoll erwiesen in dieser Reihenfolge vorzugehen (PUTAR, 2003: Kapitel 6):

1. Verbale Beschreibung der Aufgabenstellung, der Objekte und deren Interaktionen in einer natürlichen Sprache. Eine strukturierte Vorgehensweise ist nicht wichtig, jedoch müssen alle zu berücksichtigenden Fakten erfasst werden. Wird etwas nicht beschrieben, kann es später auch nicht modelliert werden.
2. Aus der verbalen Notation können eine Reihe von unterschiedlichen Modellen gebildet werden. In der einfacheren Form des Entity-Relationship-Modells (ERM, CHEN, 1976; BARKER, 1990) werden aus dem Text kleine Einheiten (Entitäten) isoliert und zueinander in Verbindung gestellt. Die *Abbildung 7* zeigt hier einen geographischen Zusammenhang zwischen Ländern und Städten sowie zwischen Routen und Teilstrecken. Dabei kann erkannt werden, dass es unterschiedliche Qualitäten von Beziehungen gibt. In der Datenbankterminologie spricht man von Assoziationen, die in drei Varianten auftreten können. Bei der 1:1 Verbindung, wie dem Beispiel der Länder wird jedem Objekt aus A genau 1 Objekt B zugeordnet. Weitet man die Menge der aus B zugeordneten Objekte auf n aus, entsteht die 1:n Verbindung. Sind sowohl in A als auch in B mehrere Eintragungen gegenseitig zuordenbar, spricht man von einer m:n Verbindung. Die Weiterentwicklung des ER-Modells ist das Objekt-Rolle-Modell (ORM, HALPIN, 1995). Hier werden den Verbindungen zwischen den Entitäten bereits Rollen und Verpflichtungen (muss vorhanden sein, darf null sein, ...) zugeordnet. Die letzte Entwicklungsstufe der Modellbildungssprachen ist die Unified Modelling Language (UML, Objekt Management Group). Hier wird noch eine Reihe von zusätzlichen Möglichkeiten eingeführt. Am Ende der Spezifikation dieses Projektes wird der



Abbildung 7: Objektbeziehungen

Datenentwurf in UML vorliegen. Es erscheint deshalb als sinnvoll, im Anschluss an diese Verhaltensregeln eine kurze Übersicht über UML zu geben.

3. Aus dem gebildeten Modell wird der technische Entwurf gestaltet. Die Objekte, Attribute und Beziehungen müssen nun in die individuellen technischen Regeln des gewünschten Datenbank-Produktes umgewandelt werden. Es entstehen Tabellen oder Objekte, die nun tatsächlich mit einzelnen Daten (verschiedenen Länder und deren Hauptstädte, ...) gefüllt werden können. Auch für GI-Anwendungen existieren in der Zwischenzeit eine Reihe von Computer-Aided Software Engineering (CASE) Werkzeugen, die diesen Schritt automatisch durchführen.

3.1.5 UML als GI-Modellierungssprache

Für jedes Objekt der Realwelt wird in UML eine Objektklasse erstellt, die im Kopf den Klassennamen und im Rumpf die Attributnamen enthält. Diese abstrakte Darstellung kann als Schablone interpretiert werden, die zur Laufzeit mit individuellen Daten (Instanzen) gefüllt wird. Jede Instanz verfügt auf der Objektebene über eine einmalige Identität, den „impliziten Identifier“ (SCHREFEL, 2003: Kapitel Konzeptueller Entwurf mit UML). In objektorientierten Anwendungen wird dieser zum gegenseitigen Verweis von Objekten verwendet. Um einzelne Objekte innerhalb einer Datenbank zu finden, können zusätzlich auf einzelne Attribute Identifier vergeben werden. Diese expliziten Identifier werden durch geschweifte Klammern mit der Kennung ID dargestellt. Assoziationen zwischen Objektklassen (Darstellung: Linienform) werden durch einen Rollennamen und die Art der Verbindung durch deren Multiplizitäten (1,*,1..*,...) gekennzeichnet.

Objektklassen können auf sich selbst oder auf andere Klassen verweisen. Eine zusätzliche Präzisierung kann durch die Abhängigkeitsdarstellung in Form einer Aggregation oder Komposition erreicht werden. Während Objekte der Aggregation auch einzeln bestehen können (Ort als Teil eines Bundeslandes), sind diese bei der Komposition ohne deren Hauptobjekt nicht sinnvoll (Grenzlinien als Teil eines Bundeslandes). Als letztes neues Element finden wir die Vererbung. Diese ermöglicht eine Spezialisierung auf der Basis eines Ausgangsobjektes. So kann eine ganz allgemeine Definition der Objektklasse Ort mit seinen X/Y-Koordinaten und die Kategorien Bundeshauptstadt, Landeshauptstadt, Bezirkshauptstadt und Sonstige weiter spezialisiert werden. Dabei werden alle Eigenschaften der hierarchisch höher liegenden Klasse mit übernommen.

Als komplexeres zusammengesetztes Beispiel findet man in *Abbildung 8* das Simple Feature Object (OGC, 1999, LONGLEY, 2000: Seite 190-192). Dieses beschreibt den im Rahmen der Bemühung um erhöhte Interoperabilität verfassten Zusammenhang zwischen einfachen und komplexeren räumlichen Strukturen. Dabei werden alle in modernen GIS-Systemen verwendbaren Geometrien abgedeckt. Punkt, Linien und Polygon sind die Ausgangselemente. Gruppieren bilden diese Geometrien die Multi-Objekte (MultiPoint, MultiCurve, MultiSurface). Die Summe aller Geometrien hat ihren Ursprung in der Klasse Geometry.

Die einzelnen Geometrien sind Klassen, die in ihren Attributen die Datenaussage eines Objektes speichern. Zusätzlich sind Klassen mit Methoden ausgestattet, die einen operativen Zugriff auf die Daten gestatten. Mehrere Klassen stehen über Assoziationen in Verbindung. Bestehen Abhängigkeiten, so können diese über die

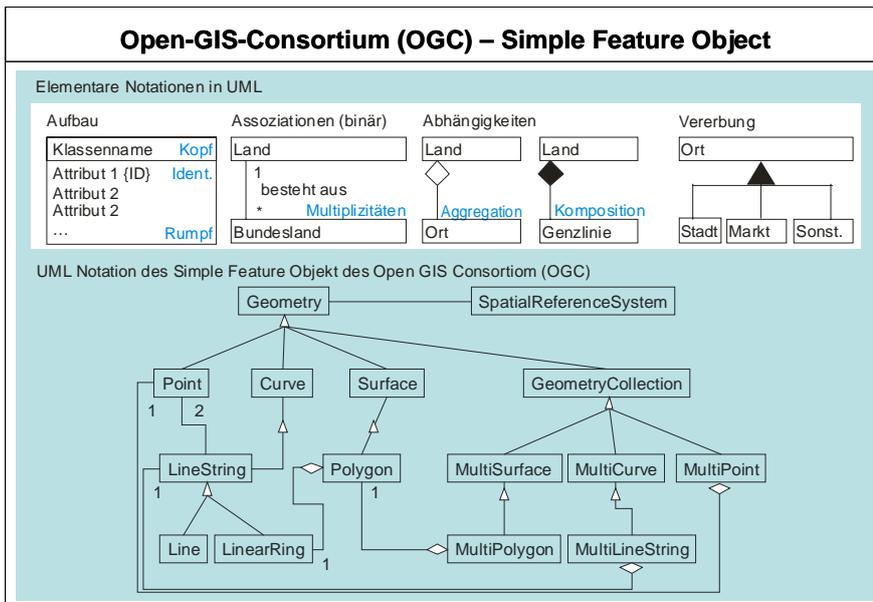


Abbildung 8: OGC – Simple Feature Object

Aggregation oder Komposition dargestellt werden (Polygon-Linear Ring).

3.1.6 Datentypen der Geoinformatik

Als Vorbereitung zur eigentlichen Analyse der Geodaten muss eine Beschreibung der elementaren Geodatentypen vorgenommen werden. Die Beschreibung von Geodaten ist in zwei Blickrichtungen möglich: Strukturell unterscheiden wir Vektor- und Rasterdaten, semantisch Geo- und Sachdaten (BARTELME, 2005 Kapitel 2.4, BERNHARDESEN, 2002: Kapitel 4).

Vektordaten(modell):

Entstehen durch die Erfassung von Punkten und deren erweiterten Strukturen wie Linien und Flächen. Vektordaten sind hinsichtlich des Raumbezuges nicht kontinuierlich. Es ist also davon auszugehen, dass nicht jeder beliebige Ort eines Beobachtungsausschnittes mit Daten beschrieben wird. Für jedes Element aus der Menge der Vektordaten ist der Raumbezug durch die explizite Angabe von X/Y-Koordinaten herzustellen. Zusätzlich können einem so positionierten Element eine Reihe von Attributen mitgegeben werden. Ein klassisches Vektordatenformat der GI-Anwendungen ist die Shape-Datei. Innerhalb dieser Dateien werden die einzelnen Vektoren in optimierten Strukturen abgelegt, die Zuordnung der Attribute erfolgt in einer dbase-Datei.

Vorteile des Vektordatenmodells:

- Geringerer Speicherbedarf: Nur die tatsächlich erhobenen Elemente verbrauchen Platz.

- Höhere Genauigkeit: Der X/Y-Wert einer Erhebung ist ausschließlich vom Datentyp abhängig. Dadurch können Werte mit voller Erfassungsgenauigkeit eingetragen werden.
- Einfachere Zuordnung von mehreren Attributen: Eine Datenbankstruktur die auf Zeilen (Tupel) und Spalten beruht, lässt sich leicht erweitern.

Nachteil des Vektormodells:

- Geometrische Algorithmen sind viel schwieriger zu erstellen
- Die Stabilität der Daten ist deutlich geringer

Die Erhebung von Vektordaten kann auf vielfältige Weise durchgeführt werden. Die Fachrichtung der Geodäsie erstellt mit den Methoden der Vermessungstechnik laufende neue Vektordaten, die vor allem in der Digitalen Katastralmappe (DKM) gespeichert werden. Darüber hinaus werden vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen bei der Photogrammetrie, sowie in den GIS-Abteilungen der Länder große Mengen an Vektordaten erhoben, die im digitalen kartographischen Modell (KLOSTIUS, 2003: Seite 107) oder bei verwaltungstechnischen und gesetzlichen Aufgaben verwendet werden.

Rasterdaten(modell):

Durch die kontinuierliche, nahtlose Erfassung von Daten aus einer Beobachtungsebene entsteht ein (Daten)Abbild der Realwelt. Ein gutes Beispiel dafür ist die Fotografie: Durch die Betätigung des

Auslösers wird innerhalb eines vordefinierten Bereiches (Teilausschnitt des Filmes) eine Kopie des Beobachteten festgehalten. Die Größe des abgebildeten Ausschnitts wird durch die Optik des Gerätes (+/- Zoom) festgelegt, die Dichte der Bildpunkte durch das verwendete Filmmaterial. Dieses Beispiel lässt sich direkt auf das Rasterdatenmodell anwenden. Die Größe des Abbildungsbereiches entspricht dem Extent, die Dichte der Bildpunkte der gewählten Rasterweite. Aus der Beobachtungsebene wird im Normalfall ein Parameter erhoben. Ist dies in der Fotografie der Farbwert eines Bildes, kann in GI-Anwendungen beispielsweise ein Höhenwert eingetragen werden. Das interne Koordinatensystem des Rastermodells spricht bei diesem Wert vom Z-Wert.

Vorteile des Rastermodells:

- Vollständige Erhebung des beobachteten Ausschnittes.
- Einfache Algorithmen bei der Verrechnung mehrerer Datensätze
- Genaue Bestimmung der Topologie, und dadurch zusätzliche Funktionen (Lokal, Zonal, Fokal, Global) (ASCHAUER, 2004)
- Stabiles Datenformat

Nachteile des Rastermodells:

- Hoher Speicheraufwand
- Genauigkeit hängt von der Rasterauflösung ab, die bei großflächigen Projekten bestenfalls 25 Meter beträgt.
- Die Ergänzung mit mehreren Parametern ist problematisch

Die Erhebung von Rasterdaten erfolgt in der Praxis durch das Scannen von bestehenden Karten. Dabei können für kleinere Formate Flachbett- und für größere Trommelscanner verwendet werden. Auch die Daten der Fernerkundung liegen als Rasterdaten vor.

Geodaten:

Sind Daten, die einen räumlichen Bezug herstellen. Die Parameter der Geodaten hängen vom gewählten Koordinatensystem, sowohl in der Anzahl als auch im Wertebereich ab. Sowohl Vektor- als auch Rasterdaten sind Geodaten.

Sachdaten:

Sind alle zusätzlichen beschreibenden Daten.

3.2 Analyse

Die Aufgaben der Anforderungsanalyse, die auch die Definition der Problemstellung umfasst, wurden im Bereich der Einleitung und der gesetzlichen Grundlagen bereits erörtert. Die damit direkt verbundene Festlegung von Projektzielen ist nicht Inhalt dieser Arbeit, wurde aber im Rahmen der Kostenrechnung und des Controllings in diesem Projekt durchgeführt. Somit kann direkt auf die technische Analyse übergeleitet werden.

3.2.1 Die interdisziplinären Zusammenhänge in einem GI-System

Geographische Informationssysteme erzeugen mit ihren geometrischen Algorithmen eine hohe Anzahl von Aktionsmöglichkeiten auf klassischen Geodaten. Die praktische Umsetzung erfolgt dabei in Methoden, die eine Kombination aus bewerteten Daten und mathematischen Grundoperationen darstellen. Am Beispiel des Geo-Processing (ASCHAUER, 2004) kann dieser Zusammenhang gut erklärt werden. Aus der räumlichen Überlagerung von zwei Vektordatensätzen kann durch die Anwendung von unterschiedlichen logischen Operatoren (AND/OR/NOR) ein völlig differentes Ergebnis errechnet werden. Gleiches gilt für Rasterdaten, deren Z-Werte mathematischen Operationen bei identischen X/Y-Werten zugeführt werden können. Durch die wiederkehrende Anwendung von Methoden der Vektor- und Rasterdatenverarbeitung können Lösungen innerhalb eines definierten Datenraumes erzielt werden.

Diese Darstellung kann natürlich von einfachen mathematischen Operationen auch auf komplexere Formeln ausgeweitet werden. Die Inputparameter einer Formel müssen dann aber in Form eines Geodatensatzes vorliegen. Ausgehend von einer multiplen Regression mit einer Konstanten A und zwei dynamischen Werten B1 und B2 wird ein Berechnungsfall geprüft. Die Konstante A kann als allgemein gültiger Wert für alle Abhängigkeiten von B1 und B2 betrachtet werden. B1 und B2 sind Geodatensätze mit identischen räumlichen Ausprägungen aber unterschiedlichen Z-Werten. In Produkten der Firma ESRI kann diese Regression für Rasterdaten im Raster-Cal-

culator aufgelöst werden. Für Vektordaten kann durch geschicktes Verschneiden der Ausgangsdaten mit anschließender Berechnung das gleiche Ergebnis erreicht werden. Die dabei zur Verfügung stehenden mathematischen Methoden decken arithmetische, logarithmische und trigonometrische Probleme ab. Durch Individualprogrammierung kann dieser Bereich innerhalb der gängigen GI-Anwendungen noch erweitert werden, hat jedoch mit den allgemeinen Möglichkeiten der verwendeten Sprache seine Grenzen.

Mit steigendem interdisziplinärem Charakter der zu lösenden Formeln entsteht aber sowohl für Vektor- als auch für Rasterdaten ein Kreislauf, der möglicherweise zum Versagen des GI-Systems führt. Die Beweisführung dieser Aussage soll über folgendes Problem demonstriert werden:

Österreich ist nach WAGNER, 1990 in 87 landwirtschaftliche Kleinproduktionsgebiete unterteilt. In jedem finden wir Nutzflächen, deren geographische Ausdehnung und Positionierung über die DKM (Schlüssel Grundstücksnummer) definiert ist. Die tatsächlich vorliegende pflanzenbauliche Verwendung wird jedoch nicht direkt über diese, sondern über drei Zwischenschritte des INVEKOS festgelegt. Diese werden im Rahmen der noch folgenden Modellbildung genau erörtert. Letztendlich kann jedoch für jedes Grundstück eine Nutzungszusammensetzung aus rund 300 möglichen Varianten (% Wiese, % Gerste, % Wein, ...) festgelegt werden.

Jede dieser pflanzenbaulichen Nutzungsvarianten bringt unterschiedliche Produkte hervor. Deren Nährstoffgehalt (Fett, Eiweiß, Energie, ...) kann innerhalb der Kleinproduktionsgebiete durch Formeln definiert werden. Die dazu notwendigen Parameter sind Höhenlage, Hangneigung und Exposition des Grundstückes, eine Reihe von Klima- und Bodendaten, sowie allgemeine Informationen über die Bewirtschaftung des Grundstückes. Aus der Zusammenführung von Nutzungskategorien und Nährstoffgehalten kann in lokalen Systemen die produzierte Nährstoffsumme errechnet werden. Diese Summe bildet in der Nährstoffbilanzierung den Output der Feldebilanz und zugleich die für die Ernährung der Tiere zur Verfügung stehende Futtermenge.

Problemlösung mit Rasterdaten:

1. Jeder Datenbestand der angesprochen wird, muss im Extent des für die Nährstoffberechnung gültigen Bereiches zur Verfügung stehen = Faktor 82
2. Jede Nutzung muss individuell vorliegen (Z-Wert 0-100%) = Faktor 300
3. Die für die Nährstoffberechnung notwendigen Parameter, sowie die Bewirtschaftungsdaten sind zu berechnen = Faktor 20
4. Aus der Multiplikation der Faktorbewertung entstehen die notwendigen Rohdaten, die einer Verwertung zugeführt werden müssen. = $82 \times 300 \times 20 = 492.000$

Die enorme Anzahl der notwendigen Rasterdatensätze wird jedes System sprengen. Deshalb wird für komplexere Zusammenhänge auch praktisch nie ein ausschließlich rasterorientiertes Modell verwendet.

Problemlösung mit Vektordaten:

Während bei Rasterdaten die räumliche Festlegung unterschiedlicher Input-Daten durch die fixierten X/Y-Koordinaten kein Problem darstellt, ist diese Aufgabe bei Vektordaten ein zentrales Problem. Die Überlagerung von nicht deckungsgleichen Vektordatensätzen kann nur so gelöst werden, dass durch eine Verschneidung (Intersect) alle Teilmengen der Ausgangsdaten gebildet und mit deren Attribute versehen werden. Bei fein gegliederten, sich überschneidenden Strukturen kommt es zu einer enormen Vervielfältigung der Geodatensätze. Die tupelweise Verrechnung der Attribute stellt dann aber kaum ein Problem dar. Können aus den Datentabellen Schlüsselattribute ermittelt und an sonstige Fachdaten weitergegeben werden, entsteht die Möglichkeit, ein komplexes Datenmodell an die Geo-Daten anzubinden.

Aus der Betrachtung von Lösungssätzen auf Raster – bzw. Vektordatenebene kann die Problematik der großflächigen Geodatenverarbeitung erkannt werden. Rasterdaten haben die negative Eigenschaft, dass einheitliche Operationen für alle Objekte des Extents gelten. Vektordaten erhöhen durch die räumliche Verschneidung von Objekten die Anzahl der Teilmengenelemente. Zusätzlich steigt mit der Anzahl der Tabellen, bzw. deren Verbindungen, die Rechenzeit der Verarbeitung.

Die GIS-gestützte Modellierung der Nährstoffbilanzen von landwirtschaftlichen Betrieben wird wegen der großen Anzahl von zusätzlichen Fachdaten hauptsächlich in einem Vektordatenmodell umgesetzt. Bei der Berechnung von Attributen der Grundstücksdaten sowie in der Präsentation von Ergebnissen wird aber auch das Rasterdatenmodell verwendet. Das zur Verfügung stehende Softwarepaket ist sowohl für Raster- als auch für Vektordaten gut geeignet.

3.2.2 Datenbank (DB) und Datenbank-Managementsystem (DBMS)

Für die grundsätzliche Betrachtung der zur Verfügung stehenden Datenmodelle ist die bisher beschriebene Aufgliederung in Datentypen zwar hilfreich, jedoch orientiert sie sich mehr an einem technischen Umsetzungsmuster. Rückt man die Funktionalität der Realweltobjekte in den Mittelpunkt der Diskussion, ergibt sich ein völlig anderes Bild. Es stellt sich nicht mehr nur die Frage, wie Daten zerlegt und gespeichert werden, sondern auch, wie diese agieren und kommunizieren können. Aus „dummen“ Datensammlungen müssen funktionale Systeme entstehen, die deutlich mehr leisten sollen als die Summe ihrer Teile. Im praktischen Einsatz unterscheiden wir zwischen relationalen Datenbanken (RDB), objektrelationalen Datenbanken (ORDB) und objektorientierten Datenbanken (OODB).

Relationaler Ansatz:

Diese Systeme orientieren sich ausschließlich an den Eigenschaften (Attributen) der abzubildenden Objekte. Geometrische Objekte der Realwelt werden dabei in minimale Einzelteile zerlegt und gespeichert. Dieser Prozess kann sich beispielsweise so darstellen: Das kleinste in der Abbildung definierbare Objekt ist der Punkt. Durch die Verbindung von zwei Punkten entsteht eine Linie, die wiederum als Teil einer Fläche auftreten kann. In der praktischen Umsetzung entstehen nach den Regeln der Normalisierung in diesem Beispiel drei Tabellen. *Abbildung 9* zeigt diesen Zusammenhang deutlich auf.

Aus der ursprünglich als geschlossen zu betrachtenden Fläche entstehen durch individuelle Nutzung bzw. aus Vermessungsgründen mehrere Teilflächen, die

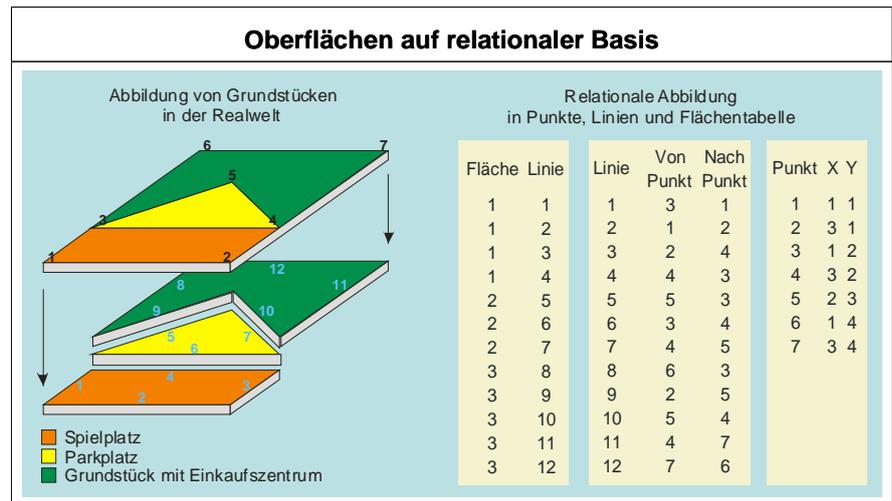


Abbildung 9: Relationale Speicherung räumlicher Zusammenhänge

sich die Eckpunkte teilen. In dieser vereinfachten Darstellung haben die Kanten eine integrierte Laufrichtung und so entstehen aus einem Punktepaar möglicherweise zwei Kanten (4-3/3-4). An die einzelnen Tupel der Tabellen können beliebig zusätzliche Attribute angehängt werden. Werden Kanten beispielsweise in einem Kartennetz als Teil eines Pfades definiert, so ist es sinnvoll, die Kante mit einem Nutzungstyp zu beschreiben. Ebenso können Flächen wie in der gezeigten Abbildung mit Nutzungen versehen werden. Noch viel wichtiger ist aber die Tatsache, dass diese Strukturen sehr gut mit geometrischen Algorithmen umgehen können. So stützen sich nahezu alle in GI-Anwendungen integrierten Methoden auf elementare Algorithmen wie Bestimmen der Nachbarschaft, Schnitt von Strecken, Enthaltensein in einem Polygon, Bestimmen von konvexen Hüllen und vielen mehr (SEDEWICK, 2000, Seite 399-465, PRÄHOFER, 2003).

Für relationale Datenbanken gibt es eine Reihe von Definitionen, die an dieser Stelle deshalb kurz erklärt werden sollen, weil sie während der Diskussion über die Auswahl des für diese Arbeit richtigen Konzeptes immer wieder erwähnt werden:

- Primärschlüssel: Jede Tabelle muss über einen Schlüssel verfügen, der jedes Tupel eindeutig definiert. Schlüssel können aus einem Attribut oder einer Attributkombination gebildet werden.
- Normalformen: Daten sind in einem relationalen Konzept so zu zerlegen, dass die drei Normalformen berücksich-

tigt werden. In der ersten Normalform sind die vorliegenden Relationen so zu zerlegen, dass die Wertebereiche aller Attribute atomar sind. Atomarität definiert dabei die kleinste mögliche Zerlegungseinheit, die dazu führt, dass Redundanzen in den Daten vermieden werden. Die zweite Normalform fordert für alle Attribute einer Relation, die nicht Schlüssel sind, eine volle funktionale Abhängigkeit vom Schlüssel. Die dritte Normalform baut auf die zweite auf und fordert noch zusätzlich für nicht primäre Attribute, dass keine transitive Abhängigkeit zum Schlüssel vorhanden sein darf (SCHREFEL, 2003: Kapitel Normalformen)

- SQL: Kürzt die Bezeichnung Structured Query Language ab und beschreibt als deklarative Sprache die auf einem RDB anwendbaren Operationen. Die Summe aller möglichen Operationen deckt dabei die Datendefinition (Aufbau von Tabellen), die Datenmanipulation (Daten schreiben, lesen, ändern) und die Datensicherheit (Zugriffsrechte) ab.

Diese drei Grundeigenschaften sind elementar für den Aufbau einer relationalen Datenbank. Die Regeln sind übrigens sehr einfach, das Konzept ist klar und die Umsetzung seit der Erfindung von E.F. CODD, 1970 millionenfach bewährt.

Wenn die GI-Welt nur so einfach wäre, wie diese Zeilen dies darzustellen versuchen! Der Spielplatz in *Abbildung 9* wird von jenen Kindern frequentiert, deren Eltern ihr Auto auf dem Parkplatz vor dem Einkaufszentrum abgestellt haben. Das Einkaufszentrum selber liegt als

multifunktionaler Organismus neben diesen Strukturen und kann von Menschen genutzt werden. Natürlich könnten zusätzliche Informationen wie „Anzahl Parkplätze“, „Spielgeräte“ und „Liste der Geschäfte im Einkaufszentrum“ entweder direkt als Attribute oder indirekt über zusätzliche Tabellen an die bestehende relationale Struktur angebunden werden. Im praktischen Einsatz eines GI-Systems, welches mehr als kartografische Eigenschaften besitzen soll, werden sich aber rasch folgende Fragen auftun:

Wie klein ist atomar? Kann ein Einkaufszentrum gemäß den Vorstellungen eines CAD-Zeichners in ein GI-System eingebracht werden? Wie bildet man neben den Eigenschaften von Elementen deren Verhalten ab? Kann Verhalten überhaupt in atomare Teile zerlegt werden? Sind die Operationen von SQL auch für räumliche Abfragen geeignet?

BARTELME, 2005, merkt diesbezüglich zu relationalen Datenbanken kritisch an: „Geodaten sind nicht so seperabel wie andere Daten; dies bedeutet, dass sie sich einer beliebig weit vorangetriebenen Atomisierung widersetzen. ... Andere Daten sind demgegenüber viel eher in atomare Bestandteile zerlegbar und daher leichter in elementare Tabellen unterzubringen.“

Diese Aussage deutet darauf hin, dass wir als kleinste Einheit neben atomaren Teilen auch funktionale Gruppen definieren sollten. Dieser Forderung wurde in der Praxis längst nachgekommen. So kennt jede relationale Geo-Datenbank neben den Standardelementen auch beispielsweise Arcs. Dies sind Kurvenbögen, die eben schon mehr sind als eine Aufreihung von Punkten zu Linien und Pfaden. Auf andere nicht atomare Datenbestände wie Rasterdaten, Multimediadaten oder CAD-Daten kann an dieser Stelle ebenso hingewiesen werden. Um solche Konstruktionen in einer RDB speichern zu können, wurde das BLOB (Binary Large Object) eingeführt, welches entweder selbst Objekte speichert, oder auf die Speicheradressen von Objekten verweist.

Objektrelationaler Ansatz:

Das zentrale Element in der Evolution von der RDB zur ORDB ist die Erweiterung der Menge von möglichen elementaren Datentypen um die abstrakten Da-

tentypen ADT (PRÄHOFER, 2003: Kapitel 3). Diese beschreiben wie die schon erwähnten BLOB's, Objekte der Realität. Punkte, Linien, Polygone werden nun nicht mehr zerlegt, sondern als kleinste Einheit akzeptiert und so gespeichert. Für den Einsatz geometrischer Algorithmen bzw. die Verwendung von Abfragesprachen führt dieses Konzept allerdings auch zu Veränderungen. So muss der Anbieter einer ORDB auch die Abfragesprache an die erweiterten ADT's anpassen. Neben den Möglichkeiten beispielsweise innerhalb einer Where Klausel einen Vergleich auf Gleichheit einer Zahl (Select from A where value=1) durchzuführen, muss auch ein Vergleich für ADT's möglich sein (Select from A where Point =ADT.Bedingung).

An dieser Stelle soll eine Entscheidung vorweggenommen werden, die den Modellbau des Projektes betrifft. Die Basisausstattung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde mit Produkten der Firma ESRI durchgeführt. Deshalb steht in diesem Projekt die Spatial Database Engine (SDE) zur Verfügung, deren Kernaufgabe die Verwandlung einer relationalen in eine objektrelationale Datenbank ist. Als Aufsatz auf klassische DBMS wie Oracle oder MS SQL Server fügt diese „Maschine“ jene ADT's hinzu, die eine GI-Anwendung benötigt. Zusätzlich ändert sich aber auch die Art und Weise, wie die Daten in der jeweiligen Datenbank manipuliert werden können. Das Anlegen und Editieren von Inhalten einer RDB kann bereits mit einfachsten Editoren bewerkstelligt werden; Zahlen und Text können vom Benutzer jederzeit leicht geändert werden. Für die ORDB muss aber eine Erweiterung eingeführt werden. Anwenderprogramme, welche die Verbindung zwischen Mensch und System herstellen, wir nennen sie Benutzerschnittstellen, müssen auf die Eigenheiten der ADT's eingehen. Dabei übernimmt diese Software auf der humanen Seite die Präsentation und Steuerung, während auf der ORDB-Seite mit internen Operationen gearbeitet wird. Beispiele für solche Datenbanken sind Oracle8i Spatial, PostgreSQL mit PostGIS oder ArcSDE.

Die Spatial Database Engine von ESRI

Es besteht zwar gerade in diesem Augenblick die Gefahr, dass die Selektion ei-

nes einzelnen Produktes die Beschreibung von objektrelationalen Datenbanken einseitig macht, aber nach eingehender Prüfung der derzeit verfügbaren Produkte, empfiehlt sich die ArcSDE als Demonstrationsobjekt.

Zur Modellierung von GI-Problemen stehen fünf Themenbereiche zur Verfügung (ZEILER, 1999).

- **Features:** Repräsentieren als ADT die bereits bekannten Hauptobjekte einer GI-Anwendung. Als Punkt (Point), Sammlung von Punkten (Multi-Point), Linie (Line) oder Polygon bilden Features den Kern jedes Modells. Features können nach den Gesetzmäßigkeiten der Assoziation gegenseitig in Verbindung treten. Die dabei möglichen Zusammenhänge (1:1, 1:n, m:n) können durch Bedingungen erweitert werden. Diese Bedingungen können sowohl topologischen (innerhalb, außerhalb, berühren, überlappen, buffern, ...), als auch thematischen (attributbezogen) Notwendigkeiten entsprechen. Auch kartographische Zeichenregeln und Abhängigkeiten (Parallelität von Straßen) können dabei definiert werden. Die so entstehenden „Relationships“ heben das Geo-Datenmodell aus der Sicht des Anwenders auf eine neue Ebene. Daten erhalten ein realitätsnahes Verhalten und erleichtern so den Umgang für den Modellierer.
- **Surface:** Die Abbildung von Oberflächen kann in der Geo-Datenbank in unterschiedlichen Formen vorgenommen werden. Als Raster-Datensatz können digitale Geländemodelle abgelegt werden. Repräsentanten der Vektor-Oberflächen sind das Triangulated Irregular Network (TIN) und Contours.
- **Network:** Feature-Objekte können in gemeinsamen Strukturen z.B. in Form von Netzen auftreten. Bereits bei deren Bildung sind je nach Netzart, topologische Gesetzmäßigkeiten zu berücksichtigen. So dürfen Flüsse keine größeren Zyklen bilden, während dies bei Straßen durchaus wünschenswert ist. ArcSDE-Networks belegen nun noch zusätzlich die Kanten und/oder die Übergänge zwischen Kanten mit bewertbaren Informationen. In einem Wasserleitungsnetz kann die Durchflussstärke jedes Rohres festgelegt und als Zwischenstück können Schieber

und Muffen definiert werden. So ist es möglich, für ein Versorgungsgebiet das Verhalten des Wassernetzes in Abhängigkeit der Benutzungsintensität zu optimieren.

- Location: Aus Point-Features wird durch die Erweiterung mit Straßenbezug, Hausnummer und Postleitzahl eine Location. Der geometrische X/Y-Bezug des Punktes in seinem Koordinatensystem wird also um eine semantische Information erweitert.
- Image: Rasterdaten aller Art können ebenso in die Geo-Database eingebracht werden. Dies mag etwas überraschen, da Datenbanken ja in der Regel keine bildhaften Strukturen verspeichern. Durch die Zerlegung von Bildern in BLOB's ist dies aber möglich. Vektor- und Rasterdaten treffen sich so in einer einzigen Datenquelle.

Aus der Beschreibung der Themenbereiche lassen sich die Kernaufgaben von ArcSDE ableiten:

- systematische Aufnahme aller Datenstrukturen
- Verbindung über Beziehungen
- erweitern um natürliches Verhalten
- reduzieren des Informationsverlustes zwischen dem Verhalten in der Realwelt und in der Geo-Datenbank

Liest man die Benutzerhandbücher von ArcSDE oder folgt man den Modellierungsvorschlägen von Michael Zeiler in „Modelling our World“, so wird dort fortwährend die Bedeutung von Objekten hervorgehoben. Nach und nach suggerieren die Autoren die Bedeutung der Verbindung zwischen Objekten und deren mit Hilfe von ArcSDE gewonnenen Selbstständigkeit.

Haben wir mit ArcSDE nicht schon eine objektorientierte Lösung gefunden? Nein! Die nähere Analyse der tatsächlichen Funktionsweise zeigt uns, dass ArcSDE als Middleware zwischen den Bedürfnissen der Anwender und gängigen relationalen Datenbanksystemen integriert wurde. Aufbauend auf MS Access wird als einfache Version die Personal Geodatabase angeboten, die auch ohne ArcSDE arbeitet. Sie ist funktional stark eingeschränkt, kann aber zu Demonstrationszwecken gut verwendet werden. Umfangreiche Lösungen wurden mit Oracle, MS SQL Server, Infomix, DB2

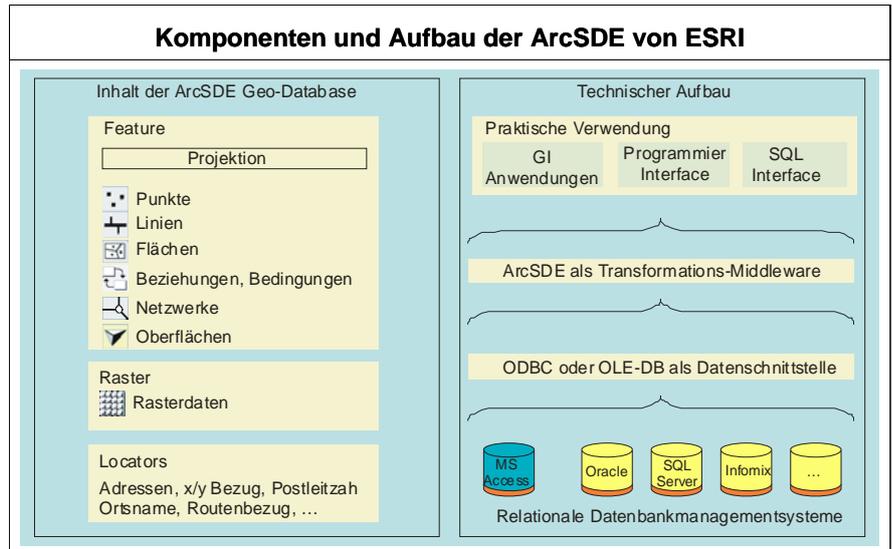


Abbildung 10: Komponenten der ArcSDE-Geodatabase

und Sybase realisiert. Jedes dieser Systeme ist intern enorm leistungsfähig und kann vor allem mit gespeicherten Prozeduren erstaunliche Geschwindigkeiten erreichen. Bei der Verwendung von ArcSDE steht leider diese Leistungsbreite aber kaum zur Verfügung, da die Kommunikation zwischen Middleware und DBMS zu Leistungseinbußen (Flaschenhals) führt. Daten und Strukturen können von ArcSDE in drei Richtungen verteilt werden. Den GI-Anwendungen dient sie als Datenlieferant, dem Programmierer liefert sie ein Application Programming Interface (API) und dem abfrageorien-

tierten Nutzer kann sie auch SQL-Schnittstelle sein.

Die Analyse der Struktur einer Personal Geodatabase auf der Basis von MS Access zeigt die Basisausstattung der Datei mit einer Reihe von internen Tabellen. Diese werden benötigt, um alle Informationen zwischen Objekten wie Rollen, Vorgabewerte, Gültigkeitsbereiche und Regeln zu speichern. Für jede thematische Featureschicht werden diese Basistabellen durch einige Tupel erweitert. Die Features selber werden in je zwei Tabellen abgespeichert. Jene Tabelle, die mit dem Feature namensgleich ist, speichert

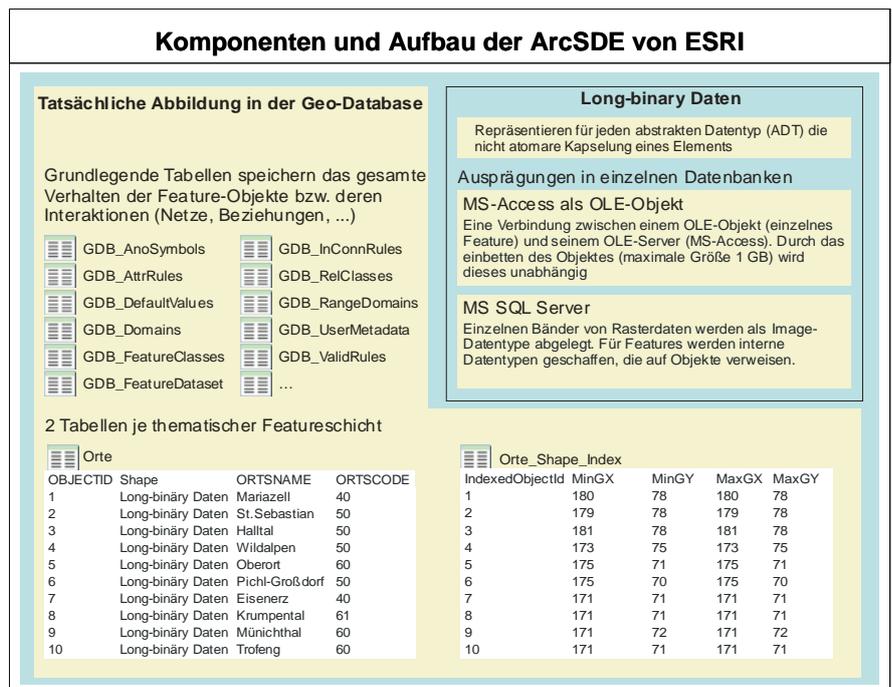


Abbildung 11: Struktur- und Datentabellen der Personal Geodatabase

die einzelnen Objekte. Dabei wird nach dem ORDB-Konzept nicht ein Punkt, eine Linie oder ein Polygon, sondern ein Speicherverweis abgelegt. Für MS-Access Datenbanken wird das notwendige BLOB als OLE-Objekt bezeichnet (Object Linking und Embedding). Es kann entweder als Verweis auf einen Speicherbereich der Festplatte oder als tatsächlich integriertes binäres Objekt große Datenmengen aufnehmen. Neben der Objekttafel findet sich eine zweite mit der Namensweiterung *Shape_Index*. Diese Datei bildet einen räumlichen Index über die geometrischen Objekte nach dem Muster der EXCELL-Methode ab (BARTELME, 2005: Kapitel 8.8). Dabei wird der abzudeckende Datenraum vollständig mit einem, nicht notwendigerweise gleichmäßigen Datengitter abgedeckt. Für jedes Objekt wird in der Tabelle des räumlichen Index die zuordenbare Zelle abgelegt. Möglicherweise erfolgen auch mehrere Eintragungen (z.B. Straßen).

Zusammenfassend kann über ArcSDE folgendes gesagt werden:

- ESRI eröffnet durch die Verbindung von modernen relationalen Datenbanken wie Oracle, MS SQL Server, ... mit seiner Middleware ArcSDE den GI-Anwendungen eine leistungsfähige Datenquelle für Standardlösungen.
- Die Schnittstellen und deren Möglichkeiten sind benutzerfreundlich implementiert.
- Die so entstandene Lösung ist eine objektrelationale Datenbank mit teilweise objektorientiertem Verhalten. Durch die Berücksichtigung der Spezifikation des OGC und deren Simple-Feature-Modell erreicht ArcSDE einen gewissen Grad an Interoperabilität.
- Die Möglichkeiten enden an jener Stelle, an der die Entwickler von ESRI mit der Implementierung von Methoden enden.
- Für klassische Probleme der GI reichen die Methoden aus, für fachspezifische interdisziplinäre Fragestellungen nicht.

Objektorientierter Ansatz:

Im objektorientierten Datenmodell (OODB) verändert sich die Speicherstruktur im Vergleich zum RDB bzw. ORDB vollständig. Die Klasse, wie wir sie bereits für UML definiert haben, wird als abstrakter Datentyp der Hauptbe-

standteil der Datenbank. Innerhalb der Klassen dienen elementare Datentypen (Zahl, Zeichen, ...) der Datenaufnahme. Zusätzlich besteht nun die Möglichkeit, die Daten direkt durch Methoden zu ergänzen. So ändert sich mit dem OODB-Ansatz auch der Zusammenhang zwischen Datenmodell und Methodenausführung.

Während RDB und ORDB darauf angewiesen sind, dass externe Systeme die eigenen Daten bearbeiten, sind OODB in der Lage Daten und deren Methoden gemeinsam zu kapseln. Für das Design von komplexen Anwendungen stellt diese Fähigkeit einen großen Vorteil dar. Alle Methoden, die sich direkt auf ein Objekt beziehen, können direkt in die Struktur desselben eingebracht werden.

So entsteht für den Designer ein lineares Netzwerk mit einem bottom-up Ansatz. Hierarchisch komplexere Klassen können auf einfachere zugreifen; schwierige Algorithmen verlassen sich auf die Detaillösungen von Basisklassen. Diese Fähigkeit ist elementar bei der Bewältigung von komplexen Zusammenhängen in GI-Anwendungen. So kann davon ausgegangen werden, dass objektorientierte GI-Komponenten wie Punkt, Linie und Fläche die elementaren Methoden zur Längen- oder Flächenmessung bereits integriert haben.

Die zweite bemerkenswerte Eigenschaft ist die Art der Verbindung zwischen den Objekten. Der implizite Identifier des UML dient hier als Botengänger zwischen den Objekten. Interessiert sich Objekt A für Objekt B, wird eine Variable vom Typ B innerhalb von A erstellt und diese speichert dessen impliziten Identifier. So kann mit geringem Speicheraufwand ein Netzwerk an Gegenseitigkeiten entstehen. Solche Netzwerke erreichen im Datenzugriff enorme Geschwindigkeiten, da Indizes oder dergleichen nicht notwendig sind.

Der implizite Identifier verweist direkt auf den Speicherstandort der Zielobjekte. Die zeitaufwendigen und damit „teuren“ Methoden des SQL-Standards werden überflüssig, das System gewinnt an Geschwindigkeit. OO-Systeme haben nicht die gewohnt zweidimensionale Ausbreitung der Tabellen in RDB. Die Instanzen der OODB-Klassen bilden einen n-dimensionalen Datenraum, der von

jeder beliebigen Seite betreten werden kann. Damit der OO-Ansatz auch tatsächlich persistent auf einem Speichermedium abgelegt werden kann, stellen die meisten OODBMS Einstiegs-knoten zur Verfügung, die roots genannt werden (PROGRESS SOFTWARE CORPORATION 2003: Object Store).

Innerhalb der OODB wird zusätzlich nun erstmalig die Eigenschaft der Vererbung (siehe UML) implementiert. Somit können verwandte Objekte mit geringerem Aufwand erstellt werden.

3.2.3 Designrelevante Auswahl des Datenbankmodells

Aus der Beurteilung von ArcSDE als objektrelationale Datenbank lässt sich der Wunsch nach größerer Bewegungsfreiheit in der Implementierung von fachspezifischen Fragestellungen ableiten. Die Modellierung des regen Lebens auf einem Bauernhof und die interdisziplinäre Vernetzung desselben birgt die Gefahr, dass die Abbildung in einem relationalen System äußerst unübersichtlich wird. Hunderte Tabellen müssten über Primärschlüssel verknüpft werden und die Beschaffung von betriebsspezifischen Inhalten wird ein zeitaufwendiger Prozess. Nach einer Fallstudie von POMBERGER, 1996, wurden nur 2 von 16 Softwareprojekten termingerecht und nur eines auch kostengerecht beendet. Die Gründe lagen in fehlerhaften Anforderungsanalysen, schlechtem Design und falscher Werkzeugauswahl.

Im Schatten dieses düsteren Befundes wird die Entscheidung getroffen, das Projekt in einer OODB umzusetzen.

So entsteht eine maximale Freiheit für die Implementierung eigener Notwendigkeiten bei einer hohen Granularität der Softwarestruktur. Innerhalb der OODB sollen alle projektspezifischen Fachdaten und die notwendigen räumlichen Daten so verknüpft werden, dass ein reibungsloser Ablauf der Berechnungen gewährleistet ist. Parallel dazu wird für die räumlichen Ausgangsdaten und die Endergebnisse aus der Fachdatenberechnung eine Geodatabase mit einer Anbindung an ArcMap eingerichtet. Dieses GI-System wird sowohl für die Aufbereitung der Geodaten, als auch die Präsentation der Ergebnisse genutzt. Zwischen den Systemen werden bidirektionale Schnittstel-

len generiert. Die teilweise Extraktion von Geodaten in ein externes, vor allem mit Fachdaten besetztes System, stellt eine Erweiterung der hybriden, dualen GEODBMS dar (BARTELME, 2005).

3.2.4 Auswahl der Entwicklungs-umgebung

Geräteausstattung

Als Arbeitsplatzgerät steht ein individuell ausgestatteter PC zur Verfügung. Auf der Grundlage eines Asus P4C800-E Motherboard wurde ein Festplatten-Raid mit einem Gesamtspeichervolumen von 380 GB aufgebaut. Der Hauptspeicher des Gerätes wurde auf 2 GB ausgebaut und erbringt so enorme Rechenleistungen. Die optische Ausgabe wird von einer Asus V9950 Ultra Graphikkarte auf zwei Monitoren erzeugt. Die zusätzliche Ausstattung der Geräte mit einem DVD-Brenner und diversen Schnittstellen erleichtert den Datenaustausch. Der so verfügbare Arbeitsplatzrechner ist in ein Fast-Ethernet Computernetzwerk eingebunden, welches Anschluss an alle denkbaren Ein- und Ausgabegeräte herstellt.

Softwareausstattung

Betriebssystem: Das Arbeitsplatzsystem wurde mit Windows XP Professional ausgestattet.

Datenbanken: Da zwei Konzepte verfolgt werden, ist die Parallelausführung mehrerer Datenbankmanagementsysteme notwendig:

- Relationale Datenbanken: Die lokale Verwendung der Geo- und Fachdaten gewährleistet eine lokal installierte Instanz des Microsoft SQL Servers, der im Rahmen eines MS-ACH-Vertrages zur Verfügung steht. Diverse kleinere Datenbestände werden auch direkt in MS-Access verwaltet. Der MS SQL Server bildet mit der Erweiterung ArcSDE die Grundlage der Geodatabase.
- Objektorientierte Datenbank: Als kostenlose Datenbank wird PSE Pro, dies ist eine limitierte Version des Datenbankmanagementsystems ObjektStore, verwendet. Zu dieser Datenbank steht ein Applikation Programming Interface (API) zur Verfügung, welches die OO-Sprache Java 100%ig unterstützt. Unter www.progress.com wird PSE Pro so beschrieben: „ PSE Pro is a multi-

threading, objectoriented data management solution designed for transaction-intensive, embedded and single-user applications. PSE Pro delivers a complete set of persistent data services for Java“

GI-Anwendung: Wie bereits erwähnt, steht der volle Umfang der Softwarelösungen der Firma ESRI zur Verfügung. In der aktuellen Version 9.0 kann auf ArcInfo, ArcSDE und diversen Extensionen aufgebaut werden.

Programmierung: Die Entwicklung der funktionalen Strukturen wird zum Teil mit VBA als Teil der ESRI-Produkte, aber vor allem in Eclipse 3.0, als Java-Interface durchgeführt.

3.2.5 Geodatenquellen

Daten sind der wertvollste und am längsten beständige Teil jedes Softwareprojektes (Philipp, 2002). Man denke an ein Geländemodell als Abbildung der Erdoberfläche: Mit Ausnahme von menschlichen Bautätigkeiten und Naturkatastrophen ändert sich ein solches digitales Ge-

ländemodell zum Glück kaum. So können die enormen Erfassungskosten auf eine langjährige Nutzung umgelegt werden. Für die Bearbeitung von GI-Projekten lassen sich folgende Regeln im Umgang mit Geodaten aufstellen (LIEBIG W., MUMMENTHEY, R. 2002: Kapitel 2.2.5)

1. Nur mit Geodaten in qualitativ hochwertiger Form lassen sich ansprechende Ergebnisse erzielen.
2. Die trotzdem vorkommenden Fehler (Messfehler, Eingabe- und Ausgabe-fehler) müssen von der bearbeitenden Stelle mit berücksichtigt werden. Es sollen als Ergebnisse keine Aussagen getätigt werden, die nicht im Verhältnis zur Datenqualität stehen, sondern nur durch mathematische Berechnungen entstanden sind.
3. Die Erstellung von Metadatensätzen soll für jedes Ergebnis aus GI-Projekten umgehend durchgeführt werden. Nationale und internationale Normen helfen bei der exakten Datenbeschreibung. Dies erhöht die Interoperabili-

Tabelle 3: Liste der Geodatenquellen

Bezeichnung	Inhalt	Stand/Größe/Genauigkeit
Digitale Katastralmappe (DKM)	Enthält alle Grundstücke mit land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung. Diese Daten werden vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) angekauft.	Aktueller Abzugsstand des BEV für das LFRZ: 6. April 2004; Anzahl von Objekten: > 10 Millionen; Genauigkeit: je nach Erfassungsbereich unterschiedlich, aber identisch mit den analogen Darstellungen; Abgabe: Shape-File für jede Situation
Digitales Geländemodell (DGM)	Bildet die Erdoberfläche strukturell über die Höhenwerte ab. Ausgangsmaterial sind Luftbilder im Maßstab 1:150000, die Erhebung erfolgt in einem 50 Meter Raster. Rechnerische Interpolation bis auf 10 Meter möglich.	Datenmenge (10 m Grid) 3.65 GB; Genauigkeit: offenes, flaches Gelände 1 - 3 m, offenes hügeliges Gelände 3 - 5 m, Wald und Hochgebirge 5 - 20 m
Verwaltungsgrenzen	Katastralgemeinde, Gemeinde, Bezirke, Land, Bund	Aktualität: österreichischer Amtskalender; Abgabe: Shape-File
Produktionsgebiete	Kleinproduktionsgebiete und Produktionsgebiete nach WAGNER, 1990. Beschreibung von landwirtschaftlichen Nutzungsregionen anhand der Gemeindegrenzen	Aktualität: derzeitige Gemeindegrenzen; Abgabe: Shape-File
Topogr. Karten	ÖK 50	Abgabe: Rasterdatenformat tif
Klimadaten	Hydrologischer Atlas	Abgabe: Shape-File

tät der Daten (BARTELME, 2005: Kapitel 10, PHILIPP, 2002: Metadaten)

4. Trotz aller Bemühungen muss sich der GI-Anwender bewusst sein, dass gerade er im Vergleich zu anderen Daten (Buchhaltung, Messtechnik, ...) mit zum Teil „weichen“ Daten arbeitet. Der Grund liegt darin, dass die häufig integrierten Methoden der Primärdatenerfassung (vereinfachen, interpolieren, generalisieren) nicht bekannt sind.

Für die Beschaffung der Geodaten musste in diesem Projekt nur wenig Zeit aufgewandt werden. Der Grund liegt darin, dass die Aufgabenstellung zusätzlich als Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium) eingereicht wurde. Als Servicestelle für die verwendeten Geodatenquellen steht dadurch das Landwirtschaftliche Rechenzentrum (www.lfrz.co.at) zur Verfügung.

Folgende Geodatenquellen stehen zur Verfügung:

3.2.6 Fachdatenquellen

Das integrierte landwirtschaftliche Verwaltungs- und Kontrollsystem (INVEKOS) wurde im Jahre 1995 erstmals als vollständige Erfassung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung durchgeführt. Der Grund lag in der Anpassung der Prämienzahlungen der Republik Österreich an die Landwirte. Wurde vor dieser Zeit nahezu ausschließlich pauschal (Bergbauernzuschuss, ...) gefördert, so ist seit 1995 durch den EU-Beitritt Österreichs die Förderung von Größe und Art der Flächenbewirtschaftung bzw. der Anzahl gehaltener Tiere abhängig. Zu diesem Zweck wurde die Flächenbewirtschaftung der Betriebe in ihrer kleinsten Einheit erhoben. Diese Einheiten werden als Schläge bezeichnet und stellen wie im Ackerbau leicht verständlich, z.B. eine geschlossene Anbaufläche einer Ackerkultur dar (z.B.: ein Weizenfeld). Aus einem oder mehreren Schlägen lässt sich ein Feldstück bilden, welches einen Flurnamen trägt, der häufig auf die Nutzung des Feldstücks hinweist (Hausacker, Lärchacker, ...). Leider sind diese flächenbeschreibenden Strukturen nicht identisch mit den tatsächlichen Grenzen der Grundstücke aus der DKM. So muss in

diesem Projekt die anteilige Flächennutzung über eine eigene Methode gewichtet werden. Ab dem Kalenderjahr 2005 tritt in Österreich jedoch die INVEKOS-Umsetzungs-Verordnung in Kraft, welche die Erhebung der tatsächlichen Nutzung erstmalig gesetzlich regelt (Verordnung 474, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft). Weitere Datenbestände des INVEKOS (HOFER, 2005) betreffen:

- das Umweltprogramm ÖPUL
- die Tierhaltung (Tierliste, Rinderdaten, Tierprämien)
- die tierische Leistung (Milchleistung, angelieferte Milchmenge)
- die Almbewirtschaftung
- Anbau von Kulturpflanzen
- und weitere.

Soweit diese Daten noch näher beschrieben werden müssen, erfolgt dies im nächsten Kapitel.

3.2.7 Zusammenfassung

Vor dem Übergang in das Design sollen die wichtigsten Erkenntnisse noch einmal kurz zusammengefasst werden:

- Dieses Projekt verwendet große Mengen an unterschiedlichen Geo- und Fachdaten; zur Bearbeitung der Daten wurde ein leistungsfähiges System geschaffen.
- Im Zuge der Bearbeitung der unterschiedlichen Datenquellen wird Standardsoftware der Firma ESRI verwendet. Diese bietet eine ausreichende Methodenunterstützung für Geodaten.
- Die zentralen Themen dieses Projektes werden aber in einer objektorientierten Datenbank bearbeitet. Diese soll die Geo- und Fachdaten bei hoher Leistungsfähigkeit und besserer Übersicht aufnehmen.

3.3 Design: Neuentwicklung einer GI-Datenstruktur

3.3.1 Peter Coad's „Modelling in Color“

Das Design eines Produktes legt die erreichbare Funktionalität fest. Im Laufe der Zeit entwickelten sich aus den Erfahrungen begabter Designer und Programmierer Musterlösungen für die unterschiedlichsten Probleme. Diese werden als Entwurfsmuster (Pattern) bezeichnet.

Eines der komplexesten Entwurfsmuster wurde von Peter Coad unter dem Namen „Modelling in Color“ entwickelt (COAD, 1999). Es bildet Beziehungen zwischen Objekten hierarchisch ab und bietet die Möglichkeit der Vererbung von Objekteigenschaften. „Modelling in Color“ wurde als Kette von vier Klassen definiert, die gegenseitig in einer Teil-Ganzen-Beziehung stehen und so eine Baumstruktur abbilden. Ursprünglich wurde dieses Entwurfsmuster zur Verarbeitung von Geschäftsprozessen, wie der Rechnungslegung oder der Personalführung, entworfen. Für dieses Projekt werden die Grundlagen des Konzepts von Peter Coad auf die Bedürfnisse eines GI-Systems angepasst. Dabei sollen alle negativen Eigenschaften der ORDB, die im Verlauf der Analyse besprochen wurden, beseitigt werden. Vor allem die Dynamik und Offenheit für Geo- und Fachdaten stehen dabei im Vordergrund.

Das Modell von Peter Coad wird nun in seinen einzelnen Komponenten kurz vorgestellt und in Beispielen bereits an GI-Strukturen angepasst.

Die Ausgangsklasse ist die „**Description**“. Ihre Aufgabe ist die Aufnahme der Metainformationen der hierarchisch untergeordneten Klassen. Zusätzlich speichert sie alle allgemein gültigen Werte und Regeln. Als hierarchisch oberste Ebene der entstehenden Baumstruktur kennt die Description direkt oder indirekt den gesamten Datenbaum. Sie regelt und steuert die Datenaufnahme der untergeordneten Ebenen und dient in einer OODM als Einstiegspunkt (root). Descriptions sind in ihrer Ausprägung immer als die Summe aller Teile zu betrachten. So können folgende Beispiele genannt werden:

Surface-Description: Summe aller Grundstücke der DKM, Summe aller Strukturen in einem Triangulated Irregular Network (TIN), Summe aller Geometrie-Objekte des Simple Feature Objects.

Netz-Description: Summe aller Pfade oder Linien, die das Netz bilden.

Person-Description: Summe aller Personen innerhalb einer Beobachtungseinheit (Staat, Firma, ...)

Farm-Description: Summe aller landwirtschaftlichen Teilbetriebe in einem Land.

Animal-Description: Summe aller Tiere innerhalb der Beobachtungseinheit.

Da der Name Description im Software-Entwicklungsprozess den Sinn dieses Bausteines repräsentiert, wird er beibehalten.

Steigt man entlang der hierarchischen Kette eine Ebene nach unten, findet man im Konzept des „Modelling in Color“ die ersten greifbaren Objekte der Realwelt. Peter Coad nennt diese Ebenen nach den identifizierbaren Objekten „**Party, Place, Thing**“. Dabei treten Party-Objekte für organisatorische Konzepte (Rechtsgrundlagen, Meetings, ...) auf. Place-Objekte sind dem Namen nach gut auf GIS - Komponenten ausgerichtet. Sie können entweder exakte Ortsbezüge im Sinne eines Grundstücks, oder abstrakte Regionen aufnehmen. Als Beispiele können alle Arten von Polygonen genannt werden. Thing-Objekte beziehen sich auf sonstige benennbare Objekte der Realwelt. Bereits angeführte Beispiele dafür sind Person, Farm und Animal. Die Abkürzung dieses Bausteins lautet PPT.

Auf der nächsten tiefer liegenden Ebene finden wir die Klasse **Role**. Wie leicht zu verstehen ist, sind Rollen die Ausprägungsformen der PPT's. Rollen lassen sich am besten durch die Frage nach der Funktion eines Realweltobjektes erkennen. Schöne Beispiele für Rollen sind die Unterteilung der Animals in einzelne Tierarten oder die Aufteilung von Personen in Mann, Frau, Kind. Etwas schwieriger ist die Zuordnung von Beispielen aus dem GI-Bereich. Hier deckt sich der Name des Bausteines nicht mehr unbedingt mit dessen Funktion. Eher wird die hierarchische Ebene dargestellt. So sind die nächsten Teilelemente eines Grundstückes die einzelnen Linien, die dessen Polygon bilden. Der Name Role ist aber trotzdem für die größere Anzahl an Objekten gut verständlich und wird deshalb auch so weiter verwendet.

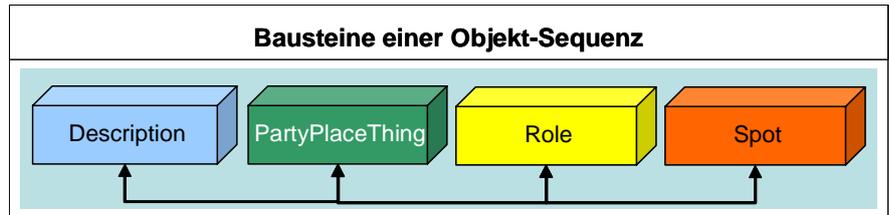


Abbildung 12: Hierarchische Objekt-Sequenz nach Peter Coad

Als kleinste Einheit beschreibt Coad das **Moment Intervall**. Objekte dieser Klasse nehmen Daten nach den Regeln der Normalformen an. Sie verspeichern also in der Realität in erster Linie jene Daten, die direkt in einem RDB zu finden sind. Als Beispiele können die individuellen Daten einer Person (Name, Geburtsdatum, ...) oder die Leistungsdaten einer Milchkuh verstanden werden. Als ideales Objekt der Geometrie tritt der Punkt als Instanz des Moment Intervalls auf. Er kennt als Minimalforderung seine x/y/z-Werte. Da der Name Moment Intervall in sich ein widersprüchlicher ist, wird stattdessen der Begriff **Spot** geprägt.

Der Ursprung dieser Verkettungsmethodik liegt in den Netzwerkdatenbanken der Vergangenheit. Dort wurden allerdings streng hierarchische Strukturen angewendet. Coad durchbricht diese strengen Strukturen, da nicht alle Objekte vorhanden sein müssen und deren Querverbindungen frei wählbar sind. Er nützt aber auch die Vorteile von Netzwerkdatenbanken. Dazu gehören die hohe Zugriffsgeschwindigkeit über implizite Identifier und der entstehende logische Zusammenhang zwischen einzelnen Objekten. Um die Sequenz von der Description bis zum Spot bidirektional durchgängig zu gestalten, empfiehlt sich ein Speicherverweis in beide Richtungen.

Wird nach Coad modelliert, erweitern sich die in *Kapitel 3.3* beschriebenen Modellierungsregeln um einen praktischen Ansatz. Am Beginn des Modellbaues werden alle Objekte identifiziert und den jeweiligen Bautypen zugeord-

net. Dabei wird für jeden Bautyp ein Block von Haftnotizen mit eigener Farbe verwendet.

Die Farben sind so zuzuordnen:

- Description: blau
- PartyPlaceThing: grün
- Role: gelb
- Spot: rot

Alle erfassten Elemente werden auf ein Flip-Chart geklebt und dann in die passende Abhängigkeit gereiht.

3.3.2 Entwicklung neuer Entwurfsmuster für GI-Anwendungen

Im Punkt 3.3.1 wurde das Entwurfsmuster von Peter Coad bereits von der ursprünglichen Verwendung in die GI-Welt übertragen. Eine inhaltliche und funktionale Überarbeitung führt nun zu neuen Entwurfsmustern, die noch besser bei der Programmierung von GI-Anwendungen eingesetzt werden können.

Die inhaltliche Überarbeitung wird in zwei Bereiche aufgeteilt:

- Abbildung der tatsächlichen Objekte
- Abbildung von Zusatzinformationen

Auf der Ebene der tatsächlich zu verarbeitenden Objekte wie Personen, Tiere, Grundstücke, Linien, Oberflächen, ... kurz aller wirklich vorhandenen Objekte, bilden wir in dynamischen Strukturen das bereits beschriebene Konzept ab. Dabei steht der logische Zusammenhang zwischen den Coad - Bausteinen im Vordergrund. Da vor allem Objekte abgebildet werden, die in Verbindung stehen, wird der Name Object-Data-Stream (ODS) vergeben.

Neben den in *Tabelle 4* aufgelisteten Strukturen gibt es aber noch den Bedarf, Zusatzinformationen zu verspeichern. Diese Zusatzinformationen sind semantisch immer mit einem OD-Stream verbunden. Man erinnere sich an das Problem in 3.2.1. Hier wurde eine dynamische Struktur gefordert, die Informationen, wie die Erträge oder die chemischen

Tabelle 4: Beispiele für Object Data Streams (ODS)

Description	PPT	Role	Spot
Oberfläche	Polygon	Linie	Punkt
Netzwerk	Pfad	Linie	Punkt
Bevölkerung	Familie	Vater/Mutter/Kind	Persönliche Daten
Bewirtschaftung	Bauernhöfe	Grundstücke	Nutzungsart

Inhaltsstoffe einer Nutzungsart (siehe *Tabelle 4 ODS Bewirtschaftung*), zu den einzelnen Grundstücken liefern kann.

Zur Lösung dieses Problems wird an dieser Stelle der *Additional-Data-Stream (ADS)* eingeführt. Der Aufbau eines AD-Streams erfolgt ebenso wie der des OD-Streams nach den Strukturen von Peter Coad. Der große Unterschied liegt in der Wirkungsweise der Objekte. Während die Objekte des ODS aktiv sind, verhalten sich Objekte des ADS passiv. Sie stehen den ODS-Objekten als Datenlieferanten zur Verfügung.

Abbildung 13 stellt in den vier Kategorien Datenstruktur, Aufgabe, Funktionalität und Klassenstruktur die wesentlichsten Inhalte des Modells dar. Die Abbildung der Datenströme ODS und ADS zeigt die baumartigen, hierarchischen Strukturen und deren wechselseitige Verbindung. Die praktische Umsetzung der gegenseitigen Verbindungen wird von den Listen und Funktionen im Bereich der „Verbindungen“ der Klassenstruktur übernommen. Die generelle Aufgabe des OD-Streams ist die Abbildung des tatsächlichen Fachdatenmodells. Der AD-Stream übernimmt die Rolle eines Datenlieferanten. Die möglichen Inhalte der Datenstrukturen werden durch den Block „Inhalte“ der Klassenstruktur gesteuert. Jeder Baustein innerhalb der OD- und AD-Streams kann individuelle Funktionen ausführen. Diese werden entweder über allgemeine Strukturen vordefiniert oder sie müssen individuell programmiert werden. Allgemeine Funktionalitäten sind die Summen- oder Mittelwertbildung über einen Parameter der Nachfolgeobjekte.

Sowohl OD-Stream als auch AD-Stream werden nun noch näher beschrieben und mit Aufbauregeln ausgestattet. Erst dadurch wird das Verständnis für diese Struktur so weit vertieft, dass an eine selbstständige Rekonstruktion durch andere Programmierer gedacht werden kann.

3.3.3 Object Data Stream (ODS)

Für die praktische Umsetzung des OD-Streams ist folgendes einzuhalten:

A.) *Aufbauregeln:*

1. Für jedes, fachlich eindeutig identifizierbare Thema wird ein neuer

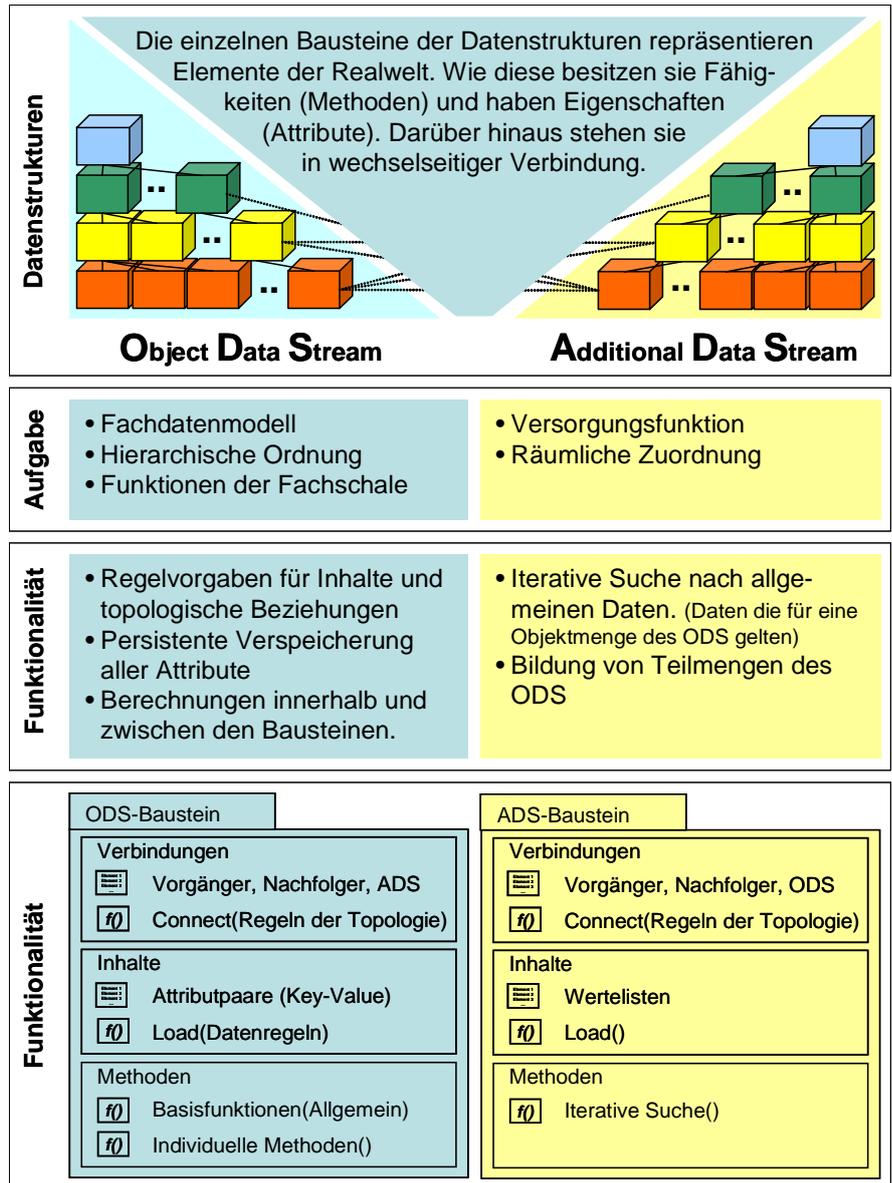


Abbildung 13: Übersicht des Datenmodells

OD-Stream erstellt. Ausgehend von einer abstrakten Vorlagestruktur (Master) kann dabei das Konzept der Vererbung und des Polymorphismus voll ausgenutzt werden. Das steigert die Wiederverwendung und Anpassungsfähigkeit von implementierten Klassen. Unter Vererbung verstehen wir die Möglichkeit, eine neue Klasse von einer bereits bestehenden abzuleiten. Unter Polymorphismus nutzen wir die Fähigkeit, in allen Unterklassen eine Methode gleichen Namens auszuführen. So wurde in jedem Coad-Baustein eine Methode „calculate()“ angelegt. Diese Methode muss in jedem vererbten Baustein entsprechend der Notwendigkeit der Klasse angepasst werden. Bei der Ausführung von Berech-

nungen können wir nun zu jedem Objekt sagen: *Object.calculate()*. Das Objekt wird diese Methode erkennen und richtig reagieren. Dazu ein schon bekanntes Beispiel, welches nun praktisch umgesetzt wird: Würde man daran denken, den Zusammenhang Punkt, Linie, Fläche und Oberfläche zu modellieren, so würde man eine neue Klasse Spot_Punkt von Spot ableiten. Ebenso eine neue Klasse Role_Linie von Role und eine Klasse PPT_Polygon von PPT. Die Sequenz würde mit D_Surface abgeleitet von Description enden. In jeder neuen Klasse wird die Methode *calculate()* so angepasst, dass jedes Objekt eine ähnliche elementare Antwort geben kann. Der Punkt liefert als Objektant-

wort seine Koordinaten, die Linie ihre Länge, die Fläche bzw. Oberfläche den Flächeninhalt.

2. **Der hierarchische Stream muss nicht gezwungenermaßen bis zum Ende durchgeführt werden.** Stellt man fest, dass zu einer Description nur ein PPT-Objekt und keine Rollen vorhanden sind, beendet man hier die Sequenz.
3. **Die gemeinsame Verwendung von einzelnen Bausteinen ist möglich und gewünscht.** Verweisen zwei OD-Streams letztendlich auf ein elementares Objekt, kann dieses natürlich genutzt werden. Eines dieser Objekte, welches immer wieder mehrfach verwendet wird, ist die politische Struktur der Gemeinde. Gemeinden werden in vielen verschiedenen Aggregationslinien verwendet. Hier zwei Beispiele: Die erste Linie ist die politische Ebene. Gemeinden bilden Bezirke, Bezirke bilden Bundesländer, Bundesländer bilden das Staatsgebiet. Die zweite Linie ist die der landwirtschaftlichen Produktionsgebiete: Gemeinden bilden Kleinproduktionsgebiete, Kleinproduktionsgebiete bilden Hauptproduktionsgebiete, und diese decken wieder das Bundesgebiet ab. Die zwei Aggregationslinien bilden im Design zwei OD-Streams. Jeder von ihnen zeigt auf die Klasse Spot_Gemeinde.

4. **Eine Sequenz wird als MAIN-Sequenz angesehen, alle anderen als SUB-Sequenz.** Jeder PPT-Baustein der Sub-Sequenz muss dem passenden PPT-Baustein der Main-Sequenz zugeordnet werden. Dies erfordert einen Primärschlüssel für das aufzuarbeitende Material. In diesem Projekt stellt die Betriebsnummer BNR der einzelnen Bauerhöfe diesen Primärschlüssel dar.

B.) Inhalte:

Die in einem OD-Stream zulässigen Inhalte werden wie bereits beschrieben, in der Klasse Description vordefiniert. Die Auflistung *generalContent* definiert für alle abhängigen Klassen PPT, Role und Spot den Inhalt der Datencontainer *content*. Diese Definitionen können als Werte (Value-Content VC) oder als Objekte (Object-Content OC) auftreten. Für VC können neben dem Attributnamen (Ow-

ner, Debt, Gstnr, Area, Kg, ...) und dem elementaren Datentyp auch noch Integritätsregeln angegeben werden. Für OC gilt nur der Attributname und der Objektverweis. Aus der *Abbildung 14* kann der Ablauf der Datenerfassung entnommen werden. Soll in das Role-Objekt ein Attribut mit dem Namen Area aufgenommen werden, muss zuerst im Description-Objekt geprüft werden, ob dies zulässig ist. Wenn ja, wird es typgerecht (in diesem Fall als Double) eingetragen. Für Objekte wie Bäume in Spot wird nur der Schlüssel (Trees) geprüft und das Objekt als Speicheradresse angelegt.

Ebenso wie die Attribute, wird auch der Formelkörper einer Klasse (siehe *Abschnitt 3.3.5*) bereits in der Description definiert. Bei der Durchführung der Berechnungen werden die Formeln aus der *generalFormula*-Liste entnommen und innerhalb des vorgegebenen Bausteins ausgeführt. Die Inhalte zur Berechnung werden aus den jeweiligen Content-Auflistungen entnommen. Die Ergebnisse werden ergänzend in diese zurückgeschrieben. Damit innerhalb eines OD-Streams eine reibungslose Kommunikation zwischen den Objekten entsteht, werden alle via Speicheradresse (interner Identifier) in einem Verfahren der

Gegenseitigkeit von ihrer Existenz informiert. *Abbildung 15* zeigt die zweiseitige Verknüpfung der Ebenen auf.

Die Verknüpfung von GIS- und Fachdaten werden in der *Abbildung 16* noch einmal zusammenfassend dargestellt. Ausgehend von einem Description-Objekt, welches hier aber nicht sichtbar ist, entsteht das Bedürfnis der Person, des Herrn Huber, seine Liegenschaften und deren Komponenten zu bearbeiten. Herr Huber nimmt als PPT-Objekt den Platz eines Besitzers ein, der Schulden bei einer Bank hat. Um diese zu decken, verweist er auf seine Grundstücke (Role-Object). Dies könnte durch die Angabe von Attributen innerhalb der *content*-Auflistung geschehen. Wird beispielsweise auf ein Polygon des Simple Feature Modells verwiesen, besteht nun die elegante Möglichkeit, alle weiteren Attribute über diverse Spot-Objekte anzuknüpfen. Solche Spot-Objekte können Gebäude, Bodentypen oder diverse sonstige Realweltobjekte sein.

Das Beispiel veranschaulicht, dass die Grenzen zwischen den Objekten des Raumes (Grundstück) und der Fachschalen innerhalb des OD-Streams überwunden werden. Die Verbindung von Personen, Grundstücken und Liegenschaften stellt

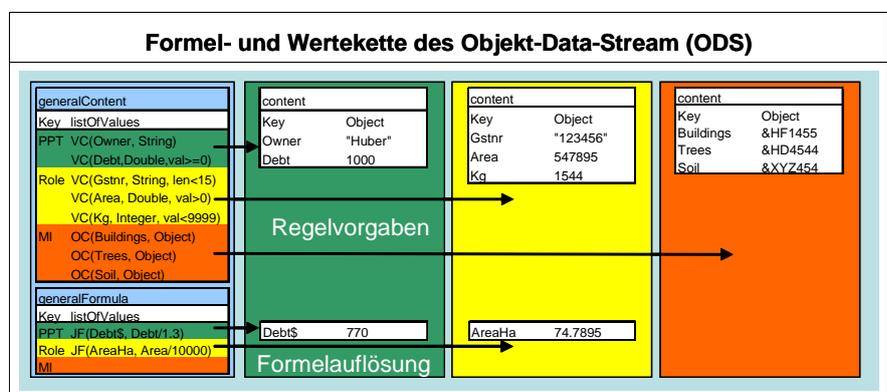


Abbildung 14: ODS mit vordefinierten Werten und Formeln

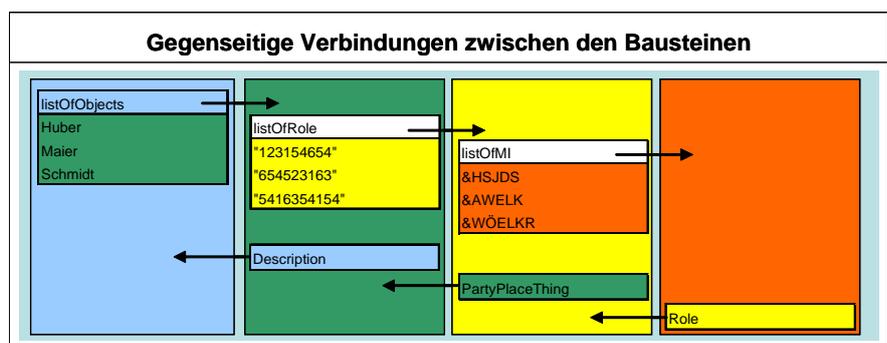


Abbildung 15: Verweise innerhalb eines OD-Streams

eine Vermischung von topologischen und relationalen Konzepten dar.

3.3.4 Additional Data Stream (ADS)

Die Datenstrukturen des AD-Streams orientieren sich thematisch an den fachlichen oder räumlichen Aufteilungen seiner einzelnen Bausteine. So werden in diesem Projekt den Grundstücken, welche Bestandteile eines OD-Streams sind, zwei AD-Streams zur Seite gestellt. Diese sind die Einteilung aller landwirtschaftlichen Betriebe nach einer politischen Ordnung und die Einteilung nach produktionsspezifischen Regeln. Die Zuordnung erfolgt über die Gemeinenummer des Grundstücks. Streams nehmen jene Daten auf, die inhaltlich mit ihren räumlichen Grenzen übereinstimmen. Im Stream „Politische Situation“ kann beispielsweise der Baustein „Bezirk“ alle Informationen aufnehmen, die auf Bezirksebenen gültig sind. Das gleiche gilt auch für den Stream der Hauptproduktionsgebiete. AD-Streams bilden in ihrer Funktionsweise eine vereinfachte Art eines räumlichen Indexes ab.

Beide Beispiele grenzen räumlich Strukturen in hierarchischer Reihenfolge ab. Jeder Baustein steht in dualer Beziehung zu seinem Nachbarn. Es gelten folgende Regeln:

1. **Für jede räumliche Struktur wird ein neuer AD-Stream erstellt.** Innerhalb des AD-Streams finden wir keine *content*-Auflistungen mehr, sondern tabellarische Darstellungen von fachlichen Themen oder Formeln (*generalTable*). Dabei werden beliebig viele, zu den räumlichen Strukturen passende Themen in den vorgegebenen dynamischen Datenstrukturen gespeichert.
2. **Die Anzahl der tatsächlichen Ebenen bestimmt die Anzahl der Sequenzobjekte.** Je nach der Art der vorliegenden Daten können unterschiedlich viele Ebenen erstellt werden. Im Falle dieses Projektes wurden maximal vier Ebenen definiert. Die ADS kann aber natürlich auch noch mehrere Ebenen haben.
3. **Die Zusatzattribute müssen nach einem Top-Down-Ansatz befüllt werden.** Es darf auf keiner hierarchisch tiefer liegenden Ebene ein Element eingeführt werden, welches nicht

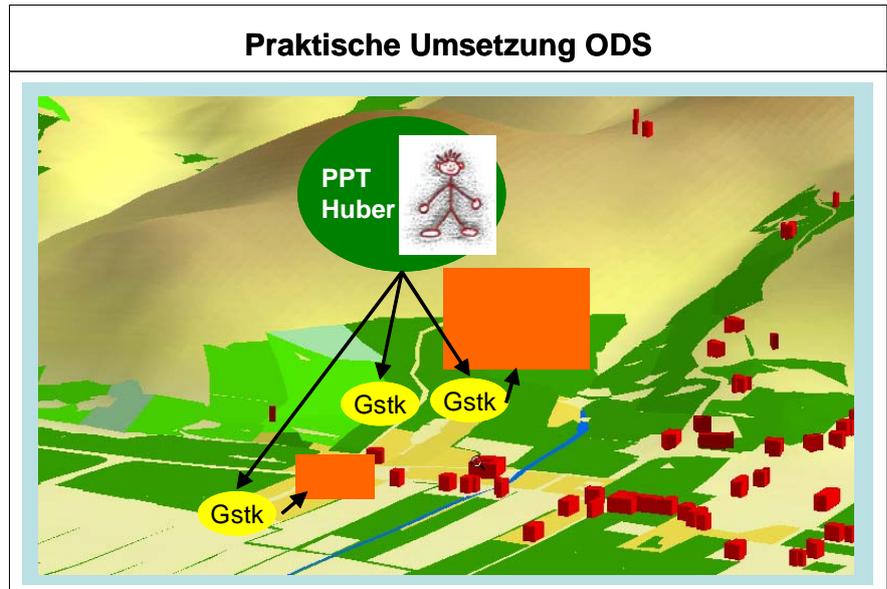


Abbildung 16: Beispiel ODS mit Geo- und Fachdaten

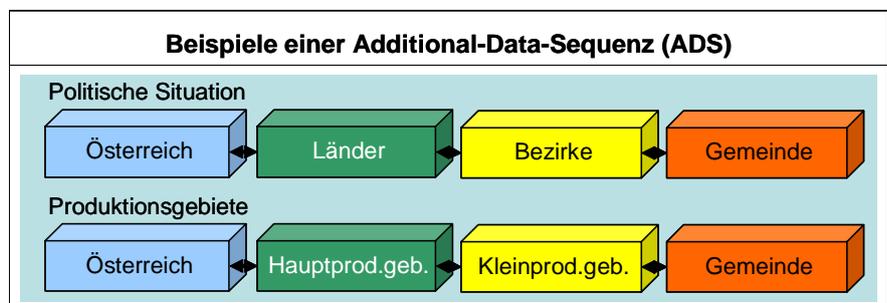


Abbildung 17: Beispiele Additional Data Stream (ADS)

schon auf einer höheren Ebene allgemeiner spezifiziert wurde. Es können in jedem AD-Stream beliebig viele Datentabellen aufgenommen werden, wichtig ist jedoch, dass der Schlüssel einer Tabelle eindeutig sein muss.

Benötigt ein Element des OD-Streams Informationen aus dem AD-Stream, kann es diese jederzeit rekursiv abfragen. Am Beispiel des Herrn Huber kann dies demonstriert werden. Dessen Grundstücke liegen in der Gemeinde Pöllau. Einige Grundstücke sind Ackerland, und es interessiert Herrn Huber, mit welchen Erträgen er zu rechnen hat. Das Ergebnis der Suche für die Eintragung „crop yield“ ist in der Gemeinde Pöllau nicht vorhanden. Da aber aus der Spot-Ebene ein Verweis zum passenden Bezirk angelegt wurde, kann dort weitergesucht werden. Die dort eingetragenen Werte können zurückgegeben werden (Weizen 7210 kg/ha).

Die Methodik, die Suche innerhalb eines AD-Streams nach dem Bottom-up-Ansatz zu beginnen, führt immer zu spe-

zielleren, exakteren Ergebnissen. Wird vom Ausgangselement beginnend ein Eintrag gefunden, kann das Ergebnis direkt an den Fragesteller zurückgeliefert werden. Wenn nicht, kann rekursiv auf die darüber liegende Ebene verwiesen werden. Wird auf der höchsten Ebene (Description) ein Eintrag nicht gefunden, wird ein Fehler gemeldet. *Abbildung 17* zeigt das Flussdiagramm der Entscheidungen in diesem Prozess.

Der AD-Stream soll nun noch einmal in einer zusammenfassenden Abbildung demonstriert werden. Gesucht sind diesmal die Grenzwerte der Luftschadstoffe für die Gemeinde Pöllau. Da diese nur auf der Bundesebene im Immissionsgesetz-Luft definiert werden, muss der gesamte AD-Stream durchwandert werden. Letztendlich können jedoch die Grenzwerte richtig geliefert werden.

3.3.5 Dynamische GI-Strukturen

In den einzelnen Klassen des OO-Modells werden für gewöhnlich die Attribute als elementare Datentypen abgelegt. In

Java steht dazu unter anderem der String als Zeichenkette, Integer als Zahl ohne Dezimalstellen und Double als Gleitkommazahl zur Verfügung. Die Implementierung von Attributen innerhalb einer Klasse führt zu einer gewissen Unbeweglichkeit des fertigen Modells.

Attribute, die vor Jahren bedeutend waren, können irgendwann nicht mehr erhoben werden. Noch häufiger ist die Erweiterung um zusätzliche Parameter. Jedes Ereignis führt dazu, dass der Designer sein Modell verändern und der Programmierer darauf reagieren muss. Ähnliches gilt in Folge für alle Methoden, die entweder als Zugriffs- oder Berechnungsmethoden Attribute verwenden.

Dynamische GI-Datenhaltung

Werden Attribute nicht direkt in die einzelnen Klassen abgelegt, sondern in dynamische Strukturen, kann dieses Problem umgangen werden. Innerhalb von Java dienen Collections dazu, Mengen von Daten aufzunehmen. Die Daten werden gekapselt abgelegt, ein Zugriff ist nur über vorgegebene Methoden möglich (KRÜGER, 2001, 284).

Eine spezielle Ausprägung der Collections ist die Hashmap. Diese nimmt Werte als ein Objekt, inklusive eines dazugehörenden Schlüssels auf. Im Konzept der dynamischen Datenhaltung entsteht so die Möglichkeit, beliebige Attribute eines geographischen Objektes in ein Element abzulegen. Der Schlüssel wird durch die Bezeichnung des Attributes gebildet. In *Abbildung 20* werden eine statische und dynamische Implementierung der Klasse Grundstück_DKM gegenübergestellt.

Schon der optische Vergleich zeigt die elementaren Unterschiede. Im dynamischen Konzept kommen wir mit einer integrierten, allgemein gültigen Datenstruktur aus (*content*), die mit zwei Zugriffsmethoden (*getContent()*, *putContent()*) ausgestattet wird. Im statischen Fall wird jedes Attribut je nach Typ individuell definiert und mit den Methoden *getAttributX()* und *setAttributX()* ausgestattet. Optisch scheint der Vorteil des dynamischen Konzeptes aber größer zu sein, als er tatsächlich ist. Die redundante Kombination von Schlüssel und Wert für jedes Objekt steigert die Datenmenge enorm. Die dynamische Struktur kann

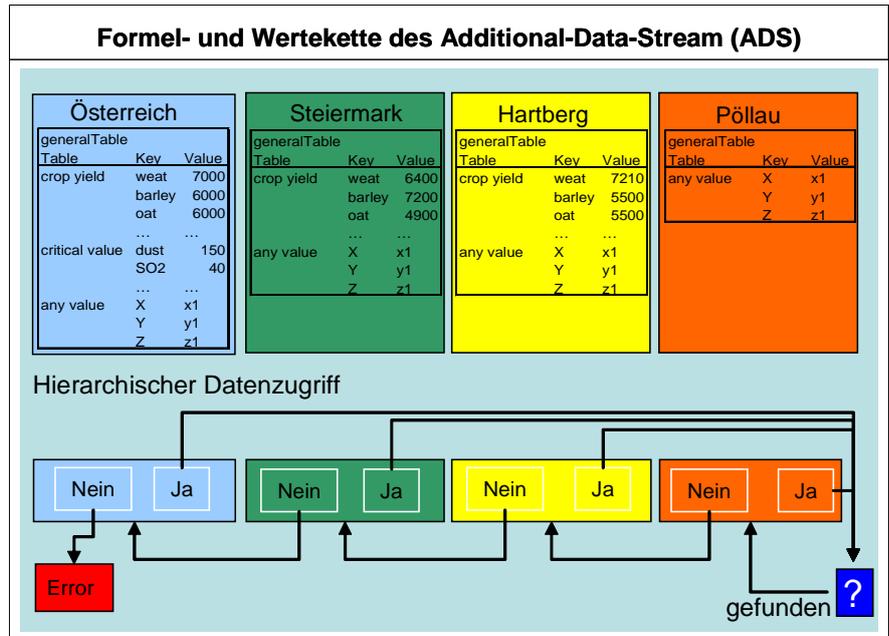


Abbildung 18: ADS mit Datenzuordnung in Tabellen

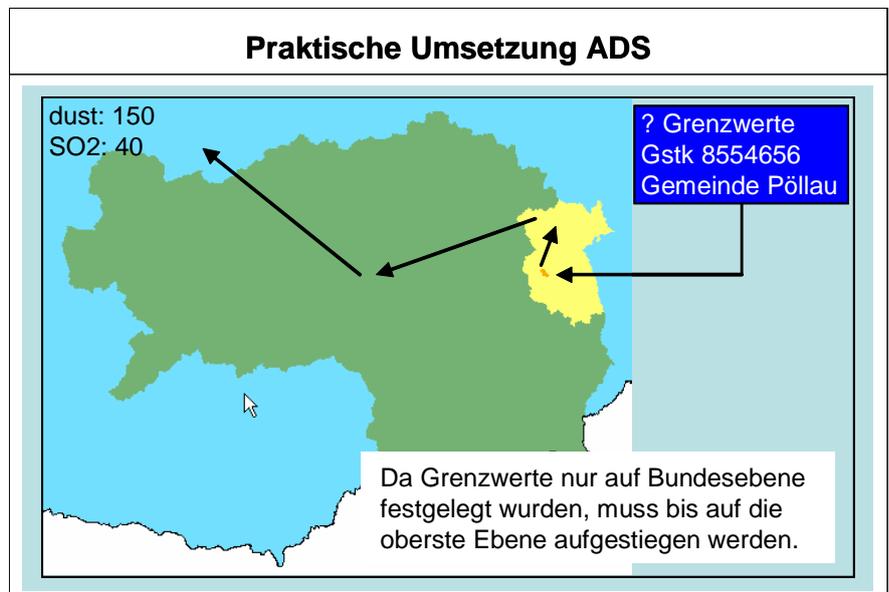


Abbildung 19: Beispiel für die Anwendung der AD-Streams

also nicht ungeprüft für jede Lösung übernommen werden.

Standard-Klasse	Dynamische-Klasse
Attribut 1 Attribut 2 ... Attribut N	Collection: values
setAttribut1() getAttribut1() setAttribut2() getAttribut2() ... setAttributN() getAttributN()	setContent(Key, Value) getAttribut1(Key)

Abbildung 20: Vergleich von statischer und dynamischer Klasse

Dynamische GI-Berechnung

Die in das Datenmodell integrierten Methoden dienen neben der Zugriffsorganisation vor allem der Berechnung neuer Werte. Wird in der Liste der Attribute eine Veränderung vorgenommen, müssen im statischen Fall auch die Methoden angepasst werden. Es stellt sich nun die Frage, ob nicht an das eben beschriebene dynamische Speichermodell auch dynamische Methoden angeknüpft werden können? Die Antwort lautet: Ja!

Die OO-Sprache Java besteht aus einer Sammlung von Bibliotheken, in denen die Möglichkeiten der Sprache abgelegt wurden. Diese Bibliothekssammlung ist

jederzeit erweiterbar. So steht beispielsweise mit dem mathematischen Berechnungspaket JFormula eine gesamte Suite von ausführbaren Formelstrukturen zur Verfügung. Das Arbeitsprinzip dieser Klasse ermöglicht eine textorientierte Anwendung von Formeln.

Dazu ein Beispiel: Eine Instanz der Klasse JFormula soll aus den polaren Koordinaten eines Punktes s, α, β eine Berechnung der kartesischen Koordinaten X, Y, Z vornehmen (LICHTENEGGER, 2001: Seite 12). Die textorientierte Definition der Formel lautet für X : $s \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha)$. Diese Formel wird als Zeichenkette (String) an das Formelobjekt übergeben. Ebenso sind die Werte der Parameter s, α und β bekanntzumachen. Durch die formelinterne Methode evaluate() wird die Formel berechnet und der Wert für X zurückgegeben. Diese Methodik besticht, wie die dynamische Datenhaltung durch ein einfaches, universelles Konzept. Es können aber nicht alle Berechnungen so vorgenommen werden. Vor allem Berechnungen, die auf der Teil-Ganzes-Beziehung des Modellansatzes nach Coad aufbauen, bilden nicht Einzelergebnisse, sondern Mengen ab. Dem kann nur durch die Implementierung angepasster Methoden (calculateXXX) begegnet werden.

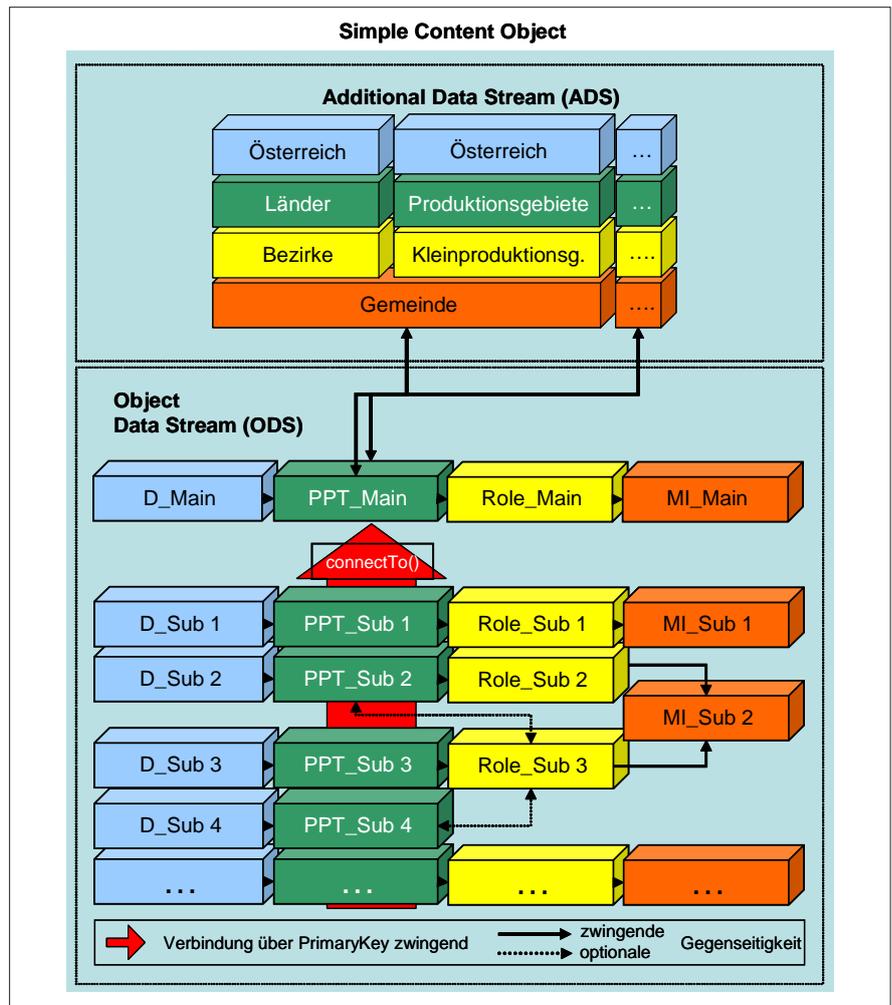
3.3.6 Elementarbaustein Simple Content Object

Aus den neu entwickelten Entwurfsmustern ODS und ADS lässt sich nun ein universaler Baustein modellieren, der die aktiven Objekte sowie alle zusätzlichen Inhalte als Werte- und Formelaufstellungen aufnehmen kann. Die Bezeichnung dieses kombinierten Bausteines soll Simple Content Object lauten. Die Namensgebung weist bereits jetzt darauf hin, dass an eine Verbindung mit dem Simple Feature Object gedacht wird.

Abbildung 21 zeigt in umfangreicher Ausführung das Simple Content Object, während Abbildung 22 dessen Integration in das Simple Feature Object darstellt. Diese nun völlig neuartige multifunktionale Datenstruktur kann sowohl die räumlichen GI-Daten als auch die Fachdaten optimal aufnehmen.

3.3.7 Agricultural-GIS-Sphere (AGS)

Alle bisher analysierten Zusammenhänge sowie die im Design beschriebenen



Abbildungen 21: Aufbau des Simple Content Objects

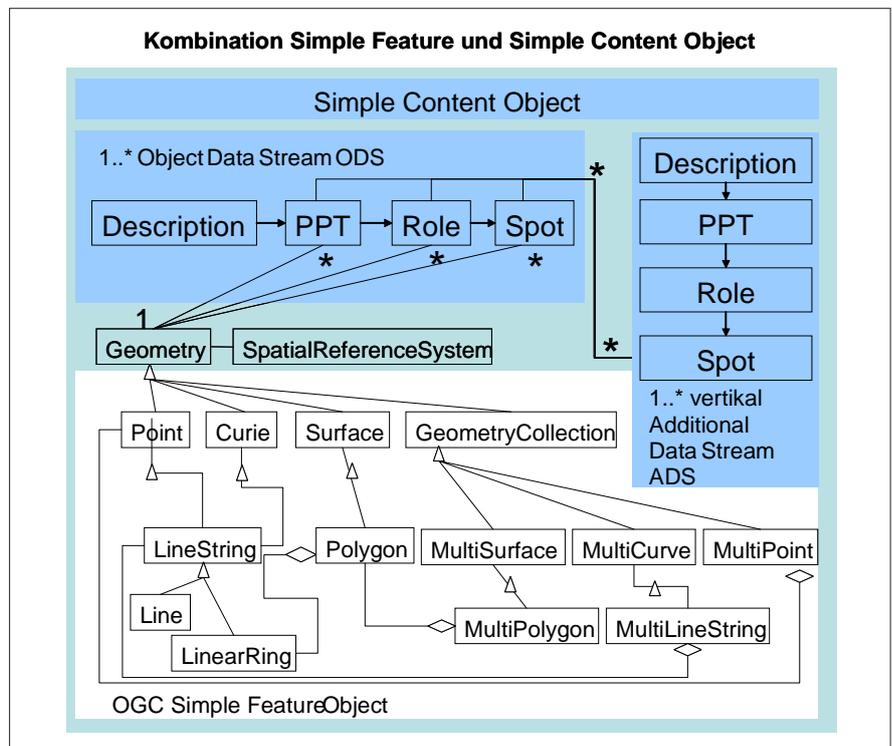


Abbildung 22: Simple Feature und Simple Content Object

dynamischen Methoden werden in einem finalen Modellierungsschritt in ein ganzheitliches System implementiert. Die zwei Datenkomponenten sowie die geometrische Denkweise des Designers fließen in die Bezeichnung des Modells ein:

- **Agricultural:** Verweist auf die landwirtschaftlichen Fachdaten.
- **GIS:** Bezieht sich auf die aus GI-Systemen entnommenen Datenanteile.
- **Sphere:** Wird als eine geschlossene räumliche Struktur interpretiert, in der sowohl die Fach- als auch die räumlichen Daten unter optimalen Bedingungen in Beziehung treten können. Nach außen kommuniziert diese Struktur über Schnittstellen.

AGS soll weit über dieses Projekt hinaus folgende funktionale Aufgaben erfüllen:

- Universeller Datenträger, der nach innen das Simple Feature Object um Fachdaten erweitert.
- Universeller Datenträger, der nach außen als kommunizierendes Gefäß für Anwendungen auftritt.

Technische Komponenten der AGS sind:

- GI-Anwendungen wie Arc-Info, die dem Gesamtkomplex ihre hervorragenden Analysemethoden beisteuern.
- Alle denkbaren Datenbankmanagementsysteme, die entweder Daten liefern oder Ergebnisse aufnehmen.
- Von anderen Anwendern oder Gruppen entworfene OO-Anwendungen wie z.B. SPRING

Es besteht die Hoffnung, dass mit diesem System eine methodische Plattform geöffnet wurde, die breit genug ist, um alle aktuellen und zukünftigen Fragestellungen in voller Breite beantworten zu können.

3.4 Design: Praktische Umsetzung

Aus der Modelltheorie, welche die letzten Seiten ausführlich füllte, soll nun eine funktionierende Datenstruktur entstehen. Diese kann das Problem aus Kapitel 3.2.1 schnell und zuverlässig lösen. Stellvertretend für die vielen Fachthemen wird aus dem Bereich der Geodaten der Einbau der DKM inklusive der landwirtschaftlichen Nutzung der Fläche und aus dem Bereich der Fachdaten die Zuordnung der Konservierung des geernteten

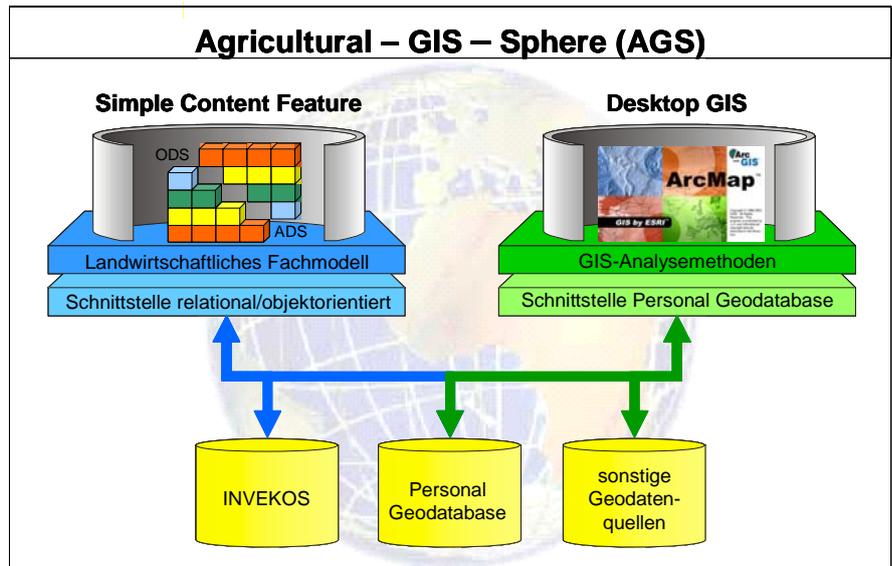


Abbildung 23: Agricultural - GIS- Spere (AGS)

Futters präsentiert. Die Grundstücke der DKM werden dabei noch um deren räumliche Lageeigenschaften (Seehöhe, Hangneigung, Exposition) ergänzt.

3.4.1 Integration von Geo-Basis-Daten (DKM)

Eine ODS-Sequenz im Bereich der Flächenerfassung beinhaltet folgende Bausteine:

- **SCHLÄGE:** Kulturflächen, die mit homogenen Beständen bepflanzt sind und vom Landwirt als eine geschlossene Bewirtschaftungseinheit angesehen werden, tragen im INVEKOS die Bezeichnung Schlag. Die räumliche Ausdehnung eines Schlages ist in den seltensten Fällen identisch mit den vermessenen Grenzen eines Grundstückes. Vielmehr findet eine wahlfreie Überdeckung der Grundstücke durch die Schläge statt. Schläge ihrerseits überdecken sich aber nie, sondern bilden eine geschlossene Oberfläche, die in ihrem Gesamtausmaß der genutzten Grundstücksfläche des Betriebes entspricht.
- **FELDSTÜCKE** als Spot: Feldstücke werden aus einem oder mehreren Schlägen zusammengesetzt. Deshalb sind auch sie nicht deckungsgleich mit den Grundstücksgrenzen. Der Name der Feldstücke entspricht den üblichen Flurbezeichnungen, die auf die Herkunft oder ursprüngliche Nutzung (Weiher, Lärchenacker, ...) hinweisen. Die Nutzung eines Feldstückes ist

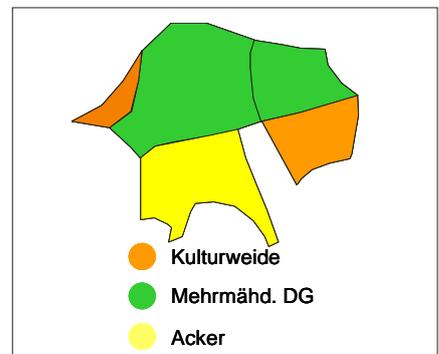


Abbildung 24: Betriebsansicht Schläge

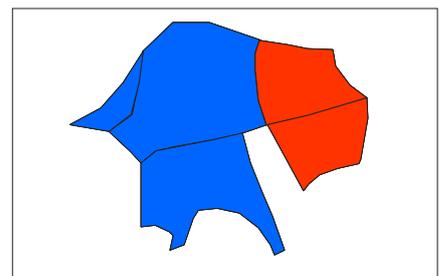


Abbildung 25: Betriebsansicht Feldstücke

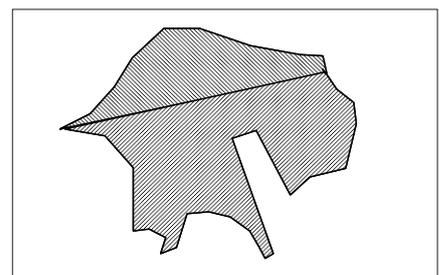


Abbildung 26: Betriebsansicht Grundstücke DKM

zumeist inhomogen und kann sich vor allem in Ackerbaugebieten von Jahr zu Jahr ändern.

- **GRUNDSTÜCK** als Role: Innerhalb dieses Projekts ist das Grundstück die einzig geometrische Flächenform (DKM), deren Daten auch tatsächlich verfügbar sind. Als rechtliche Einheit des Besitzes ist ein Grundstück an keine Nutzung gebunden. Durch eine Erhebung, die den Grundstücksanteil am Feldstück (GATL) festlegt, kann jedoch einem Grundstück eine kategorische Nutzung unterstellt werden. Sinnvoll ist dabei die Angabe der prozentuellen Nutzung einer Kulturart aus der Liste der Feldfruchtgruppen oder einer davon abgeleiteten, zusammenfassenden Kulturform (Grünland, Acker, ...).
- **PPT BETRIEB**: Innerhalb eines Betriebes werden alle im INVEKOS genannten Flächen gespeichert. Die Betriebsebene stellt auch die Main-Sequenz des Projektes dar.
- **DESCRIPTION**: Sammelt alle Grundstücke des INVEKOS auf und stellt den allgemeinen Zugang für Abfragen zur Verfügung.

Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Bausteinen und deren methodischer Verrechnung kann der *Abbildung 27* entnommen werden. In der Betrachtung vom Spot ausgehend, wird unser Betrieb aus 2 Feldstücken gebildet. Die Schläge, die dem Feldstück zugeordnet werden können, sind in einer Landnutzungs-klasse (Land-Utilisation-Object), gespeichert. Um die Feldstücke auf die Grundstücke anteilmäßig umzulegen, können die Daten einer zusätzlichen Datentabelle (Gatl = Grundstücksanteile am Feldstück) verwendet werden. Dabei verzerrt die rechnerische Verschneidung von Grundstücken und Feldstücken aber das Ergebnis. Obwohl in *Abbildung 27* deutlich sichtbar ist, dass der Acker (gelb) eindeutig im Grundstück 1 liegt, wird durch die Berechnung über die Feldstücke letztendlich auch dem Grundstück 2 ein gewisser Ackeranteil zugewiesen. Da die Grundstücke in diesem Zusammenhang derzeit aber die einzige Geodatenquelle darstellen, muss dies in Kauf genommen werden. Ab dem Erfassungsjahr 2005 werden im AMA-GIS (siehe Invekos-Verordnung BGB, 2004) die Schläge als Polygon erfasst. Somit wird eine exakte Verschneidung (Intersect) mit den

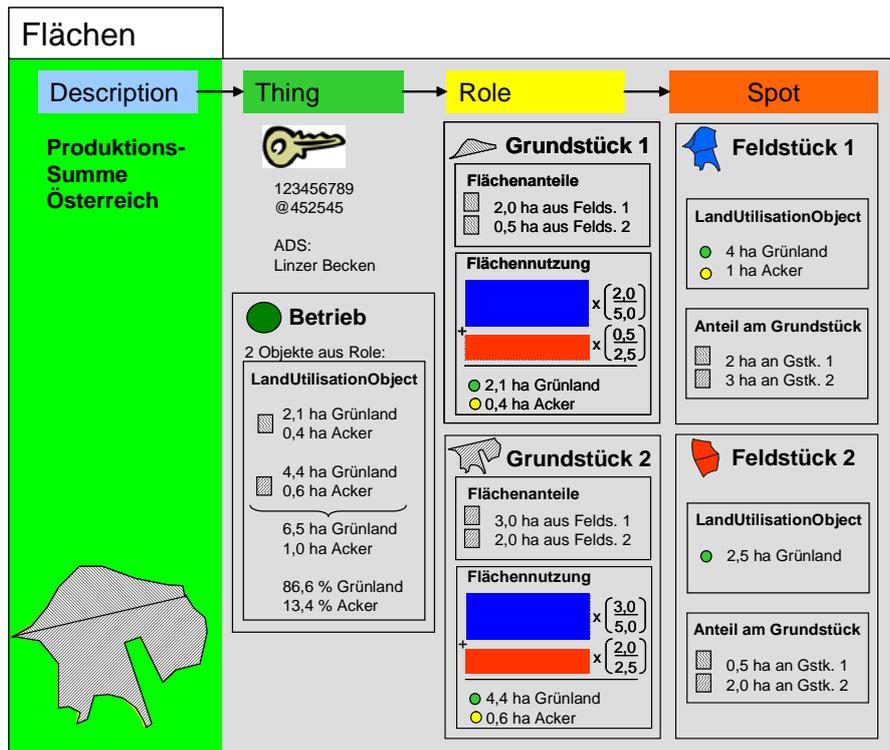


Abbildung 27: Flächen und deren Nutzung

Grundstücken möglich, und dieses Problem ist gelöst. Aus den Nutzungsergebnissen der Grundstücke kann auf der nächsten Ebene des Betriebes die durchschnittliche Gesamtnutzung berechnet werden.

Die Gesamtübersicht über die Verarbeitung der Flächen wird in *Abbildung 28* ersichtlich. Praktisch wird das relationale Modell des INVEKOS durch Loader-Klassen in das OO-Modell übergeführt. Die Ausgangstabellen dafür sind in *Ab-*

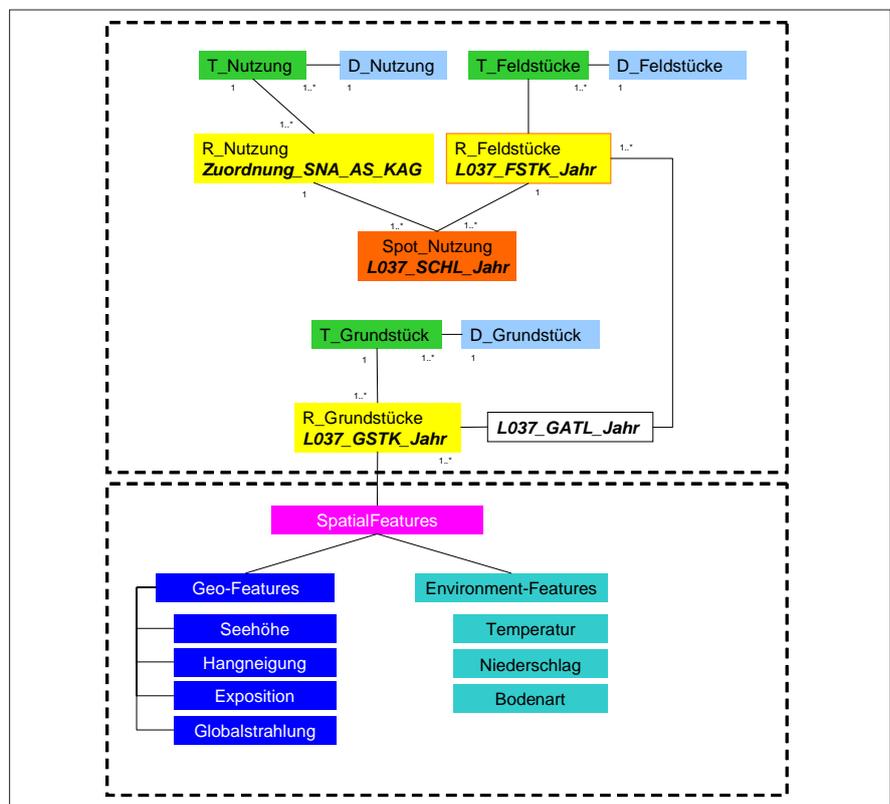


Abbildung 28: Grundstücksdaten und deren Nutzungseinheiten

bildung 28 dargestellt. Da diese Tabellen jedes Jahr neu erstellt werden, ist im gesamten System auf höherer Ebene eine Klasse einzuführen, welche die zeitliche Komponente berücksichtigt.

3.4.2 Integration der abgeleiteten Geo-Daten

Der ODS der Grundstücke wird nun mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Diese sind vor allem Ergebnisse aus diversen GIS-Analysemethoden. Räumliche Lageparameter beschreiben dabei die Ausrichtung der Grundstücke, Umgebungsparameter nehmen Messwerte auf. Für die Verspeicherung dieser Daten wurden drei zusätzliche Trägerklassen entwickelt und an den ODS übergeben. Das Spatial-Feature-Object kapselt alle Eigenschaften, die das Grundstück beschreiben. Eingeteilt werden diese nach ihrer semantischen Aussage in Geo- und Environment-Features. Einige Beispiele für Inhalte der Klasse Geo-Features sind die Seehöhe, die Hangneigung und die Exposition. Die Globalstrahlung, die auch im methodischen Teil der GIS-Analyse noch näher dargestellt wird, wird auch zu den Geo-Features gezählt. Einige Environment-Features, also Umgebungsparameter sind Klimadaten wie Niederschlag und Temperatur sowie die Bodentypen (siehe Abbildung 29).

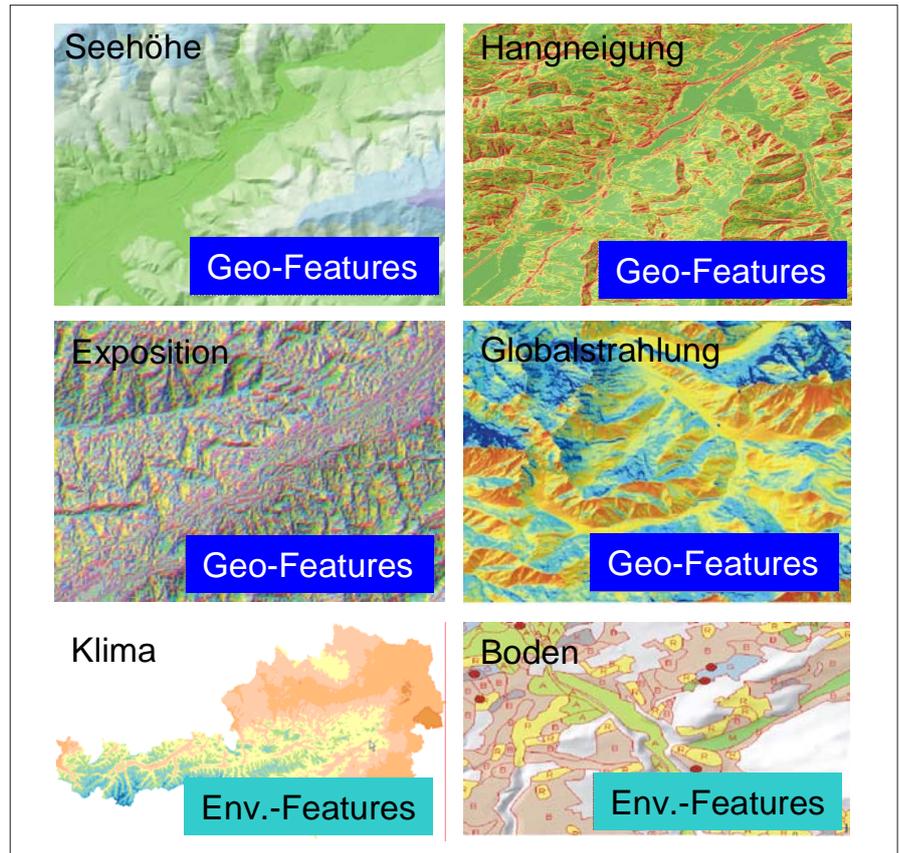


Abbildung 29: Diverse GI-Parameter

3.4.3 Integration landwirtschaftlicher Fachdaten (Futtermittel)

Mehr als die Hälfte der Daten dieses Projektes bilden fachliche Zusammenhänge ab, deren räumliche Positionen von Bedeutung sein können, aber nicht müssen. So werden alle in Österreich erhobenen pflanzlichen Produkte in 219 Feldfruchtgruppen eingeteilt. Diese bilden im Paket der Nutzung die einzelnen möglichen Rollen. Für die tatsächliche Verwendung von Feldfruchtgruppen, im Zusammenhang mit der Fütterung von Tieren oder der Berechnung von betriebswirtschaftlichen Zusammenhängen, muss aber auch die Konservierung und Weiterverarbeitung berücksichtigt werden.

Die Überleitung von der Feldfruchtgruppe zu den einzelnen Futtermitteln wird innerhalb einer ADS durchgeführt (siehe KAPITEL 3.3.7) und in Abbildung 30 dargestellt.

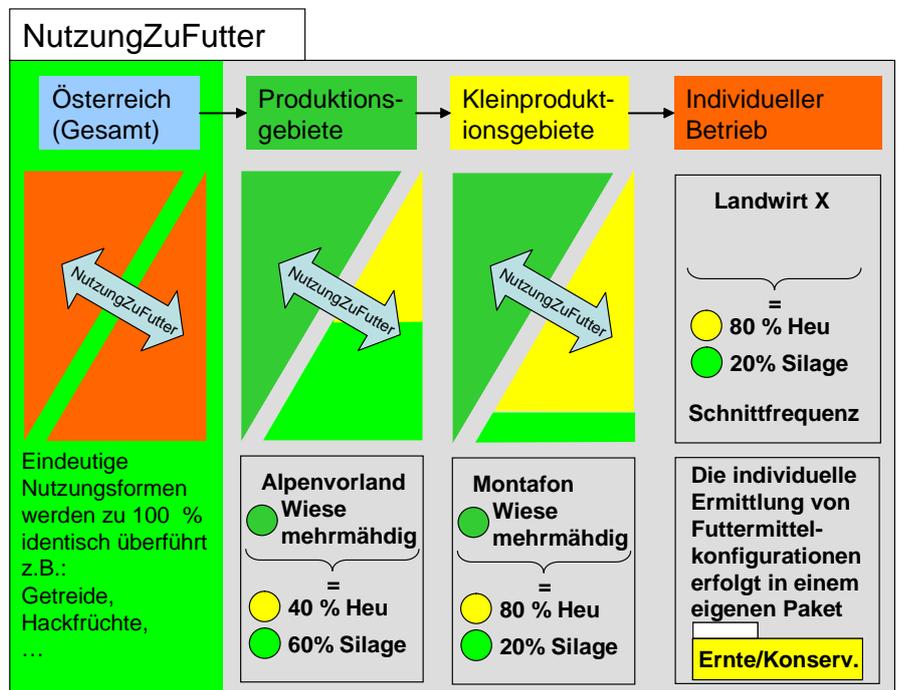


Abbildung 30: Nutzungsbeschreibungen und regionale Konservierungsstrategie

Wird für ein Grundstück im Kleinproduktionsgebiet Montafon beispielsweise die Nutzung „Wiese mehrmähdig“ angenommen, antwortet der ADS bei der Anfrage

nach der Konservierung, mit 80 % Heu und 20 % Silage. Ebenso kann der Fall eintreten, dass nur auf der Ebene des Hauptproduktionsgebietes überhaupt

eine Antwort auf die Anfrage gegeben werden kann. Betriebe, deren Daten tatsächlich erhoben wurden, können diese im Paket Ernte/Konservierung zur Verfügung stellen.

3.4.4 Zusammenfassung Design

Das in der Analyse definierte Ziel, der Errichtung einer OO-Datenstruktur, wird

im Design umgesetzt. Durch die Adaptierung bestehender Entwurfsmuster entstehen zwei neue Bausteine (ODS und ADS), die als Simple Content Features gemeinsam auftreten. Diese Struktur ermöglicht die schnelle und dynamische Kombination von Geo- und Fachdaten. Durch die Kompatibilität zum Simple Feature Object des OGC, entsteht so ein hoher Grad an Interoperabilität.

3.5 Implementierung

Auf die Implementierung der Agricultural-GIS-Sphere wird in dieser Arbeit nur insoweit eingegangen, dass die Paketstruktur des Java-Projektes im Anhang dargestellt wird. Dort ist auch eine Auflistung der Klassen und deren Funktionen zu finden.

4. Material und Methoden der Geodatenbearbeitung

Die umfassende Analyse des Modellbaus und die daraus abgeleitete neuartige OO-Struktur für Geodaten, ermöglicht nun den Einstieg in die schrittweise Abarbeitung des Projektes, wie sie unter Punkt 2.2 vorgeschlagen wurde. Zentrales Element der Methodik ist dabei die AGS. Diese löst die Anforderungen der Fachschale Landwirtschaft im Simple Content Objekt, während alle GIS-Analysen im ArcGIS 8.3 durchgeführt werden.

Bei der Bearbeitung von Geo- und Fachdaten stellt sich gelegentlich die alternative Wahlmöglichkeit zwischen Vektor- und Rasterdaten. Vektordaten werden dort verwendet, wo die Realweltobjekte eine punkt- oder linienförmige Struktur bilden. Für flächenhafte Darstellungen wie Grundstücke, sind beide Datentypen gut geeignet. Nicht vergessen sollte man bei der Festlegung des Datentyps die verwendbare Werkzeugunterstützung. Für linienförmige Vektordaten bieten moderne GI-Anwendungen eine Reihe von Netzwerkanalyse-Tools an. Für Rasterdaten bestehen vielfältige Möglichkeiten der Rasteralgebra.

Nicht die Präsentation von erhobenen Geodaten, sondern deren Analyse und die verallgemeinerbaren Aussagen sind das Ziel dieses Projektes. Jeder wissenschaftlich arbeitende Geoinformatiker kann sich dabei nicht der Tatsache verschließen, dass die alleinige Darstellung der Ergebnisse in Kartenform nicht ausreicht. Die räumliche Verteilung muss zusätzlich durch statistische Parameter wie Verteilungsmaße, Richtungstrends und Modellbeurteilungen ergänzt werden.

Solche statischen Bewertungen am Übergang zwischen Punkt- und Flächenobjekten bietet ein Werkzeug der Firma Esri. Der Geostatistical Analyst (GA) ist eine Erweiterung, die als Input-Parameter punktförmige Objekte aufnehmen kann. Diese Punkte enthalten neben einer räumlichen Lage, auch eine beliebige Anzahl von zusätzlichen Messwerten. Als Endprodukt einer geostatistischen Analyse entstehen Aussagen über die Form der Datenverteilung nach ihrem Inhalt und ihrer Lage.

Kapitel 4 bespricht eine Reihe von ausgewählten Aufgaben, die während des Bearbeitungsprozesses von den Rohdaten bis zur statistischen Karte zu lösen sind. Diese sind eine Reihe von Verschneidungen einzelner Geodatenquellen, der Neuberechnung von Punktobjekten als Repräsentation der landwirtschaftlichen Nutzungen, ein Abgleich zwischen Adressbeständen und die Vorbereitung zur Geodatenanalyse.

4.1 Geodatengewinnung

Bereits unter Punkt 3.4.2 wurde eine Struktur für klassische Geodaten wie Seehöhe, Hangneigung und Exposition, aber auch für Umgebungsdaten, wie Klimaparameter und Bodentypen vorbereitet. Diese einzelnen Parameter liegen nicht vor, können aber aus den Geo-Basisdaten gewonnen werden. Dazu sind jene Grundstücke zu isolieren, die auch innerhalb des INVEKOS bearbeitet werden. Dies reduziert das Datenmaterial auf die relevante Teilmenge. Die visuelle Beurteilung von *Abbildung 31* zeigt mehr als 3,2 Millionen Grundstücke, die sich vor allen in den Niederungen und in den Gunstlagen Österreichs befinden. Die schmalen Nutzungsbänder innerhalb der alpinen Täler sind darauf zurückzuführen,

dass weder Almflächen, noch Waldgrundstücke mitverarbeitet werden.

4.1.1 Daten des Geländemodells

Jedes Grundstück zeichnet sich durch seine individuelle Lage aus. Für die Beschreibung der Lageparameter gibt es eine Reihe unterschiedlicher Ansätze. Im universellen Fall, der im Bereich der Navigation eine große Rolle spielt, wird ein Objekt in einem raum- oder erdfesten Koordinatensystem durch die kartesischen Koordinaten X, Y und Z definiert. Die Kartografie versucht eine optimale Anpassung der dreidimensionalen Erdoberfläche, in einem zweidimensionalen Kartenfenster. Dabei werden X- und Y-Koordinaten je nach gewählter Projektion angepasst. Der Z-Wert geht als Attribut einer X/Y Position als normierter Wert (z.B.: Seehöhe ab Triest) in die Karte ein. Zuletzt interessiert noch die Lage eines Grundstückes in Abhängigkeit seines lokalen Koordinatensystems. Betrachtet man dieses als Attitude, kann man die Hangneigung (Kippeffekt) und die Exposition (Verdrehung) als individuelle Lageparameter beschreiben. Da Seehöhe, Hangneigung und Exposition nicht direkt in der DKM vermerkt sind, müssen diese Werte durch eine Verschneidung der DKM mit unterschiedli-

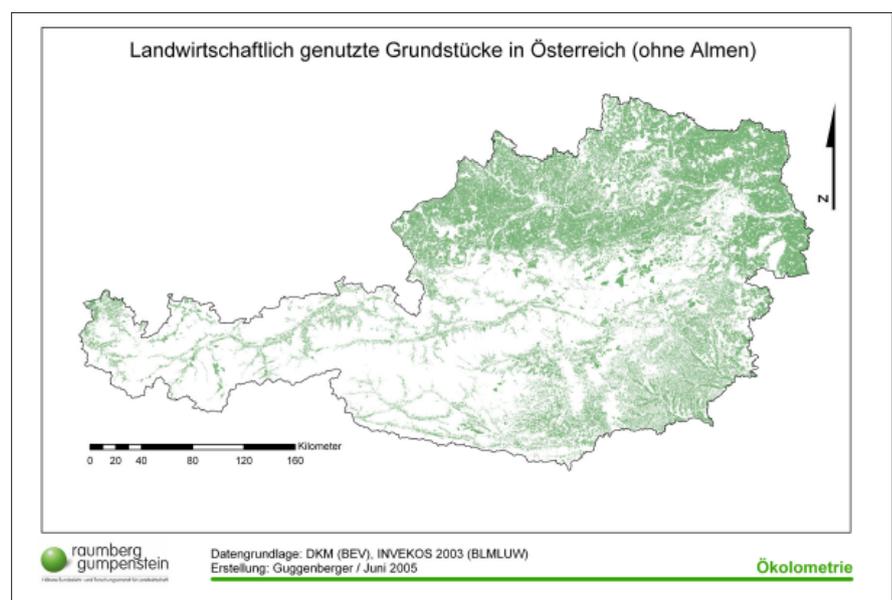


Abbildung 31: Landwirtschaftliche Grundstücke in Österreich

chen Darstellungsformen des digitalen Geländemodells (DGM) berechnet werden.

Als Ausgangsdatenmaterial werden die einzelnen Kacheln des DGM mit einer Auflösung von 10 x 10 Meter je Pixel zu einem ganz Österreich abdeckenden Rasterdatensatz zusammengestellt. (Die spezielle, funktionalere Datenform der Rasterdaten innerhalb von ArcGIS wird als Grid bezeichnet. Deshalb wird ab jetzt jeder Rasterdatensatz als Grid angesprochen.) Das Grid des DGM kann mit dem Spatial Analyst, einer speziellen Erweiterung zur Verarbeitung von Grid's, in unterschiedlichste Darstellungsformen verarbeitet werden. Dabei findet ein Vergleich der Höhenwerte benachbarter Zellen statt. Die Hangneigung wird aus dem Höhenunterschied benachbarter Pixel errechnet. Die Exposition aus der Richtung, in die sich die Pixel verändern. Die Seehöhe wird direkt durch den Z-Wert der Pixel des DGM-Grid beschrieben. Legt man die Grundstücke des DKM über die nun entstandenen Geländesituationen, kann der Durchschnitt der unter einem Grundstück liegenden Pixelwerte durch eine zonale Funktion ermittelt und an das Grundstück übertragen werden (ESRI, 2002a).

Ein weiterer Parameter, die Globalstrahlung, ist über die Lageparameter hinaus für die Erklärung von Erträgen und Inhaltsstoffen von großer naturwissenschaftlicher und wirtschaftlicher Bedeutung. Die Globalstrahlung setzt sich aus zwei Strahlungskomponenten, direkte und diffuse Strahlung, zusammen. Die Werte für die direkte Strahlung hängen vom Auftrittswinkel der Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche ab. Strahlen die normal zur Erdoberfläche auftreffen, wirken mit hoher Intensität. Mit dem Abflachen des Winkels sinkt deren Intensität. Wichtig ist dabei, dass der Winkel zwischen Sonne und Erdoberfläche sowohl vom Stand der Sonne über dem Horizont, als auch von der Neigung der Erdoberfläche abhängt. Die Werte der diffusen Strahlungen hängen vom Umgebungsrelief eines Standortes ab (FU & RICH, 1999a)

Die Berechnung der Globalstrahlung kann als Nahrungsansatz mit dem bereits erwähnten Spatial Analyst oder mit einer zusätzlichen Erweiterung, dem Solar

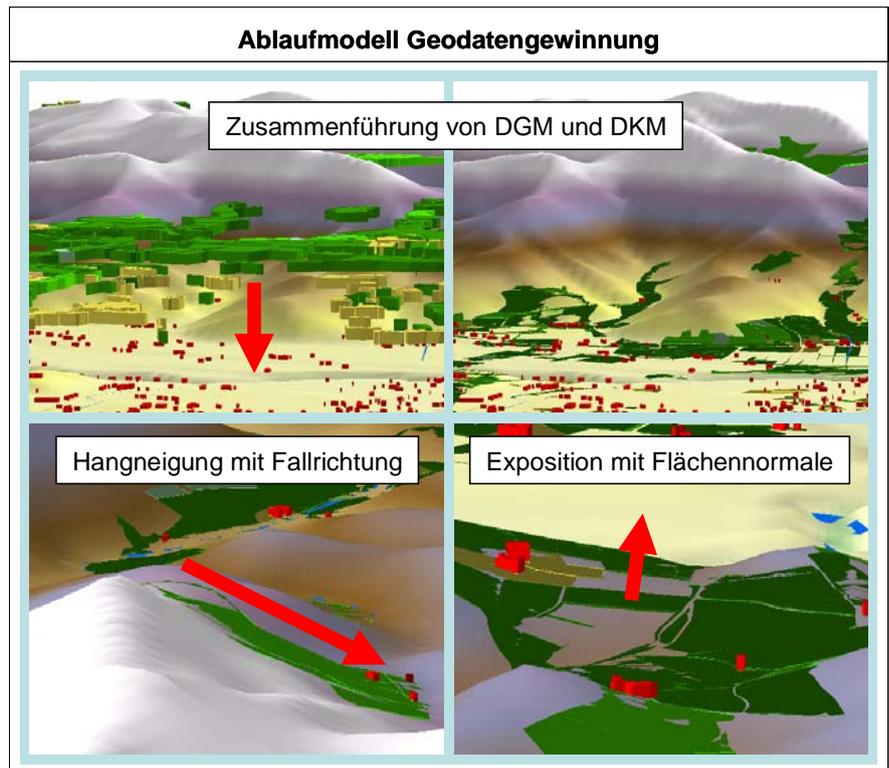


Abbildung 32: Ablaufmodell zur Berechnung der Lagedaten von Grundstücken

Analyst 1.0 berechnet werden. Zweitere Software wurde von Mitarbeitern der University of Kansas entwickelt. Sie berücksichtigt neben den Einfallswinkeln und dem zugrunde liegenden Geländemodell, noch eine Reihe zusätzlicher Parameter. Eine flächendeckende Berechnung der Globalstrahlung für Österreich ist auf der unter 3.2.4 beschriebenen Computerkonfiguration nicht möglich. Für die Berechnung dieses Wertes wurde vom BMLFUW ein Auftrag an das landwirtschaftliche Rechenzentrum erteilt und dort erfolgreich bewältigt.

Obwohl diese Daten für das österreichische Bundesgebiet nun berechnet wurden, ist ein Vergleich mit der bisher verwendeten Hillshade-Methode von Interesse. Diese verwendet den Spatial Analyst, der neben der Bestimmung von Hangneigung und Exposition, auch zur Bildung eines sonnenstandbedingten Reliefs genutzt werden kann. Die zwei Eingangsparameter des Sonnenstandes sind der Winkel über dem Horizont (Altitude) und der Winkel gegen Norden (Azimuth). Beide Winkel sind sowohl tages- als auch jahreszeitabhängig und wurden für Österreich berechnet (SCHAUMBERGER, 2005).

In einem lokal überraschend leistungsfähigen Programm, wurden für einen al-

pinen Quadranten rund um Eisenerz in der Steiermark und eine Flachlandregion bei Enzersdorf eine Berechnung der Sonnenscheindauer und der Strahlungssumme durchgeführt. Grundlage dieser Berechnung ist die Erstellung und Addition von Hillshades im 30-Minuten-Intervall. Die im Hillshade entstehenden Werte decken einen Bereich von 0 bis 255 ab und repräsentieren so einen indirekten Strahlungswert. Der Wert 0 steht dabei für absolute Dunkelheit, der Wert 255 für maximale Bestrahlung. Die Ergebnisse dieser Berechnung können den nach gleichen Intervallen und im gleichen Gebiet gerechneten Globalstrahlungswerten gegenübergestellt werden.

Der optische Vergleich macht unsicher: „Ist es überhaupt notwendig, eine Software wie den Solar Analyst zu verwenden, wenn die Übereinstimmung der zwei Bilder so hoch ist?“ Dieser Frage geht ein Vergleich der beiden Abbildungen nach, welcher die Zusammenhänge in einer Formel und deren Genauigkeit wiedergibt. Dazu wurden die Werte der einzelnen Pixel paarweise aus den Ergebniskarten entnommen und einer Regressionsanalyse unterzogen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in *Tabelle 5* dargestellt. Dabei zeigt sich ein recht hohes Bestimmtheitsmaß von rund 70 %.

Dies kann aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass dabei die Streuung mit rund 10 % der Eingangswerte recht hoch ist. Vor allem in Regionen mit hohen Globalstrahlungswerten entstehen beträchtliche Fehler. Aus dieser Erkenntnis empfiehlt sich auf jeden Fall die Verwendung des Solar Analyst 1.0. Die Hillshades des Spatial-Analyst können aber gut dazu verwendet werden, um die Sonnenscheindauer innerhalb der Jahreszeiten zu visualisieren. Beispiele für bereits durchgeführte Berechnungen dieser Art findet man bei den, mit der Raumplanung beauftragten Institutionen der Länder (z.B. Salzburger Institut für Raumplanung SIR). Ziel ist dabei die Auffindung und Ausweisung von Bauerwartungsland in Regionen mit langer Sonnenscheindauer.

4.1.2 Daten der Grundstücke

Die Bildung eines Grundstücks wird durch eine topologisch richtige Auffädung seiner Eckpunkte vorgenommen. Verbindet man die Eckpunkte über Kanten, entsteht die Geometrie des Polygons, dessen Hauptattribut die innenliegende Fläche ist. Als topologische Merkmale können die Nachbarschaft zu anderen Polygonen bzw. das Verhalten gegenüber Linen- und Punktgeometrien untersucht werden.

Ein spezieller Punkt, das Zentroid, kann stellvertretend für das gesamte Grundstück auftreten. Das Zentroid beschreibt den Flächenschwerpunkt und berücksichtigt sowohl die geometrische Form, als auch eventuelle Ein- oder Ausschlüsse von Fremdflächen. Für die Berechnung der Parameter Fläche und der Koordinaten des Zentroids wurde ein Programm mit Visual Basic for Applications (VBA) geschrieben, welches in der Systemumgebung von ArcGis ausgeführt werden kann (ESRI, 2002b). An dieser Stelle sei kurz angemerkt, dass die Funktionalität der GI-Anwendungen von Esri deutlich gesteigert werden kann, wenn der Anwender in der Lage ist, die systeminternen Funktionen von ArcGis durch Individualprogrammierung zu nutzen.

4.1.3 Daten aus zusätzlichen Quellen

Neben dem DGM stehen für Österreich noch einige zusätzliche Grid-Datensätze zur Verfügung, die für naturwissenschaftliche Untersuchungen von höchstem In-

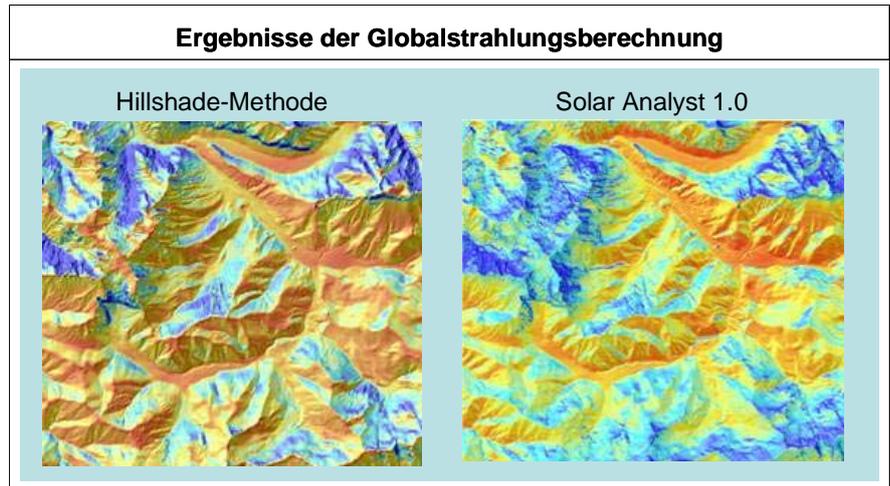


Abbildung 33: Methodenvergleich der Globalstrahlungsberechnung

Tabelle 5: Ergebnisse des Methodenvergleichs der Globalstrahlungsberechnung

	Konstante	Relative Strahlung	Sonnenscheindauer	Hangneigung	Seehöhe	R ²	SdE
Globalstrahlung	3193.95	2.39875	-128.958	-21.5808	0.43888	70.2	369
Direkte Strahlung	2258.2	2.47218	-141.144	-12.8087	0.19682	73.0	325
Diffuse Strahlung	935.253	-0.073432	12.1811	-8.77173	0.2421	50.2	77
Datenherkunft		Summengrid Hillshade-Addition aus dem Wertebereich von 0 - 256	Summengrid aus den auf 0 bzw. 1 korrigierten Hillshade's	Grad aus der Funktion Slope des Spatial Analyst	Z-Werte des DGM		
Anwendung	Um den gewünschten Parameter zu berechnen werden die angegebenen Grids vorbereitet und im Raster-Calculator des Spatial Analyst mit den dargestellten Faktoren multipliziert						
Beispiel	Globalstrahlung = 3193.95 + 2.3988 * Grid (Relative Strahlung) – 128.958 * Grid (Sonnenscheindauer Stunden) – 21.581 * Grid (Hangneigung) + 0.4389 * Grid (Seehöhe)						

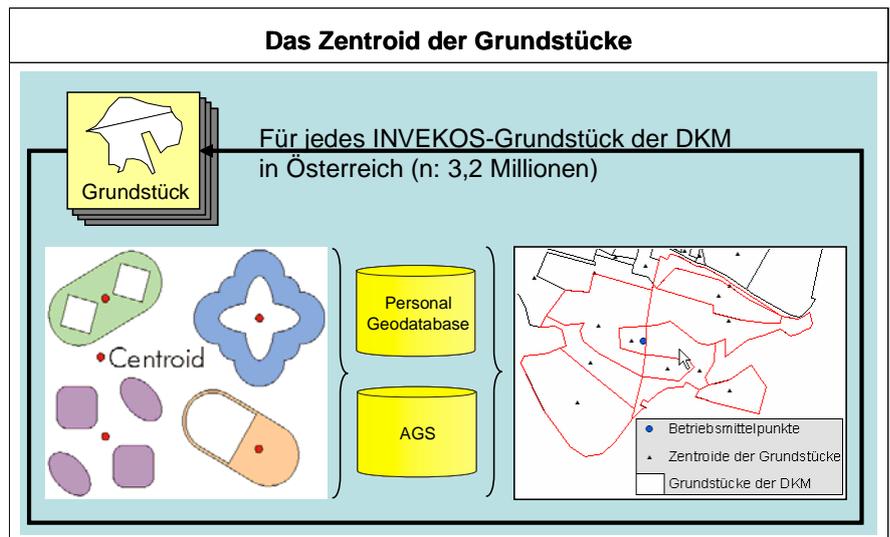


Abbildung 34: Zentroid eines Grundstücks

teresse sind. Dabei handelt es sich vor allem um klimatologische Karten, die den Beobachtungszeitraum von 1961 bis

1990 abdecken und im Hydrologischen Atlas Österreichs gesammelt sind. Diese Daten liegen zum Teil als Vektordaten mit

bewerteten Klassen und zum Teil als Rasterdaten mit grober Auflösung vor (FÜRST, 2003).

Die zeitliche Diskrepanz der INVEKOS-Daten (2003) und der Klimadaten ist weiter nicht relevant, da diese Daten nicht direkt in das Berechnungsmodell einfließen. Da diese Daten aber zum Teil zur Schätzung der Grundfutterqualität herangezogen werden, wäre eine exakte zeitliche Übereinstimmung der einzelnen Futterproben mit ihren Klimadaten wünschenswert. Die klassifizierten Klimadaten können aber zumindest als unabhängige Variable in ein statistisches Modell eingehen. Inwieweit diese Methode zu signifikanten Aussagen führt, wird im Ergebnissteil noch weiter besprochen.

Alle zusätzlichen Daten wurden in einen Grid-Datensatz mit einer Auflösung von 50 Meter umgewandelt. Eine Bewertung der Grundstücke, wie sie in Punkt 4.1.1 methodisch beschrieben wurde, wird nicht durchgeführt, da die Auflösung des Originaldatenmaterials so grob ist, dass nur scheinbare Genauigkeitsgewinne zu erzielen wären. Tatsächlich wurde pro Betrieb eine Punktgeometrie erstellt, welche die Werte aus den Klima-Grids aufnimmt.

4.1.4 Nutzungspunkte als Analysegrundlage

Die Zuordnung eines zentralen Punktes zu jedem Grundstück reduziert die Komplexität des Problems der Nährstoffbilanzierung auf mehreren Ebenen. Diese sind:

- Zusammenführung von Geo- und Fachdaten: Das Berechnungsmodell zwischen Tieren, deren Leistungsparametern und den naturwissenschaftlichen Zusammenhängen, erlaubt keine ausgeprägte räumliche Komponente. Es werden zwar laufend Daten aus räumlichen Zusammenhängen (Grundstücke, Klima, Produktionsgebiete, ...) verarbeitet, diese dürfen aber in der Endberechnung nur mehr als ein Parameter pro Betrieb auftreten.
- Größe des Datensatzes: Wird für jeden Betrieb letztendlich ein zentraler Punkt gesetzt, reduziert sich die Anzahl der Objekte im Vergleich zu den Grundstücken um das 20-fache.
- Statistische Auswertung: Tritt jeder Betrieb nur mehr als ein Datensatz bzw. ein Punkt-Objekt auf, erleichtert dies

Tabelle 6: Zusätzliche Geodaten

Inhalt	Beschreibung
Lufttemperatur Jahresmittel in Grad	Aus 400 Messstationen in Österreich und einigen Anschlussstationen im Ausland wurde eine schrittweise GIS unterstützte Interpolation durchgeführt. Rasterdaten (1000 m); 10 Klassen; Bereich -6 bis 12 Grad.
Mittlerer Jahresniederschlag in Millimeter	Diese Karte zeigt die mittlere Jahresniederschlagssumme im Zeitraum 1961-1990, die auf den beobachteten Zeitreihen des Niederschlags beruht. Dabei wurde eine flächenhafte Interpolation, aber auch Ergebnisse eines Niederschlagsmodells genutzt. Rasterdaten (1000 m); 11 Klassen; Bereich 400 bis 3500 mm Niederschlag pro Jahr.
Mittlere potentielle Verdunstung	Die potentielle Verdunstung ist jene maximale Wasserdampf die von einer mit Wasser vollständig gesättigten, leblosen Oberfläche pro Flächen- und Zeiteinheit unter den bestehenden atmosphärischen Bedingungen abgegeben werden kann. Man unterscheidet die potentielle Evaporation (Ep), die potentielle Transpiration (Tp) und die - auf der vorliegenden Karte dargestellte - potentielle Evapotranspiration (ETp). Rasterdaten (1000 m); 8 Klassen; Bereich 100 bis 650 mm Verdunstung pro Jahr .
Mittlere Dauer von Trockenperioden	Die durchschnittliche Anzahl an durchgehend niederschlagsfreien Tagen wurde aus den Niederschlagsmessstellen der Zentralanstalt für Metrologie und Geodynamik berechnet. Polygon – Shape; 7 Klassen; Bereich 2 bis 5,5 Tage durchgehende Trockenheit.
Maximale Dauer von Trockenperioden	Die maximale Anzahl an durchgehend niederschlagsfreien Tagen wurde aus den Niederschlagsmessstellen der Zentralanstalt für Metrologie und Geodynamik berechnet. Polygon – Shape; 7 Klassen; Bereich 16 bis 28 Tage durchgehende Trockenheit.

sowohl die Untersuchung der räumlichen Zusammenhänge mit dem „Geostatistical Analyst“, als auch die Varianzanalyse mit klassischen Statistikpaketen.

Der erste Schritt einer fachlichen Generalisierung ist die Zusammenfassung der Feldfruchtgruppen zu sieben Nutzungsklassen. Jeder gebildeten Klasse wird ein eigener Nutzungspunkt zugeordnet. Zusätzlich wird noch ein zentraler, nutzungsunabhängiger Punkt erstellt und als Betriebspunkt bezeichnet.

Parallel zur Berechnung der Nutzungspunkte werden für jeden Betrieb die betroffenen Nutzungsklassen erstellt. Im Kapitel 3.4.3 wurden die dafür notwendigen Komponenten bereits besprochen. Über die vier betroffenen Klassen hinweg, gelingt so eine Beurteilung des einzelnen Grundstücks, mit dem Flächenanteil der einzelnen Nutzungsklassen. Es muss an dieser Stelle aber noch einmal betont werden, dass aus der Auflistung von Nutzungsklassen nicht die Lage derselben abgeleitet werden kann. Deckt ein

Tabelle 7: Nutzungsklassen

Kurzbezeichnung	Beschreibung
Acker	Getreide, Körnerleguminosen (Eiweißpflanzen), Kartoffel, Ölkürbis und andere Feldfrüchte
Obst- und Gemüse	Feldgemüse, Stein- und Beerenobst, Hopfen, Blumen und Zierpflanzen, Heil- und Gewürzkräuter
Wein	Weingärten
Energiegewinnung	Verfeuerung von Feldfrüchten, Biogas-Getreide und Mais, Sudangras, Elefantengras
Wirtschaftsgrünland	ein- und mehrmädiges Dauergrünland, Feldfutter, Streuobstwiesen und Hutweiden, Gräservermehrung
Bergmäher	
Forst	Aufforstung von Ackerland, Baumschulen, Landschaftselemente, Christbäume auf Grün- oder Ackerland
Teiche	

Grundstück beispielsweise einen Hang mit angrenzendem Flachstück ab, so ist die Tatsache, dass sich in der Realwelt ein Acker wahrscheinlich auf dem Flachstück und eine Wiese am Hang befinden, nicht zu erkennen. Diese Tatsache ist derzeit kein Problem, gewinnt aber bei der Beurteilung von Zusammenhängen innerhalb eines landwirtschaftlichen Betriebes an Bedeutung. Die Einführung des AMA-GIS, in welchem die Landwirte die tatsächliche Lage ihrer Nutzungsbereiche einzeichnen müssen, wird dieses Problem in Zukunft lösen.

Die mathematische Lösung zur Berechnung der Nutzungsklassen, wird in *Abbildung 35* dargestellt. Die Summe der individuellen Nutzungsklassen pro Feldstück wird dabei mit dessen Anteil auf die Grundstücke übertragen. Diese Berechnung schließt insgesamt zwei Schleifen ein. Die erste Schleife berechnet alle Grundstücke eines Betriebes, die zweite alle Betriebe in Österreich.

Die Nutzungsklassen und deren Grundstücksanteile sind die Grundlage für den nächsten Schritt, im Wandlungsprozess von Grundstücken zu den Nutzungspunkten. Am Beispiel der gesuchten X/Y-Koordinaten eines Nutzungspunktes wird die Berechnungsmethode der AGS demonstriert. Für jedes Wertepaar aus Nutzungsklasse und der zu berechnenden Parameter (X, Y, Seehöhe, Exposition, ...), wird die Summe der Produkte aus der Multiplikation von Parameter und Nutzungsfläche gebildet. Diese Summe wird abschließend durch die Summe der Nutzungsflächen der betroffenen Nutzungsklasse normiert.

Die geometrische Interpretation in *Abbildung 36* macht diesen Berechnungsvorgang für mehrere Flächen eines landwirtschaftlichen Betriebes leichter verständlich. Ein Betrieb bewirtschaftet vier Grundstücke. Von diesem wissen wir, dass Grundstück A und B vollständig durch die Nutzung A, Grundstück D durch die Nutzung B abgedeckt werden. Grundstück C wird sowohl mit Nutzung A, als auch mit Nutzung B bewirtschaftet. Um für die Nutzung A einen gemeinsamen Nutzungspunkt zu finden, können wir aus der Sicht des Grundstückes A folgende Überlegung anstellen: Da die Grundstücke B und C, die auch mit der Nutzung A bewirtschaftet werden, rechts

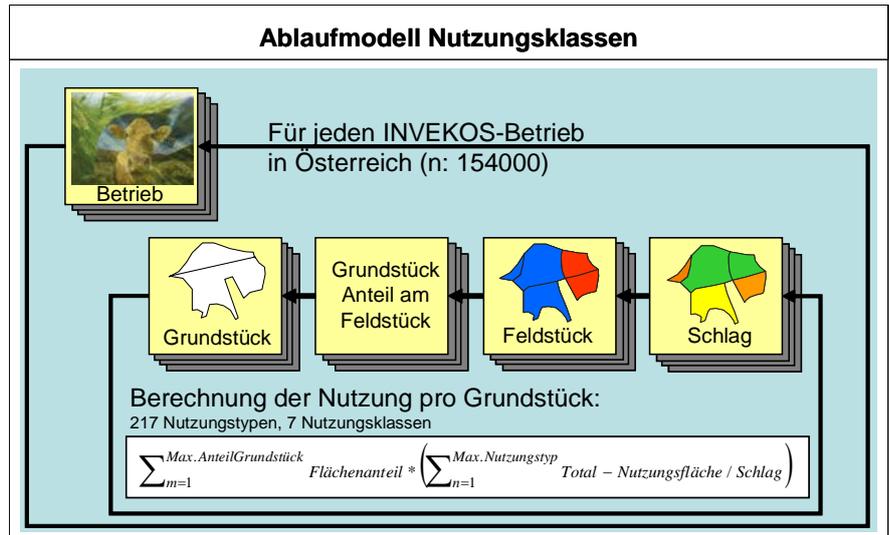


Abbildung 35: Ablaufmodell zur Berechnung der Nutzungsklassen

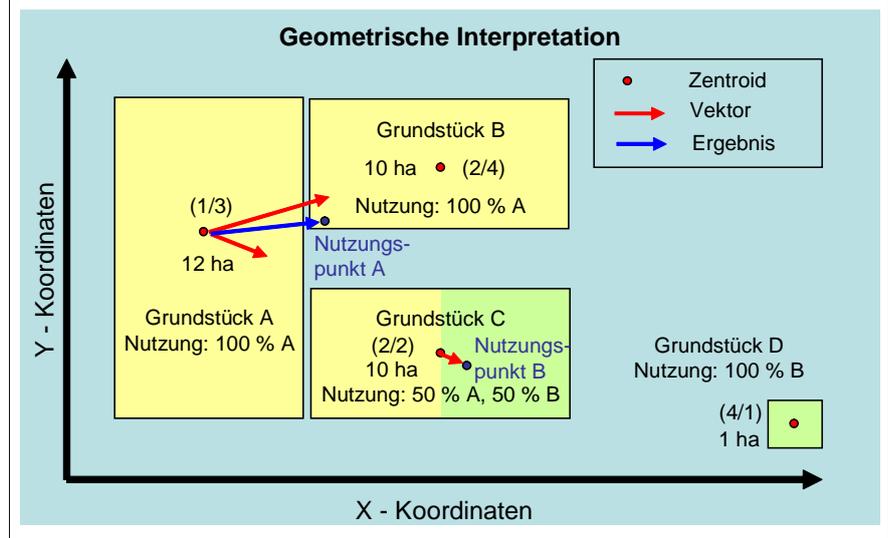
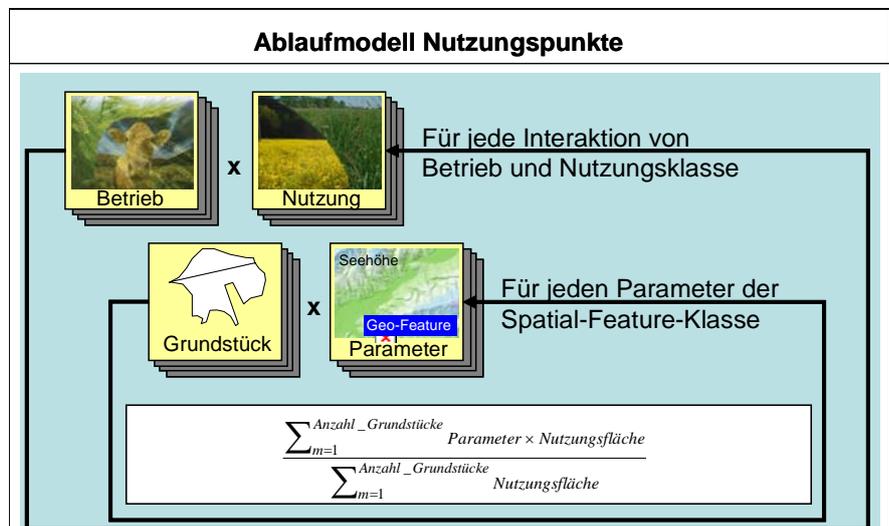


Abbildung 36: Ablauf der Berechnung der Nutzungspunkte

vom Grundstück A liegen, muss auch der gemeinsame Nutzungspunkt rechts vom Zentroid des Grundstückes A liegen. Da Grundstück B einen größeren Nutzungs-

anteil hat, als Grundstück C muss der Nutzungspunkt näher bei B als bei C liegen. Es entstehen also Vektoren, die wechselseitig so lange auf die Zentroide

der ursprünglichen Grundstücke einwirken, bis ein passender Mittel- und somit Nutzungspunkt gefunden wurde. Für die Nutzung B gilt sinngemäß das Gleiche.

Die Problematik dieser Methode liegt allerdings darin, dass der neue Nutzungspunkt geometrisch nicht innerhalb der Flächen eines Betriebes zu liegen kommen muss. Dieser Fall tritt vor allem dann in extremer Form ein, wenn z.B.: durch Zupachtung Grundstücke mitberechnet werden, die weit vom ursprünglichen Hof entfernt sind. Um diese Fälle auszuschließen wurde die Methode durch einen Ausreißertest erweitert.

4.1.5 Ausreißertest für Nutzungspunkte

Die Methodik dieses Tests beruht auf der Annahme, dass landwirtschaftliche Betriebe mit ihren Grundstücken aus einem natürlichen Bildungsprozess entstanden sind. Ausgehend von gerodeten Flurstücken, entwickelte sich über Jahrhunderte durch Vererbung und Teilung die aktuelle, individuelle Flächenausstattung eines Betriebes.

Aus ökonomischen Gründen wurde dabei immer ein möglichst geschlossenes Betriebsbild angestrebt. Landwirtschaftliche Grundstücke sollten idealerweise angrenzen. Aus dieser empirischen Erkenntnis folgt die Aussage, dass sich die Anordnung der Grundstücke eines Betriebes einer Normalverteilung nähert. Erstellt man mit der Streckendifferenz (L2-Norm) zwischen dem Zentroid der einzelnen Grundstücke und den Nutzungspunkten eine Normalverteilung, so befinden sich weit entfernte Flächen an deren Rändern. Durch die Einführung eines von der Häufigkeit der Messwerte abhängigen Signifikanzlevels, kann ein Schwellwert für Ausreißer definiert werden (ESSL, 1987). Mit diesem Schwellwert wird jedes Grundstück überprüft und bei Bedarf aus der Berechnung der Nutzungspunkte genommen. In der räumlichen Anwendung eines Schwellwertes entsteht ein Kreis, der in *Abbildung 37* abgebildet ist.

Der Ausschluss für Ausreißer betrifft nur die Darstellungsform der Nutzungspunkte, sowie deren Aufgabe der Datenaquisition. Für die Nährstoffbilanzierung innerhalb der AGS werden keine Flächen ausgeschlossen.

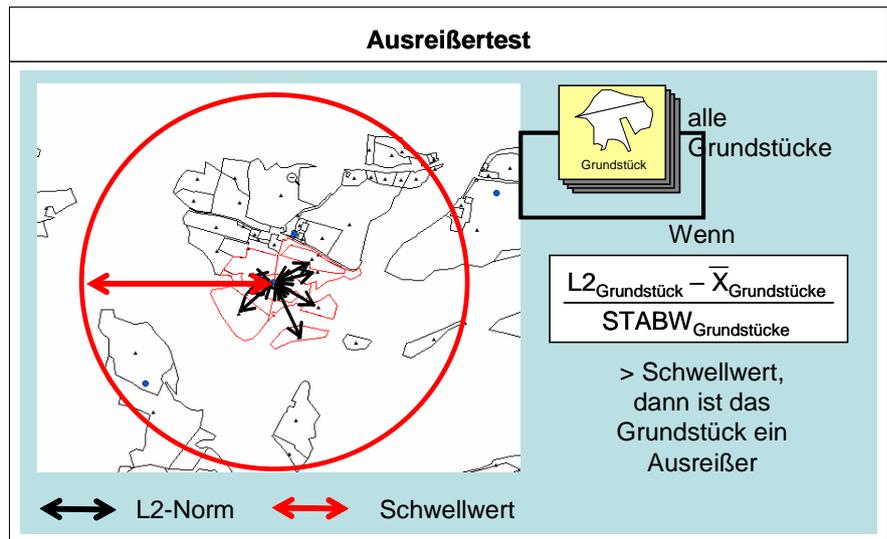


Abbildung 37: Ausreißertest mit den Grenzen des Schwellwertes

4.2 Vergleichen von Adressdaten

Die Darstellung von Daten in Geoinformationssystemen ist nur dann möglich, wenn die darzustellenden Sachdaten durch einen Raumbezug erweitert werden. Die landwirtschaftlichen Daten des INVEKOS beziehen ihren Raumbezug direkt über die Grundstücke der DKM, oder wie in diesem Fall, indirekt über die Nutzungspunkte. Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass sowohl Geo- als auch Sachdaten mit einem eindeutigen Schlüssel, der Betriebsnummer, ausgestattet sind.

In der Praxis der Geo-Analyse sind solche relational vollständigen Daten selten. So entstanden im Laufe der Zeit für die Adressierung der österreichischen Haushalte eine Reihe unterschiedlicher Datenbestände. Unternehmen wie die Post erhofften sich durch das Anbieten von „Location Based Services“ ein zusätzliches Geschäftsfeld und beauftragten deshalb ihre Zustelldienste mit der räumlichen Erhebung der Wohnadressen. Der entstandene Datensatz besteht aus den X/Y-Koordinaten und den Adressbestandteilen. Aus der Sicht der Geoanalyse wird die Zuordnung von Sachdaten zu den geocodierten Adressbeständen, über den Namen und die Anschrift der Adresse vorgenommen. Sowohl Namen, als auch Straßenbezeichnungen beinhalten häufig mehrere numerische und alphanumerische Komponenten. Gilt der Familienname als Teilschlüssel innerhalb der Adresse, so entsteht bereits durch eine veränderte Schreibweise ein neuer Ge-

samtschlüssel. Die Zuordnung von beliebigen Sachdaten, an die von der Post erhobenen Punkte über die Adresse ist also ein schwieriges Unterfangen, welches nicht durch starre relationale Zuordnungen zu lösen ist.

Für eine optimierte Fütterung von Tieren, benötigt jeder Landwirt Informationen über Futtermittel, die zum Einsatz gebracht werden sollen. Für die wichtigsten ackerbaulichen Produkte, wie verschiedene Getreidearten, sind solche Untersuchungen selten notwendig, da deren Inhaltsstoffe recht konstant sind. Der Grund dafür liegt im monokulturarigen Verhalten dieser Anbauformen. Im Gegensatz dazu sind Futtermittel des Grünlandes immer Mischkulturen, die aus drei Klassen (Gräser, Kräuter, Leguminosen) bestehen. Innerhalb jeder Klasse gibt es eine Vielzahl von Arten, die zum Teil völlig unterschiedliche Inhaltsstoffe aufweisen. Die Häufigkeit des Vorkommens einzelner Arten, sowie die sich bildenden Verhältnisse zwischen den drei Klassen, führen zu einem breiten Spektrum an Nährstoffkonzentrationen im Futter. Durch unterschiedliche Erntezeitpunkte und differenzierte Konservierungen (Heu, Silage, Grünfutter), wird dieses Spektrum weiter verändert. Die klimatischen Unterschiede zwischen den Jahren und die damit verbundenen Schwankungen führen dazu, dass die Inhaltsstoffe auch entlang der Zeitachse schwanken. Es ist also ohne tatsächliche Untersuchung nur mit beschränkter Genauigkeit möglich, eine Aussage über die Futtermittelinhaltsstoffe zu machen.

Eine geringe Anzahl von maximal 5 % der landwirtschaftlichen Betriebe mit Grünlandfutter, senden deshalb Proben ihrer Futtermittel an das Futtermittellabor Rosenau. Dort wird eine Reihe von chemischen Analysen durchgeführt, um die wichtigsten Nährstoffe zu bestimmen. Jede Futtermittelprobe muss mit einem Begleitblatt ausgestattet sein, aus dem die Herkunft (Einsendeadresse) und die zu bestimmenden Inhaltsstoffe zu erkennen sind. Stimmt eine Einsendeadresse mit den Adressen des INVEKOS überein, kann der tatsächliche Schlüssel des Betriebes (seine Betriebsnummer) gefunden werden.

Der direkte Vergleich von Teilkomponenten der Adressen des Einsenders und des Adressstammes im INVEKOS führt zu einer Trefferquote von rund 50 %. Um höhere Quoten zu erreichen, wurde ein heuristischer Ansatz entwickelt. Durch einen Vergleich von Adressteilen und einer daraus resultierenden Trefferquote kann ein Schwellwert festgelegt werden, der eine Adresse auch dann noch akzeptiert, wenn diese nicht vollständig ident ist.

Folgende Schritte wurden dabei durchgeführt:

1. Klassische Adressenfehler wie die Umlaute, ß und alle denkbaren Abkürzungen von Strasse und Gasse wurden vorab aus den Adressen entfernt.
2. Die Namenskomponenten wurden zerlegt und als Vor-, Nachname oder Bindewort klassifiziert.
3. Die Adressbestandteile Strasse, Hausnummer und Postleitzahl bilden einen eindeutigen Schlüssel. Wird dieser voll erfüllt, so ist die Adresse identifiziert und wird nicht weiter untersucht (Fall 1).
4. Ist die Postleitzahl und der Strassenname identisch, aber nicht die Hausnummer, wird der Familien- und Vorname untersucht. Ist dieser zu mindestens $\frac{3}{4}$ vollständig gleich, so gilt die Adresse als erkannt (Fall 2).
5. Sind Postleitzahl und Hausnummer ident und wird beim Strassen- und Familiennamen eine Übereinstimmung von mehr als $\frac{3}{4}$ erreicht, so gilt die Adresse als identifiziert (Fall 3).
6. Bei fehlenden Straßennamen und Postleitzahlen kann eine Adresse nicht erkannt werden.

Tabelle 8: Arten von Adressfehlern

Fall	Quelle	Adressen
1	Rosenau	GERHARD ZIMMERMANN WIENERSTRASSE 58 3425 LANGENLEB.
	INVEKOS	ZIMMERMANN GERHARD WIENERSTRASSE 58 3425 LANGENLEB.
2	Rosenau	INGOLF UNGER HAUPTSTRAÙE 19 7571 RUDERSDORF
	INVEKOS	UNGER INGOLF HAUPTSTRAÙE 47 7571 RUDERSDORF
3	Rosenau	FASCHING JOSEF DOPELBICHLERWEG 1 9300 ST. VEIT
	INVEKOS	FASCHING JOSEF DOPPELSBICHLERWEG 1 9300 ST. VEIT

Die prozentuelle Übereinstimmung von Adressen wird nach einem Mustervergleichsverfahren durchgeführt. Das Suchmuster besteht aus jeweils zwei benachbarten Zeichen des Ausgangstextes, die im Suchtext auch so gefunden werden müssen. Dabei wird eine Schleife solange durchlaufen und die Anzahl der Treffer addiert, bis die Suchkette vollständig durchsucht wurde. Die Gegenüberstellung der Anzahl von Suchschritten und Treffern bilden die Erfolgsquote.

Diese Methode wird in der Literatur „grober Algorithmus“ genannt (SEDEWICK, 2000: Seite 327-329). Dieser Name macht dabei keine Aussage über die Leistungsfähigkeit, sondern vielmehr über die Laufzeitkomplexität. Bei der Suche des Musters P (1..M) in einer Zeichenfolge A (1..N) tritt eine Summe von N*M Zeichenvergleichen auf. Für lange N ist dabei mit langen Wartezeiten zu rechnen. Da Adresstexte kurz sind, und M in diesem Beispiel maximal zwei ist, kann dieser Algorithmus gut angewendet werden.

4.3 Statistische Untersuchungen mit Geodaten

Das enorm dichte Datenmaterial des INVEKOS und die nahezu flächendeckende Verfügbarkeit räumlicher Informationen, machen die Analyse der Geodaten zum spannendsten Teil dieses Projektes. Die in der AGS erzeugten Nutzungspunkte sind mit einer Vielzahl von zusätzlichen fachlichen Parametern ausgestattet. Diese können in zwei Arten unterteilt werden. Parameter mit fixem Intervall wurden als Klassen eingeführt und unterscheiden beispielsweise biologisch wirtschaftende Betriebe von konventionellen. Parameter mit freien, nominalen Werten beinhalten Werte wie den Tierbesatz/Flächeneinheit oder die Milchleistung der Kühe. Neben diesen landwirtschaftlichen Informationen, bezieht sich

eine Reihe von Feldern auch auf räumliche Themen. So werden die allgemeinen Codierungen der politischen Verwaltungsgrenzen und die Codierungen der Produktionsgebiete mit integriert.

Für die Auswertung der Daten stehen klassische Statistikpakete wie SAS, Harvey oder SPSS und die räumliche Analyse mit dem Geostatistical Analyst (GA) zur Auswahl.

4.3.1 Geodatenanalyse mit multiplen Regressionen

Mit allen marktgängigen Statistikpaketen können Beziehungen zwischen Fachdaten gut bearbeitet und resultierende Ergebnisse auch in hohem Ausmaß beurteilt werden. Statistische Elementaraussagen, wie die Signifikanz einzelner Parameter oder das Bestimmtheitsmaß des Gesamtmodells können dazu verwendet werden, um die Qualität getroffener Aussagen zu untermauern. Räumliche Aussagen reduzieren sich auf die Bearbeitung von Klassen mit räumlichen Inhalten. Bundesländer können beispielsweise als Codierung von 1 bis 9 eingebracht werden. Für diese Klassen erhält man Aussagen über die Mittelwerte der Parameter, der eigentliche Raumbezug individueller Objekte (z.B.: Nutzungspunkte) geht aber verloren. *Abbildung 38* versucht eine Darstellung der Methodik der multiplen Regression. Auf einen Mittelpunkt (my) einer Datenwolke wirken die unterschiedlichsten Parameter ein. Je nach Verteilung der Daten und Stärke der Parameter ziehen diese den Mittelpunkt in ihre Richtung (ESSL, 1987). So bildet sich ein n-dimensionales Rechengebilde, aus dem die Einflussfaktoren erkannt und deren Werte abgeleitet werden können. In Summe beschreibt die Regression mit ihrer Formel jede Position innerhalb des Datenraumes. Die Klassen A und B sind dabei fixe Effekte (z.B.: die Hauptproduktionsgebiete oder die Bundesländer), b_1 bis b_3 sind dynamische Effekte (Milch-

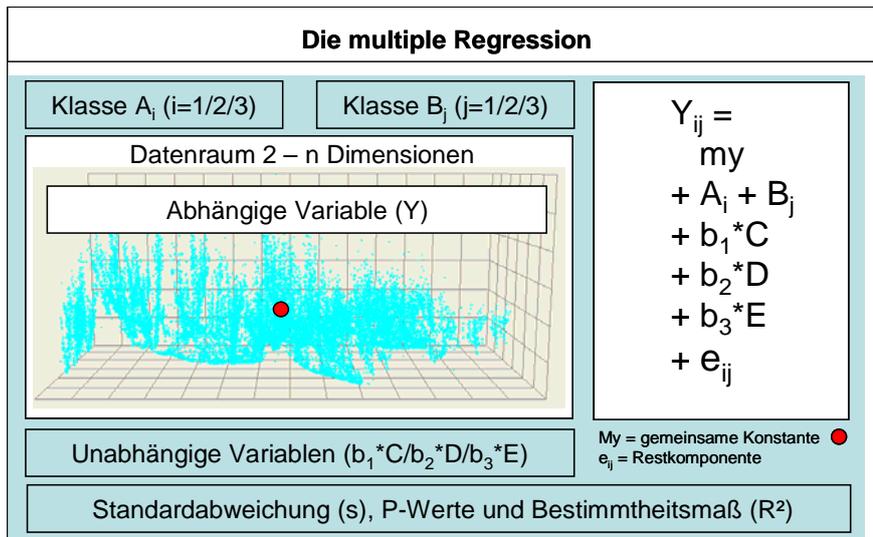


Abbildung 38: Beispiel einer multiplen Regression

leistung, Tierbesatz, ...). Der sich ergebende Fehler zwischen der Schätzung der Regression und den tatsächlichen Datenwerten wird durch die Restkomponente e abgedeckt.

Das Ergebnis aus der multiplen Regression wird üblicherweise in einer Tabelle dargestellt. Das Ziel dabei ist die Präsentation von Unterschieden zwischen Klassen. Eine räumliche Darstellung im Sinne einer Landkarte ist dabei nicht möglich, sondern kann erst durch die geostatistische Analyse erzeugt werden.

4.3.2 Geostatistische Analyse

Im Mittelpunkt dieser Methode steht nicht die Analyse der Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern, sondern der räumliche Zusammenhang eines Parameters mit vielen raumbezogenen Objekten. Es gilt also nicht mehr einen repräsentativen Punkt einer Punktwolke zu finden, sondern eine Oberfläche zwischen Messpunkte zu legen (ESRI, 2001). Diese Oberfläche erklärt letztendlich sowohl die Bereiche der tatsächlich gemessenen Punkte, aber auch alle nicht gemessenen. Mathematisch stellt also diese Oberfläche eine Funktion dar, die den gesamten Raum eines Parameters erklärt. Soweit unterscheidet sich die geostatistische Analyse nicht besonders stark von der multiplen Regression. Die Art der Ergebnispräsentation ist jedoch völlig unterschiedlich.

Bei der Analyse von räumlichen Daten sind folgende Aspekte zu berücksichtigen (ESRI, 2001):

1. Verteilung der Daten: Im günstigsten Fall sind die Daten gleichmäßig über den gesamten Messraum verteilt. Ist dies nicht der Fall, so beeinflussen Regionen mit vielen Messpunkten jene, mit wenigen.
2. Integration der Punkte in die gesuchte Oberflächenfunktion: Wir unterscheiden hier die unterschiedlichsten Modelle, die im SA in zwei Bereiche eingeteilt werden. Diese sind die Deterministischen Methoden, die auf Grundlage der Interpolation und Approximation beruhen. Bei der Interpolation schneidet die entstandene Oberfläche den Punkt, bei der Approximation schwimmt die Oberfläche zwischen den Punkten. Die zweite Gruppe der geostatistischen Analysemethoden sind verschiedene Arten des Kriging. Diese Methoden repräsentieren komplexe Modelle, die eine vielfältige Analyse des Datenmaterials zulassen.

Folgende Methoden stehen im Geostatistical Analyst zur Verfügung:

Deterministische Methoden: Sie verwenden ausschließlich mathematische Verfahren, um aus den Messpunkten eine Oberfläche zu schätzen.

- Inverse Distance Weighted (IDW)
- Global Polynomial
- Local Polynomial
- Radial Basic Function (RBF)

Kriging-Verfahren: In einer Kombination aus mathematischen und statistischen Methoden werden sowohl loka-

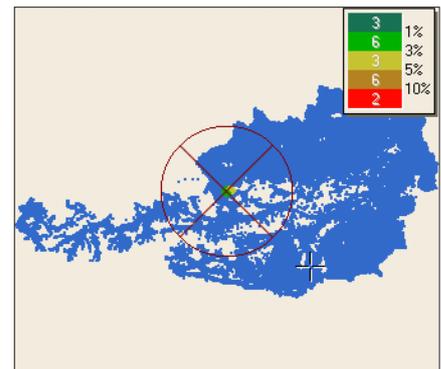


Abbildung 39: Auswahl der Punkte

le, als auch globale Einflüsse und Abhängigkeiten in den Daten untersucht.

- Ordinary Kriging
- Simple Kriging
- Universal Kriging
- Indicator Kriging
- Cokriging

3. Anzahl der benachbarten Punkte: Der Zusammenhang zwischen Punkten eines Datenraumes ist bei benachbarten Punkten größer, als bei entfernten. Der Radius zwischen dem, zu untersuchenden Punkt und seinen Nachbarn muss definiert werden. Bei geringem Radius ist eine stärkere Wirkung des einzelnen Punktes zu erkennen als bei großen Radien.

Für jede geostatistische Analyse sind diese drei Punkte zu untersuchen bzw. die passenden Modelle und Parameter zu wählen. Es kann die Forderung aufgestellt werden, dass es nicht ausreicht, eine Ergebniskarte zu präsentieren, sondern dass dazu auch immer eine Aussage über Verteilung, das statistische Modell und den Einfluss benachbarter Werte gemacht werden muss.

Die Verteilung der Daten:

Die Prüfung der Verteilung von Geodaten betrifft zwei Bereiche. Zum Ersten, kann die Verteilung der Messwerte untersucht werden, zum Zweiten, die räumliche Verteilung der Daten. Die Messwertverteilung kann mit beliebigen Systemen durchgeführt werden. Idealerweise wird die Verteilung in einem Histogramm dargestellt. Für die Prüfung der räumlichen Verteilung wird die Funktion *Normal QQPlot* aus dem Geostatistical Analyst verwendet. Dieser zeigt in einem Plot die Abweichung der Daten von einer Normalverteilungslinie. Liegen

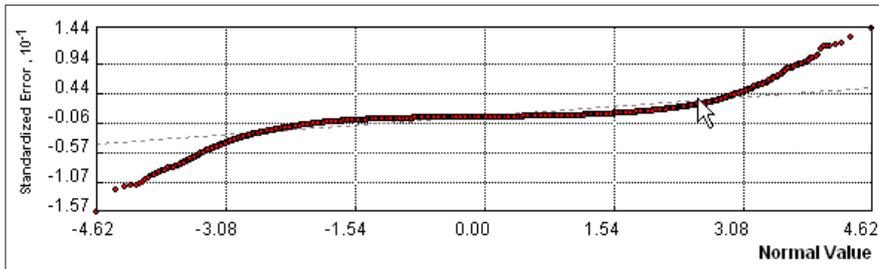


Abbildung 40: QQ-Plot zur Normalverteilungsprüfung

die Punkte nahe oder auf der Linie, kann ohne Bedenken eine geostatistische Analyse durchgeführt werden. Weichen die Punkte jedoch deutlich ab, ist für alle Methoden der Approximation eine Transformation der Daten in eine Normalverteilung notwendig.

Eines der Ziele, die mit einer geostatistischen Analyse verbunden sind, ist das Erkennen von räumlichen Trends. Für viele demographische Auswertungen wird in Österreich häufig ein Ost-West-Gefälle erkannt. Eventuell vorhandene Trends innerhalb der Geodaten dieses Projektes, werden mit der Funktion *Trend Analysis* des GA untersucht.

Dieses Werkzeug erstellt einen 3D-Würfel. In diesem werden für zwei frei wählbare Richtungen eventuell vorhandene Trends als Linie dargestellt. Je nach der mathematischen Definition des erkannten Trends kann diese Linie eine Gerade, ein U-Form oder eine Wellenform annehmen. Ist der entstehende Trend für die geostatistische Analyse hinderlich, kann bei der Approximation eine Korrektur vorgenommen werden.

Das gewählte Beispiel für eine Trend-Analyse zeigt die Seehöhe der landwirtschaftlichen Nutzungspunkte. Identisch mit dem DGM zeigt sich ein Trend in West-Ost-Richtung. Ausgehend vom Arlberg, über die Hohen Tauern bis ins Alpenvorland sinkt dabei die Trendkurve der Seehöhe. In Nord-Süd-Richtung steigt die Kurve hingegen vom Flachland im Voralpenbereich zu den Hohen Tauern an. Die grünen Punkte zeigen dabei die Sicht auf die Messwerte in Süd-Nord-Richtung und die blauen Punkte jene in West-Ost-Richtung. Die roten Punkte am Boden der 3D-Darstellung zeigen den Zusammenhang von X- und Y-Koordinate. Jeder Messwert wird also dreimal dargestellt.

4.3.3 Modelle der geostatistischen Analyse

Für die Erstellung räumlicher Analysen stellt der GA die bereits erwähnten deterministischen Methoden sowie die unterschiedlichen Krigingverfahren zur Verfügung. Jedes Verfahren soll kurz vorgestellt und Besonderheiten beschrieben werden.

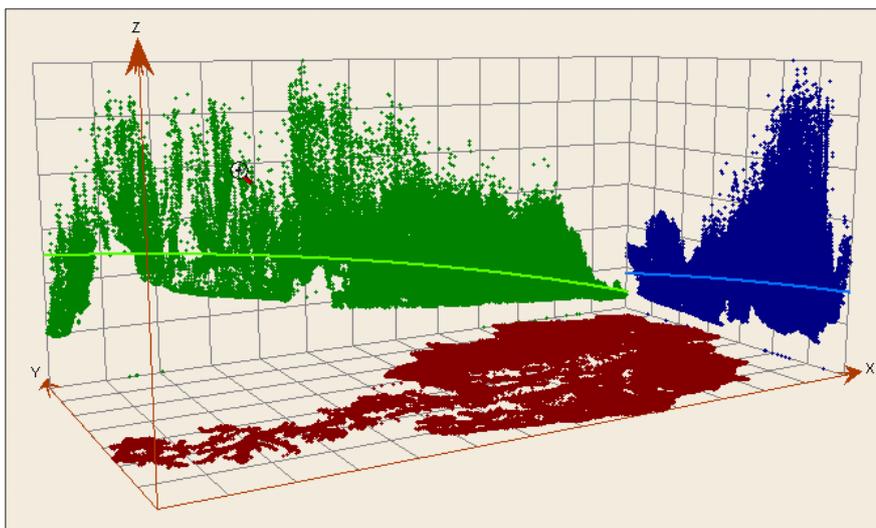


Abbildung 41: Trend-Analyse in Geodaten

Inverse Distance Weighted Interpolation (IDW)

Als Interpolationsmethode legt IDW die neu berechnete Oberfläche direkt durch die gemessenen Punkte. Dabei reduzieren sich die Werte von IDW in Abhängigkeit zur Entfernung von den Messpunkten. Praktisch kann man sich IDW wie ein weiches Seidentuch vorstellen, welches über die Messpunkte gelegt wird. Zwischen den Messpunkten sinkt das Material ein. Der Einsatzbereich von IDW ist die Beurteilung von Parameter, die nur lokale Bedeutung haben (z.B.: Geruch, Emissionen, ...)

Radial Basis Function (RBF)

Ähnlich IDW wird die Oberfläche durch die Messpunkte gelegt. Diesmal wird der Übergang zwischen den Messpunkten dynamisch berechnet. Das Ziel ist dabei eine möglichst sanfte, gleichmäßige Oberfläche zu erhalten. RBF ist eine gute Methode für alle Geodatenanalysen mit vielen Stützpunkten und kontinuierlichen Werten. Die Bildung von Höhenmodellen gehört ebenso dazu, wie die Untersuchung von naturwissenschaftlichen Zusammenhängen. Für die Präsentation der Eingangsparameter in der Nährstoffbilanzierung wird diese Methode häufig verwendet.

Global Polynomial Interpolation

Obwohl als Interpolation deklariert, ist diese Methode eine Approximation. Dabei wird eine Polynomfunktion bis zum maximal zehnten Grad zwischen die Punkte gelegt. In die Berechnung der Oberfläche werden alle Punkte einbezogen. Diese Methode entspricht mathematisch der Gauß'schen Ausgleichsrechnung. Der Einsatzbereich ist die großflächige Berechnung von Messwerten (z.B.: Immissionen).

Local Polynomial Interpolation

Arbeitet ähnlich der globalen Methode, es können aber Nachbarschaftsbereiche definiert werden. Über diese Bereiche werden mit einem gleitenden Verfahren individuelle Polynome angenähert. Diese werden letztendlich zu einer Gesamtoberfläche vereint.

Kriging

Die deterministischen Methoden berechnen die Oberflächen unter der Annahme, dass die Zusammenhänge mit steigender

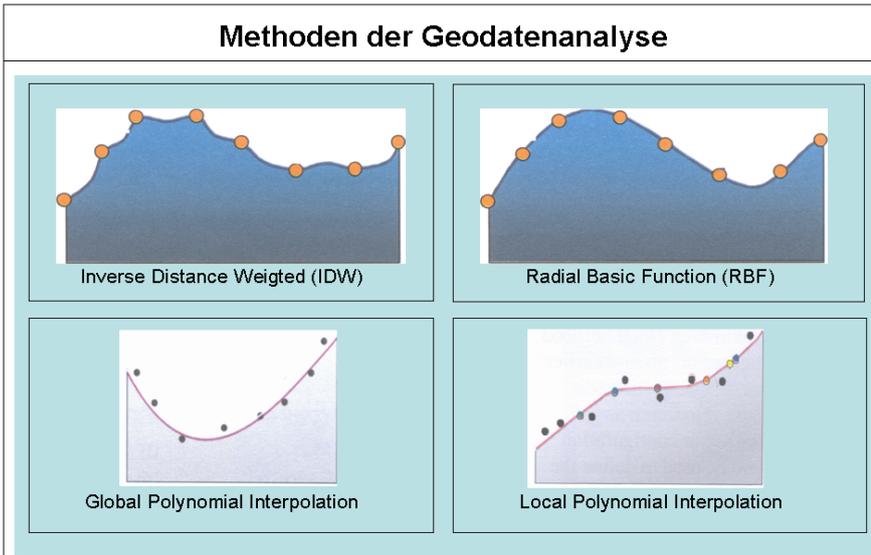


Abbildung 42: Deterministische Methoden der Geodatenanalyse (ESRI, 2001)

Entfernung zwischen den Messpunkten stetig abnehmen. Eine zwischen den Messpunkten beobachtbare gegenseitige Abhängigkeit (Korrelation) wird aber nur bei den Methoden des Krigings berücksichtigt. Durch die gemeinsame Berücksichtigung von räumlicher Entfernung und Korrelation verbessert sich die Gewichtung der Punkte. Kriging ist ein Best Linear Unbiased Estimator (BLUE). Das heißt, die Ergebnisse sind linear, erwartungstreu und Schätzfehler werden minimiert. Ein weiterer Vorteil ist die geringere Abhängigkeit gegenüber nicht vollständig normal verteilten Daten.

Arbeitsschritte des Kriging (WALDOW, 1998):

- Erstellen einer Variogrammwolke: In diesem X/Y- Diagramm werden die Hälften der Distanzen zwischen jeden

Punktpaaren so aufgetragen, dass auf der X-Achse die Entfernung und auf der Y-Achse der Wert γ als Abhängigkeit zwischen den Punkten dargestellt wird. Durch diese Wolke kann eine das Datenmaterial beschreibende Kurve gelegt werden. Besteht zwischen den untersuchten Punkten ein räumlicher Zusammenhang, so steigt der γ -Wert vom Achsenursprung ausgehend mit steigender Entfernung in der Form einer Kurve leicht an. Bildet das Datenmaterial keinen Zusammenhang nimmt die Kurve des Variogramm eher die Form einer waagrechten Gerade an. Neben den räumlichen Zusammenhängen ermöglicht ein Variogramm auch qualitätssichernde Maßnahmen. Der linke obere Bereich des Diagramms stellt Werte dar, die zwar eine geringe

räumliche Distanz, aber einen hohen Wertunterschied haben. Bei kontinuierlichen Parametern könnten hier Messfehler vermutet werden.

- Untersuchung der Daten auf Anisotropie und Trends, um diese im Modell zu berücksichtigen: Die Variogrammwolke betrachtet die räumlichen Differenzen zwischen den Punktpaaren nicht hinsichtlich ihrer Himmelsrichtung. Die Aussage des Variogramm ist also von allgemeiner Natur. Manchmal weist das Variogramm für unterschiedliche Richtungen aber ein unterschiedliches Verhalten auf. So kann in Österreich für die Bevölkerungsdichte ein Ost-West-Gefälle vorhanden sein, welches in Nord-Süd-Richtung nicht zu finden ist. Das nennt man anisotropes Verhalten. Werden anisotrope Trends im Datenmaterial entdeckt, können sie im Modell berücksichtigt werden.
- Erstellung der Oberfläche: Je nach Auswahl der Kriging-Methode (Universal, Ordinary, Universal) entsteht nach der Berechnung eine Oberfläche, welche die räumlichen Zusammenhänge darstellt. Häufig werden Messwerte nicht nur durch ihre räumliche Verteilung, sondern auch durch andere Faktoren beeinflusst. So ist eine demographische Verteilung, die vom Alter der Probanden beeinflusst ist denkbar. Der Parameter „Alter“ kann bei einer erweiterten Form des Krigings, dem Cokriging, mitberücksichtigt werden.

4.4 Präsentation und Interpretation

Die Erweiterung der klassischen Statistik um die räumliche Komponente der Geostatistik führt zu einer Situation, die sowohl Nutzen als auch Gefahren mit sich bringt. Der Nutzen liegt in der räumlichen Darstellungsform, die ideal zum gut ausgeprägten Gesichtssinn des Menschen passt. Die Gefahr liegt in einer Fehlinterpretation, die zumeist durch die gewählte Darstellungstechnik hervorgerufen wird. Dabei sind zwei Bereiche erwähnenswert:

- Veränderung der Darstellung durch den Menschen: Jedem Geoinformatiker stehen bei der Präsentation von Ergebniskarten eine Reihe Möglichkeiten zur Verfügung, um seine subjektiven Eindrücke zu unterstützen bzw. abzu-

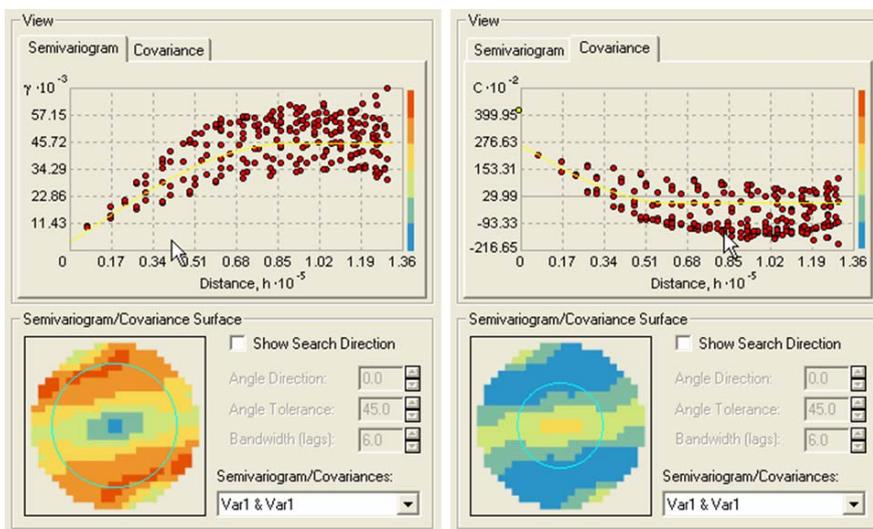


Abbildung 43: Semivariogramm und Kovarianz (Esri 2001)

schwächen. Eines der Hauptkriterien ist dabei die Wahl der Farben für die unterschiedlichsten Themen. Farben aus dem oberen Bereich des elektromagnetischen Spektrums wie orange und rot sind Signalfarben, welche die Aufmerksamkeit des Auges umgehend auf sich ziehen.

Ein zweiter, ebenso bedeutender Punkt ist die Beeinflussung der Darstellungsgröße von Objekten. Eine wirklichkeitsgetreue Darstellung von flächenartigen Geometrien wird dabei nur dann erzielt, wenn diese ohne Umrandung dargestellt werden. Bei einer hohen Anzahl von Grundstücken und einer großmaßstäbigen Darstellung wird der Unterschied zwischen einer Darstellung mit oder ohne Rand schnell ersichtlich.

Ein extremes Beispiel für die Verzerrung von fachlichen Informationen ist die Übertragung von summierten Ergebnissen einer Geometrie auf eine andere. Dabei entsteht zumeist ein völlig falscher Eindruck, da der Betrachter die dargestellte Geometrie analysiert und die tatsächlichen Werte nicht erkennen kann.

- Veränderung der Darstellung durch technische Komponenten: Die Darstellung von Geodaten in GI-Anwendungen erfolgt mit hoher Präzision und Auflösung.

Je nach gewähltem Maßstab erfolgt eine visuelle Optimierung, die auf dem Bildschirm zu einem hoch auflösenden Bild führt. Für die Weitergabe von Geodaten steht diese Qualität zumeist nicht zur Verfügung. Sowohl bei der Komprimierung der Daten in ein Bildformat, als auch beim Ausdruck entstehen Lücken in der Qualität, die dazu führen, dass Geometrien, die unter der Pixelgröße des Kompressors oder der

Einfluss der technischen Einstellungen auf das Abbildungsergebnis

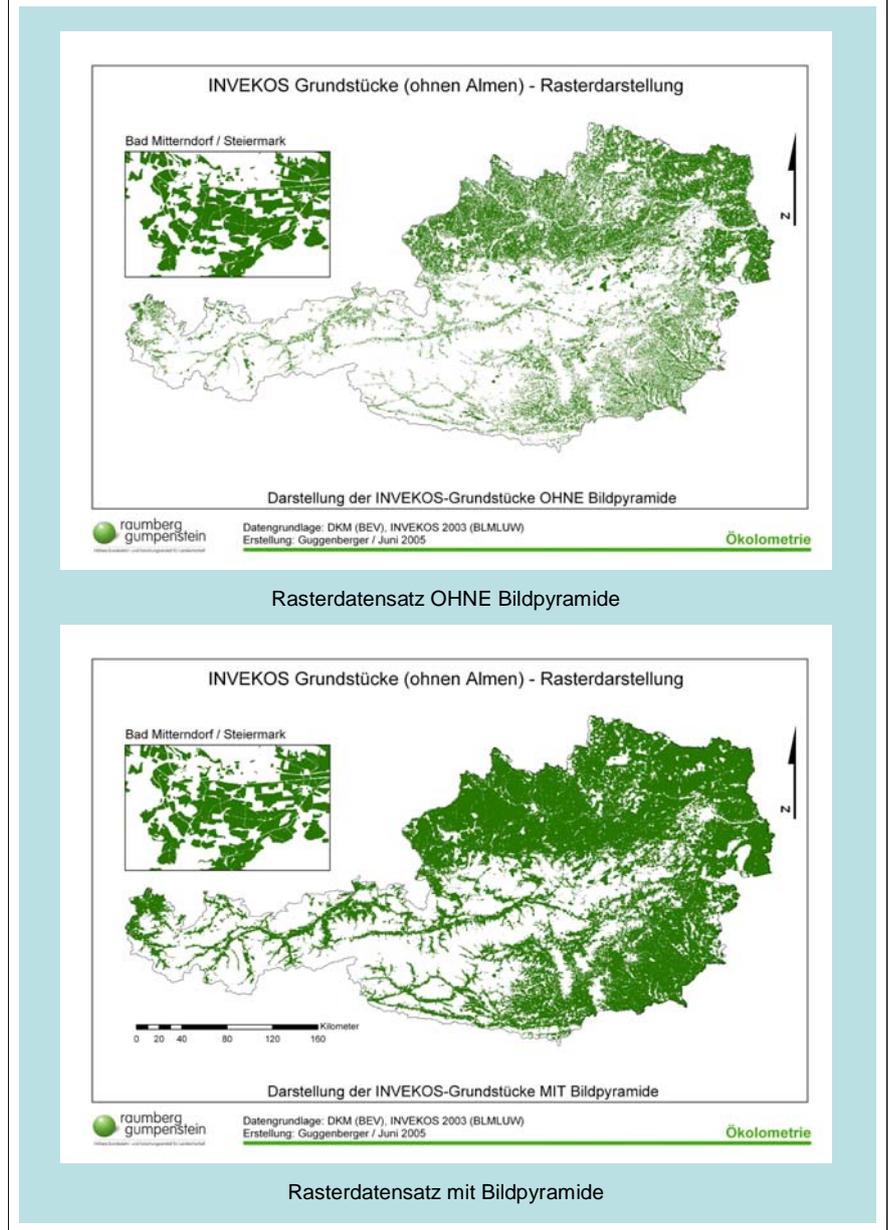


Abbildung 44: Veränderung durch unterschiedliche Pixelgrößen

minimalen Ausgabegröße des Plotters liegen, nicht mehr sichtbar sind. Durch die Bildung von Bildpyramiden oder

durch die Umrandung von flächigen Geometrien kann dieses Problem entschärft werden.

5. Ergebnisse

5.1 Abgrenzung des Ergebnisrahmens

Die naturwissenschaftliche Kernfrage, die Berechnung von Nährstoffbilanzen, ist ein Thema, welches den Rahmen dieser Diplomarbeit verfehlen, aber auch sprengen würde. Als zentrales Ziel wurde zum Hauptprojekt deshalb folgender Untertitel festgelegt: „Erstellen eines geographischen Informationssystems zur Beurteilung von ökologischen Zusammenhängen“

Sowohl die besprochenen Methoden der Modellbildung, als auch jene der Geoinformatik fließen direkt in den Ablaufprozess des bearbeiteten Projektes ein. Sie bilden gemeinsam als AGS ein hoch spezialisiertes Fachinformationssystem. Deren Aufgabe ist die Datenerfassung und Aufbereitung aus räumlicher sowie fachlicher Sicht. Der Grossteil der Abbildungen dieses Kapitel versucht Teile dieses Prozesses in einfachen Karten darzustellen.

Die Ergebniskarten bilden zum Teil rein räumliche Daten, wie Lageparameter und Nutzungspunkte ab. Die Klimadaten, sowie die berechneten Nutzungen und deren Nährstoffsummen sind das Ergebnis von fachlichen Erkenntnissen auf räumlichen Strukturen. Sie bilden gemeinsam das Angebot für die Bilanzierung. Dem gegenüber steht die gesamte Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Betrieben. Durch den gewählten Tierbesatz und die verwendeten Futtermittel, sowie durch individuelle Bewirtschaftungsform der Betriebe entsteht für jeden Bauernhof in Österreich ein spezieller Nährstoffbedarf. Durch eine Gegenüberstellung von Angebot und Bedarf entstehen Nährstoffbilanzen.

Für jede Datenschicht des räumlichen und fachlichen Modells besteht die Notwendigkeit zur geostatistischen Analyse und Visualisierung.

5.2 Selektion von Zielräumen

Die Basisselektion wird über den Grundstücksdatenbestand im INVEKOS vorgenommen. In *Abbildung 31* wurden diese

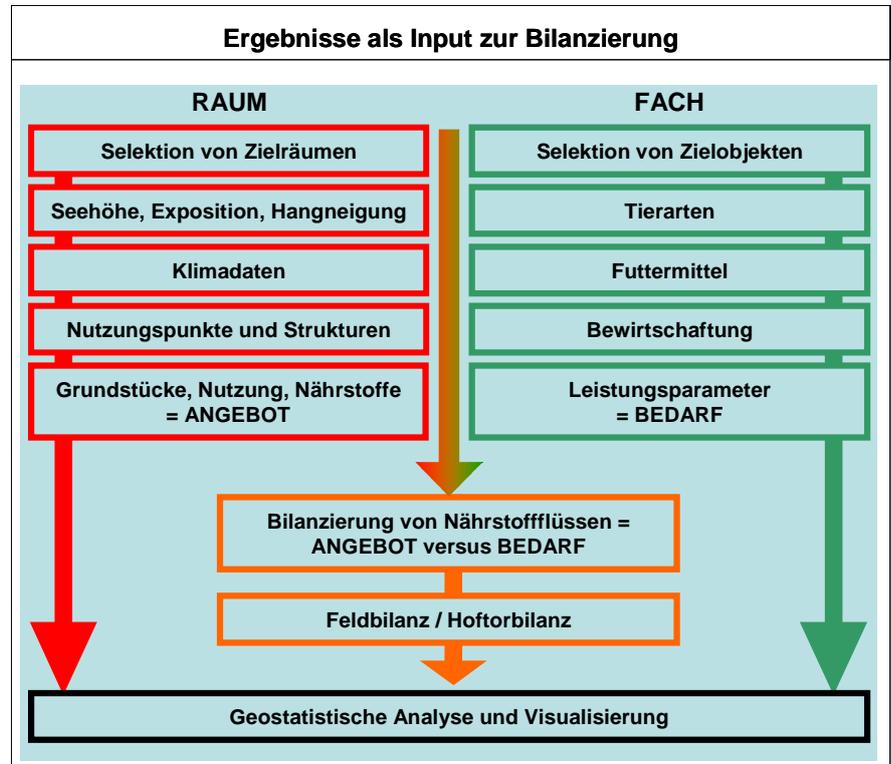


Abbildung 45: Ergebnisübersicht

Grundstücke bereits dargestellt. Aus Gründen, die in Kapitel 4.1.4 besprochen wurden, werden alle Grundstücke eines Betriebes in einem zentralen Nutzungspunkt zusammengefasst. Dieser kann die Verbindung zwischen räumlichen und fachlichen Datenbeständen herstellen.

Die in *Abbildung 46* dargestellten Punktgeometrien repräsentieren jeweils einen landwirtschaftlichen Betrieb in Österreich. In der großmaßstäbigen Darstellung wird in etwa das Abbildungsergebnis der Grundstücke erreicht.

Unterscheidet man die Punkte noch zusätzlich hinsichtlich ihrer Nutzung, erreicht man eine Struktur, die sehr stark der Abbildung des Projektes CORINE-Landcover entspricht (CORINE, 1997). Dieses Projekt interpretiert die Landbedeckung aus Satellitenbildern. Dabei wird jeder Nutzungskategorie eine eigene Farbe zugeordnet, die, wenn möglich, auch für diese Abbildung verwendet wurde. Eine Evaluierung der Ergebnisse von CORINE wäre über diese Methode denkbar.

Die Interpretation der *Abbildung 47* führt zu wenig überraschenden Erkenntnissen. In den Talsohlen des Alpenraumes finden wir in erste Linie Grünlandflächen, die fallweise in mikroklimatischen Gunstlagen von Mais- und Getreideanbaugebieten begleitet werden. Im nördlichen Alpenvorland, sowie in den östlichen Flachlandgebieten findet man dagegen die traditionellen Ackerbaugebiete.

Interessante Strukturen findet man im Weinbau. Dort bilden mehrere Punkte zumeist Punkthaufen, welche die Gunstlagen des Weinbaus markieren. Besonders am West- und Ostufer des Neusiedlersees und im Südsteirischen Grenzland ist dieses Phänomen besonders deutlich ausgeprägt.

Die nicht mit Nutzungspunkten bedeckten Flächen des Zentralalpenraumes liegen im hochalpinen Gebiet, sind Almen oder Wald. In Ober- und Niederösterreich werden solche Flächen zumeist durch Waldgebiete wie Hausruck und Waldviertel (z.B.: Truppenübungsplatz Allentsteig) erzeugt. Auch die Landeshaupt-

städte, Wien und die größeren Seen bleiben nahezu unberührt.

Die landwirtschaftlichen Nutzungspunkte werden in der geostatistischen Analyse zur Berechnung aussagekräftiger Oberflächen verwendet. Die Methode die dabei gewählt wird, hängt vom zu untersuchenden Parameter ab.

Haben einzelne Messwerte keinen oder nur einen schwachen räumlichen Zusammenhang, bietet sich die deterministischen Methode an. Bilden die Messpunkte, wie in unserem Fall ein sehr dichtes Netz, kann ebenfalls gut mit diesen Methoden gearbeitet werden. Aus eigener Erfahrung empfiehlt sich dann die Radial Basic Function mit einem geringen Nachbarschaftsradius. Dadurch wird jenes Ausmaß an Glättung der Daten erreicht, die für eine Abstraktion von Aussagen notwendig ist. Bei wenigen Messwerten, oder eindeutigen Zusammenhängen kann gut mit den Methoden des Kriging gearbeitet werden.

Alle in Folge dargestellten Abbildungen von Österreich enthalten keine Originaldaten mehr, sondern wurden bereits mit einer geostatistischen Methode bearbeitet. Als Ergebnis dieser Analysen erhält man Karten, die das Bundesgebiet vollständig abdecken, aber auch über die Grenzen von Österreich hinausragen. Den Betrachter wird diese Art der Abbildung zu einer falschen Interpretation verführen. Außerhalb der Landesgrenzen sind die Fehler der Analyse durch nicht kontinuierliche Verläufe leicht erkennbar. Es werden aber auch Messwerte in jenen Regionen innerhalb der Bundesgrenzen berechnet, die zu keinem Zeitpunkt in den Datenbereich aufgenommen wurden (Wald, Gebirge). Diese Regionen sind für den Betrachter durch geeignete Masken abzudecken.

5.3 Lageparameter landwirtschaftlicher Betriebe

Aus den Betriebsmittelpunkten lässt sich eine neue, geglättete Sicht auf die Welt der Landwirtschaft entwerfen. Diese mildert den realen Eindruck der Landwirtschaft vor allem im alpinen Bereich etwas ab. Am Beispiel des Geländemodells der landwirtschaftlichen Nutzung soll dies weiter ausgeführt werden.

Betrachtet man den Alpenraum aus dem Osten auf einer geographischen Breite

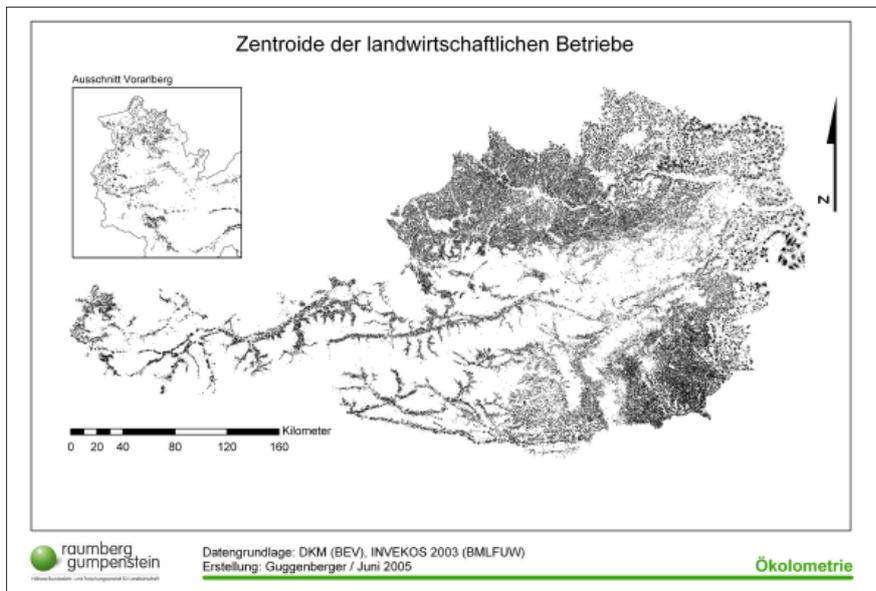


Abbildung 46: Zentroide der landwirtschaftlichen Betriebe

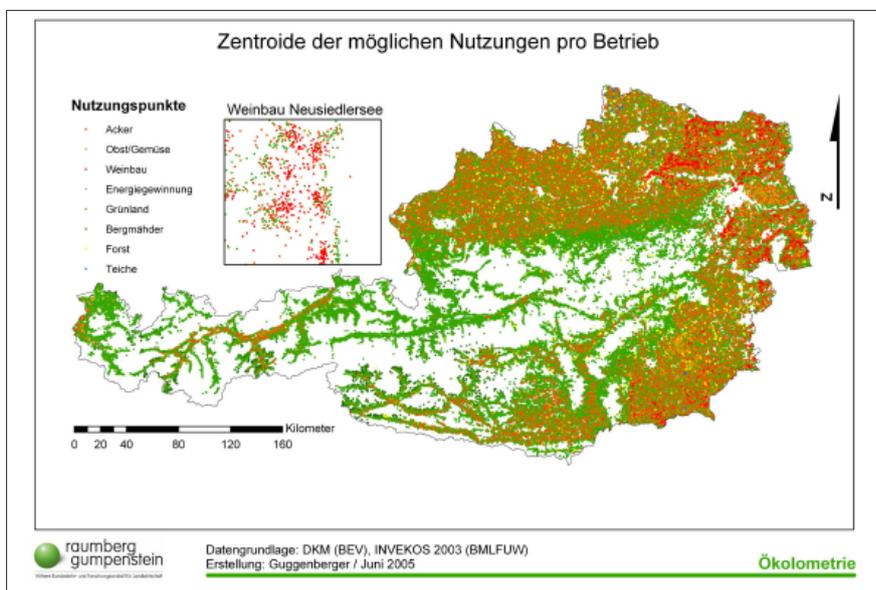


Abbildung 47: Punkte der Nutzungsklassen

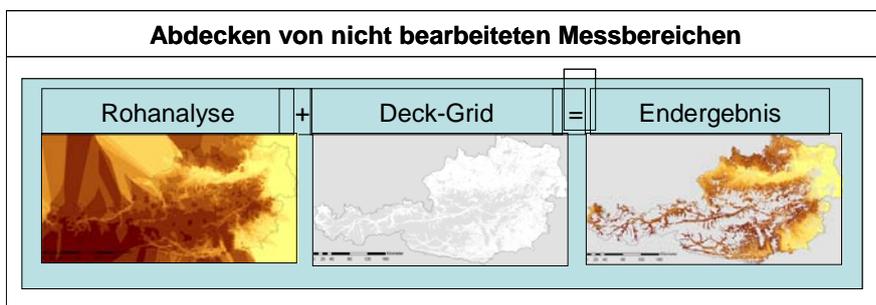


Abbildung 48: Abdecken von nicht bearbeiteten Messbereichen

von 47,5°, so befindet man sich vorerst im Flachland. Bald jedoch richten sich Hügel und dann hochalpines Gebirge auf. Eine reale Wahrnehmung der Seehöhe einzelner landwirtschaftlicher Betriebe ist nur mehr schwer möglich. Zu stark

erwecken die hochalpinen Strukturen den Eindruck einer unbewirtschafteten und unbewirtschaftbaren Landschaft.

Reduziert man dieses Geländemodell, wie in *Abbildung 49* auf tatsächlich landwirtschaftlich genutzte Gebiete, so bleibt

ein milderer, hügeliger Eindruck, der viel eher die tatsächliche Bewirtschaftungssituation beschreibt. Es zeigen sich jene gut bewirtschaftbaren Flächen, die die Struktur des ländlichen Raumes ausmachen und die auf jeden Fall in Zukunft erhalten bleiben müssen.

Das Geländemodell der landwirtschaftlichen Nutzung ist im Flachland deckungsgleich mit dem DGM, unterscheidet dieses aber im alpinen Bereich.

Der Maximalwert des landwirtschaftlichen Geländemodells liegt an der 2000 Meter-Marke. Dort befinden sich in der Realwelt keine Bauernhöfe mehr. Es sind die Nutzungspunkte der Bergmähder, die das Geländemodell bis in diese Regionen erhöhen. Vor allem in Regionen mit Tourismus ist die sommerliche Mahd von Bergmähdern häufiger anzutreffen (Ob- und Nordtirol).

Ein Modell kann nicht nur über die Seehöhe, sondern auch über die Exposition und Hangneigung angefertigt werden. In unserem Fall der Exposition ist die Hangneigung in Kompassgrad angegeben. Die Skalierung der Werte beginnt dabei mit 0 Grad im Norden (Rot), weiter mit 90 Grad im Osten (Orange) zu 180 Grad im Süden (Grün) und geht über 270 Grad im Westen (Blau) wieder zur Nordlage mit 360 Grad (Magenta). Karten mit vier Farbrichtungen sind für den Betrachter auf den ersten Blick schwer zu erfassen. Zoomt man jedoch auf einzelne, vertraute Regionen, wird die tatsächliche Exposition schnell erkennbar.

Die Exposition ist einer jener Parameter, der ganz intensiv an der Globalstrahlung und damit am Pflanzenwachstum beteiligt ist. Empirische Beobachtungen über den Trockenheitsverlauf im alpinen Grünland weisen vor allem nach Süden exponierte Flächen als potentielle Gefahrenzonen aus. Dort finden wir sehr häufig nach der Mahd des ersten Aufwuchses, großflächige, völlig vertrocknete Grünlandflächen, deren Ertrag bei fehlendem Niederschlag massiv sinkt. Wie groß diese Schäden sein können, wurde von SCHAUMBERGER, 2005 quantifiziert. In Südtirol werden solche Flächen inzwischen ebenso bewässert wie die Obst- und Weinbaukulturen. Ist ausreichend Wasser verfügbar, könnte auch bald in Österreich die Bewässerung von Dauergrünland Bedeutung erlangen.

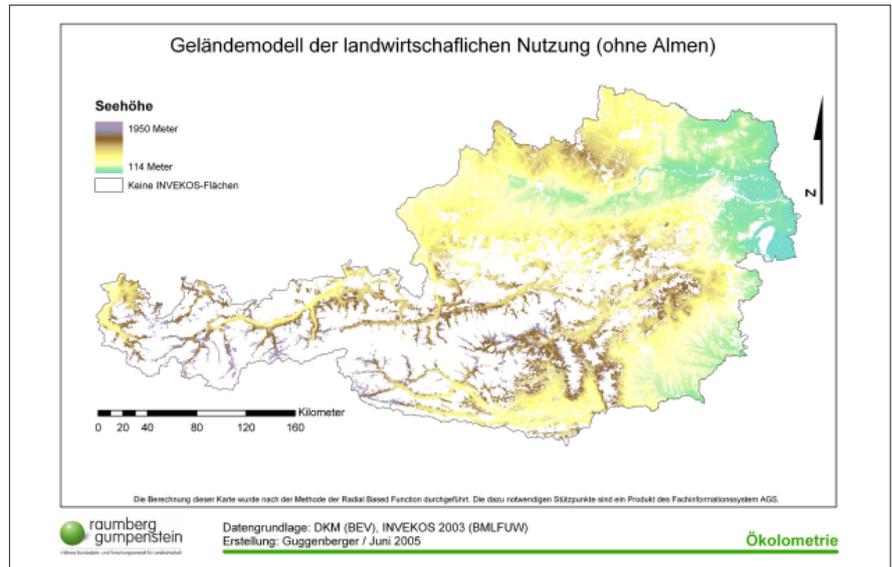


Abbildung 49: Geländemodell der österreichischen Landwirtschaft

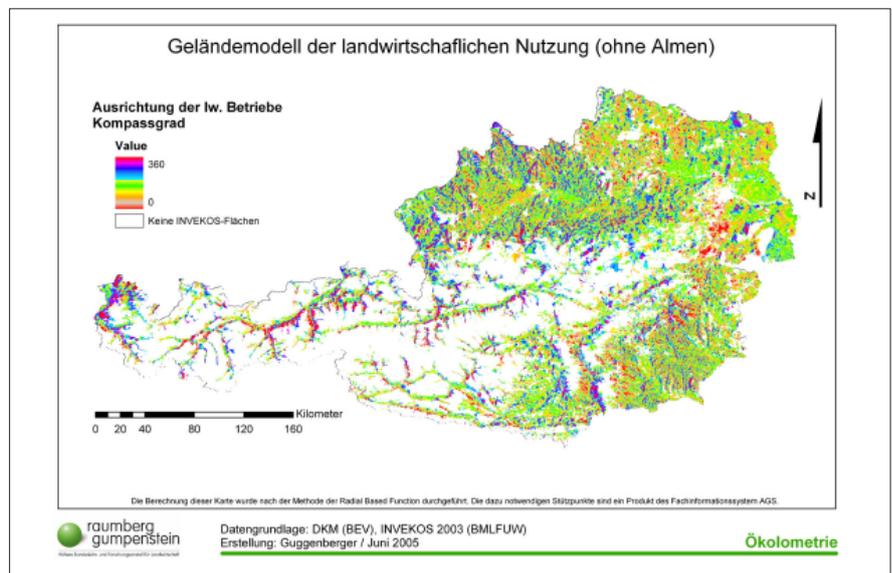


Abbildung 50: Exposition landwirtschaftlicher Betriebe in Österreich

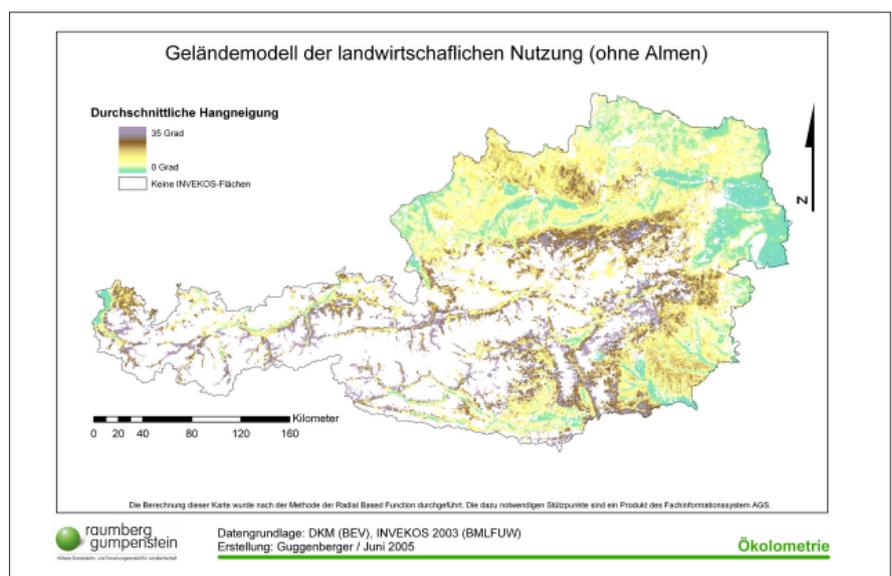


Abbildung 51: Hangneigungen der landwirtschaftlichen Betriebe in Österreich

Die Hangneigung ist ein maßgeblicher Faktor, für die maschinelle Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Betrieben. Deren absolute Grenze von 60 % (27 Grad), wird in Österreich nur in wenigen Gebieten erreicht. Die Grenzen der Befahrbarkeit von Grundstücken mit dem Traktor, liegen bei einer Fahrtrichtung nach den Schichtenlinien bei 35 % (15,7 Grad), bei einer vertikalen Fahrtrichtung bei 45 % (20,3 Grad) (PÖLLINGER, 2005).

5.4 Die pflanzenbauliche Nutzung

Aus den sieben Nutzungsklassen der *Tabelle 7* werden hier die beiden Klassen Dauergrünland und Ackerbau besprochen. Der Großteil der landwirtschaftlichen Nutzung findet in Österreich auf der Grundlage des Dauergrünlandes statt. Die Gründe dafür liegen in der hohen Reliefenergie Österreichs verborgen. Dort wo höhere Lagen, steilere Hänge und ärmere Böden zu finden sind, kann sich das Dauergrünland als wertvoller Futterlieferant für die Rinderhaltung durchsetzen. Dies sind die inneralpinen Täler, die Randgebiete der Alpen, sowie das Wald- und Mühlviertel. Auf der Datengrundlage des INVEKOS, 2003, lässt sich eine Unterteilung der Grünlandflächen in normalertragfähiges Grünland (Wirtschaftsgrünland) und extensiv genutztes Grünland durchführen. Für beide Kategorien wird eine Gesamtfläche von 1,46 Millionen Hektar ausgewiesen. Dabei ist mit ca. 848.000 Hektar das Wirtschaftsgrünland etwas häufiger verbreitet, als das extensive Grünland. Dessen Gesamtgröße von ca. 609.000 Hektar wird vor allem von den Almen dominiert (500.199 Hektar) (GRÜNER BERICHT 2004). Da diese aus dem Datenmaterial der AGS ausgegrenzt wurden, zeigen *Abbildung 52* und *Abbildung 53* vor allem das österreichische Wirtschaftsgrünland.

Die Ausstattung der Bauernhöfe mit Grünlandflächen ist regional unterschiedlich. Der Großteil der Betriebe im Alpenvorland bewirtschaftet 10-20 Hektar Dauergrünland. Solche Betriebsgrößen findet man auch in den größeren Tälern der Alpen. In kleineren Nebentälern in Oberkärnten, Ost- und Nordtirol sinkt die Flächenausstattung zumeist unter 10 Hektar. In den nördlichen Gunstlagen zwischen Scheibbs und Baden, sowie im

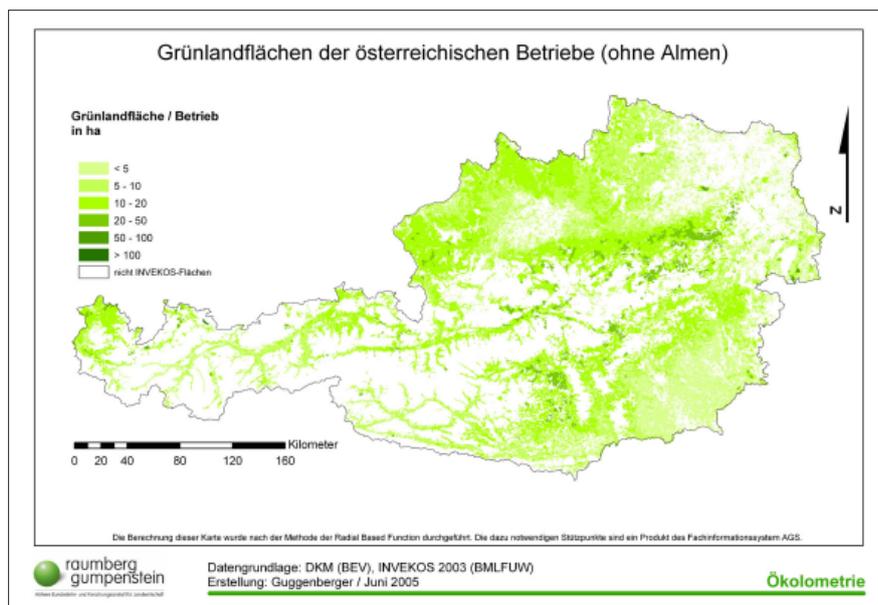


Abbildung 52: Flächenausstattung Grünlandbetriebe

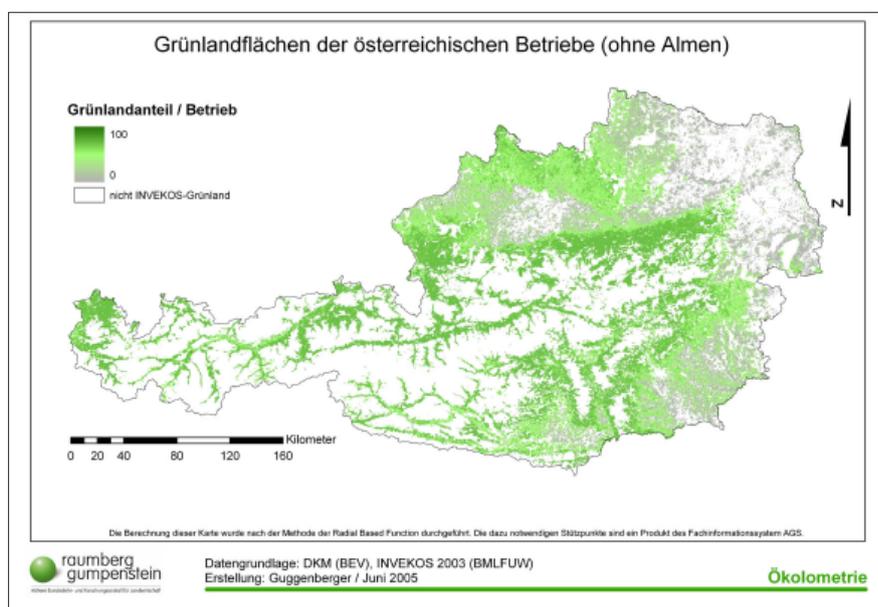


Abbildung 53: Nutzungsanteile Grünland

Mur- und Ennstal finden sich fallweise etwas größere Gebiete.

Die Untersuchung des Grünlandanteiles zeigt ein noch stärker abgrenzbares Verhalten. Der gesamte Bereich der Alpen wird nahezu mit 100 % Dauergrünland bewirtschaftet. Nur in den Randlagen, an den Übergängen zum reinen Ackerbau, finden wir etwas inhomogenere Betriebe, die sowohl Grünland- als auch Ackerbau betreiben. Der Grünlandanteil des Ackerbaugesbietes beschränkt sich auf die Existenz kleinregionaler Steilflächen und Landschaftselemente.

Völlig konträr zur Grünlandnutzung finden wir den Ackerbau in den Gunstlagen.

Insgesamt werden im INVEKOS 1,38 Millionen Hektar Ackerbaufläche aufgezeichnet (GRÜNER BERICHT 2004). In Österreich bilden sich fünf Ackerbauregionen aus. Diese sind der Oberösterreichische Zentralraum, inklusive des Innviertels, das Tullner-Becken mit dem Weinviertel, das Marchfeld, die Süd- und Oststeiermark und das Kärntner Becken. Alle Regionen zeichnen sich durch geringere Niederschläge und höhere Temperaturen aus.

Dort wo etwas höhere Niederschläge zu erwarten sind, findet man vor allem den Anbau von Maissilage und Körnermais. Reduzieren sich die Niederschlagsmen-

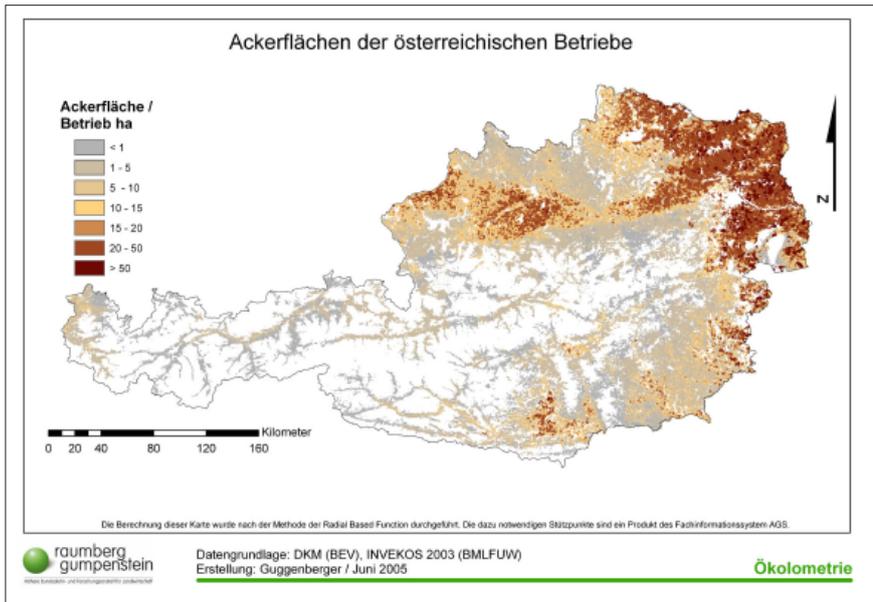


Abbildung 54: Flächenausstattung Ackerbaubetriebe

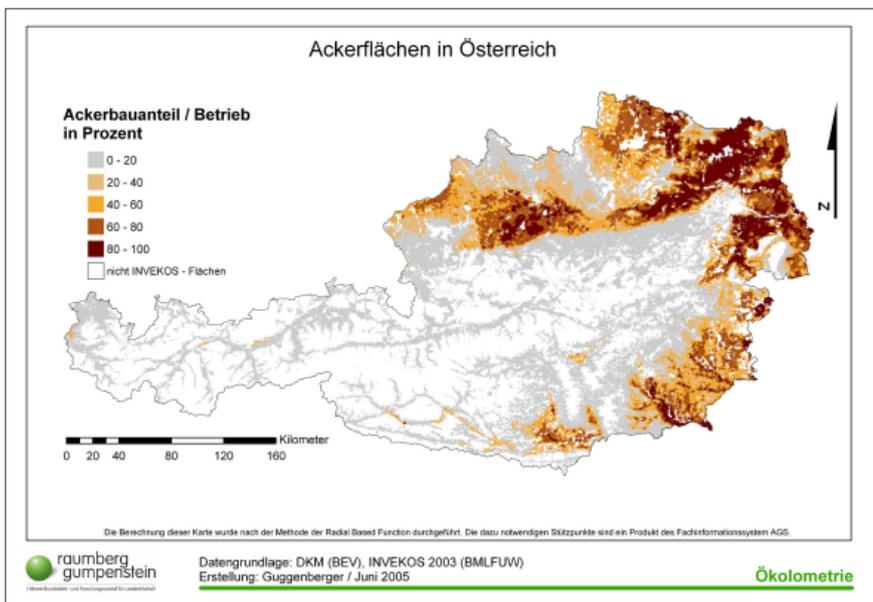


Abbildung 55: Nutzungsanteil Ackerbau

gen auf unter 750 Millimeter pro Jahr, wird fast nur mehr Getreide angebaut.

Die Strukturen der Ackerbaugebiete unterscheiden sich je nach untersuchter Region. In Ostösterreich bewirtschaftet ein Ackerbaubetrieb im Durchschnitt zwischen 20 und 50 Hektar. In der Süd- und Oststeiermark ist die Flächenausstattung deutlich geringer. Der Ackerbauanteil ist ebenso scharf abgegrenzt wie der Anteil des Grünlandes. Dort wo Ackerbau möglich ist, wird dieser auch mit nahezu 100 % betrieben. Die Gründe dafür liegen in der höheren Wertschöpfung aus dem Ackerland. Im inneralpinen Bereich befinden sich einige klein-

klimatische Gunstlagen, die einen Anbau von Silomais zulassen (Mur-, Drau- und Inntal).

5.5 Die Verteilung der tierischen Produktion

Die Produkte des Pflanzenbaues stellen in vielen Regionen die Ausgangsbasis für die Tierproduktion dar. Dabei beeinflusst die Art der pflanzenbaulichen Produkte die zur Verwertung geeignete Tierart. Der naturwissenschaftliche Hintergrund ist dabei das Verdauungssystem der Tiere. Monogastrische Lebewesen wie Schweine, die wie wir Menschen, einen einhöhligen Magen haben, brauchen hochener-

getische Futtermittel. Ihre regionale Bedeutung hängt deshalb stark mit den Ackerbaugebieten zusammen. Wiederkäuer besitzen mehrere Mägen und können Dank der dort lebenden Mikroorganismen auch strukturreiche und zumeist energieschwache Futtermittel verwerten. Der typische Vertreter dieser Futtermittelkategorie ist das Dauergrünland. Der Zusammenhang zwischen Grünlandflächen und Rinderhaltung erklärt sich ebenso auf der Basis der Futtergrundlage. Angepasst an den großen Grünlandanteil halten rund 55 % aller österreichischen Bauern auf ihren Betrieben Rinder.

Im Jahr 2003 wurden in Österreich mehr als 2 Millionen Rinder gehalten. Den größten Anteil haben dabei die Milchkühe mit einer Summe von rund 800.000 Stück. Geht man von zumindest einem Kalb pro Kuh und Jahr aus, so verteilt sich der Rest von 1,2 Millionen Rindern auf Nachzucht (900.000 Stück) und Mastrinder (300.000 Stück) (GRÜNER BERICHT 2004).

Die produktive Anzahl von Rindern eines landwirtschaftlichen Betriebes wird in Großvieheinheiten (GVE) angegeben. Diese Maßeinheit stellt eine Gewichtsnormierung dar. Die ursprüngliche Recheneinheit eines GVE entspricht einem Rind mit einem Lebendgewicht von 500 kg. Für ein Kalb im Alter bis 6 Monate werden 0,3 GVE, für ein Jungrind 0,6 GVE angesetzt. Für eine Kuh mit einem Alter über 2 Jahre (1 GVE) kann also, je nach Altersstruktur, eine Nachzucht zwischen 0,3 und 0,9 GVE vermutet werden. Die Gesamtsumme aller Rinder in GVE beträgt etwa 1,5 Millionen.

Die Anzahl der GVE pro Betrieb ist ein guter Parameter, um das Leistungspotential eines Bauernhofes zu bestimmen. Berechnet man den GVE-Besatz nur aus der Kategorie Rinder, so werden im Bundesdurchschnitt 22,5 GVE/Betrieb (10 Kühe + Nachzucht) gehalten. *Abbildung 56* zeigt die tatsächliche Verteilung des Rinder-GVE-Besatzes. Dabei ist eine deutliche Konzentration der größeren Betriebe in den günstigeren Lagen der Grünlandwirtschaft zu erkennen. Vor allem im Salzburger Flachgau, dem Innviertel und im Alpenvorland finden wir Betriebe, die den Durchschnitt bei weitem übersteigen. Mit Zunahme der Soh-

lenbreite der alpinen Täler, und der damit steigenden Verfügbarkeit an Nutzungsflächen steigt auch die Höhe der GVE-Anzahl im Inn-, Enns-, Mur- und Drautal.

Ebenso wie die Betriebsgröße ist auch der Anteil der Rinder pro Betrieb mit der Futtergrundlage des Grünlandes eng verbunden. Die Schärfe der Abgrenzung zu den Ackerbaugebieten ist in *Abbildung 57* deutlich zu sehen. Im Großteil des Grünlandbereiches werden nahezu ausschließlich Rinder gehalten. Um die bereits ausgezeichneten Ackerbaugebiete schließt sich ein schmaler Saum an Mischbetrieben an. Innerhalb der Ackerbaugebiete sind kaum Rinder zu finden.

Neben den Rindern werden in Österreich noch mehr als 3,2 Millionen Schweine gehalten. Deren GVE-Schlüssel ist deutlich geringer als jener der Rinder. Ein ausgewachsenes Mastschwein entspricht 0,15 GVE. Die GVE-Summe aller Schweine beträgt 362.000 GVE. Schweine werden in Österreich über das gesamte Bundesgebiet gehalten. Es gibt kaum einen tierhaltenden Betrieb, der nicht zumindest einige Schweine zur Eigenversorgung hätte. Deshalb finden wir auf $\frac{3}{4}$ dieser Betriebe zwei Schweine. Die tatsächlichen Spezialisten (ca. 3 % der Schweinehalter) betreuen etwa ein Drittel der Gesamtpopulation. Dies führt zu einer Konzentration von 65 GVE oder 440 Tieren pro Betrieb. Die räumliche Lage dieser Betriebe ist eng mit dem Anbau von Körnermais verbunden. Körnermais ist das ideale Mastfutter für Schweine, braucht aber zum optimalen Wachstum etwas mehr Niederschlag als Getreide. Deshalb finden wir die österreichische Schweineproduktion bevorzugt im Oberösterreichischen Zentralraum, dem Tullner Becken, der Süd- und Oststeiermark sowie dem Kärntner Becken.

Neben den Rindern und Schweinen werden in Österreich noch Pferde, Schafe, Ziegen, Geflügel und andere Nutztiere gehalten. Diese tragen mit 120.000 GVE zum Gesamttierbestand in Österreich bei. Da es sich dabei mit Ausnahme der Pferde, um Kleintiere handelt, verteilt sich diese GVE-Anzahl auf mehr als 10 Millionen Tiere.

Die Anzahl der GVE pro Betrieb eröffnet nun erstmalig einen Blick auf eine

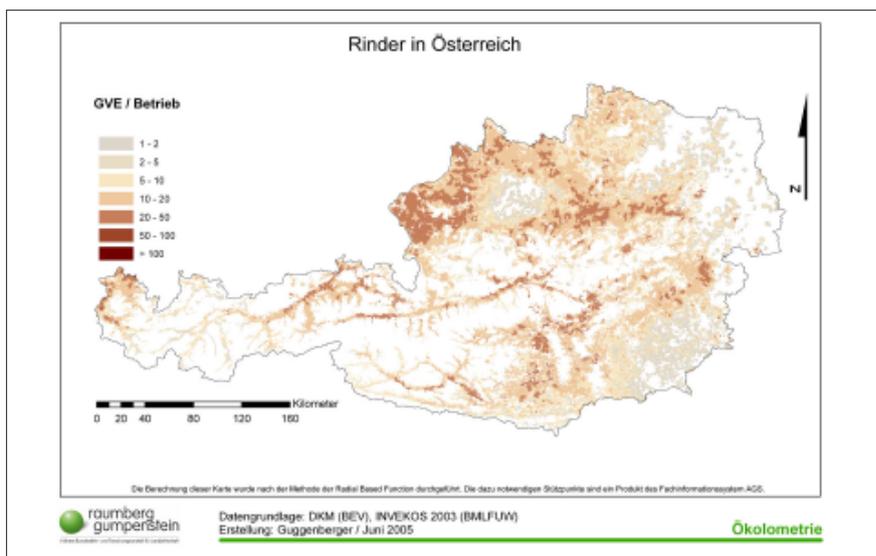


Abbildung 56: Anzahl von Rinder-GVE/Betrieb

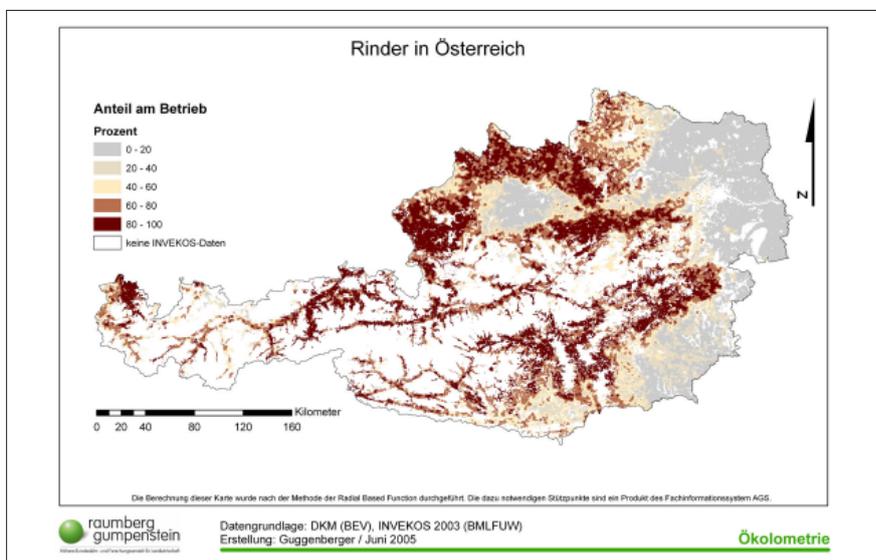


Abbildung 57: Anteil der Rinderhaltung

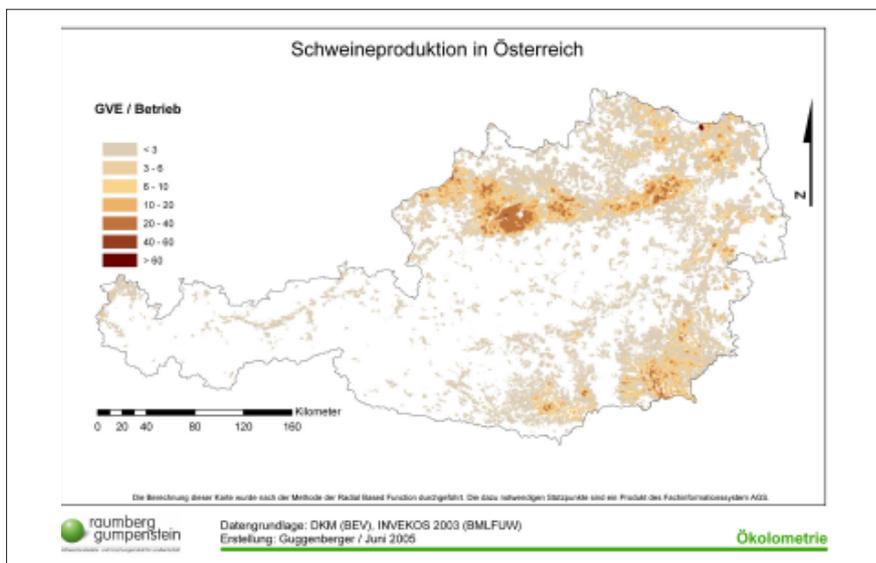


Abbildung 58: Anzahl von Schweinen-GVE/Betrieb

Landkarte, die ökologische Problemzonen aufzeigen kann. Die Höhe der GVE-Summe korreliert sehr eng mit dem Anfall an Wirtschaftsdünger. Den so entstehenden Potentialmengen an Stickstoff, Phosphor und Kalium müssen entsprechend große Flächen gegenüberstehen.

Österreich verfügt über eine klein strukturierte Landwirtschaft. 67 % der Betriebe halten weniger als 20 GVE. Die restlichen 33 % halten durchschnittlich 37 GVE. Die räumliche Verteilung in *Abbildung 60* weist diesen Betrieben die Gunstlagen entlang und innerhalb der alpinen Regionen zu.

Der erhöhte Tierbesatz in den Gunstlagen mag den Betrachter zu einem voreiligen Schluss über ökologisch problematische Regionen verführen. Man bedenke jedoch, dass mit dem Tierbesatz auch die zur Verfügung stehende Fläche beurteilt werden muss (*Abbildung 64*).

5.6 Leistungsdaten der Milchproduktion und Tierbesatz

Die Bedeutung der Rinderhaltung wurde unter Punkt 5.5 dargestellt. Die Milchproduktion ist dabei das zentrale Segment. In Österreich werden jährlich mehr als 2,5 Millionen Tonnen Milch von landwirtschaftlichen Betrieben an Molkereien angeliefert. Dies entspricht aber noch nicht der produzierten Gesamtmilchmenge, da ein Anteil von durchschnittlich 20 % zur Fütterung der Kälber und für den Eigenverbrauch am Bauernhof verbleibt.

Von insgesamt 56.500 Milchlieferanten in Österreich lieferten 57 % weniger als 20.000 kg Milch pro Jahr. Diese Betriebe sind zumeist Bergbauernbetriebe mit steileren Flächen (Zone 3 und 4) in alpinen Nebentälern. Am anderen Ende des Leistungsspektrums stehen 11 % der Betriebe, die mehr als 100.000 kg Milch pro Jahr erzeugen.

Die räumliche Verteilung weist den leistungsstarken Betrieben wieder die Gunstlagen des Grünlandes zu. Eine Ausnahme bildet das Tiroler Zillertal, welches, obwohl nicht ausgewiesene Gunstlage, hohe Abliefermengen verzeichnet.

Die Berechnungsgrundlage für die Milchproduktionsmenge ist ein Datensatz des INVEKOS, der die jährlich abgelieferte Menge an die Molkereien erfasst. Diese Daten werden in der AGS um einen bundesländerspezifischen Faktor

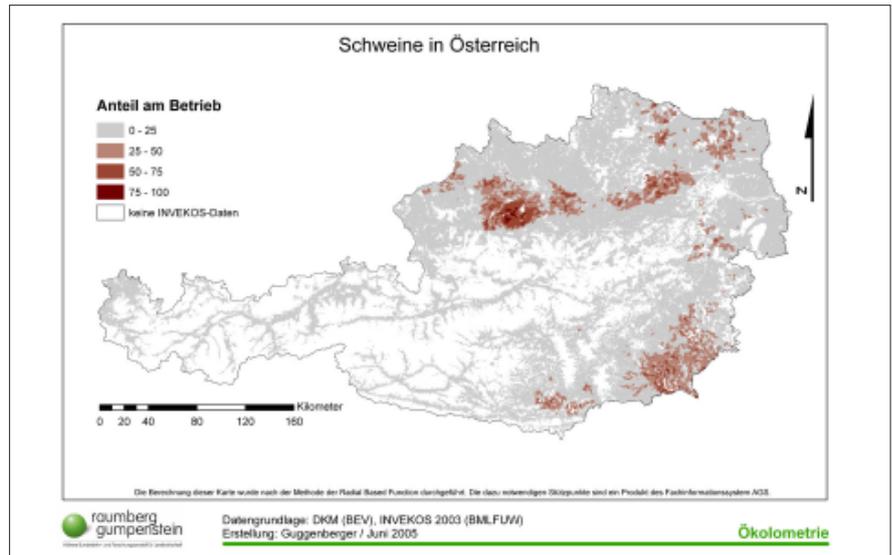


Abbildung 59: Anteil Schweinehaltung

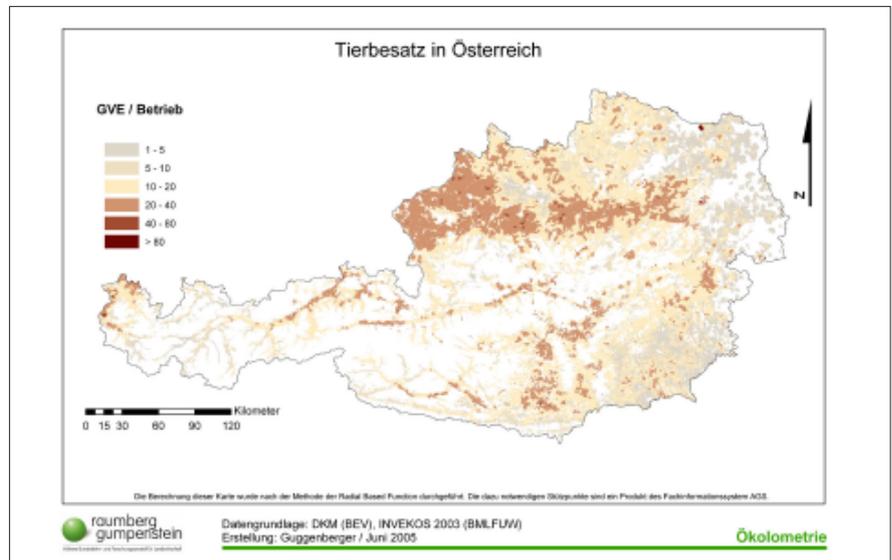


Abbildung 60: Anzahl GVE/Betrieb

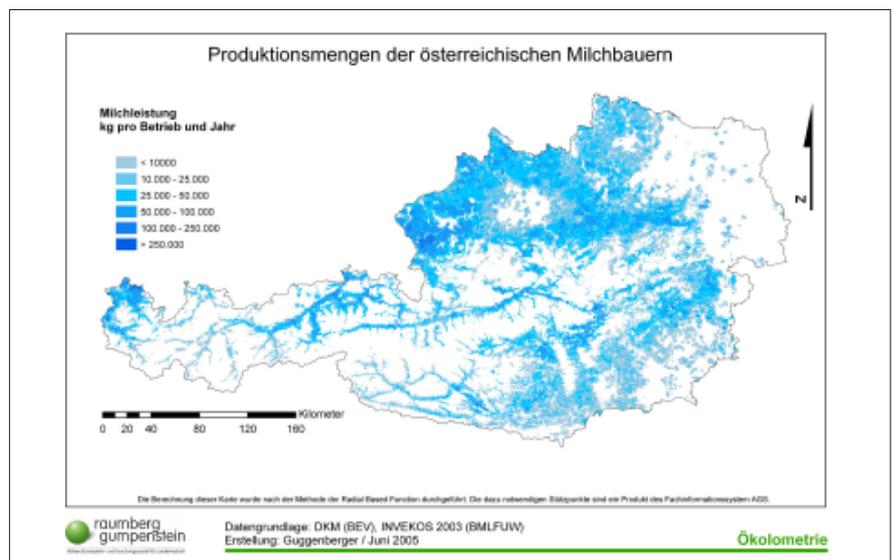


Abbildung 61: Produktionsmenge Milch/Betrieb

erhöht. Dieser berücksichtigt den regional unterschiedlichen Anteil der tatsächlichen Ablieferungsmengen (z.B.: Kärnten 70,7 % - Oberösterreich 84,9 %). Die so entstandene Gesamtmilchmenge wird durch die Anzahl der Milchkühe dividiert. Es entsteht der im Rahmen der Fütterungsberechnung entscheidende Wert der Milchleistung pro Kuh und Jahr. Vor allem kleine, extensiv geführte Betriebe liefern kaum Milch an die Molkereien ab. Diese Betriebe erhalten die Milchleistung einer Kuh aus einem kombinierten statistischen Verfahren, welches unter Punkt 5.7.2 noch weiter besprochen wird.

Die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion steigt mit der Milchleistung der Kühe. Der Grund liegt im besseren Verhältnis von Erhaltungs- und Leistungsbedarf. Je mehr Milch eine Kuh gibt, umso besser verteilt sich der Erhaltungsbedarf pro kg Milch. Dabei ist die Leistungssteigerung der Milchkühe eng mit der Tätigkeit von Zuchtverbänden und dem Einsatz hoher Kraftfuttermengen verbunden. Das bereits erwähnte Zillertal ist dabei ein Paradebeispiel für das Wirken von Zuchtverbänden. Der regionale Ehrgeiz treibt die Milchleistung pro Kuh nahe an die 10.000 kg Grenze. Diese enorme Produktionsmenge benötigt Nährstoffmengen, die mit Grünlandfutter nicht mehr zu decken sind. Erst die Fütterung von Getreide und Mais aus den Produktionsregionen des Ackerbaus ermöglichen eine bedarfsgerechte Futterzusammensetzung. Als Maximalgrenze für den Einsatz von Getreide bei Wiederkäuern wird die Hälfte der Gesamtfuttermenge festgelegt. Betriebe mit hohen Milchleistungen, die kein eigenes Getreide anbauen, kaufen also über diese Futtermittel hohe Mengen an Nährstoffen zu. Dies führt automatisch zu einem Bilanzüberschuss der landwirtschaftlichen Kreislaufwirtschaft.

Wie *Abbildung 62* zeigt, führt die Untersuchung der Milchmenge/Kuh zu einem leicht unterschiedlichen Ergebnis als die Milchmenge/Betrieb. Bauernhöfe, deren hohe Abliefermenge auf einer großen Milchkuhherde mit bestenfalls durchschnittlicher Leistung beruht, sind nicht mehr auffällig. Deutlich treten aber nun Betriebe hervor, die tatsächlich intensiv produzieren.

Sind solche Betriebe nicht entsprechend mit Fläche ausgestattet, konzentrieren

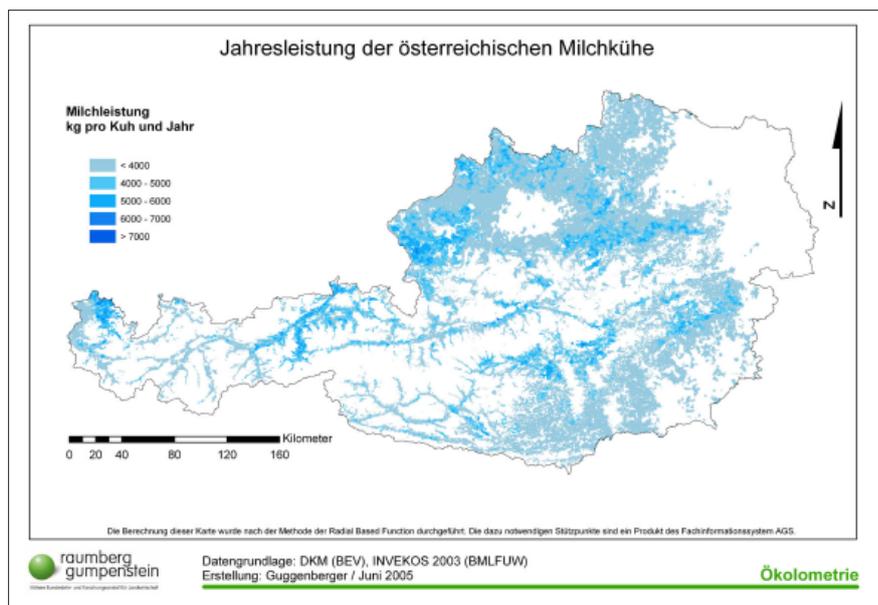


Abbildung 62: Milchleistung kg Milch/Kuh und Jahr

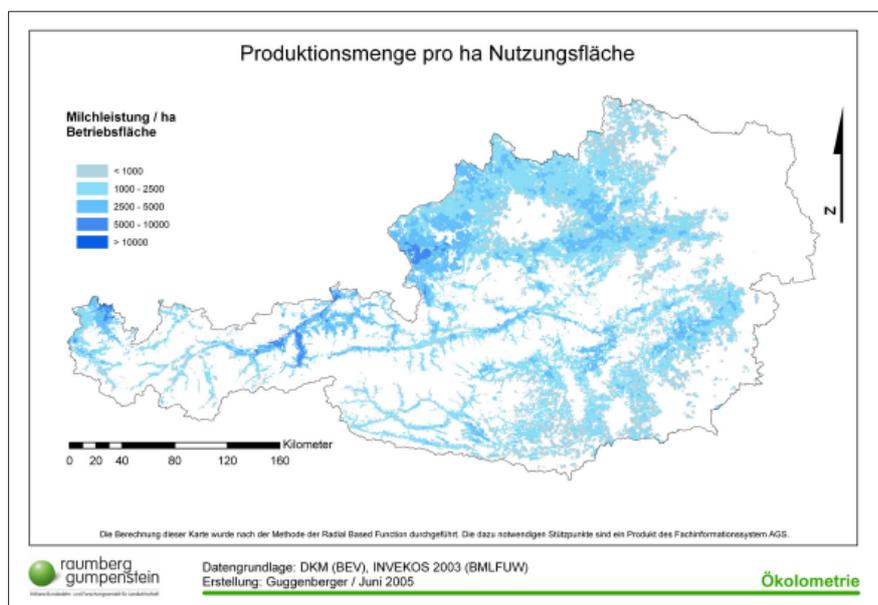


Abbildung 63: Milchleistung kg Milch/Hektar Betriebsfläche

sich die anfallenden Wirtschaftsdüngermengen. Als Folge können erhöhte Mengen von Nitrat, Phosphor und Kalium im Boden und Grundwasser nachgewiesen werden. Nur durch eine Extensivierung dieser Betriebe oder einem Export von Wirtschaftsdünger kann hier eine ausgeglichene Nährstoffbilanz erzeugt werden.

Die Nährstoffbilanzierung wird in dieser Arbeit, wie bereits besprochen, nicht bis zum Ende nachvollzogen. Die potentiellen Verdachtsregionen der nicht ausgeglichen bilanzierenden Milchbetriebe können aber auch über die Leistungsparameter grob festgelegt werden. Die Berechnung der Milchmenge pro Hektar

Betriebsfläche reduziert die Größe der möglicherweise problematischen Regionen auf das Flachgau, das Zillertal und kleine Teile des Bregenzerwaldes.

Eine Beurteilung der Leistung anderer Tierarten ist in der, für die Milchproduktion angewandten Form nicht möglich. Die dazu notwendigen Inputparameter wie Tageszunahme der Rind- oder Schweinefleischproduktion sind nicht verfügbar. Im Rahmen der Nährstoffbilanzierung werden für diese Tierarten regionale Nahrungswerte eingesetzt.

Den Abschluss der Diskussion über Flächennutzung und Tierproduktion bildet die Untersuchung des GVE-Besatzes/

Flächeneinheit. *Abbildung 64* zeigt unabhängig von Leistungsparametern die Dichte von Tieren pro Hektar. Dabei wird deutlich, dass die, für den Erhalt von vielen Prämien notwendige Besatzgrenze von unter zwei GVE / Hektar eingehalten wird. Regionen mit hohen Milchleistungen oder intensiver Schweinehaltung werden aber auch hier sichtbar.

5.7 Modell der österreichischen Grundfutterqualität

In Kapitel 2.2 und Kapitel 4.2 wurde bereits auf die Notwendigkeit einer Abschätzung der Grundfutterqualität eingegangen. Hier soll der Sachverhalt nur mehr mit der Bemerkung zusammengefasst werden, dass für eine Nährstoffbilanzierung die Input-Parameter, also die Futtermittel in Menge und Nährstoffgehalt bekannt sein müssen. Zur Untersuchung des Nährstoffgehaltes der Grundfuttermittel Heu, Grassilage und Silomais wurden 13.710 Futtermittelproben von 5.000 Betrieben (4,5 %) aus dem Zeitraum von 1998 bis 2005 über deren Einsenderadresse verortet. Die einzelnen Futtermittelproben wurden in der AGS mit den betriebsspezifischen Lageparametern sowie den Nutzungs- und Leistungskennzahlen angereichert.

Abbildung 65 lässt eine ungleiche Verteilung der Proben über das gesamte Bundesgebiet erkennen. Die Bundesländer Nieder- und Oberösterreich scheinen dabei besonders dicht besetzt zu sein. Eine Untersuchung über die Anzahl der Heu- und Grassilageproben im Bezug auf die Grünlandfläche der Bundesländer bestätigt diesen Verdacht. In *Tabelle 9* zeigt sich, dass in den Bundesländern Nieder- und Oberösterreich sowie in der Steiermark und Kärnten für Wiederkäuerfutter eine Probe pro km² verfügbar ist. In Tirol und Salzburg liegt dieser Wert in etwa bei der Hälfte. Das Burgenland ist für Wiederkäuer nicht relevant.

Die in *Tabelle 9* dargestellte Probendichte bezieht sich auf ein arithmetisches Mittel. Eine Aussage über die tatsächliche räumliche Verteilung kann so nicht abgeleitet werden (siehe Kapitel 4.3). Allerdings zeigt sich wieder, dass eine subjektive räumliche Beurteilung der Karte wohl zu einem anderen Ergebnis geführt hätte. Das große Ausmaß an nicht landwirtschaftlich genutzter Fläche inner-

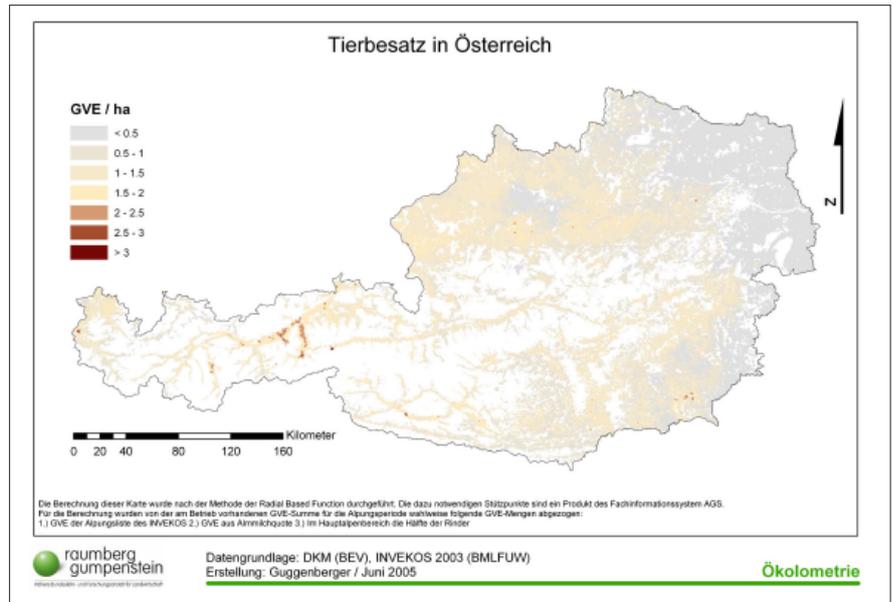


Abbildung 64: Tierbesatz in GVE/Hektar Betriebsfläche

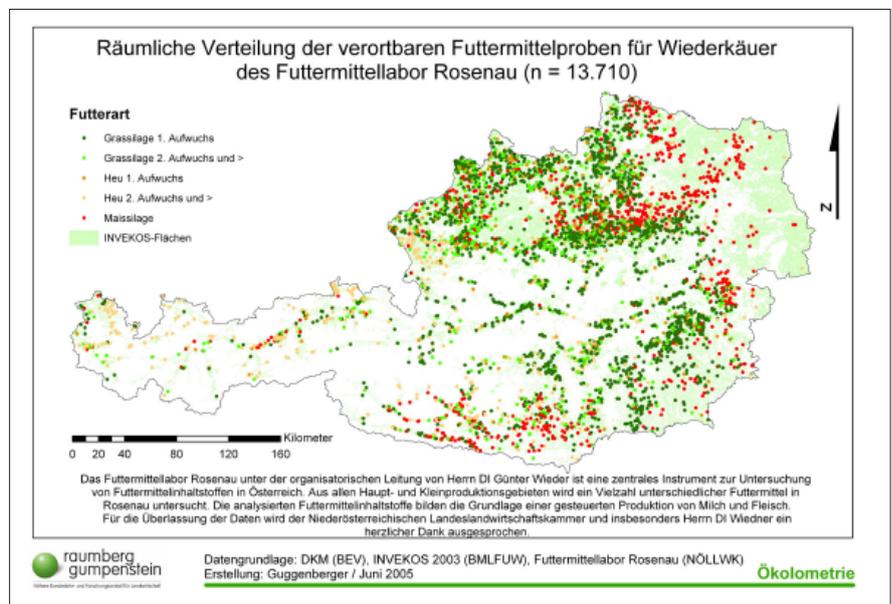


Abbildung 65: Futtermittelproben Rosenau

Tabelle 9: Verteilung der Futtermittelproben auf die Bundesländer

Bundesland	Grünland km ²	Anzahl der Futterproben	Proben/km ²
Burgenland	386	66	0.17
Kärnten	1140	1148	1.01
Niederösterreich	2802	2869	1.02
Oberösterreich	2879	2537	0.88
Salzburg	1000	366	0.37
Steiermark	2062	2352	1.14
Tirol	1016	436	0.43
Vorarlberg	394	304	0.77

halb des Alpenraumes verdünnt die Darstellungsdichte. Die Anzahl der Proben in Oberösterreich erscheint vielleicht zehnmal so dicht wie in Tirol. In Wirklichkeit wird aber nur die doppelte Dichte erreicht.

5.7.1 Statistisches Modell

Für die statistische Auswertung wird auf das Programm LSMLMW (PC-1 Version) zurückgegriffen (HARVEY, 1987). Als fixe Effekte werden die Futtermittelart (Grünland, Maissilage), die Konser-

vierung (Rauhfutter, Silage) und der Aufwuchs (1. Aufwuchs, >) sowie das Erntejahr, die ÖPUL-Anteilsklasse (1 < 25 %, 2 = 25-50 %, 3 = 50-75 %, 4 > 75 %) und das Hauptproduktionsgebiet definiert. Das Modell wurde außerdem um neun Regressionsvariablen aus den Bereichen der Betriebsdaten (drei), der Lageparameter (zwei) und der Klimadaten (vier) erweitert. Die Ergebnisse sind als Least-Squares-Mittelwerte zusammengefasst mit der Standardabweichung und den dazugehörigen P-Werten dargestellt. Die Erklärungsgenauigkeit des Modells wird durch das Bestimmtheitsmaß R^2 beschrieben. Das beschriebene Modell lehnt sich an die Erklärung der *Abbildung 38* an.

Als Parameter y_{ijklmn} der statistischen Untersuchung wurden der Trockenmassegehalt, die Weender-Nährstoffe (Rohprotein, Rohfett, Rohfaser und Rohasche) und die für die Bilanzierung relevanten Mengenelemente (Phosphor und Kalium) ausgewertet. Die Ergebnisse der multiplen Regression sind im Anhang zu finden.

5.7.2 Überführung lokaler Erkenntnisse in globale Ergebnisse

Der Sinn der statistischen Auswertung liegt in der Offenlegung von fachlichen Zusammenhängen. Kann ein Modell mit entsprechend hoher Genauigkeit ange-setzt werden, so besteht bei geschickter Auswahl der Parameter die Möglichkeit, die berechneten Zusammenhänge auf andere, unbekannte Datenbereiche einer Punktwolke zu übertragen. Diese Methode mag zwar den Bewegungsraum der geostatistischen Analyse etwas einschränken, die Möglichkeiten und Methoden der klassischen Biometrie sind für Analysen dieser Art aber leistungsfähiger.

Ein in diesem Projekt recht häufig vorkommendes Problem ist die Tatsache der Unvollständigkeit von Berechnungsparametern. Im Fall der Futtermittelinhaltsstoffe wurde nur eine Stichprobe tatsächlich untersucht. Die Nährstoffgehalte der Futtermittel stellen aber einen wichtigen Input-Parameter für alle landwirtschaft-

lichen Betriebe in Österreich dar. Eine rein grafische Interpretation in einer Karte reicht also bei weitem nicht aus. Die Schätzung aus den Stichproben muss als Prozess wieder in die Datengewinnungsphase integriert werden.

Ganz allgemein werden in diesem Projekt zwei Arten der Geodatengewinnung aus bereits analysierten Stichproben verwendet:

1. Einstufiger Prozess: Tritt eine hohe, gut verteilte Punktdichte auf, und besteht keine Möglichkeit den gesuchten Parameter an andere Faktoren zu koppeln, so empfiehlt sich die fallweise Datenentnahme aus einer analysierten Datenoberfläche (RBF, Kriging). Diese Methode kann nur für Messwerte verwendet werden, die zumindest kleinräumig kontinuierlich sind. Alle Klimaparameter sind dafür gut geeignet.
2. Mehrstufiger Prozess: Als erster Schritt wird mit biometrischen Methoden und geeigneten Faktoren die Erklärung des zu analysierenden Parameters versucht. Ein Beispiel ist das komplexe Modell der Futtermittel-inhaltsstoffe. Kann bei akzeptablem Bestimmtheitsmaß ein solches Modell errichtet werden, besteht der nächste Schritt in der Berechnung fehlender Messwerte. Im Anlassfall der Futtermittel-inhaltsstoffe konnte der Messbereich von 5.000 Betrieben über die Berechnung mit Klassen und Kovariablen auf insgesamt 63.300 Betriebe ausgeweitet werden. Für die nun noch fehlenden 47.000 Betriebe kann die Methode 1 weiterverwendet werden. Futtermittel-inhaltsstoffe sind zwar nicht so kontinuierlich wie Klimadaten, aber sie korrelieren in hohem Ausmaß mit diesen.

5.7.3 Futtermittel-inhaltsstoffe

Die aus dem Arbeitsprozess flächendeckend gewonnenen Werte der Futtermittel sind eine völlig neuartige Erkenntnis für die Landwirtschaft. In einigen Karten werden ausgesuchte Parameter kurz dargestellt und besprochen. Bereits an dieser Stelle muss aber mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass diese Werte nur zur Berechnung der Nährstoffbilanzen herangezogen werden können. Die Zielgruppe dieser Inhalte ist also die

y_{ijklmn}	=	my
	+	$F_i + K_j + A_k + O_l + H_m + J_n$
	+	$b_1 \text{Grproz} + b_2 \text{Gveha} + b_3 \text{Milch} + b_4 \text{Seehöhe} + b_5 \text{Neigung}$
	+	$b_6 \text{Niederschlag} + b_7 \text{Verdunstung} + b_8 \text{MaxTrock} +$
	+	$b_9 \text{MitTrock} + e_{ijklmn}$
y_{ijklmn}	=	Beobachtungswert der abhängigen Variable
my	=	gemeinsame Konstante
F_i	=	fixer Effekt der Futterart $i, i=1, 2$
K_j	=	fixer Effekt der Konservierung $j, j=1, 2$
A_k	=	fixer Effekt des Aufwuchses $k, k=1,2$
O_l	=	fixer Effekt der ÖPUL-Klasse $l, l=1,2,3,4$
H_m	=	fixer Effekt des Hauptproduktionsgebietes $m, m=1 \dots 8$
J_n	=	fixer Effekt des Jahres $n, n= 1998 \dots 2005$
$b_1 \text{Grproz}$	=	Kovariable Grünlandanteil in %
$b_2 \text{Gveha}$	=	Kovariable Tierbesatz in GVE / Hektar
$b_3 \text{Milch}$	=	Kovariable Milchleistung pro Kuh und Jahr
$b_4 \text{Seehöhe}$	=	Kovariable Seehöhe des Betriebspunktes
$b_5 \text{Neigung}$	=	Kovariable Durchschnittliche Hangneigung in Grad
$b_6 \text{Niederschlag}$	=	Kovariable Durchschnittlicher Jahresniederschlag
$b_7 \text{Verdunstung}$	=	Kovariable Durchschnittliche Evapotranspiration
$b_8 \text{MaxTrock}$	=	Kovariable Maximale Trockenheitsdauer
$b_9 \text{MitTrock}$	=	Kovariable Minimale Trockenheitsdauer
e_{ijklmn}	=	Restkomponenten

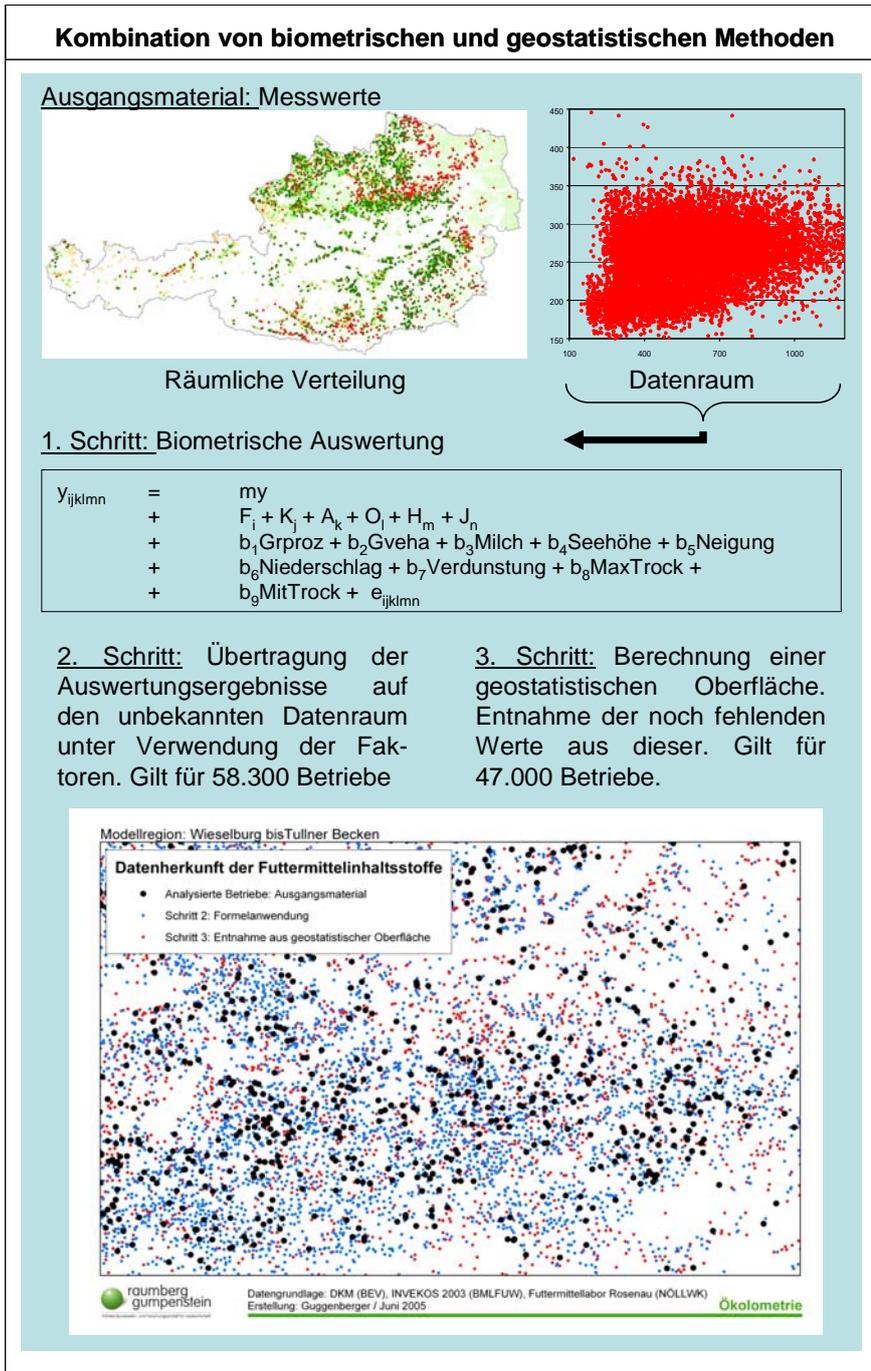


Abbildung 66: Kombinierte Methoden der Statistik

Ökolometrie und nicht der praktische Landwirt. Zur Steuerung der Produktionstechnik muss das verwendete Futtermittel tatsächlich untersucht werden, da die berechneten Werte nicht speziell genug sind. Die Gefahr von finanziellen Verlusten durch mögliche Fehleinschätzungen ist zu groß (GUGGENBERGER, 2000).

Der Trockenmassegehalt der Futtermittel beschreibt das Verhältnis der Summe aller festen Nährstoffe zum Restwasser-

gehalt der Pflanze. Grassilage, das ist durch Milchsäuregärung konserviertes Grünfutter, ist mit einem Trockenmassegehalt zwischen 200 und 400 Gramm/kg Futter noch recht feucht. Heu wird zur Konservierung getrocknet und weist einen Trockenmassegehalt von über 800 Gramm/kg auf. (WIEDNER, GUGGENBERGER, FACHBERGER 2001). In *Abbildung 67* kann der Zusammenhang zwischen Niederschlag und Trockenmassegehalt gut erkannt werden. Ein früher Erntezeitpunkt, wie im Alpenvorland,

führt zusätzlich zu geringeren Trockenmassegehalten.

Die Futtermittel aus der Grünlandproduktion werden in einer chemischen Untersuchungsvorschrift, die als Weender-Analyse bezeichnet wird, auf wichtige Inhaltsstoffe untersucht. Zwei dieser Stoffgruppen sind der Rohproteingehalt und die Rohfaser. Der Rohproteingehalt wird über den Anteil an Stickstoff (N) in der Pflanze bestimmt. Die N-Konzentration ist in jungen Pflanzen höher, als in älteren. Futtermischungen mit hohem Kleeanteil haben höhere Gehalte als reine Gräserbestände. Der Rohfasergehalt gibt Auskunft über den Anteil von Strukturstoffen in den Pflanzen. Je mehr sich ein Dauergrünlandbestand von der vegetativen in die generative Phase bewegt, umso höher ist der Rohfasergehalt. Bei steigender Wuchshöhe der Gräser müssen immer mehr Strukturstoffe in den Stängel eingebracht werden, um dessen Stabilität zu gewährleisten.

Grassilagen des ersten Aufwuchses, deren Rohproteingehalt über 150 und der Rohfasergehalt unter 260 g/kg T liegt, sind vermutlich im vegetativen Stadium des Ähren-Rispenschiebens der Leitgräser geerntet worden. Dieser Zeitpunkt ist ideal um hohe Energiegehalte und gute Konservierungsbedingungen zu gewährleisten. Sowohl die HBLFA als auch die Landwirtschaftskammer empfehlen diesen Zeitpunkt für die Grundfutterproduktion zur Fütterung hochleistender Milchkühe. Es ist also gut verständlich, dass dieses Futter in den Regionen der intensiven Milchproduktion zu finden ist. Je älter die Pflanze wird, umso mehr sinkt der Rohproteingehalt und steigt der Rohfasergehalt. Für extensive Betriebsformen wie die Mutterkuhhaltung, die vermehrt in den inneralpinen Tallagen zu finden ist, eignet sich dieses, etwas ältere Futter besser.

Alle Nährstoffe der Weender-Analyse wurden nach dem mehrstufigen Arbeitsprozess (siehe Kapitel 5.7.2 und *Abbildung 66*) analysiert. Die in der biometrischen Auswertung ermittelten Modellparameter, vor allem das Bestimmtheitsmaß, erlaubten diese Methode.

Neben den Weender-Nährstoffen, die die Wiederkäuer mit großen Mengen an Energie- und Wachstumsnährstoffen versorgen, sind auch noch kleinere Mengen an

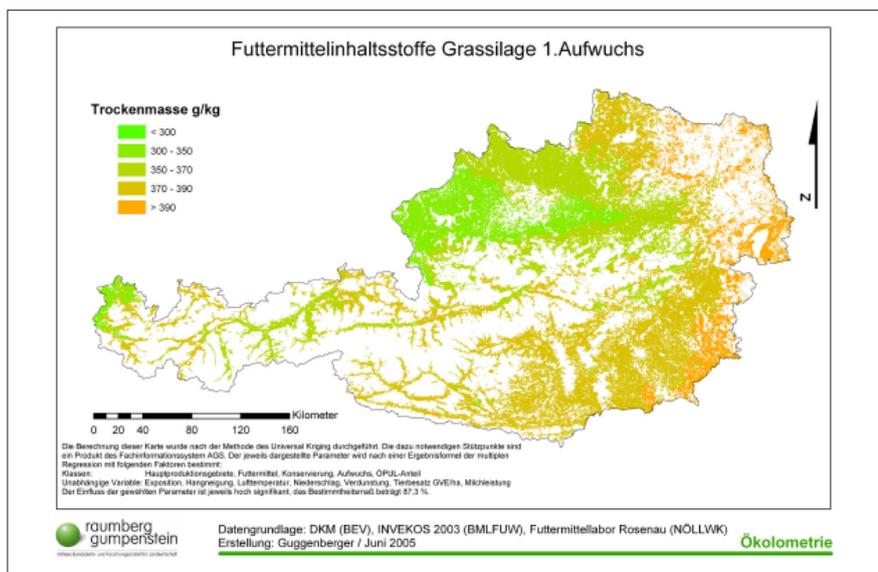


Abbildung 67: Trockenmassegehalt

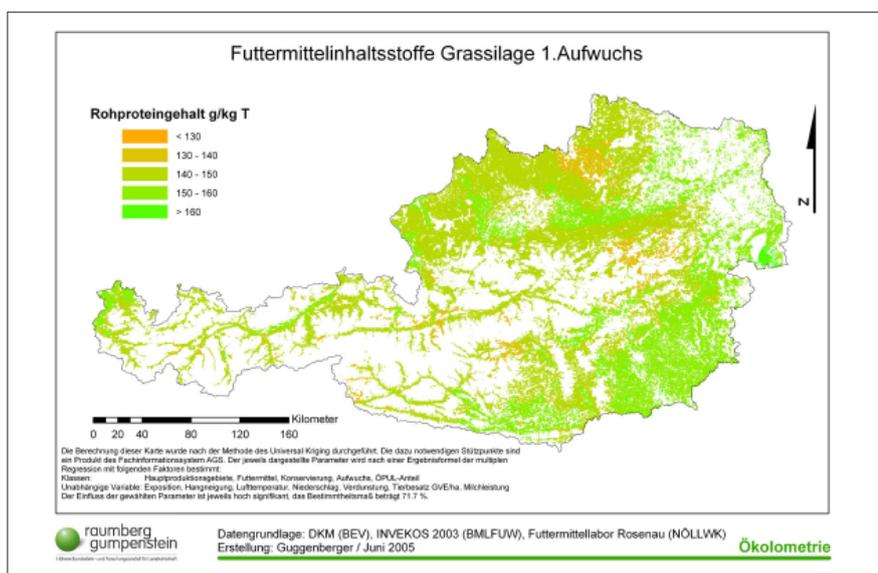


Abbildung 68: Rohproteingehalt

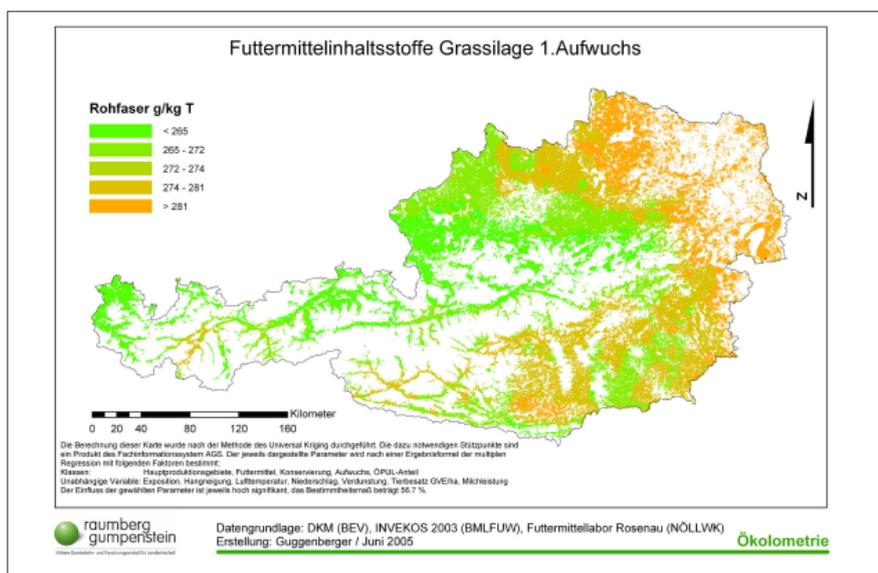


Abbildung 69: Rohfasergehalt

Mineralstoffen und Vitaminen notwendig. Die zwei für das Pflanzenwachstum wichtigen Mineralstoffe Phosphor und Kalium werden näher untersucht. Phosphor ist entscheidend am Pflanzenstoffwechsel und an der Ausbildung von Blüten und Samen beteiligt. Kalium spielt im Bau der Zellwände eine große Rolle. Insgesamt ist der Anteil an Mineralstoffen in kräuterbetonten Beständen größer als in grasbetonten. Die Düngemenge wirkt sich außerdem auch auf den späteren Gehalt der Nährstoffe in der Pflanze aus.

Die lokalen Phosphor- und Kaliumgehalte, die mit der Methode des Universal Krigings berechnet wurden, zeigen eine nicht weiter definierte Korrelation zu den Gebieten mit Schweinehaltung. Zusätzlich finden wir auch höhere Werte in intensiv bewirtschafteten Regionen der Milchproduktion wie Flachgau, Drautal und Bregenzerwald. Möglichweise zeigen sich hier bereits erste Indikatoren auf die Intensität des Nährstoffumsatzes in landwirtschaftlichen Betrieben.

5.8 Bewirtschaftungsmaßnahmen

Die regionalen Bedingungen bestimmen die Art der Bewirtschaftung eines landwirtschaftlichen Betriebes. Alpine Regionen sind ebenso an die Rinderhaltung gebunden, wie die Trockengebiete an den Getreidebau. Die Intensität der Produktion, die Wahl der Betriebsmittel und viele andere Faktoren eröffnen ein breites Spektrum an Produktionsmöglichkeiten.

Der Focus von intensiv wirtschaftenden Betrieben liegt auf wirtschaftlichen Überlegungen. Extensiv wirtschaftende Betriebe orientieren sich mehr an biologischen und gesellschaftlichen Grundhaltungen. Beide produzieren dabei Lebensmittel in hoher Qualität. Der qualitative Unterschied zwischen biologischen und konventionell erzeugten Nahrungsmitteln konnte bis heute nicht eindeutig nachgewiesen werden. Allein eine Risikoabschätzung im Sinne der nachhaltigen Nutzbarkeit von Luft, Böden und Grundwasser empfiehlt eine Extensivierung der Landwirtschaft bei gleichzeitig steigenden Nahrungsmittelpreisen und/oder einer finanziellen Kompensation durch den Staat.

Der Anteil an Biobetrieben in Österreich zeigt, dass dieser Zusammenhang lang-

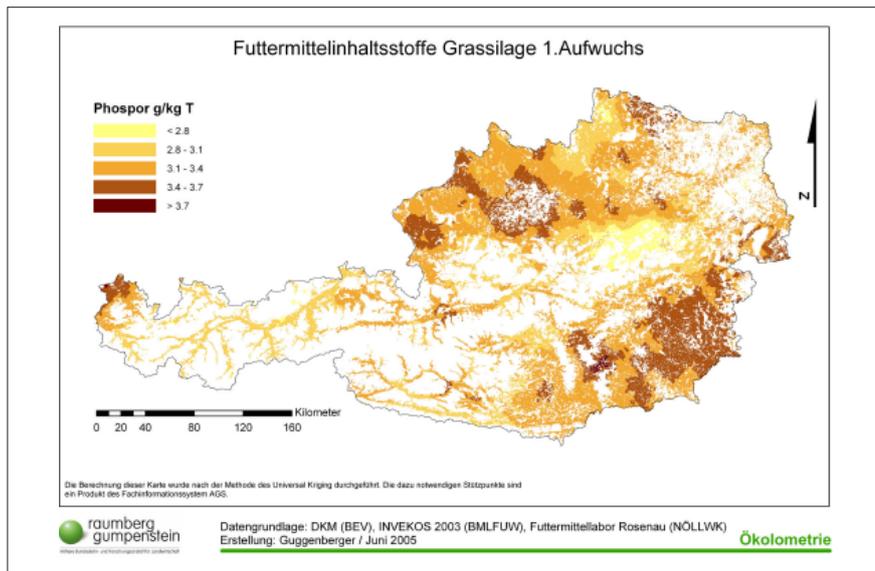


Abbildung 70: Phosphorgehalt

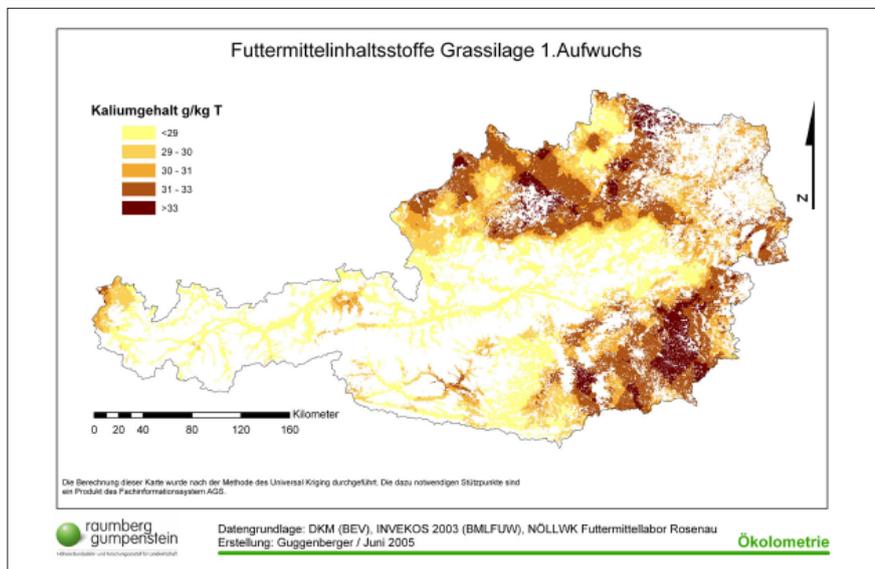


Abbildung 71: Kaliumgehalt

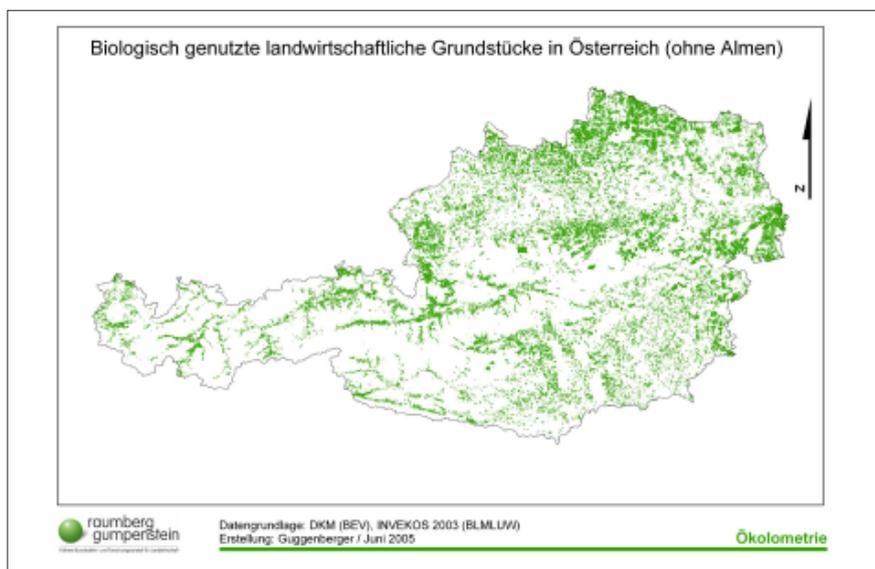


Abbildung 72: Biobetriebe in Österreich

sam zur gesellschaftlichen Grundhaltung wird. Von 161.000 Betrieben in Österreich produzieren derzeit 19.000 Betriebe in biologischer Wirtschaftsweise (11 %).

Biologisch wirtschaftende Betriebe verzichten vollständig auf den Einsatz von ertragssteigernden Betriebsmitteln. Der Einsatz von Spritzmittel gegen Krankheiten und Unkräuter ist ebenso verboten. Außerdem müssen in der Tierproduktion Besatzobergrenzen eingehalten werden. Alle diese Bereiche werden laufend kontrolliert.

Um nicht alle so konsequent wirtschaftenden Betriebe aus der Ökologisierung der Landwirtschaft auszuschließen, wurde das Österreichische Umweltprogramm (ÖPUL) geschaffen. Hier können bäuerliche Betriebe mit Maßnahmen, wie dem Verzicht auf den Einsatz von Handelsdünger im Grünland, teilnehmen. Die Produktionsweise vieler Betriebe nähert sich so langsam an jene der Biobetriebe an. Die Akzeptanz des ÖPUL-Programmes ist vor allem in der Grünlandwirtschaft sehr hoch.

Der Grund für die Integration und Analyse der Bewirtschaftungsmaßnahmen ist deren Bedeutung für die Nährstoffbilanzierung. Auf einem Biobetrieb kann die Kalkulation des Einsatzes von Handelsdünger unterbleiben. In der Tierhaltung ergeben sich aus den Maßnahmen fallweise Kraftfutterobergrenzen, die bei der Berechnung des Kraftfuttereinsatzes berücksichtigt werden müssen.

5.9 Erkenntnisse für die landwirtschaftliche Forschung

Zur Untersuchung von aktuellen und zeitgemäßen Fragestellungen der landwirtschaftlichen Forschung stehen derzeit einige klassische Möglichkeiten zur Verfügung. Der Feldversuch ist zumeist das Einstiegsmodell, um empirisches Wissen über die Zusammenhänge eines Sachverhaltes grob abzuschätzen. Sind die zu untersuchenden Fragestellungen von großer wissenschaftlicher oder gesellschaftlicher Bedeutung, wird zu diesen Feldversuchen zumeist ein Exaktversuch unter kontrollierten Verhältnissen angestrebt. Diese Versuche erfordern zumeist den Einsatz hoher finanzieller Summen. In pflanzenbaulichen Versuchen werden diese Kosten durch die Langfristigkeit der Projekte, im Bereich der Tierproduk-

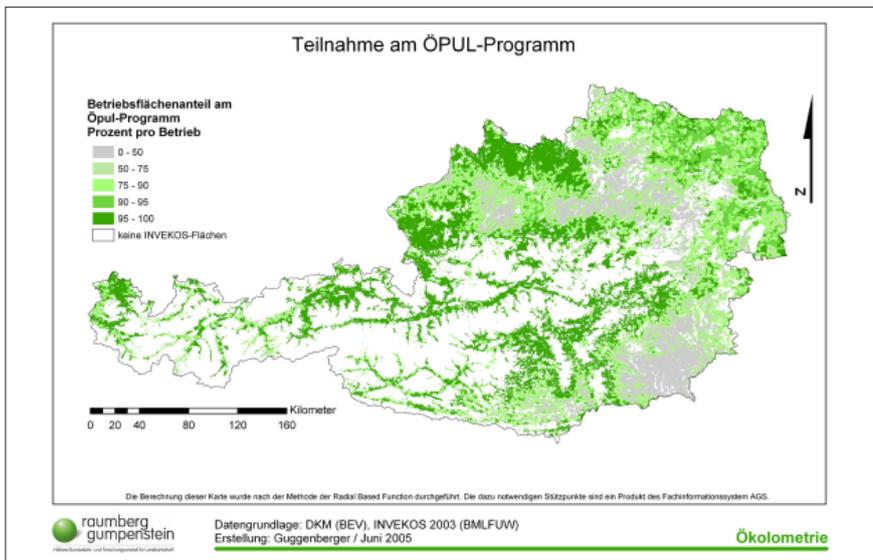


Abbildung 73: Teilnahme am Umweltprogramm ÖPUL

tion durch das ständig notwendige Personal erzeugt. Alle gesammelten Daten werden nach Ende des Versuchs aufbereitet und einer biometrischen Auswertung unterzogen. Eine Faktorenbewertung macht die neuen Erkenntnisse sichtbar und untermauert deren Genauigkeit.

5.9.1 Exaktversuche und GIS

So erzeugtes Wissen ist von höchster Güte und entspricht den naturwissenschaftlichen Methodiken. Die Anwendung dieses Wissens bereitet aber manchmal große Schwierigkeiten. Dabei können folgende Fragen auftreten:

1. Wie relevant sind die Erkenntnisse für die Praxis?

Neue Erkenntnisse zu einem Thema werden immer nur ein Teilsegment der Landwirtschaft berühren. Diese Gebiete sind subjektiv vermeintlich bekannt. Erst eine räumliche Darstellung ermöglicht aber eine Interpretation und/oder eine Beweisführung über die tatsächliche Notwendigkeit von Untersuchungen. So kann der Einsatz von GI-Systemen schon im Vorfeld zur Sicherung und räumlichen Positionierung von Forschungsprojekten beitragen.

2. Wo kann zur Umsetzung der Erkenntnisse angesetzt werden?

Forschungsprojekte, die allgemeiner Natur sind, und sich nicht potentiell an einer Zielgruppe orientieren, können durch den Einsatz von GI-Systemen ihr Anwendungsgebiet finden. Vor allem Aufgaben der Umsetzung

(Maßnahmen, Schulung, ...) können so räumlich gut positioniert werden. Methoden des Geomarketing unterstützen solche Fragestellungen. Die Verortung potentieller Partner kann dazu genutzt werden, um innerhalb der Regionen sofort die richtigen Kontaktpersonen zu finden. Vor allem Projekte der Tiergesundheit (Seuchenbekämpfung) könnten hier Vorteile erfahren.

3. Decken die untersuchten Faktoren alle praktischen Konstellationen ab?

Bei der Anlage von Exaktversuchen wird ein möglichst breites Wirkungsband der Versuchsgruppen angestrebt. Diese große Breite kostet mit Sicherheit immer Geld. Modelle wie AGS können durch den Zusammenhang von fachlichen und räumlichen Daten manchmal die Schwankungsbreite von einzelnen Parametern festlegen.

Diese drei Fragen sind nur exemplarisch, die Liste lässt sich beliebig erweitern.

5.9.2 Interpretation von Ergebnissen

In diesem Projekt mussten eine Reihe von Fragen und Problemen, die mit dem Einsatz von GI-Systemen in so komplexen Systemen wie der Landwirtschaft auftreten, bearbeitet werden. Alle technischen Hindernisse konnten einer eindeutigen Lösung zugeführt werden. Die inhaltliche Umsetzung bzw. die Interpretation der erarbeiteten Ergebnisse bereitet aber fallweise Probleme. Die Schwierigkeit liegt dabei in den subjektiven räumlichen Vorstellungen des Betrachters.

Diese Aussage soll an folgendem Vergleichsbeispiel veranschaulicht werden: Die Auswertung der Futtermittelinhaltsstoffe der österreichischen Grundfuttermittel kann mit einem komplexen statistischen Modell (siehe 5.7.1) ohne geostatistische Komponenten durchgeführt werden. Die Ergebnisse werden in Tabellen gefasst und sind im Anhang dargestellt. Diese Darstellungsform ermöglicht nur ganz wenigen Spezialisten eine tatsächliche Interpretation. Das Auffinden von Modellabweichungen im Sinne einer Plausibilitätsprüfung ist gar unmöglich.

Die Umsetzung der biometrischen Ergebnisse in ein räumliches Modell durch die AGS bietet dem Betrachter ein völlig anderes Bild. Es werden nun nicht mehr die Einzelfaktoren (Milchleistung, Tierbesatz, Flächenausstattung) betrachtet, sondern die Summe der Parameterwirkungen hinsichtlich des untersuchten Nährstoffes. Aus der Erwartungshaltung des Betrachters werden die möglichen Schwachstellen der Statistik nun schnell sichtbar. Die *Abbildung 71* zeigt in Osttirol erhöhte Kaliumgehalte in der Grasisilage des ersten Aufwuchses. Es wird sich schnell die Frage stellen: „Warum ist das gerade in dieser extensiven Region so?“ Irrt hier das statistische Modell oder die geostatistische Analyse? Tatsächlich entsteht dieses Bild durch einige wenige Futterproben mit hohem Kaliumgehalt. Ob diese Proben jedoch repräsentativ sind, darf angezweifelt werden.

Aus meiner persönlichen Erfahrung anerkennen viele Menschen Ergebnisse nur dann, wenn sie subjektiv als vollständig richtig betrachtet werden. Während die Tabellarische Darstellung kaum Anlass zur Kritik bietet, wird eine räumliche Darstellungsform umgehend kritisch untersucht. Wissenschaftliche Karten zeigen nicht nur einen Parameter, sondern auch dessen möglichen Fehler. Der Umgang mit der Einschätzung richtig oder falsch relativiert sich dadurch.

Allen Produzenten und Konsumenten von geostatistischen Karten empfehle ich eine gewisse Unschärfe in der lokalen Betrachtung. Es kann nicht erwartet werden, dass sich individuelle Erfahrungen aus einer Kleinregion immer mit einer großräumigen Analyse decken.

6. Zusammenfassung

Die gesellschaftliche Haltung zu Umweltfragen ist in Österreich durch eine zunehmende Sensibilisierung geprägt. Für fast jede Lebenssituation gibt es inzwischen ökologische Verbesserungsvorschläge. Deren praktische Umsetzung findet aber kaum statt. Eine Ausnahme ist allerdings bei der Auswahl von Lebensmitteln zu beobachten. Bio-Produkte werden von heimischen Handelsketten inzwischen landesweit angeboten und von den Konsumenten gerne gekauft. Diese und alle anderen Lebensmittel werden auf unseren Bauernhöfen allerdings unter der Gewinnschwelle produziert. Der wirtschaftliche Weiterbestand der Betriebe wird durch eine Kostenabdeckung in der Form von Förderungen durch den Staat gewährleistet. Aber gerade diese finanziellen Mittel sind häufig Inhalt von Diskussionen der Tagespolitik. Die gesellschaftliche Akzeptanz für deren Zahlung ist mit einer Forderung nach Produktionskontrolle verbunden.

Die derzeit immer öfter auftretende Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion ist eine Strömung, die der Ökologisierung der Gesellschaft entspricht. Ziel ist dabei eine ausgeglichene Nährstoffbilanzierung der landwirtschaftlichen Betriebe. Das Leistungspotential eines Bauernhofes soll an seine Ausstattung mit Produktionsmitteln angepasst werden. Weder Defizite noch Überschüsse sollen entstehen. Am Beispiel der Tierhaltung kann dies gut demonstriert werden: Befinden sich auf einem Betrieb, gemessen an den zur Verfügung stehenden Flächen zu viele Tiere, müssen möglicherweise große Mengen an Futtermitteln, und damit fremde Nährstoffe zugekauft werden. Diese gelangen über die anfallenden Wirtschaftsdünger auf die Betriebsflächen und führen dort zu Bilanzierungsüberschüssen. Im Gegensatz dazu kann eine sehr extensive Produktion zur Verarmung des Bodens führen. Nur eine ausgeglichene Bilanz gewährleistet eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion.

Für eine Berechnung der aktuellen Bilanzierungssituation in Österreich ist der

Einsatz von geographischen Informationssystemen (GIS) unverzichtbar. Die derzeit auf dem Markt verfügbaren Softwarelösungen bieten ausgezeichnete Möglichkeiten zur Bearbeitung räumlicher Daten. Dazu gehören auch die Grenzpolygone landwirtschaftlicher Grundstücke. Die Integration von Fachdaten und naturwissenschaftlichen Berechnungsmodellen ist jedoch nur bedingt möglich. Ein Kern-Produkt dieser Diplomarbeit ist ein objektorientiertes Softwaresystem, welches diese Nachteile ausgleichen kann. In einer Java-Anwendung, die ihre Daten in einer OO-Datenbank (ObjectStore) ablegt, werden alle landwirtschaftlichen Berechnungen durchgeführt und als Zwischenergebnisse in eine Geo-Datenbank abgelegt. Über diese Datenschnittstelle gelingt ein Import der für die Bilanzierung notwendigen Ausgangsdaten in die GI-Anwendung. Dort kann der Bearbeitungsprozess durch eine räumliche Analyse und die Visualisierung von Ergebnissen abgeschlossen werden. Die GI- und Java-Anwendung bilden gemeinsam ein System, welches als „Agricultural GIS Sphere“ (AGS) bezeichnet wird. Dieses System abstrahiert und verbindet die landwirtschaftlichen Daten des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (INVEKOS) mit der räumlichen Komponente der Grundstücke. Es entsteht ein dynamischer Prozess des Datenaustausches zwischen Raum und Inhalt. Betriebsobjekte fragen nach der Grundstücksausstattung, Flächen der DKM nach deren Nutzung und Tiere nach den nutzbaren Futterflächen.

Ein Kernprozess der AGS ist die Zusammenführung aller notwendigen Daten eines Bauernhofes auf einer Ebene. Für alle räumlichen Daten wird dabei die Punkt-Geometrie ausgewählt, die als Betriebsmittelpunkt alle Lageparameter der Flächen aufnehmen kann. Diese sind die räumlichen Koordinaten, die Seehöhe, Hangneigung und Exposition sowie Boden- und Klimadaten. Die Berechnung der Betriebsmittelpunkte wird durch einen Ausreißertest begleitet, der weit ab-

liegende Flächen aus der Koordinatenbildung ausscheidet.

Die pflanzenbauliche Nutzung wird in Nutzungsklassen (Grünland, Ackerbau, Weinbau, ...) eingeteilt. In Summe umfassen diese Nutzungsklassen 3,2 Millionen Grundstücke. Mit Ausnahme des Grünlandes wird für die Nutzungsklassen bereits im Vorfeld eine Berechnung des Nährstofftrages vorgenommen. Die Nährstoffträge des Grünlandes werden über den Bedarf der am Betrieb gehaltenen Tiere berechnet. Diese werden ebenso wie die Nutzung in Klassen eingeteilt (Rinder, Schweine, Schafe, ...) Der Nährstoffbedarf der Tiere wird leistungsabhängig berechnet und dem Angebot an Nährstoffen aus den Nutzungsklassen gegenübergestellt.

Die Darstellung der Eingangsparameter aus Pflanzenbau und Tierzucht führen zur folgenden Kurzinterpretation:

Der inneralpine Raum wird nahezu ausschließlich über das Dauergrünland genutzt. Die daran angepassten Wiederkäuer finden sich in diesen Regionen. Deren Produktionsintensität, derzeit nur in den Werten Milchleistung/Hektar und Tierbesatz in GVE/Hektar berechnet, deutet auf einige recht intensive Kleinregionen hin. Diese sind Teile des Inn-, Ziller- und Unteren Drautales sowie des Flachgaus. Alle anderen Grünlandregionen produzieren auf einer niedrigen Stufe. Ein Einfluss von Biobetrieben ist dabei nicht direkt zu erkennen.

Die Produktionsgebiete des Ackerbaus liegen in den Gunstlagen Ober- und Niederösterreichs, der Süd- und Oststeiermark und des Kärntner Beckens. Dort ist auch die Schweineproduktion anzutreffen. Diese benötigt die Futtermittel des Ackerbaus, vor allem den Körnermais. Die Intensität der Schweineproduktion hat in der Südsteiermark ihren höchsten GVE-Besatz/Hektar.

Zwischen dem reinen Grünland und Ackerbauregionen befindet sich ein schmaler Übergang mit gemischter Nutzung. Dort findet man Wiederkäuer und Schweine ebenso wie Grünland und

Ackerbau. Diese komplexen Betriebe produzieren meist auf hohem Niveau, sind aber mit ausreichend Flächen ausgestattet.

Ein umfangreicher Teil der Methodenentwicklung bezieht sich auf die Analyse des Nährstoffgehaltes österreichischer Grundfuttermittel. Aus mehr als 13.000 Futtermittelproben des Futtermittellabors Rosenau wurde ein statistisches Modell errichtet. Dessen Ergebnisse wurden in einem mehrstufigen Verfahren so angewandt, dass nun für jeden Grünlandbetrieb die Nährstoffgehalte von Heu und Grassilage abgeschätzt werden können.

Der Bilanzierungsprozess wird bis Jahresende 2005 abgeschlossen sein, alle

notwendigen Input-Parameter können jedoch schon jetzt aus der AGS analysiert und dargestellt werden.

Die Methodenentwicklung dieser Diplomarbeit ist ein erster Schritt in eine neue Fachrichtung der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, die als Ökolometrie bezeichnet wurde. Die Ökolometrie soll ein Teilgebiet der Produktionsbiologie sein, welches die ökologischen Theorien, sowie mathematische Methoden und statistische Daten aus gesicherten naturwissenschaftlichen Versuchen zusammenführt, um ökologietheoretische Modelle zu erstellen und ökologische Phänomene quantitativ zu analysieren. Ergebnisse dieser Fachrichtung können zur

Überprüfung der Auswirkungen von zukünftigen Maßnahmen ebenso verwendet werden, wie zur Beurteilung der Vergangenheit. Zu den wichtigsten Hilfsmitteln zählen komplexe räumliche Datenstrukturen, objektorientierte Modelle sowie Zeitreihenanalysen. Die Erkenntnisse der Ökolometrie sind Kennzahlen, die ein (ökologisches) System hinsichtlich ihres ökologischen Verhaltens beschreiben. Dazu gehören vor allem Nährstoffbilanzen und Stoffflüsse.

Die Endergebnisse der Bilanzierung können als wertfreie Parameter für eine zukünftige Beurteilung landwirtschaftlicher Betriebe angesehen werden.

7. Literaturverweise

- ASCHAUER, R. (2004): Skriptum Geoinformatik 2. GIS Steiermark, Graz.
- BARKER (1992): Entity Relationship Modeling. Addison-Wesley, New York.
- BARTELMÉ, N. (2005): Geoinformatik Modelle, Strukturen, Funktionen. Vierte erweiterte Auflage. Springer, Berlin.
- BERNHARDSEN, T. (2002): Geographic Information Systems. Third Edition. Wiley & Sons, New York.
- BGB (2004): Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 474. Verordnung: INVEKOS-Umsetzungs-Verordnung 2005. <http://www.ris.bka.gv.at/10.12.2004>.
- BLANKENBACH, J.: Umsetzung und Grenzen der Interoperabilität zwischen vier ausgewählten GI-Systemen auf der Basis von Oracle8i Spatial. <http://www.rtg.bv.tum.de/index.php/article/view/132>, 25.03.2005.
- CAMARA, G. et al.: Spring: Integrating remote sensing and Gis by object-oriented data modelling. National Institute for Space Research (INPE), Brazil. <http://citeseer.ist.psu.edu/camara96spring.html>, 20.01.2005.
- CHEN, P. (1976): The ER-Model, Louisiana State University, USA.
- COAD, P. (1999): Modelling in Colour with UML. Prentice Hall, New York.
- CODD, E.F. (1970): A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM.
- CORIN (1997): The Corine-Landcover-Projekt. http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/1_flaechennutzung/corine/CORINE_Projektbeschreibung.pdf, 18.03.2005.
- DAUM, B. (2003): Java-Entwicklung mit Eclipse 2. Erste Auflage. dpunkt.verlag, Heidelberg.
- DICKMANN, F. und K. ZEHNER (2001): Computerkartographie und GIS. Zweite aktualisierte Auflage. Westermann Schulbuchverlag, Braunschweig.
- ESRI (2001): Using ArcGIS Geostatistical Analyst. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- ESRI (2002a): Using ArcGIS Spatial Analyst. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- ESRI (2002b): ArcObjects Developer Help. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- ESRI (2003): Building a Geodatabase. Environmental Systems Research Institute, Redlands.
- ESSL, A. (1987): Statistische Methoden in der Tierproduktion. Verlagsunion Agrar, Frankfurt.
- FU, P., and P.M. RICH (1999a): Design and Implementation of the Solar Analyst, an ArcView Extension for Modeling Solar Radiation at Landscape Scale. <http://gis.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm#methode>, 17.04.2004.
- FÜRST, J. (2003): Hydrologischer Atlas Österreich, digHAO Version 1.0.0. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- GÖTZ, B. und G. ZETHNER (1996): Regionale Stoffbilanzen in der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Strem im Südburgenland. Monographie Band 78. Umweltbundesamt, Wien.
- GRUBER L., R. STEINWENDER, T. GUGGENBERGER und G. PLAKOLM (2001): Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. 3. Mitteilung: Nährstoffbilanzen auf Feld/Stall-Basis und Hoftor-Basis. Die Bodenkultur 52, Wien.
- GRÜNER BERICHT (2004): Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahre 2003. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II 5, Wien. <http://www.gruenerbericht.at>, 8.12.2004
- GUGGENBERGER, T. 2001: Wie Sie Futterproben richtig ziehen. Top Agrar Österreich Journal, Heft 10. Landwirtschaftsverlag, Wien.
- HALPIN, T. (1995): UML and ORM. http://www.orm.net/uml_orm.html, 10.02.2005.
- Harvey W. R. (1987): User's Guide for LSMLMW PC-1 Version. Mixed model least-squares and maximum likelihood computer program. Ohio State University.
- HOFER, O. (2005): Invekos Datenpool des BMLFUW (Übersicht), Eigenverlag Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- KIENAST, G. (2001): Skriptum Bezugssysteme & Abbildungen, Technische Universität, Graz.
- KLOSTIUS, W. (2003): Skriptum Digitalkartographie. Technische Universität, GEOinformatio-n, Graz.
- KRÜGER, G. (2001): GoTo Java 2. Handbuch der Java-Programmierung. 2. Auflage. Addison-Wesley, München.
- LICHTENEGGER, H. (2001): Koordinatensysteme. Vermessungsfachtechniker-Kurs 2001. Technische Universität, Graz.
- LIEBIG W., und R. MUMMENTHEY (2002): ArcGis-ArcView 8, Das Buch für den Anwender. Erste Auflage. Points Verlag Norden, Halmstad.
- LONGLEY, P. A. et. Al (2001): Geographic Information. System and Science. Wiley & Sons, New York.
- MERWE VAN DER, S.E. (1997): Spatial modelling and decision support for new linear developments. Manchester Metropolitan University.
- MICROSOFT (2002): SQL Server 2000 Driver for JDBC. Microsoft, USA.
- OBJECT MANAGEMENT GROUP: Unified Modeling Language UML. http://www.omg.org/technology/documents/modeling_spec_catalog.htm, 03.03.2005.
- OGC (1999): Open GIS Simple Feature Specification, Revision 1.1. Open GIS Consortium, Inc. <http://www.opengeospatial.org/specs/>, 10.12.2004.
- PHILIPP, K. (2002): Geodatenquellen. Sagis, Salzburg.
- RIEDL, L. und R. KALASEK (2002): Hierarchisches Modellieren mit MapModels. Angewandte Geogr. Informationsverarbeitung XIV, Agit2002 Salzburg. Wichmann, Heidelberg.
- POMBERGER, G. und G. BLASCHEK (1996): Software Engineering. Hanser, 1996.
- PÖLLINGER, A. (2005): Bewirtschaftungsgrenzen der alpinen Landwirtschaft. Persönliche Mitteilung, 10.6.2005.
- PRÄHOFFER, H. (2003): Algorithmen und Datenstrukturen II für gTec. Johannes Kepler Universität, Linz. http://www.cast.uni-linz.at/Algo2_SS2003/index.htm, 01.02.2003.
- PROGRESS SOFTWARE CORPORATION (2003): Java API User Guide for Object Store, Release 6.1, Service Pack1. http://www.object-store.com/techsupport/documentation/object-store/r51/osji/doc/apiug/link_upgrade.htm, 30.10.2004
- PUTRA, S.Y. (2003): Map Asia Conference 2003, Technology Trends. National University of Singapore, Singapore.
- SCHAUMBERGER, A. (2005): Ertragsanalyse im österreichischen Grünland mittels GIS unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. Diplomarbeit. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Irndning.
- SCHIFFER, S. (2003): Skriptum Software Engineering, Teil 1. Johannes Kepler Universität, Linz.
- SCHREFL, M. (2003): Vorlesungsskriptum Datenmodellierung. Johannes Kepler Universität, Linz.
- SEDEWICK, R. (2002): Algorithmen. Zweite Auflage. Addison-Wesley, München
- STACHOWIAK, H.(1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien. http://de.wikipedia.org/wiki/Modell#Allgemeine_Modelltheorie, 20.03.2005.
- STAHL, R. (1997): Datenstrukturen oder what's so special about spatial? <http://www.gis-tutor.de/theorie/grundlag/datenstruk/datstruk.htm>, 09.01.2005.
- STEINWIDDER, A. und T. GUGGENBERGER (2003): Erhebungen zur Futteraufnahme und Nährstoffversorgung von Milchkühen sowie Nährstoffbilanzierung auf Grünlandbetrieben in Österreich. Die Bodenkultur 54, Wien.

- TOMLIN (1990): Geographic Information Systems and Cartographic Modelling. Prentice Hall, Englewood, New York.
- UBA (2003): Austrian's Informative Inventory Report 2003. Bericht BE-229. Umweltbundesamt, Wien.
- WACKERNAGEL, H. (1995): Multivariate Geostatistics. Springer, Berlin.
- WAGNER, K. (1990): Neuabgrenzung landwirtschaftlicher Produktionsgebiete in Österreich. Bundesamt für Agrarwirtschaft, Schriftreihe Band 60, Wien.
- WALDOW, H.v. (1998): Einführung in die Geostatistik. <http://www.geog.fu-berlin.de/~jkryw-kow/harald/geostatistik/referat.html>, 20.04.2005.
- WIEDNER, G., T. GUGGENBERGER und H. FACHBERGER (2001): Futterwerttabelle der Österreichischen Grundfuttermittel. Eigenverlag. Niederösterreichische Landes-Landwirtschaftskammer, St. Pölten
- ZEILER, M. (1999): Modeling our World, The ESRI Guide to Geodatabase Design. Environmental Systems Research Institute, Redlands.

8. Anhang

8.1 Ergebnistabelle österreichische Grundfutterqualität

In den folgenden vier Tabellen werden die Einzelergebnisse des in Kapitel 5.7.1 beschriebenen statistischen Modells aufgelistet. Ausgehend von einer gemeinsamen Analyse, der für Wiederkäuer geeigneten Futtermittel (Grünlandfutter in der Konservierungsform Heu und Silage; Maissilage), wurde eine individuelle Analyse für jede Futterklasse vorgenommen. Aus der gemeinsamen Analyse wird in *Tabelle 10* das Bestimmtheitsmaß der einzelnen Nährstoffe dargestellt. Die Weender-Nährstoffe können durch das Modell gut erklärt werden. Die Ausnahme bildet das Rohfett, welches aber auch eine analytische Besonderheit darstellt. Deutlich schwächer ist der Erklärungsgrad der Mengenelemente.

Das statistische Modell enthält Klassenvariable, die in *Tabelle 11* angeführt sind.

Tabelle 10: Bestimmtheitsmaß des Modells

Parameter	Einheit	R ²
Weender-Nährstoffe		
Trockenmasse TM	g/kg Futter	0.873
Rohprotein	g/kg TM	0.717
Rohfett	g/kg TM	0.349
Rohfaser	g/kg TM	0.567
Rohasche	g/kg TM	0.634
Mengenelemente		
Kalzium	g/kg TM	0.499
Phosphor	g/kg TM	0.408
Magnesium	g/kg TM	0.323
Kalium	g/kg TM	0.629

Im individuellen Ansatz wurden für jede Futterart nur Klassen und unabhängige Variable verwendet, die einen hochsignifikanten Einfluss auf den Rohfasergehalt hatten. Dies erklärt die unterschiedliche Datendichte innerhalb der Tabellen für Grünlandfutter und Maissilage. Der Vergleich der Klassen zeigt geringe Unterschiede zwischen den Merkmalausprägungen.

Regionale Ausprägungen werden erst durch die Addition der unabhängigen, linearen Variablen aus *Tabelle 12* erzeugt. Die dort gelisteten Betriebs- und Umgebungsdaten erklären den größeren Teil der Unterschiede.

Die p-Werte der einzelnen Faktoren, sowie die Standardabweichung und der Variationskoeffizient werden in *Tabelle 13* dargestellt. Die Daten lagen hinsichtlich der Parameter in einer normalverteilten Form vor. Der Mittelwert für den Rohfasergehalt von Grünlandfutter liegt bei 275,5 g/kg TM mit einer Standardabweichung von 26,9. Der sich so öffnende Datenraum reicht von 248,6 bis 302,4 Gramm. Überträgt man diesen Bereich auf den sich ändernden Gehalt während der Wachstumsperiode von Grünlandfutter, decken die Werte den Bereich vom späten Ähren-Rispen-Schieben bis zum Ende der Blüte der Leitgräser ab.

Tabelle 11: Least-Squares Mittelwerte der Klassenfaktoren

Parameter	Einheit	μ	Konservierung Silage Heu	Aufwuchs 1. Aufw. > 1. Aufw.	Flächenanteil Öpul		Hauptproduktionsgebiete									
					0-33 %	33-66 %	66-100 %	Hochalpen	Voralpen	Alpenoststrand	Wald- und Mühiviertel	Kärntner Becken	Alpenvorland	Sö. Flachhügelland	Nö. Flachhügelland	
Grünlandfutter																
Weender-Nährstoffe																
Häufigkeit	n	11119	8700	2119	6755	4364	9617	1502	1663	2489	2304	378	2320	402	71	
Trockenmasse TM	g/kg Futterm	506.7	380.4	883.5	489.3	528.5	509.9	519.3	494.9	513.4	496.4	517.2	482.0	519.9	510.2	
Rohprotein	g/kg TM	149.8	161.5	127.1	143.5	156.3	144.5	146.9	146.8	153.2	146.7	150.1	146.4	152.8	155.9	
Rohfett	g/kg TM	27.3	30.3	24.5	27.2	27.2	27.5	27.1	27.0	27.9	27.1	27.1	27.0	28.0	27.2	
Rohfaser	g/kg TM	275.5	269.3	295.0	282.0	266.4	272.4	278.4	272.0	276.4	273.0	277.2	268.7	270.4	288.0	
Rohasche	g/kg TM	103.3	112.5	92.6	97.8	110.0	103.3	99.0	103.1	99.5	101.6	99.3	107.4	107.2	109.0	
Mengenelemente																
Häufigkeit	n	8952	7226	1726	5679	3273	7695	1092	1376	2105	1797	367	1826	345	44	
Kalzium	g/kg TM	8.67	9.38	7.41	7.74	9.74	8.51	8.92	9.09	7.68	7.73	8.26	8.54	7.54	11.65	
Phosphor	g/kg TM	3.24	3.33	2.80	3.02	3.25	3.14	3.01	3.03	3.21	3.12	3.18	3.13	3.25	3.06	
Magnesium	g/kg TM	2.50	2.66	2.25	2.24	2.78	2.56	2.90	2.60	2.46	2.25	2.50	2.43	2.47	2.39	
Kalium	g/kg TM	28.08	29.52	24.96	28.45	27.48	28.59	27.01	27.33	28.63	29.24	28.62	27.50	28.89	27.39	
Maissilage																
Weender-Nährstoffe																
Häufigkeit	n	2543						155	114	297	471	174	909	94	329	
Trockenmasse TM	g/kg Futterm	341.5						328.6	341.5	342.2	331.4	345.6	349.8	341.4	351.4	
Rohprotein	g/kg TM	74.9						73.2	75.7	73.9	76.5	73.2	74.7	75.2	76.5	
Rohfett	g/kg TM	27.0						26.7	26.8	27.1	27.3	26.9	27.7	26.7	26.8	
Rohfaser	g/kg TM	202.5						206.1	197.1	201.6	205.8	205.6	197.2	205.4	201.7	
Rohasche	g/kg TM	38.7						38.8	38.6	38.5	38.8	39.1	37.8	40.7	37.4	
Mengenelemente																
Häufigkeit	n	1088						56	77	159	201	104	366	42	83	
Kalzium	g/kg TM	2.28						2.17	2.48	2.15	2.18	2.27	2.30	2.21	2.52	
Phosphor	g/kg TM	1.92						1.79	1.95	1.87	1.93	1.97	2.01	1.97	1.91	
Magnesium	g/kg TM	1.46						1.53	1.44	1.51	1.39	1.57	1.43	1.42	1.37	
Kalium	g/kg TM	10.67						9.66	10.66	10.20	11.35	10.64	10.40	11.36	11.13	

Tabelle 12: Constant Estimate der linearen Regressionsfaktoren

Parameter	Einheit	Tierbesatz GVE/Hektar	Milchleistung kg	Seehöhe Meter	Exposition Grad	Hangneigung Grad	Jahresluft- temp. Grad	Jahresnieder- schlag mm	Verdunstung mm	maximale Trocken- periode Tage	mittlere Trocken- periode Tage
Grünlandfutter											
Weender-Nährstoffe											
Mittelwert der Faktoren											
Trockenmasse TM	g/kg Futter	1.38	5960.00	172.35	8.69	7.03	985.59	612.98	12.93	3.23	
Rohprotein	g/kg TM	-14.20	-0.0015	-0.0171	-0.1609	0.8756	0.0038	-0.0122	2.6064	4.2517	
Rohfett	g/kg TM	5.42	0.0005	0.0114	-0.3502	2.6231	0.0022	-0.5889	-0.1433	0.9912	
Rohfaser	g/kg TM	0.76	0.0001	0.0008	0.0053	0.2002	0.0005	-0.0074	-0.0742	-0.2024	
Rohasche	g/kg TM	-1.48	-0.0004	-0.0117	0.2584	-1.3823	-0.0170	0.0811	1.9922	8.0319	
	g/kg TM	5.45	0.0002	0.0093	0.4271	2.3770	0.0012	-0.0369	0.3553	-3.1300	
Mengenelemente											
Mittelwert der Faktoren											
Kalzium	g/kg TM	1.37		172.23	8.72	7.02		612.91			
Phosphor	g/kg TM	-0.62618		0.00359	0.01310	0.06067		-0.00717			
Magnesium	g/kg TM	0.32002		0.00036	0.01049	0.05091		-0.00101			
Kalium	g/kg TM	-0.14514		0.00074	-0.00580	-0.02712		-0.00205			
	g/kg TM	2.46190		0.00229	0.08400	0.68650		0.00144			
Maissilage											
Weender-Nährstoffe											
Mittelwert der Faktoren											
Trockenmasse TM	g/kg Futter			448.34				620.14	14.05		
Rohprotein	g/kg TM			-0.11836				-0.38243	0.72120		
Rohfett	g/kg TM			0.00727				0.01668	0.23987		
Rohfaser	g/kg TM			-0.00117				0.00161	-0.20084		
Rohasche	g/kg TM			0.02506				0.09323	-0.77070		
	g/kg TM			0.00198				0.01132	0.44735		
Mengenelemente											
Mittelwert der Faktoren											
Kalzium	g/kg TM			462.56				620.59	14.02		
Phosphor	g/kg TM			-0.00013				-0.00051	0.01556		
Magnesium	g/kg TM			-0.00001				-0.00024	0.01789		
Kalium	g/kg TM			-0.00012				-0.00046	0.02157		
	g/kg TM			0.00203				0.00901	0.02905		

Tabelle 13: P-Werte der Klassen und unabhängigen Variablen, Standardabweichung und Variationskoeffizient

Parameter	Einheit	Konser- vierung	Schnitt produktions- gebiet	Haupt- produktions- gebiet	Öpul Anteil %	Tierbesatz GVE/Hektar	Milch- leistung kg	Seehöhe Meter	Exposition Grad	Hang- neigung Grad	Jahresluft- temperatur Grad	Jahres- nieder- schlag mm	Ver- dunstung mm	maximale Trocken- periode Tage	mittlere Trocken- periode Tage	Standard- abweichung	Variations- koeffizient
Grünlandfutter																	
Weender-Nährstoffe																	
Trockenmasse TM	g/kg Futter	0.000	0.000	0.000	0.061	0.000	0.002	0.315	0.395	0.302	0.351	0.762	0.003	0.343	77.299	16.410	
Rohprotein	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.081	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.054	0.000	0.562	0.426	21.496	14.670	
Rohfett	g/kg TM	0.000	0.027	0.000	0.475	0.000	0.000	0.278	0.527	0.000	0.011	0.000	0.059	0.306	3.412	11.640	
Rohfaser	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.039	0.048	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	26.980	9.960	
Rohasche	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.918	0.000	0.150	0.074	0.000	0.000	0.335	0.003	0.191	0.022	23.602	22.170	
Mengenelemente																	
Kalzium	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.218	0.000	0.000	0.000	0.015	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	1.972	24.260	
Phosphor	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.498	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.575	17.910	
Magnesium	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.579	22.870	
Kalium	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.063	0.000	0.000	0.056	0.000	0.000	0.000	0.602	0.000	0.000	4.926	16.820	
Maissilage																	
Weender-Nährstoffe																	
Trockenmasse TM	g/kg Futter	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.420	0.000	44.109	12.840	
Rohprotein	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.318	0.175	0.000	8.732	11.640	
Rohfett	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.071	0.000	0.000	0.071	0.000	0.000	0.000	0.777	0.001	0.000	2.970	10.900	
Rohfaser	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.049	0.000	19.280	9.580	
Rohasche	g/kg TM	0.000	0.001	0.001	0.161	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000	0.361	0.001	0.001	0.000	6.478	16.910	
Mengenelemente																	
Kalzium	g/kg TM	0.000	0.057	0.057	0.628	0.000	0.000	0.628	0.000	0.000	0.839	0.839	0.559	0.000	0.808	35.600	
Phosphor	g/kg TM	0.000	0.063	0.063	0.902	0.000	0.000	0.902	0.000	0.000	0.802	0.802	0.083	0.000	0.313	16.090	
Magnesium	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.246	0.000	0.000	0.246	0.000	0.000	0.628	0.628	0.032	0.000	0.305	21.080	
Kalium	g/kg TM	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.180	0.180	0.685	0.000	2.178	20.470	