

Methoden der flächendeckenden Darstellung von Witterungsparameter für das Trockenschadenmodell im Grünland

H. FORMAYER

Einleitung

Für das Projekt „Bestimmung der Auswirkungen von Trockenperioden im Grünland mittels Wachstumsmodellen und klimatologische Analyse österreichischer Daten“ wurden einerseits Ertragsmodelle anhand von Beobachtungs- und Ertragsdaten entwickelt, andererseits mussten aber auch Methoden für die Umsetzung der Modelle in die Fläche erarbeitet werden. Durch den Einsatz eines „Geografischen Informationssystems“ (GIS) steht dem Anwender zwar ein mächtiges Instrumentarium für die Interpolation von Daten zur Verfügung, um jedoch meteorologische Daten sinnvoll in die Fläche zu interpolieren, ist eine sorgfältige Auswahl des Interpolationsverfahrens und eine genaue Ableitung der räumlichen Abhängigkeiten unerlässlich.

Für unsere Anwendung sind speziell die meteorologischen Kenngrößen Temperatur, Niederschlag, potenzielle Evapotranspiration und Sonnenstrahlung relevant, da diese für die Ertragsbildung und für Wasserstress die meteorologischen treibenden Kräfte darstellen. Dies waren daher die Kenngrößen, für die Interpolationsverfahren entwickelt werden mussten.

Problem der Skalenunterschiede

Speziell in der österreichischen Grünlandwirtschaft, die großteils im Bergland angesiedelt ist, können sehr kleinräumige Unterschiede in der Ertragslage, aber auch in der Sensibilität gegenüber Trockenstress durch Abschattungseffekte, Hangneigung und Hangausrichtung entstehen. Das Problem bei der Interpolation der meteorologischen Daten besteht nun darin, dass das Endergebnis in möglichst feiner Auflösung (wenn mög-

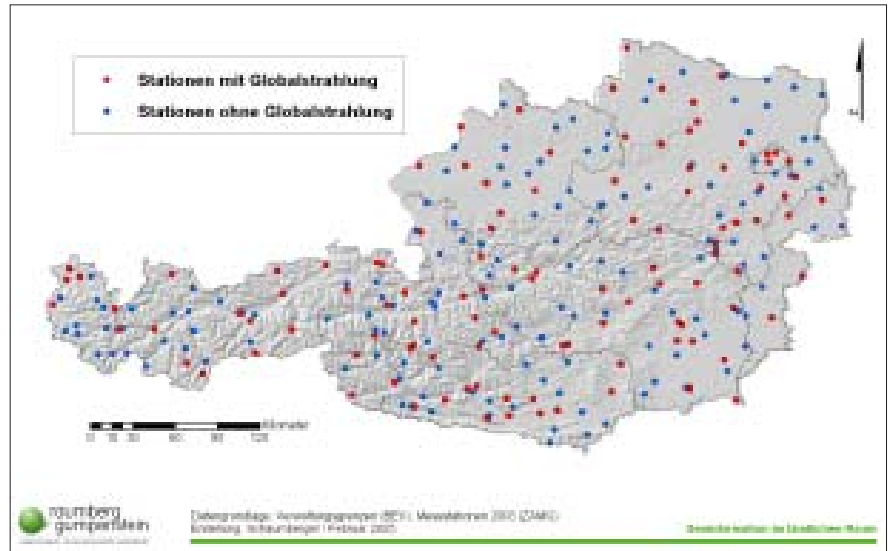


Abbildung 1: Räumliche Verteilung der meteorologischen Stationen der ZAMG für das Jahr 2003

lich für einzelne Parzellen) vorliegen soll, die meteorologischen Daten jedoch nur mit einer räumlichen Auflösung von ~ 20 km vorliegen (siehe *Abbildung 1*).

Als Lösungsansatz für dieses Problem wurde ein „Zwei Skalen Verfahren“ angewandt, welches den Informationsgehalt eines hochaufgelösten Digitalen Höhenmodells (DHM, siehe *Abbildung*

2) nutzt und für jedes meteorologische Element wurde ein optimiertes Interpolationsverfahren ausgearbeitet.

Die meteorologischen Daten wurden der Stationsdichte adäquat mit 1 km Auflösung interpoliert. Um die feinskaligen Einflussfaktoren zu berücksichtigen, wurden die Einstrahlungsbedingungen (Abschattung, Hangneigung, Hangausr-

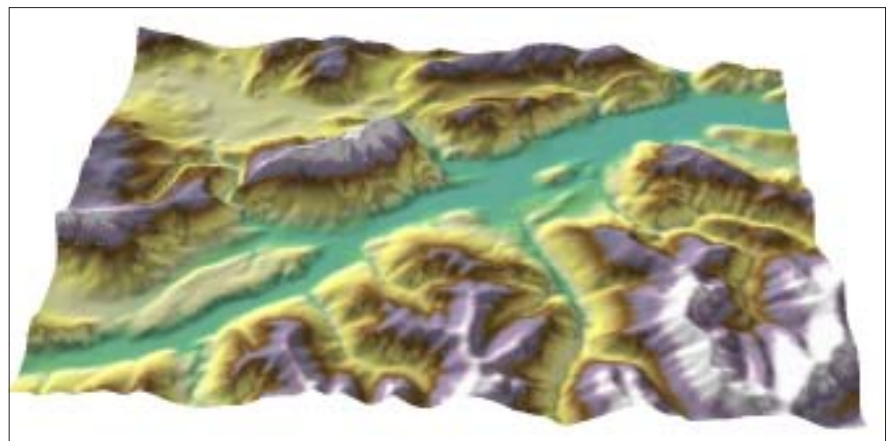


Abbildung 2: Darstellung des mittlere Ennstals mit dem feinaufgelösten Digitalen Höhenmodell

Autor: Dr. Herbert FORMAYER, Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 WIEN

richtung und Seehöhe) mit Hilfe eines fein aufgelösten DHM und eines Solarmodells berechnet. Der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde hierfür vom Lebensministerium ein DHM mit 10 m Auflösung für ganz Österreich zur Verfügung gestellt.

Interpolation der Globalstrahlung

Die kurzweilige Sonneneinstrahlung (meteorologisch Globalstrahlung) spielt in zweierlei Hinsicht eine wesentliche Rolle bei der Ertragsbildung im Grünland. Erstens stellt die Globalstrahlung die Energie für die Photosynthese und damit das Wachstum zur Verfügung und zweitens ist die Globalstrahlung auch ein Hauptfaktor für die potenzielle Evapotranspiration (PET) und damit für den Wasserentzug aus dem Boden.

Für die Verfügbarkeit an Globalstrahlung an einen bestimmten Ort zu einen bestimmten Zeitpunkt ist einerseits das von Tag zu Tag variable Wetter (Bewölkung), andererseits der Jahres- und Tagesgang der Sonne verantwortlich, andererseits auch die zeitlich konstanten topologischen Eigenschaften des Ortes wie Seehöhe, Ausrichtung, Neigung und Horizontabschattung. Der Effekt der Bewölkung kann nur durch die täglichen Beobachtungen bestimmt werden, und ist daher von der Stationsdichte abhängig (in Österreich rund 100 ZAMG-Stationen mit Globalstrahlungsmessungen). Der Einfluss der Topologie kann mit Hilfe eines hochaufgelösten digitalen Höhenmodells (DHM) und einem Strahlungsmodell sehr genau bestimmt werden.

Zur Berechnung der potenziellen Sonneneinstrahlung wurde das Strahlungsmodell „Solar Analyst V 1.0“ (Fu and Rich 1999, 2000) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Programm für das GIS „ArcView“ und es berechnet die Sonnenstrahlung für jeden einzelnen Gitterpunkt eines DHM unter Berücksichtigung der Ausrichtung, Neigung und Abschattung des Gitterpunktes. Im „Solar Analyst“ wird die direkte und die diffuse Sonneneinstrahlung getrennt berechnet, wobei bei der direkten Sonneneinstrahlung die Abschattung der Sonnenscheibe und bei der diffusen Sonneneinstrahlung die Horizontabschattung berücksichtigt wird. Zusätzlich wird in diesem Modell auch die Zunahme der Globalstrahlung mit der Seehöhe berücksichtigt.

Das Strahlungsmodell musste natürlich an die österreichischen Bedingungen angepasst werden. Hierzu können im „Solar Analyst“ die zwei Variablen „Diffuse Proportion“ und „Transmitivity“ modifiziert werden. Die Transmitivity beschreibt die Abschwächung der direkten Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre und die Diffuse Proportion beschreibt den Anteil der diffusen Strahlung an der Gesamtstrahlung unter wolkenlosen Bedingungen. Da bei beiden Strahlungsvorgängen der Aerosol- und Wasserdampfgehalt eine wesentliche Rolle spielt, können die beiden Variablen nicht ganz unabhängig von einander verändert werden.

Für die Kalibrierung des Strahlungsmodells wurden an ausgewählten österreichischen Stationen die Maxima der täglichen Globalstrahlung je Monat berechnet, um die Einstrahlung unter wolkenlosen Bedingungen zu bestimmen. Anschließend wurden die beiden Variablen im Strahlungsmodell monatsweise variiert, um möglichst genau die beobachteten Maxima zu reproduzieren. Durch diese monatliche Anpassung des Modells konnte die Differenz an nahezu allen Stationen und Monaten während der Vegetationsperiode unter $\pm 5\%$ gehalten werden (siehe Abbildung 3). An einzelnen Talstationen im Hochgebirge kam es dennoch in einzelnen Monaten zu Abweichungen von bis zu 15 Prozent. Dies dürfte jedoch nicht an den verwendeten Variablen liegen, sondern an der

unterschiedlichen Abschattung in der Realität und im Digitalen Höhenmodell. Als Beispiel hierfür ist Rauris in der *Abbildung 3* dargestellt.

Mithilfe des kalibrierten Strahlungsmodells konnte nun für jeden Gitterpunkt des DHM und jeden Tag die potenzielle Globalstrahlung, also die Sonneneinstrahlung bei wolkenlosem Himmel unter Berücksichtigung der topografischen Bedingungen wie Seehöhe, Hangneigung und – Ausrichtung und Abschattung berechnet werden.

Die Berechnung der aktuellen Globalstrahlung, also die Berücksichtigung des Wetters erfolgte in zwei Schritten:

Als erster Schritt, wurde für jeden Tag eine Normierung der potenziellen Globalstrahlung ($PS_{(d,i,j)}$) durchgeführt. Hierzu wurde $PS_{(d,i,j)}$ durch die potenzielle Einstrahlung im Flachland ($PS_{flach(d)}$) durchdividiert. Als $PS_{flach(d)}$ wurde die Strahlung rund um Groß Enzersdorf verwendet, also ein Gebiet, wo das DHM absolut flach ist, keine Abschattung und Horizontabschattung vorkommt und das auf rund 150 m Seehöhe liegt. Dieser Quotient ($QP_{(d,i,j)}$) liefert flächendeckend für jeden Gitterpunkt und Tag das Einstrahlungspotenzial im Vergleich zur Referenzflachlandstrahlung. Die Werte von $QP_{(d,i,j)}$ können sowohl größer als auch kleiner als eins sein, je nach Ausrichtung, Neigung, Abschattung und Seehöhe des Gitterpunktes, enthalten also alle topologischen Einflussfaktoren.

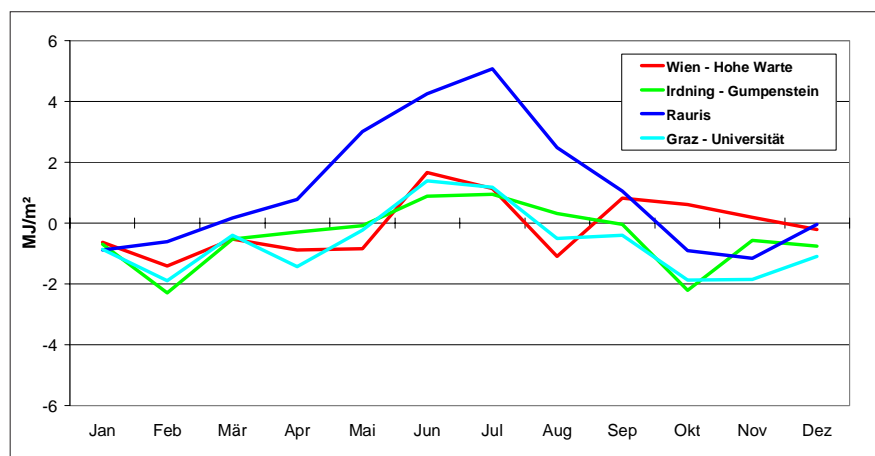


Abbildung 3: Differenz der modellierten und gemessenen Monatsmaxima der globalen Strahlung an 4 österreichischen Standorten. Während der Vegetationsperiode beträgt der Unterschied meist weniger als 5 Prozent. Bei der Station Rauris ist die unterschiedliche Abschattung Realität/DHM für die größte Abweichung verantwortlich.

An den Stationen mit Globalstrahlungsdaten wurde als zweiter Schritt für jeden Tag der Quotient beobachtete Globalstrahlung/potenzielle Globalstrahlung ($Rakt_{(d,s)}$) berechnet. Er gibt an, wie viel der potenziell möglichen Strahlung am jeweiligen Tag an der Station gemessen wurde. $Rakt_{(d,s)}$ ist normalerweise immer kleiner oder gleich 1, nur an einzelnen Tagen und Stationen kann $Rakt_{(d,s)}$ auch etwas größer als 1 sein. Dies kann durch die Reflexion von Wolken, welche die direkte Einstrahlung der Sonne nicht stören, erklärt werden. Diese Wolkenreflexionen erhöhen die diffuse Strahlung, wodurch die Summe direkte und diffuse Sonnenstrahlung höher als unter wolkenlosen Bedingungen werden kann.

$Rakt_{(d,s)}$ besitzt keine weiteren räumlichen Abhängigkeiten, da er der Quotient des Strahlungspotenziales ist, und alle räumlichen Abhängigkeiten im Potenzial ($QP_{(d,i,j)}$) berücksichtigt werden. Daher kann $Rakt_{(d,s)}$ mit einem Standardinterpolationsverfahren interpoliert werden. Wir haben hierzu Universal Kriging verwendet. Dadurch liegt nun auch $Rakt_{(d,i,j)}$ als Feld vor. $Rakt_{(d,i,j)}$ beinhaltet somit nur den Einfluss der Bewölkung auf die Einstrahlung des jeweiligen Tages.

Als letzter Schritt erfolgt die Multiplikation der beiden Felder und der potenziellen Flachlandstrahlung.

$$Sakt_{(d,i,j)} = QP_{(d,i,j)} * Rakt_{(d,i,j)} * PSflach_{(d)}$$

$Sakt_{(d,i,j)}$ ist die aktuelle Strahlung für jeden Tag und Gitterpunkt für ganz Österreich, die alle relevanten Einflussfaktoren berücksichtigt.

Interpolation der Potenziellen Evapotranspiration (PET)

Die potenzielle Evapotranspiration ist eine abgeleitete Kenngröße, die aus Temperatur, relativer Feuchte, Globalstrahlung und Wind berechnet wird. Um die PET flächendeckend zu berechnen könnte man entweder alle notwendigen meteorologischen Elemente einzeln in die Fläche interpolieren und danach an jedem Gitterpunkt die PET berechnen, oder die PET nur an den Stationen, wo alle meteorologischen Elemente vorhanden sind, berechnen und danach die PET-Werte unter Berücksichtigung räumlicher Abhängigkeiten interpolieren. Wir

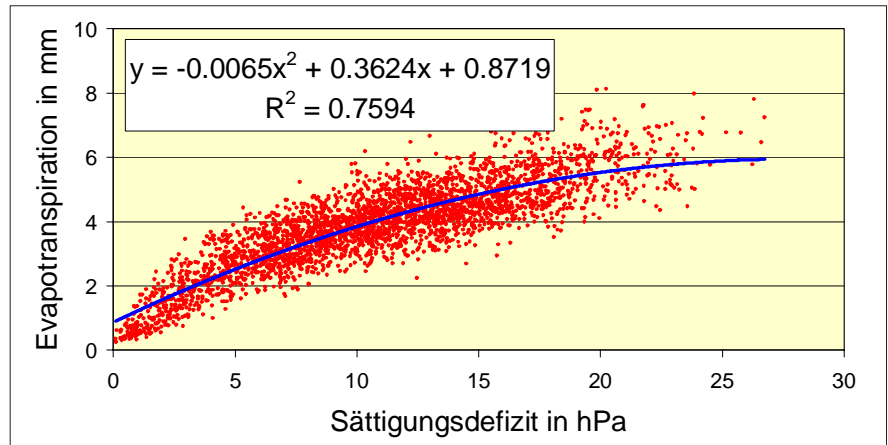


Abbildung 4: Zusammenhang Sättigungsdefizit und Potenzielle Evapotranspiration für den August 2003

haben aus zwei Gründen die letztere Variante für dieses Projekt gewählt. Erstens sollen die Ergebnisse ja mit sehr hoher räumlicher Auflösung (10 m) aufbereitet werden. Eine Berechnung an den Gitterpunkten würde daher sehr hohe Rechenleistungen und großen Speicherplatz für die einzelnen Felder verursachen. Noch wichtiger ist jedoch der zweite Grund: Durch die Interpolation, speziell bei dieser hohen räumlichen Auflösung, entstehen natürlich immer Fehlern und Unsicherheiten, die je nach Element unterschiedlich groß sind. Besonders groß ist hierbei die Unsicherheit durch den Wind. Eine Berechnung der PET mit diesen „unsicheren“ Werten kann zu größeren Fehlern führen, als wenn man die PET mit den „exakten“ Stationswerten berechnet und anschließend interpoliert.

Die PET wurde an allen Stationen der ZAMG, welche die benötigten Elemente messen mit der Penman-Monteith Formel nach FAO berechnet. Dies konnte an rund 160 Stationen durchgeführt werden. Um für die Interpolation mehr Stationswerte zur Verfügung zu haben, wurde ein Regressionsansatz (Formayer et al. 2003) angewandt, der es erlaubt, die Tagessumme der PET aus dem Sättigungsdefizit der Terminablesungen um 7, 14 und 19 Uhr zu schätzen. In *Abbildung 4* ist dieser funktionale Zusammenhang für den August dargestellt. Dadurch standen für die Interpolation der PET rund 260 Stationswerte zur Verfügung.

Bei der PET kann eine deutliche Seehöhenabhängigkeit der Werte beobachtet werden. Dies ist nicht weiter verwunder-

lich, da die PET sehr stark vom Sättigungsdefizit abhängt. Dieses wiederum nimmt bei gleicher relativer Luftfeuchtigkeit exponentiell mit der Temperatur zu. Durch diese Seehöhenabhängigkeit kann man Standardinterpolationsverfahren nicht direkt auf die PET anwenden, wenn im Interpolationsgebiet Seehöhenunterschiede auftreten. Deshalb wurde anhand der Stationsdaten die mittlere Seehöhenabhängigkeit je Monat für die PET bestimmt (siehe *Abbildung 5*). Der lineare Zusammenhang ist in den einzelnen Monaten unterschiedlich ausgeprägt. Besonders gering ist dieser Zusammenhang in den Wintermonaten, da auch die Temperaturabnahme mit der Seehöhe im Winter durch die Inversionsausbildung nicht über den ganzen Seehöhenbereich linear ist. Im Frühjahr hingegen kann bis zu 70 Prozent der Varianz in den Stationsdaten durch die Seehöhe erklärt werden. Während der Vegetationsperiode nimmt die PET um durchschnittlich 1 bis 2 Prozent je 100 m Seehöhe ab.

Für die Interpolation der PET wurde als erster Schritt die Seehöhenabhängigkeit verwendet. Hierzu wurden die pro Monat berechneten Regressionsgleichungen auf das DHM angewandt. Dadurch erhält man für jeden Gitterpunkt und Monat die mittlere PET. Anschließend wurde an den Stationen mit PET Werten für jeden Tag die Differenz zwischen aktueller PET aufgrund der Messungen und Monatsmittel aufgrund der Seehöhe der Station berechnet. Diese Residuen besitzen nun keine weiteren räumlichen Abhängigkeiten und können wieder mittels Kriging in die Fläche interpoliert wer-

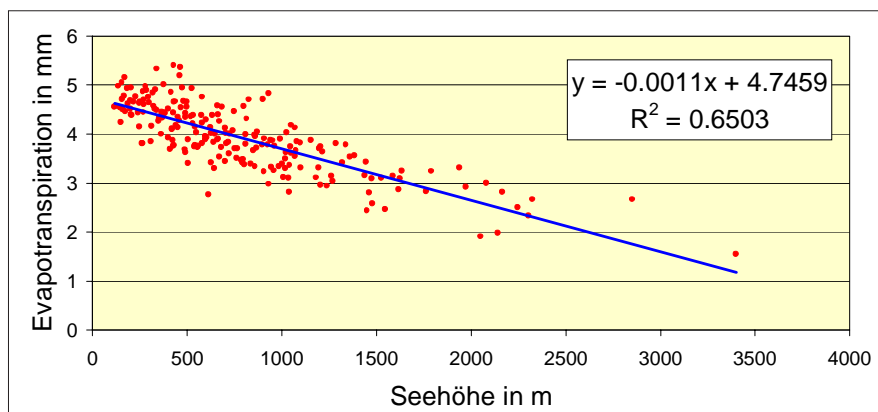


Abbildung 5: Die Potenzielle Evapotranspiration als Funktion der Seehöhe. Im Juli 2003 kann rund 65 % der Varianz in den Messwerten durch die Seehöhe erklärt werden.

den. Das aktuelle PET Feld für jeden Tag und jede Gitterzelle ergibt sich durch die Addition der Residuenfelder mit dem mittleren Seehöhenfeld.

Diese PET – Felder besitzen jedoch nur jene skalige Information, die durch die Stationsdichte definiert wird, also etwa 20 km. Um neben der Seehöhe auch andere feinskalige Information aus dem DHM für die Interpolation der PET zu verwenden, wurde der Umstand genutzt, dass die PET sehr stark von der Globalstrahlung abhängt. Um dem großskaligen PET-Feld die kleinskalige Differenzierung durch die Globalstrahlung mitzuteilen, wird das PET-Feld mit $QP_{(d,i,j)}$, also der relativen potenziellen Globalstrahlung an jedem Gitterpunkt gewichtet. Dies führt zu einer linearen Modifikation der PET aufgrund der potenziellen Einstrahlungsbedingungen, verursacht durch die topologischen Eigenschaften des jeweiligen Gitterpunktes. An abgeschatteten, oder nach Nord orientierten Gitterpunkten wird die PET reduziert und an nach Süd orientierten Gitterpunkten erhöht.

Interpolation des Niederschlages

Der Niederschlag ist natürlich das wichtigste meteorologische Element für die Bestimmung der Wasserverfügbarkeit im Boden. Aber gerade die räumliche Niederschlagsverteilung auf Tagesbasis weist Eigenschaften aus, die eine flächige Interpolation ohne Informationsverlust nahezu unmöglich macht. Ursache hierfür sind die unterschiedlichen Prozesse, die zur Niederschlagsbildung führen.

Die gleichmäßigen, mit Fronten verbundenen Niederschläge (in der Meteorologie „stratiforme Niederschläge“ genannt) werden in erster Linie durch die Alpen modifiziert. Hier bilden sich luvseitig die Stauniederschläge und leeseitig Niederschlagsminima. Aber selbst diese Differenzierung durch die Alpen kann nicht einfach mit einem DHM reproduziert werden, da diese Stau- und Abschattungsprozesse sehr stark von der Anströmrichtung abhängig sind und daher jede Niederschlagsfront ein individuelles Muster entwickelt.

Noch komplexer wird es bei schauerartigen Niederschlägen und Gewittern (in

der Meteorologie „konvektive Niederschläge“ genannt). Schauer- oder Gewitterzellen haben einen Durchmesser von einigen Kilometern, die ein äußerst kleinräumiges Niederschlagsmuster entwickeln. Besonders Gewitter können hohe Niederschlagsintensitäten erzeugen, wobei diese Niederschlagsintensität innerhalb der Gewitterzelle und über die Lebensdauer der Zelle (einige Stunden) auch noch stark schwankt. Da der konvektive Niederschlag in weiten Teilen Österreichs rund 30 bis 50 Prozent der Jahresniederschlagssumme produziert, darf diese kleinräumige Struktur nicht vernachlässigt werden. Besonders Wärmegewitter weisen aber auch typische Muster auf. Sie entstehen häufiger im Bergland über den Gipfeln und Kämmen und ziehen mit der Höhenströmung ins Flachland, wobei sie gerne sogenannte Gewitterzugbahnen folgen. Diese Gewitterzugbahnen können bei ausreichender Stationsdichte bereits durch die Messungen aufgelöst werden.

Für die Niederschlagsinterpolation werden häufig Seehöhenabhängigkeiten verwendet. Nun stimmt es, dass die langjährigen durchschnittlichen Jahressummen eine deutliche Seehöhenabhängigkeit aufweisen, aber bereits bei einzelnen Monatssummen wird dieser Zusammenhang immer schwächer. Diese Seehöhen-

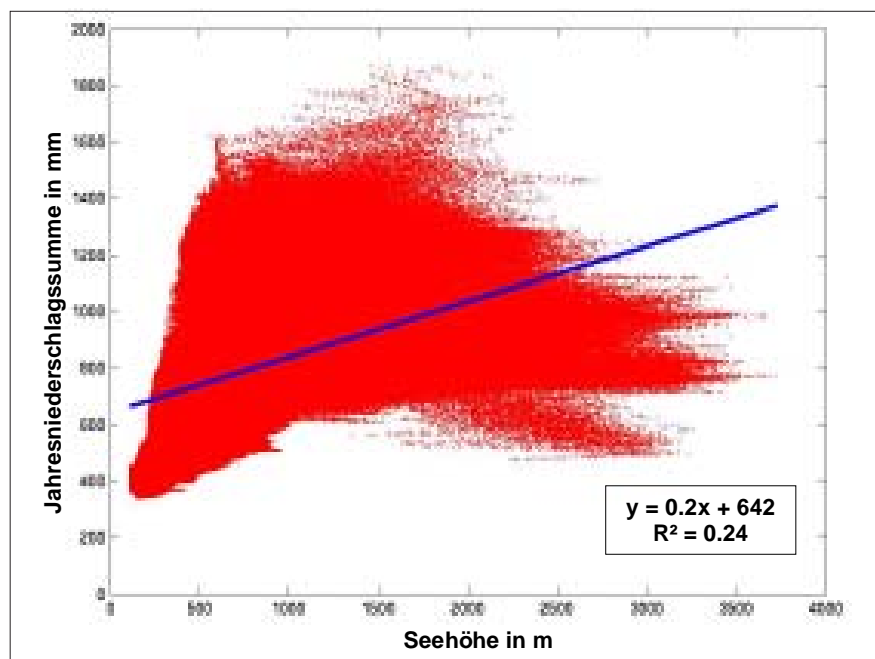


Abbildung 6: Höhenregression der Jahresniederschlagssumme aller Gitterpunkte. Das interpolierte Niederschlagsfeld weist eine durchaus vergleichbare Seehöhenabhängigkeit auf wie die Stationsdaten, obwohl für die Interpolation keine Seehöhenabhängigkeit verwendet wurde.

abhängigkeit kommt aber auch durch die Zunahme der Niederschlagshäufigkeit im Gebirge zustande und kann daher bei Tagesniederschlägen nicht verwendet werden. Auf Tagesbasis spielen bei stratischen Niederschlägen Luv/Lee Effekte eine wesentlich größere Rolle und konvektive Niederschläge sind überhaupt stark stochastisch geprägt.

Für die Interpolation der Tagesniederschläge haben wir daher auf zusätzliche räumliche Abhängigkeiten verzichtet. Um dennoch eine möglichst kleinräumige Information über das Niederschlagsfeld zu bekommen, haben wir zusätzlich zu den Stationen der ZAMG auch 618 Niederschlagsstationen des Hydrographischen Zentralbüros (HZB) verwendet. Dadurch hat sich die mittlere Stationsdistanz auf unter 10 km verringert.

Um abzutesten, ob unsere interpolierten Niederschlagsfelder die mittleren statistischen Eigenschaften, also die Seehöhenabhängigkeit der Jahressumme reproduziert, haben wir für alle Gitterpunkte die Jahressummen gebildet und eine Höhenregression berechnet (siehe *Abbildung 6*). Die Gitterpunkte weisen eine durchaus vergleichbare Seehöhenabhängigkeit auf wie die Stationsdaten, obwohl für die Interpolation keine Seehöhenabhängigkeit verwendet wurde. Dies zeigt, dass die verwendete Stationsdichte durchaus ausreicht, um realistische Feld-

verteilungen des Niederschlages zu reproduzieren.

Abschließende Bemerkungen

Da der Niederschlag jedoch eine derartige Wichtigkeit für das Trockenstressmonitoring besitzt, sollte für operationelle Modelle eine komplexere Niederschlagsinterpolation unter Einbeziehung von zusätzlichen Daten entwickelt werden. Hierfür kommen einerseits weitere meteorologische Kenngrößen wie Wind oder Druckverteilung in Frage, die Informationen über die Anströmrichtung beinhalten und wodurch die Lee/Luv Effekte mitberücksichtigt werden könnten. Andererseits bietet sich für die Niederschlagsinterpolation aber auch das Radarsignal der AUSTROCONTROL an. Das Radarsignal liefert alle 5 Minuten mit 1 km Auflösung einen Wert für die Niederschlagsintensität, zwar nur in sehr groben Intensitätsklassen, aber durch Korrelationen mit In-situ Niederschlagsmessungen kann daraus wichtige Information über die räumliche Verteilung des Niederschlages gewonnen werden. Die ZAMG verwendet für ihre Niederschlagsanalysen auf Tagesbasis bereits einen derartigen Algorithmus (INCA-Analysen). Eine Verwendung dieser Niederschlagsanalysen und Einbeziehung der gesamten HZB Nieder-

schlagsdaten würde für einen Großteil Österreichs eine deutliche Verbesserung der Niederschlagsfelder bedeuten. Leider wird jedoch nicht das gesamte Bundesgebiet aufgrund von Abschattungseffekten durch das Radarsignal abgedeckt, wobei besonders die Region südlich des Inns betroffen ist.

Die Interpolation für die Temperatur erfolgte analog zur Vorgehensweise bei der potenziellen Evapotranspiration, jedoch ohne Gewichtung mit der Globalstrahlung.

Beispiele für die Anwendung der oben beschriebenen Interpolationsverfahren sind im Beitrag von Mag. Andreas Schaumberger zusammengestellt.

Literatur

- Formayer H, S. Eckhardt, P. Haas, M. Lexer, 2003. Frequency of dry spells, defined by thresholds of accumulated potential evapotranspiration sums (PETs), in Austria. Poster Presentation at the ICAM/MAP Meeting 2003.
- Fu, P. and P.M. Rich. 1999. Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference, San Diego, USA, <http://www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm>.
- Fu, P. and P.M. Rich. 2000. A geometric solar radiation model and its applications in agriculture and forestry. Proceedings of the Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, 10–12 January 2000.