

**J. Eitzinger - H. Kromp-Kolb - H. Formayer - M. Trnka - E. Klaghofer - E. Stenitzer - E. Murer - L. Gassner - K. Buchgraber - A. Schaumberger - J. Resch**

## **Ein Trockenschadenmodell für das österreichische Grünland**

### **1. Einleitung**

Die Auswirkungen einer Klimaänderung haben vor allem auf die landwirtschaftliche Produktion vielfältige und ernsthafte Auswirkungen. So ist durch die zunehmende Erwärmung nicht nur mit einem höheren Wasserverbrauch der Kulturen zu rechnen, sondern auch mit einem verstärkten Auftreten von Extremereignissen wie von Trockenperioden. Das intensiv bewirtschaftete Grünland in Österreich könnte davon besonders stark betroffen sein. In den niederschlagsärmeren Grünlandgebieten im Osten Österreichs traten in den letzten Jahren verstärkt starke Trockenschäden auf, was letztlich zu der Forderung einer Risikoabsicherungsmöglichkeit führte.

Ziel eines Projektes war es daher, Teilaspekte des von der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein eingereichten Projektes "Entwicklung eines Modells für die konkrete Ermittlung von Trockenschäden in den einzelnen Grünlandregionen Österreichs" wissenschaftlich aufzuarbeiten. Konkret handelt es sich um die Punkte „Wasserverbrauch und Ertragsmodelle“ und „Klimadaten“ des obigen Antrages.

Das Gesamtziel beider Projekte war die flächendeckende Bestimmung von Trockenschäden im Grünland auf Feldebene (auf GIS Basis) sowie eine Verifizierung verschiedener Berechnungsmodelle und dient in weiterer Hinsicht als Basis für ein Versicherungsmodell für Trockenschäden im Grünland. Während des Projektes wurden in Kooperation mit der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein, und dem Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT), Petzenkirchen, verschiedene Modellansätze getestet welche verwendet werden könnten um Trockenschäden im österreichischen Grünland mit verschiedenen Kennzahlen zu beschreiben. Die berücksichtigten Modelle umfassen einfache Indizes, einfache Modellansätze und komplexere Wachstums- und Ertragsmodelle. Die meteorologischen Parameter und der Bodenwassergehalt wurde während der 3-jährigen Projektdauer von agrarmeteorologischen Stationen gemessen bzw. von nahegelegenen Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zu den Messparzellen interpoliert.

Die Adaption und Validierung der Modelle erfolgte einerseits mithilfe der Feldversuchsdaten der BAL-Gumpenstein und zusätzlich durch die gemessenen Witterungs- und Bodenparameter vor Ort. Als derzeit vorliegende Version einer flächendeckenden Ertragsbestimmung wurde aufgrund der verfügbaren Datenbasis ein einfacher Modellansatz, die FAO Wasserbilanzmethode kombiniert mit einer empirisch-statistischen Ertragsbestimmung des Grünlandtrockenmasseertrages als die für eine GIS-Implementation optimal Variante gefunden.

## **2. Methodischer Hintergrund**

### **2.1. Bestimmung der Bodenwasserbilanz**

Die Grundlage des Trockenschadenmodells ist die räumliche Abbildung des verfügbaren Bodenwassergehaltes, wobei aufgrund der begrenzt verfügbaren Bodendaten ein einfacher Ansatz gewählt wurde. Diese von der FAO publizierte Methode ist ein in der Berechnungsplanung häufig verwendetes und vereinfachtes Bodenwasserbilanzmodell zur Berechnung der Wasserbilanzparameter von Kulturpflanzenbeständen.

Diese Methode ist ausführlich in Allen et al. (1998) beschrieben und auch im Internet unter <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm> abrufbar bzw. dokumentiert.

Es basiert auf einer von der FAO empfohlenen Referenzverdunstungsformel für Grasoberflächen (empirisch vereinfachte Penman-Monteith Gleichung) und erlaubt eine tägliche Berechnung der aktuellen Verdunstung und des Bodenwassergehaltes bei Vorgabe des Entwicklungsstadiums des Pflanzenbestandes (kein Wachstumsmodell inkludiert) und unter Nutzung täglicher Witterungsparameter. Dieses Modell zeigte für den beabsichtigten Zweck der Trockenschadensbestimmung für Versicherungszwecke befriedigende Ergebnisse an den untersuchten Standorten (anhand der Validierung an Messdaten) um langjährige Bodenwassergehalte aus den meteorologischen Witterungsdaten zu berechnen. Es wurde daher in unserem Projekt aufgrund der limitiert verfügbaren räumlichen Bodendaten als das am besten geeignete Modell zur GIS-Implementierung verwendet. Das Modell wurde für praktische Anwendungen für mehrere Bodenschichten adaptiert (Eitzinger et al., 2004) und für das österreichische Grünland im Rahmen dieses Projektes parametrisiert. Die größte Beschränkung dieses einfachen Modells liegt darin, dass es den kapillaren Aufstieg nicht berücksichtigt und auf grundwasserbeeinflussten oder schweren Böden nur eingeschränkt verwendet werden kann. An solchen

Standorten sind größere Abweichungen möglich, es sind dies allerdings auch Standorte die weniger trockenschadensanfällig sind. Ein weiterer noch wesentlicher Unsicherheitsfaktor ist die Parametrisierung der Wasserbilanzkomponenten, wie z.B. des Oberflächenabflusses in Abhängigkeit zur Hangneigung im Grünland, die in weiteren Versuchsjahren noch verbessert werden sollte.

## 2.2. Empirisches Ertragsmodell GRAM

Da für die GIS-Implementation zur Bestimmung von Ertragsdepressionen aufgrund von Trockenheit ein möglichst einfacher Ansatz optimal geeignet ist, wurde ein empirisch-statistischer Ansatz (nach Han et al., 2003) gewählt. Dieses empirisch-statistische Ertragsmodell wurde für das österreichische Grünland adaptiert nachdem es vielversprechende Ergebnisse zeigte, wobei es auf das oben gezeigte FAO-Bodenwasserbilanzmodell aufsetzt.

GRAM beruht auf einer multiplen Regression, wobei bestimmte unabhängige Parameter in vorhergehenden Schritten aufbereitet werden. Dabei handelt es sich vorwiegend um räumlich interpolierte meteorologische Parameter, die aus den Klimadaten berechnet werden bzw. um die aktuelle/potentielle Evapotranspiration die ein Output aus dem vereinfachten FAO Bodenwasserbilanzmodell ist.

Aufgrund der vorhandenen Ertragsdaten konnte das Modell an zuerst 2 ausgewählten Versuchsstandorten (Piber und Gumpenstein, anhand mehrjähriger Ertragsdaten) und später an 16 Grünlandversuchsstandorten (anhand der Ertragsdaten 2002-2004) zufrieden stellend kalibriert und verifiziert werden. Es sollte in den nachfolgenden Jahren jedoch noch an anderen Standorten und für mehrere Jahre überprüft und getestet werden um die Ergebnisse weiter zu verbessern.

Beispiel der besten multiplen Regressionen an den geprüften Standorten Piber und Gumpenstein, schnittabhängig:

**Alle Daten von G1 (Gumpenstein) und G2 (Piber) (ohne 1.Schnitt).**

**Alle N-gedüngten Varianten :**

$$\text{TME} = 1.1542 - 0.0025 \cdot N^2 - 0.0094 \cdot D^2 + 0.4683 \cdot Cn^2 + 0.0065 \cdot N \cdot D - 0.0296 \cdot N \cdot Te + 0.3043 \cdot N \cdot Ge - 0.0778 \cdot D \cdot Cn + 0.2398 \cdot Te \cdot Cn + 0.0132 \cdot D \cdot Te + 0.8454 \cdot D - 4.3586 \cdot Cn + 0.1852 \cdot N$$

**Alle Daten von G1 (Gumpenstein) und G2 (Piber) (nur 1.Schnitt).****Alle N-gedüngten Varianten**

$$\text{TME} = -76.2681 - 0.0053 \cdot \text{Te}^2 + 31.5262 \cdot \text{Ge}^2 - 0.0059 \cdot \text{D} \cdot \text{Sd} - 0.0067 \cdot \text{D} \cdot \text{Te} + 0.0093 \cdot \text{Te} \cdot \text{Sd} - 0.5872 \cdot \text{Ge} \cdot \text{Sd} - 54.5156 \cdot \text{Ge} + 0.589 \cdot \text{Sd} + 1.0502 \cdot \text{Te} + 1.3923 \cdot \text{D} + 0.2224 \cdot \text{N}$$

Legende	
TME	Trockenmasseschnittertrag in dt/ha (abhängige Variable)
N	Stickstoffgabe zum jeweiligen Schnitt in kg/ha
D	Dauer der Wuchsperiode bis zum Schnitt in d
Te	Summe der effektiven Temperatur der Wuchsperiode D in °C
Ge	Summe der effektiven Strahlung der Wuchsperiode D in GJ/m <sup>2</sup>
Cn	Reihenfolge des Schnittes (1, 2, ....etc)
Sd	Anzahl Tage mit Schneedecke in der Wuchsperiode (1. Schnitt)

**3. Ergebnisse**

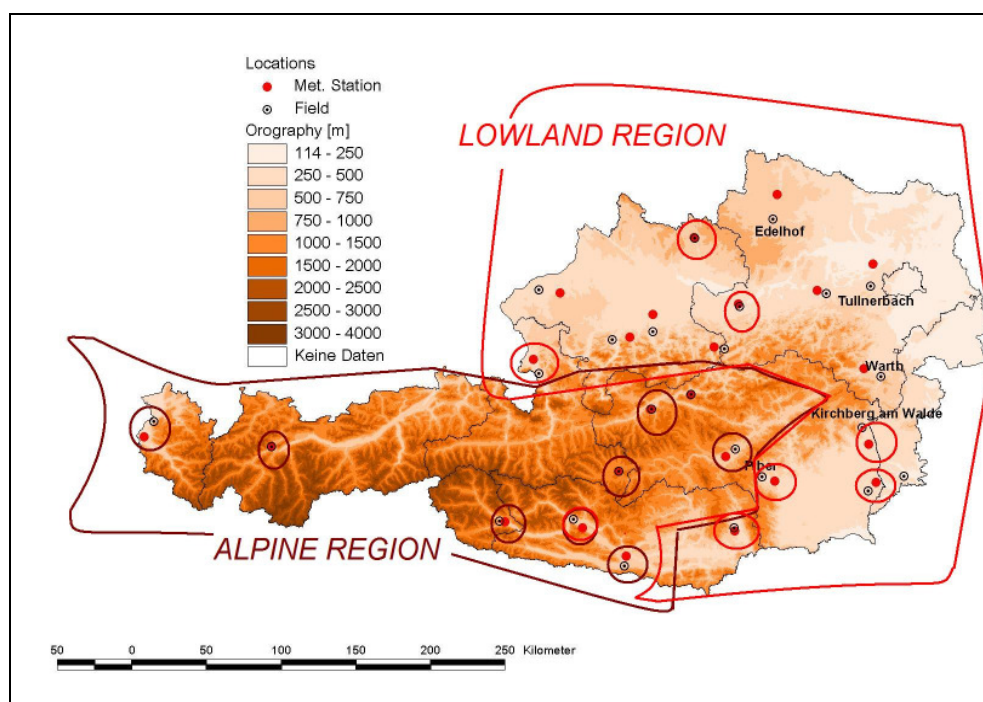
Die Ergebnisse des empirisch-statistischen Modells GRAM zeigen für die meisten Fälle (schnittbezogen) durchwegs gute Ergebnisse der Ertragsbestimmung mit Korrelationen von  $R^2 > 0.64$ . GRAM wurde zuerst für die beiden Standorte mit den besten experimentellen Basisdaten (Gumpenstein und Piber) und in einem nächsten Schritt anhand der Versuchsergebnisse aus 16 verschiedenen Standorten der Jahre 2002-2004 in Österreich kalibriert und validiert, wobei versucht wurde die besten räumlich zuordenbaren Gleichungen für die GIS-Implementation zu finden.

Aufgrunde der bisher vorliegenden Versuchsdaten an den Versuchsstandorten konnten 3 bzw. 2 multiple Regressionsgleichungen jeweils für eine bestimmte Region in Österreich mit einer akzeptablen Genauigkeit abgeleitet werden. Es muss darauf hingewiesen werden, dass sich bei vorliegen von Daten aus weiteren Versuchsjahren und Standorten die Güte der Gleichungen weiter verbessert werden kann und sollte.

Die Datenbasis (Schnitterträge und Management) bei der Erstellung der Regressionsgleichung umfasst die 3 Versuchsjahre 2002-2004 an 16 Versuchsstellen. 80% der Ertragsdaten wurden für die Modellkalibrierung zufällig ausgewählt, der Rest wurde für die Validierung verwendet.

Beispiel : Gleichungen für 2 unterschiedliche Regionen :

Bei der 2-Regionen Lösung (Abb.1) wird grundsätzlich die alpine Region und die Flachlandregion unterschieden. Es zeigte sich das diese Lösung ungefähr dieselbe Güte aufweise als die 3-Regionen Lösung, jedoch signifikant besser ist als nur eine Gleichung für ganz Österreich zu verwenden. Es wird daher vorgeschlagen vorerst diese Lösung in das GIS zu implementieren.



**Abb. 1:** Abgrenzung der Regionen der besten Regressionsgleichungen (2 Regionen)

Abb.2-3 zeigen die Abweichungen der GRAM Ergebnisse zu den Messwerten aus den Kalibrierungs- und Validierungsdaten der alpinen Region. Sowohl bei der alpinen Region als auch bei der Flachlandregion liegt der Hauptanteil der Ergebnisse unterhalb einer Abweichung von  $\pm 35\%$  und  $\pm 900$  kg/ha.

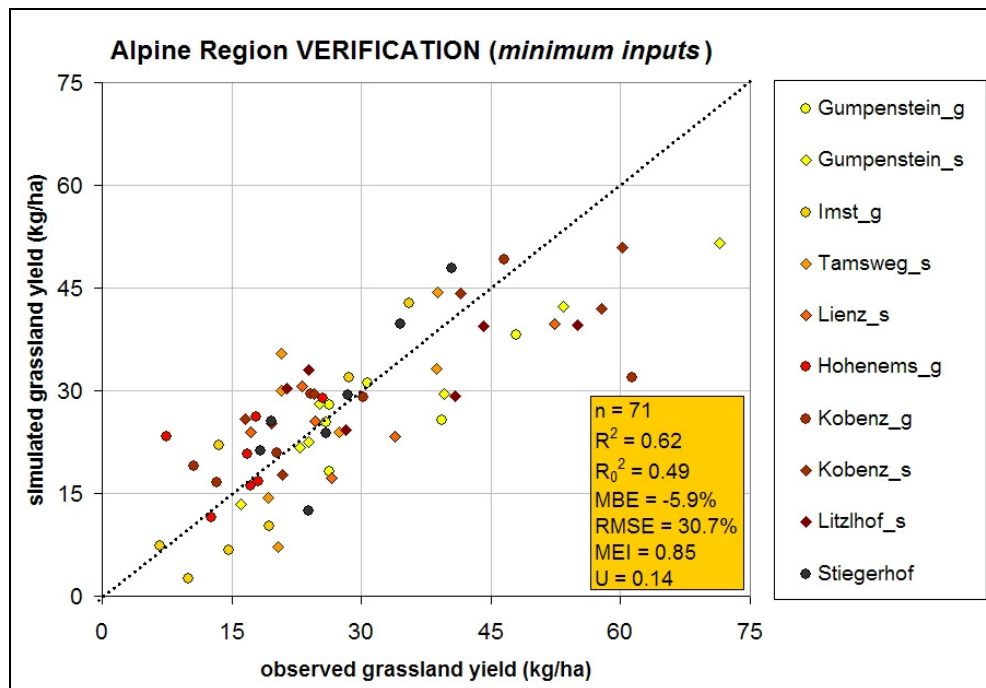


Abb. 2: Ergebnisse der Modellvalidierung der alpinen Region

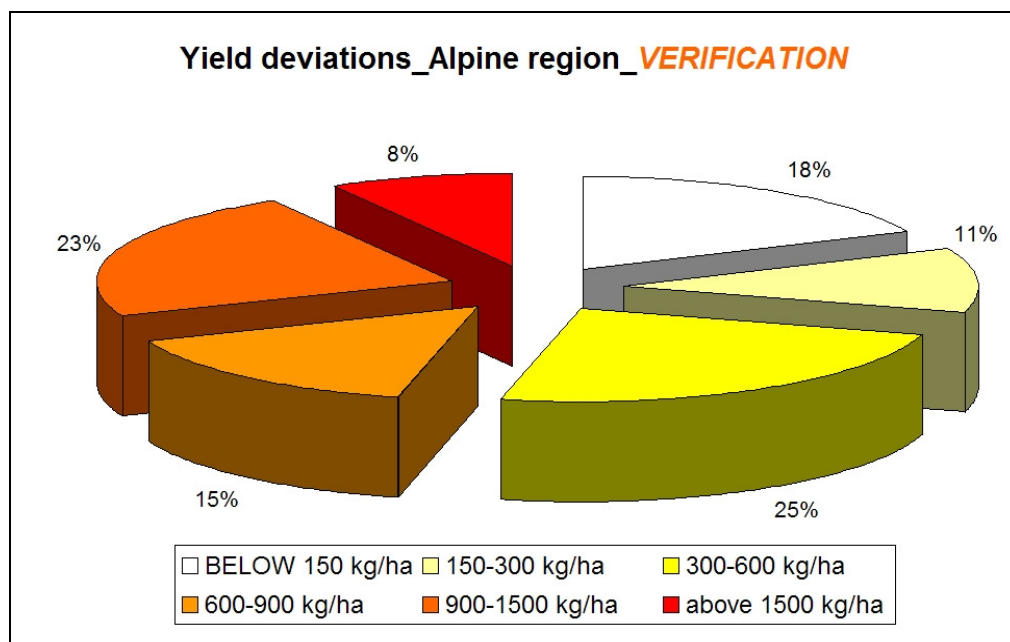
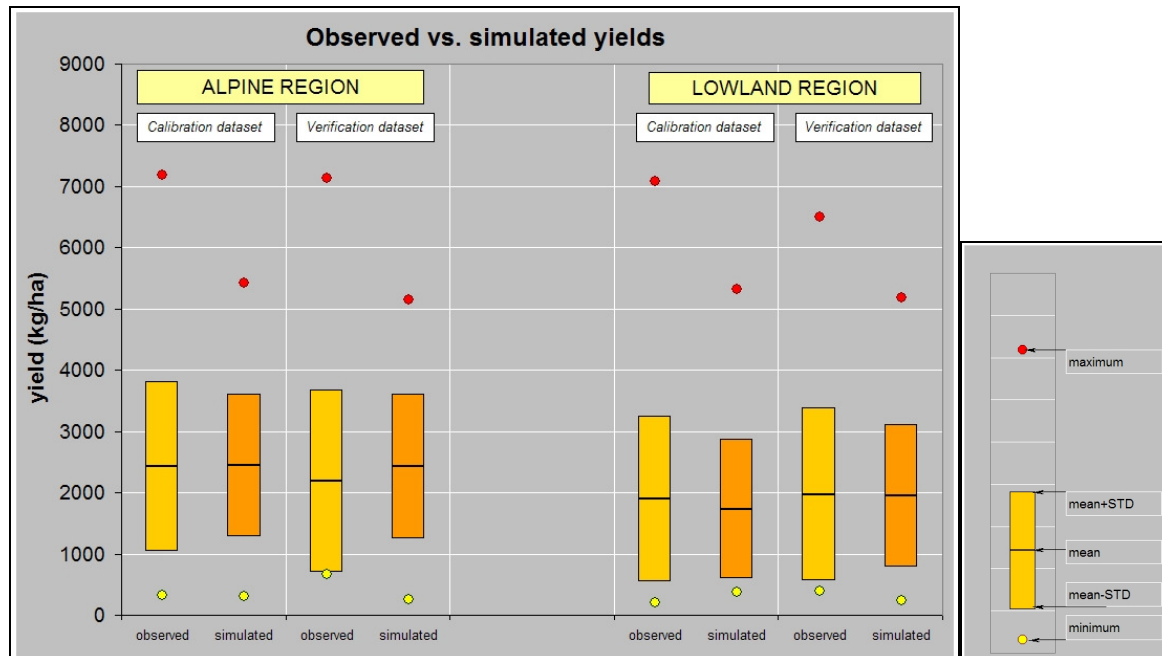


Abb. 3: Abweichungen der GRAM Ergebnisse der 2-Regionen Lösung, nach Abweichungsklassen unterteilt, alpine Region

In der Abbildung 4 wird die Güte der GRAM Gleichung für jeweils die Kalibrierung und die Validierung der beiden Regionen (alpine Region und Flachland) verglichen und dargestellt.

Es werden der Mittelwert und die Standardabweichungen jeweils der simulierten und gemessenen Trockenmasseerträge angegeben.



**Abb. 4:** Vergleich der simulierten und gemessenen Trockenmasseerträge der 2-Regionen GRAM Gleichungen.

#### 4. GIS-Implementation

Die Implementierung des Trockenschadensmodells für das österreichische Grünland in ein GIS erfolgte unter der oben beschriebenen Nutzung des adaptierten FAO Bodenwasserbilanzmodells und des darauf aufgesetzten empirischen Ertragsmodells GRAM unter Nutzung der aus Interpolationsverfahren verfügbaren bzw. räumlich verfügbarer Grid-Daten. Die Arbeiten zur Interpolation der meteorologischen Daten für die Berechnung der Trockenstressindikatoren erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der BAL-Gumpenstein. Hierbei war die BOKU-Met für die Entwicklung der Interpolationsverfahren zuständig und die BAL-Gumpenstein für die Umsetzung in ein operationell anwendbares System. Die räumliche verfügbare nutzbare Feldkapazität auf Gridbasis wurde vom IKT Petzenkirchen (DI Murer) für das Projekt aufbereitet und zur Verfügung gestellt.

Das Problem bei der Interpolation der meteorologischen Daten bestand darin, dass das Endergebnis in möglichst feiner Auflösung (wenn möglich für einzelne Parzellen) vorliegen soll, die meteorologischen Daten jedoch nur mit einer räumlichen Auflösung von ~ 20 km vorliegen. Als Lösungsansatz für dieses Problem wurde in diesem Projekt ein – 2 Skalen

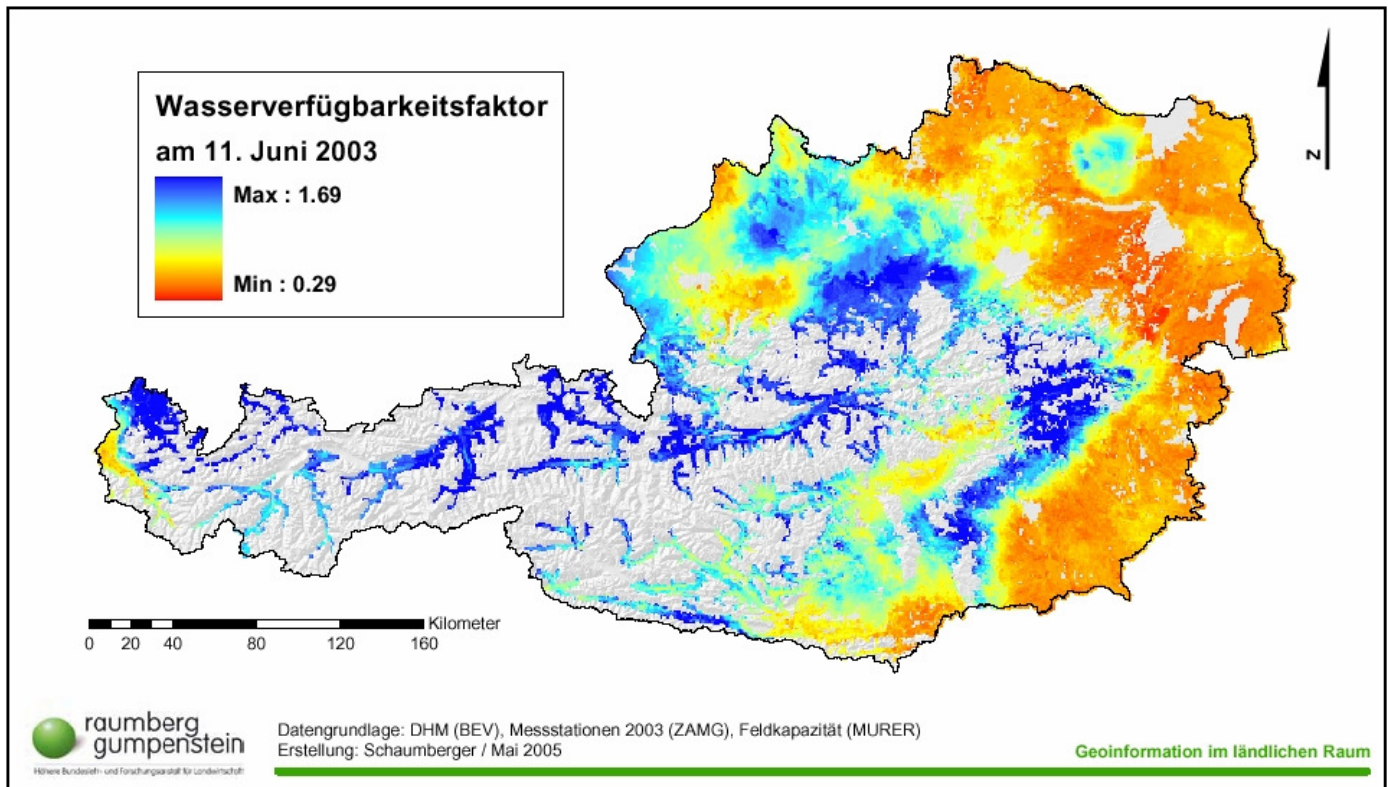
Verfahren angewandt und für jedes meteorologische Element eine optimiertes Interpolationsverfahren ausgearbeitet. Die meteorologischen Daten wurden der Stationsdichte adäquat mit 1 km Auflösung interpoliert. Um die feinskaligen Einflussfaktoren zu berücksichtigen, wurden die Einstrahlungsbedingungen (Abschattung, Hangneigung, Hangausrichtung und Seehöhe) mit Hilfe eines feinaufgelösten Digitalen Höhenmodell (DHM) und eines Solarmodells berechnet. Zusätzlich kann mit dem DHM der effektive Niederschlag (Niederschlag minus Oberflächenabfluss) als Funktion der Hangneigung feinskalig parametrisiert werden. Der BAL-Gumpenstein wurde hierfür vom Lebensministerium ein DHM mit 10 m Auflösung für ganz Österreich zur Verfügung gestellt.

Konkret wurden in diesen Projekt für folgende meteorologische Kenngrößen Interpolationsverfahren auf Tagesbasis entwickelt:

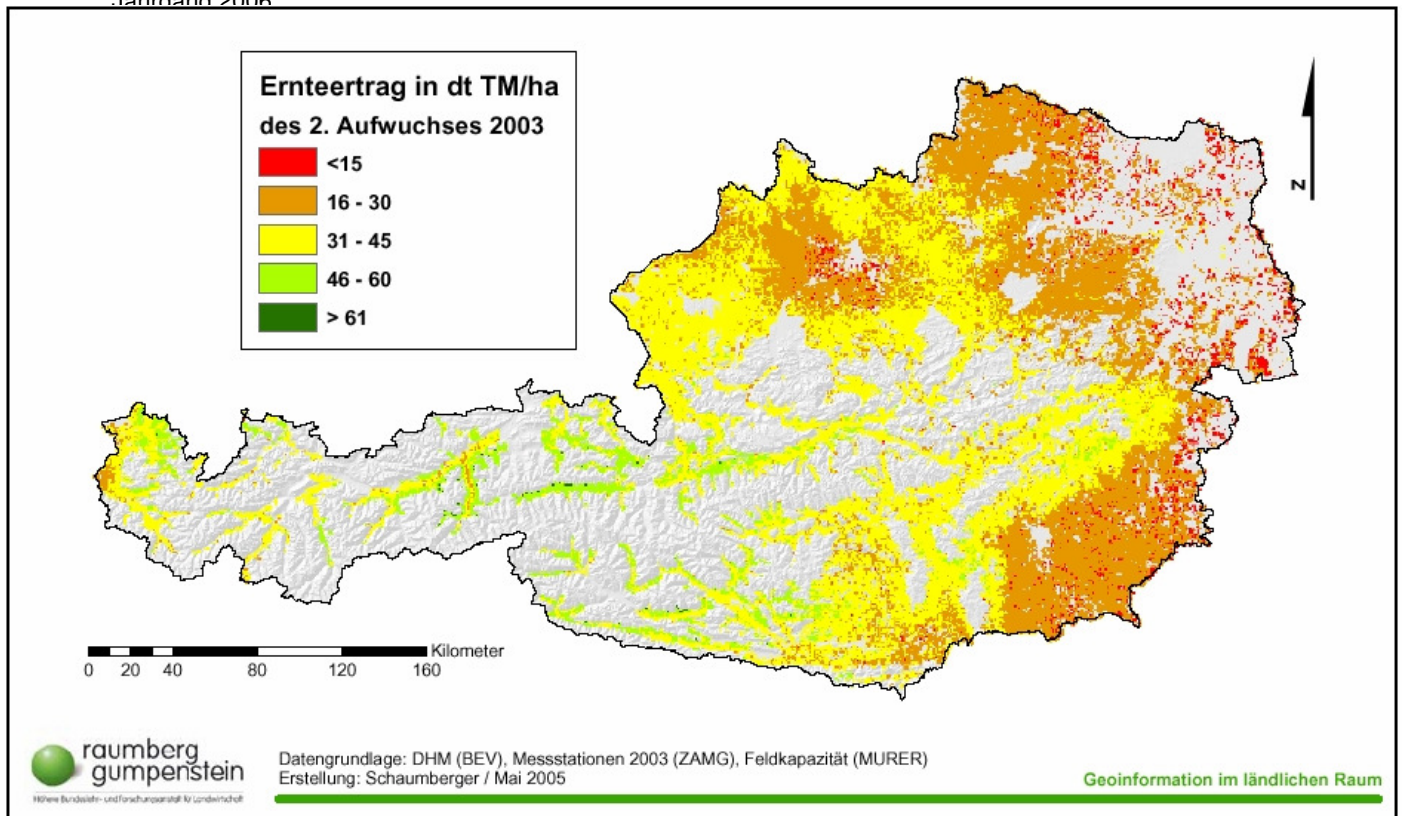
- Globalstrahlung [MJ/m<sup>2</sup>]
- Potenzielle Evapotranspiration [mm]
- Niederschlag [mm]
- Tagesmittel der Lufttemperatur [°C]
- Tagesminimum der Lufttemperatur [°C]

Ausgewählte Detailergebnisse und ausgegebene Parameter aus den GIS-Darstellungen des Trockenschadenmodelles sind exemplarisch für ein Fallbeispiel des trockenen Jahres 2003 in den folgenden Abbildungen 5-6 dargestellt.





**Abb.5:** Ausgegebener relativer Wasserverfügbarkeitsfaktor aus GRAM im Grünland in Österreich am 11. Juni 2003.



**Abb.6:** Ausgegebenener Grünlandtrockenmasseertrag des im Osten Österreichs stark durch Trockenheit beeinträchtigten 2. Schnittes aus GRAM in 2003.

## 5. Zusammenfassung

Der im Rahmen des Projektes durchgeführte Modellvergleich zur Bestimmung der Trockenschäden im österreichischen Grünland und die Modellvalidierung zur Ertragsbestimmung im Grünland führte zu einer Eingrenzung der verwendbaren Modelle und schließlich zur Auswahl eines geeigneten Modelles zur GIS-Implementation für das österreichische Grünland. Die Ergebnisse zeigen dass die Wachstumsmodelle für eine quantitative Abschätzung von Trockenschäden im Grünland bei guter Kalibrierung verwendet werden können, allerdings ist die Datenbasis für eine ausreichende Parametrisierung und Validierung an vielen Standorten noch ungenügend. Dazu sollten die Ertragsdaten weiterer Versuchsjahre von mehreren Standorten herangezogen werden.

Aufgrund der Ergebnisse an den Versuchsstandorten konnte eine geeignete Methodenkombination selektiert werden, die einerseits eine GIS-Implementation unter Nutzung der derzeit vorhandenen räumlichen Datenbasis erlaubt als auch den Ansprüchen einer Trockenschadensversicherung genügen könnte. Diese Version besteht neben einem für das GIS geeignete Aufbereitung klimatologischer Daten (wie räumliche Interpolationsverfahren der Wetterdaten) aus dem adaptierten FAO-Bodenwasserbilanzmodell und des darauf aufbauenden empirisch-statistischen

Ertragsmodelles GRAM. Diese Version kann als erste einfache Stufe eines Entscheidungshilfesystems verwendet werden, das in Zukunft noch wesentliche und vielfältige Verbesserungen bzw. Anwendungspotentiale bieten kann.

## 5. Literatur

- Allen, G.A., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. 'Crop Evapotranspiration – guidelines for Computing Crop Water Requirements' FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 78-86.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Gruszczynski, G., 2004. DESSIS - A simple and cost effective Decision Support System for Irrigation Scheduling and drought management. In: Thysen, I., and Hocevar A. (Eds.), Online Agrometeorological Applications with Decision Support on the Farm Level, (COST Action 718: Meteorological Applications for Agriculture). Dina Research Report, 109, 89-98; DINA Publication, P.O. Box 50, DK-8830 Tjele, Tjele, DK.
- Han, D., P. O'Kiely and Da-Wen Sun, 2003. Application of Water-stress Models to estimate the Herbage Dry Matter Yield of a Permanent Grassland Pasture Sward Regrowth. Biosystems Engineering 84 (1), 101-111.

### Autoren:

#### **Josef Eitzinger - Helga Kromp-Kolb - Herbert Formayer**

Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie, Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien

E-Mail : josef.eitzinger@boku.ac.at

#### **Mirek Trnka**

Mendel Universität Brno, Brunn, Tschechien

#### **Eduard Klaghofer - Elmar Stenitzer - Erwin Murer - Leopold Gassner**

Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt (IKT), Petzenkirchen

#### **Karl Buchgraber - Andreas Schaumberger - Johannes Resch**

Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft (BAL), Gumpenstein