

Ein Trockenschadenmodell für das österreichische Grünland

J. EITZINGER und M. TRNKA

1. Einleitung

Während des Projektes „Bestimmung der Auswirkungen von Trockenperioden im Grünland mittels Wachstumsmodellen und klimatologische Analysen österreichischer Daten“ wurden 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. 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-Implementierung optimale Variante gefunden.

2. FAO-Wasserbilanzmethode

Die FAO-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.

Sie 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 Witterungspara-

meter. Dieses Modell eignet sich gut, (zufriedenstellende Validierung an den Messdaten) um langjährige Bodenwassergerhalte der Versuchstandorte aus den meteorologischen Witterungsdaten zu berechnen und wurde daher in unserem Projekt aufgrund der limitiert verfügbaren räumlichen Daten 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.

Im Folgenden ist die adaptierte FAO-Methode, wie sie bei der GIS-Implementierung für Grünland verwendet wurde, dargestellt :

Stufe 1:

Berechnung der Referenzverdunstung einer definierten kurzen Grasoberfläche ohne Wasserstress :

$$ET_r = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

wobei

ET_o = Grasreferenzverdunstung [mm d⁻¹]

R_n = Strahlungsbilanz an der Oberfläche [MJ m⁻² d⁻¹]

G = Bodenwärmestrom [MJ m⁻² d⁻¹]

T = Lufttemperatur in 2m [°C]

u_2 = Windgeschwindigkeit in 2m [m s⁻¹]

e_s = Sättigungsdampfdruck [kPa]

e_a = aktueller Dampfdruck [kPa]

$e_s - e_a$ = Sättigungsdefizit [kPa]

D = Neigung der Sättigungsdampfdruckkurve [kPa °C⁻¹]

γ = psychometrische Konstante [kPa °C⁻¹]

Stufe 2:

Berechnung der täglichen Wasserbilanz der obersten Bodenschicht (ohne Transpirationsanteil, nur Bodenevaporation)

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - [P_i - RO_i] + E_i + DP_{e,i} \quad (1)$$

wobei

$D_{e,i-1}$ = kumulative Wasserbilanz der Bodenschicht des Vortages

$D_{e,i}$ = kumulative Wasserbilanz der Bodenschicht des aktuellen Tages

P_i = Niederschlag

RO_i = Oberflächenabfluss

E_i = Bodenevaporation

$DP_{e,i}$ = Drainage

und

$$0 \leq D_{e,i} \leq TEW \quad (2)$$

$$TEW = 1000 [FC - 0.5 WP] Z_e \quad (3)$$

$$E_i = K_e Et_o \quad (4)$$

wobei

TEW = Gesamtes Verdunstungspotential der Bodenschicht

REW = Wassergehalt im Bereich ohne Verdunstungsreduktion ($K_r=1$)

FC = Feldkapazität

WP = Welkepunkt

Z_e = Bodenschichtdicke [10cm]

Et_o = Grasreferenzverdunstung

K_e = Koeffizient der Bodenevaporation (approximativ 0,2)

Stufe 3 :

Berechnung der täglichen Wasserbilanz weiterer durunterliegender durchwurzelter Bodenschichten (nur Transpiration, ohne Evaporation)

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - DP_{e,i} - CR_i + ET_{c,i} + DP_i \quad (5)$$

wobei

$D_{r,i-1}$ = kumulative Wasserbilanz der Bodenschicht des Vortages

$D_{r,i}$ = kumulative Wasserbilanz der Bodenschicht des aktuellen Tages

CR_i = Kapillarer Aufstieg

$ET_{c,i}$ = aktuelle Pflanzenverdunstung (Transpiration)

$DP_{e,i}$ = Drainage von der oberen Bodenschicht (Eq. 1)

DP_i = Drainage nach unten

und

Autoren: Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Josef EITZINGER, Institut für Meteorologie, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 WIEN, Miroslav TRNKA, Ph.D., Institute of Landscape Ecology, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno, Zemedelska 1, CZ-61300 BRNO

$$0 \leq De_i \leq TAW \quad (6)$$

$$TAW = 1000 [FC - 0.5 WP] Z_r \quad (7)$$

$$RAW = p TAW \quad (8)$$

$$ET_c = K_s K_{cb} Et_0 \quad (9)$$

$$K_s = [TAW - Dr_i] / [TAW - RAW] \quad (10)$$

wobei

TAW = Gesamtverfügbares Wasser der Bodenschicht

FC = Feldkapazität der Bodenschicht

WP = Welkepunkt der Bodenschicht

Z_r = Bodenschichtdicke (20cm)

RAW = Bodenwassergehaltsbereich ohne Verdunstungseinschränkung

p = Anteil an TAW, bis Wasserstress auftritt

K_s = Wasserstressfaktor, reduziert die Verdunstung

Eine Veranschaulichung des Grundkonzeptes des FAO-Wasserbilanzmodells zur Berechnung der aktuellen Verdunstung ist in den Abbildungen 1-2 nochmals verdeutlicht.

Zur Verifizierung des FAO-Modellansatzes wurden die berechneten Bodenwassergehalte mit den gemessenen Werten an den Messstationen verglichen, wobei

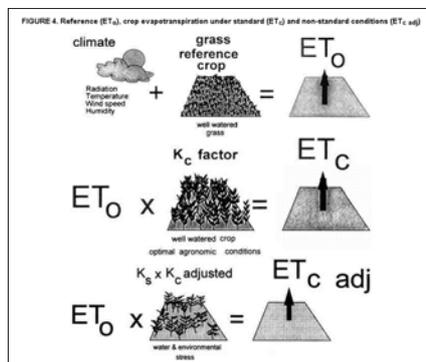


Abbildung 1: Berechnungsschritte zur Ermittlung der aktuellen Verdunstung nach dem FAO-Modell

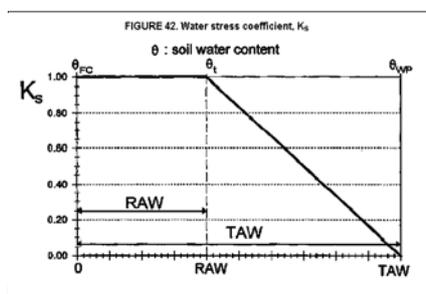


Abbildung 2: Berechnung des K_s-Wasserstressfaktors nach dem FAO-Modell

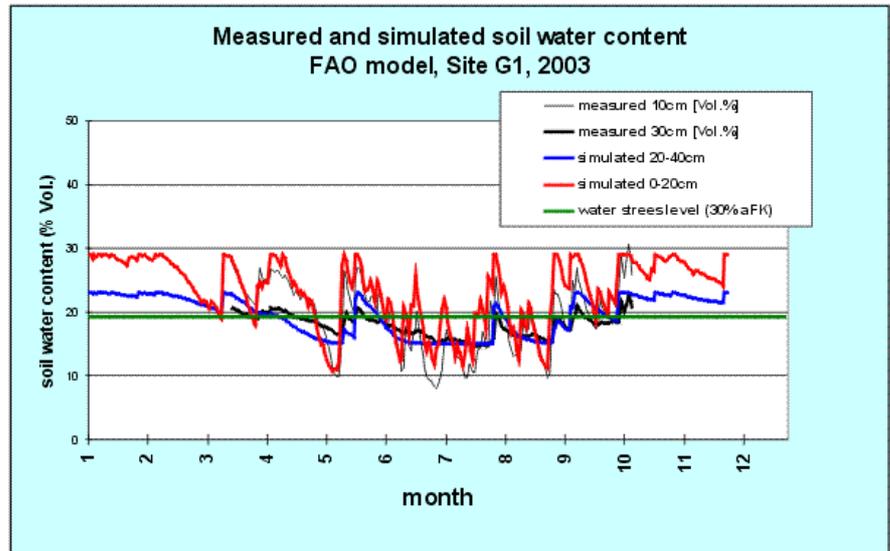


Abbildung 3: Vergleich der aus dem FAO-Modell berechneten mit den gemessenen Bodenwassergehalten in Gumpenstein

das Modell im Vergleich zu den anderen Modellen sehr gute und befriedigende Ergebnisse zeigt (Abbildung 3).

3. Empirisches Ertragsmodell GRAM – Methode und Ergebnisse

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 - schon erfolgreich getesteten - vereinfachten FAO-Bodenwasserbilanzmodell ist.

Aufgrund der vorhandenen Ertragsdaten konnte das Modell zuerst an 2 ausgewählten Versuchsstandorten (Piber und Gumpenstein, anhand mehrjähriger Ertragsdaten) und später an 16 Grünland-

versuchsstandorten (anhand der Ertragsdaten 2002-2004) zufriedenstellend 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.

Das Modell GRAM und seine Standortvarianten werden in einer Tabelle näher beschrieben.

Berechnung der unabhängigen Parameter Te und Ge :

a) Bestimmung des Wasserstress an einem bestimmten Tag

W_L : Langfristiger Wasserstressfaktor ab 1. Mai

$$W_L = 2 * [ETa (\text{Summe seit 1. Mai}) / ETp (\text{Summe seit 1. Mai})]$$

ET_a (tägliche aktuelle Evapotranspiration) und ET_p (tägliche potentielle Transpiration) stehen als Output aus dem FAO-Bodenwasserbilanzmodell zur Verfügung.

W_s : Kurzfristiger Wasserstressfaktor des bestimmten Tages und der vorhergehenden 6 Tage

$$W_s = 2 * [ETa (\text{Summe 7 Tage}) / ETp (\text{Summe 7 Tage})]$$

W_A : Gesamtwasserstress

$$W_A = ((W_L * C)^M + ((1 - C) * W_s)^M)^{1/M}$$

C, M: Empirische Gewichtungsfaktoren für kurz- und langfristigen Wasserstress

Tabelle: 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 :

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

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

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

Legende

TME	Trockenmasseschnittertrag in dt/ha (abhängige Variable)
N	Stickstoffgabe zum jeweiligen Schnitt in kg/ha
D	Dauer der Wuchersperiode bis zum Schnitt in d
Te	Summe der effektiven Temperatur der Wuchersperiode D in °C
Ge	Summe der effektiven Strahlung der Wuchersperiode D in GJ/m²
Cn	Reihenfolge des Schnittes (1, 2,etc)
Sd	Anzahl Tage mit Schneedecke in der Wuchersperiode (1. Schnitt)

b) Wasserstressreduktionsfaktor g_s

$$g_s = e^{\alpha * e^{\beta * W_A}^\gamma}$$

α, β, γ sind empirische Koeffizienten

c) Summe der effektiven Temperatur (Te) und Strahlung (Ge) einer Wuchersperiode

und

$$Te \cong \sum_{i=1}^n T^* g_s$$

wobei

$$Ge \cong \sum R^* g_s$$

n = Anzahl der Tage/Wuchersperiode

T= tägliches Mittel Lufttemperatur über 0 Grad C (°C)

R= tägliche Globalstrahlungssumme (GJ/m²)

3.1 GRAM 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, wobei versucht wurde, die besten räumlich zuordenbaren Gleichungen für die GIS-Implementierung zu finden.

Aufgrund 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 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 (Abbildung 4) werden grundsätzlich die alpine Region und die Flachlandregion unterschieden. Es zeigte sich, dass diese Lösung ungefähr dieselbe Güte aufweist, als die 3-Regionen Lösung, jedoch signifikant besser ist, als z.B. nur eine Gleichung für ganz Österreich zu verwenden. Es wird daher vorgeschlagen, vorerst diese Lösung in das GIS zu implementieren.

Abbildung 5-6 zeigen die Abweichungen der GRAM-Ergebnisse zu den Messwerten aus den Kalibrierungs- und Validierungsdaten der alpinen Region. Abbildung 6 zeigt, dass bei der derzeitigen Version von GRAM und der (begrenzten) zur Verfügung stehenden Datenbasis der Hauptanteil der Ergebnisse unterhalb einer Abweichung von $\pm 35\%$ und ± 900 kg/ha liegt.

Abbildung 7-8 zeigen die Abweichungen der GRAM-Ergebnisse zu den Messwerten aus den Kalibrierungs- und Validierungsdaten der Flachland-Region. Abbildung 8 zeigt, dass bei der derzeitigen Version von GRAM und der (begrenzten) zur Verfügung stehenden Datenbasis der Hauptanteil der Ergebnisse wie in der alpinen Region unterhalb einer Abweichung $\pm 35\%$ und ± 900 kg/ha liegt.

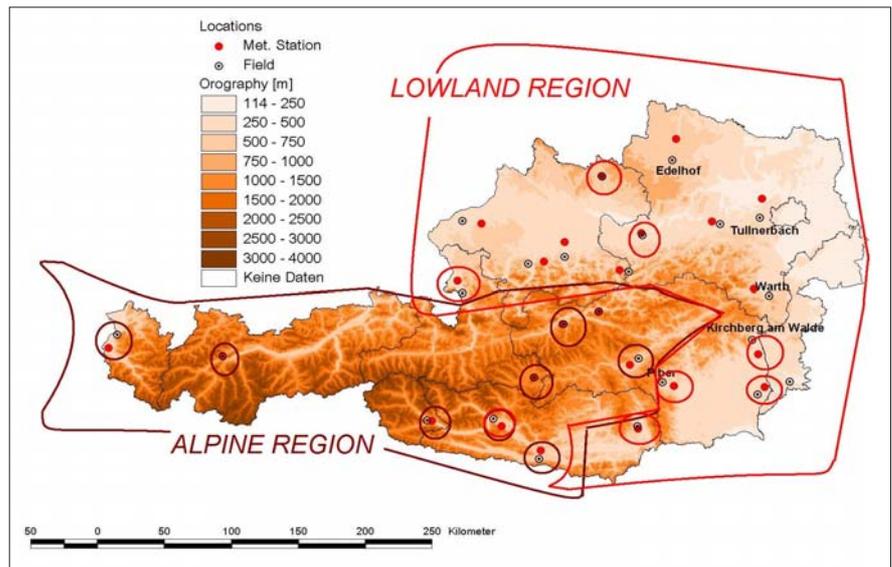


Abbildung 4: Abgrenzung der Regionen der besten Regressionsgleichungen (2 Regionen)

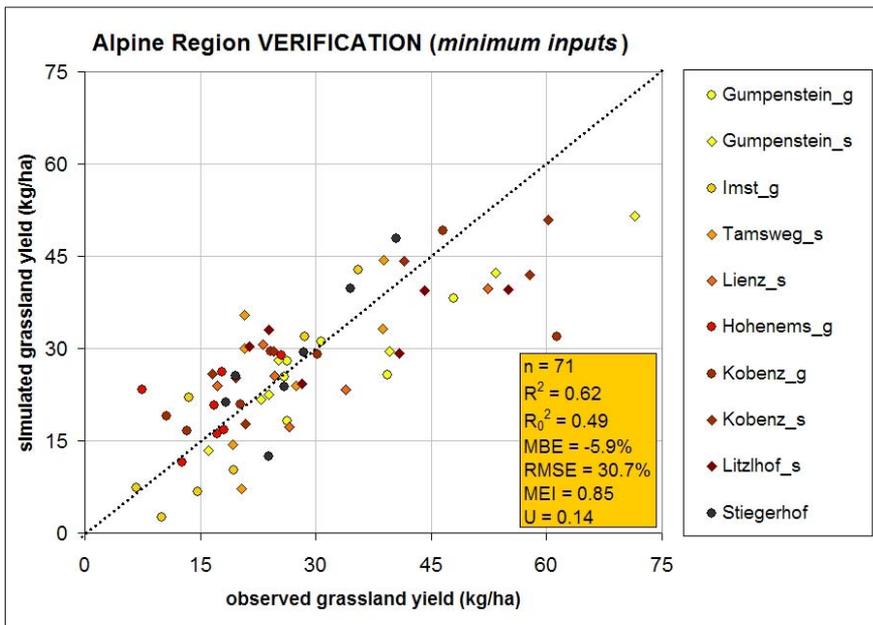


Abbildung 5: Ergebnisse der Modellvalidierung der alpinen Region

In der *Abbildung 9* 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.

4. 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

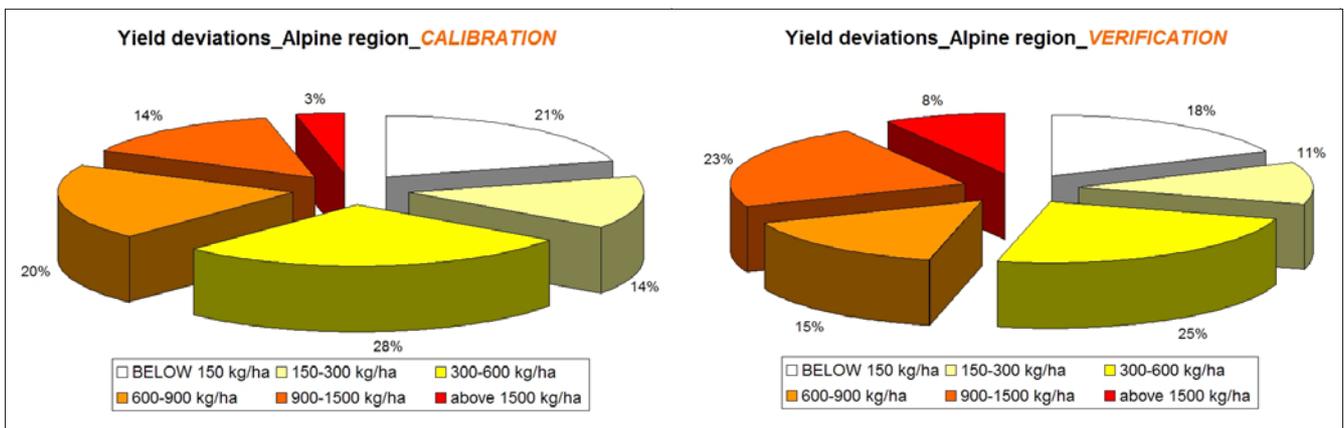


Abbildung 6: Abweichungen der GRAM- Ergebnisse der 2-Regionen Lösung, nach Abweichungsklassen unterteilt, alpine Region (links : Kalibrierung, rechts: Validierung)

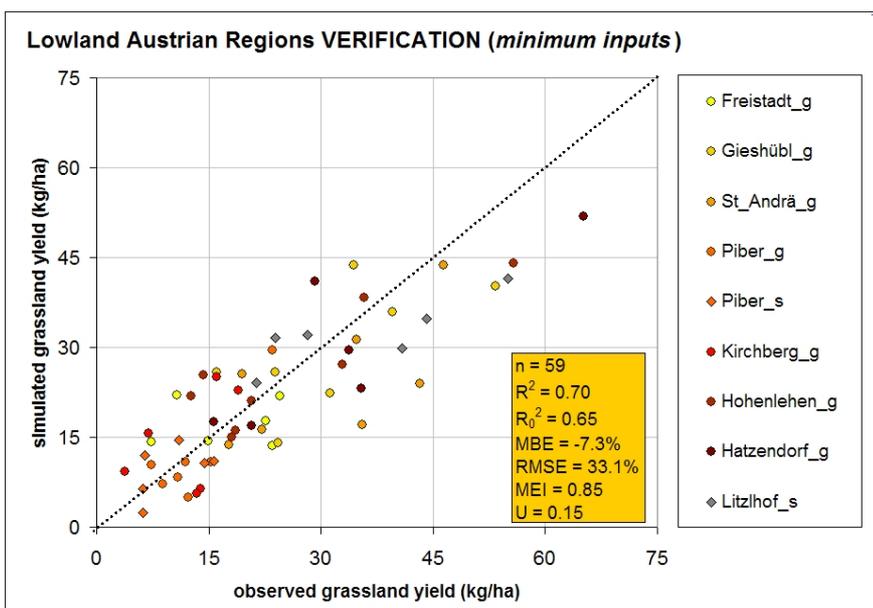


Abbildung 7: Ergebnisse der Modellvalidierung der Flachland Region

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 mehrerer Standorte 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 eine für das GIS geeignete Aufbereitung klimatolo-

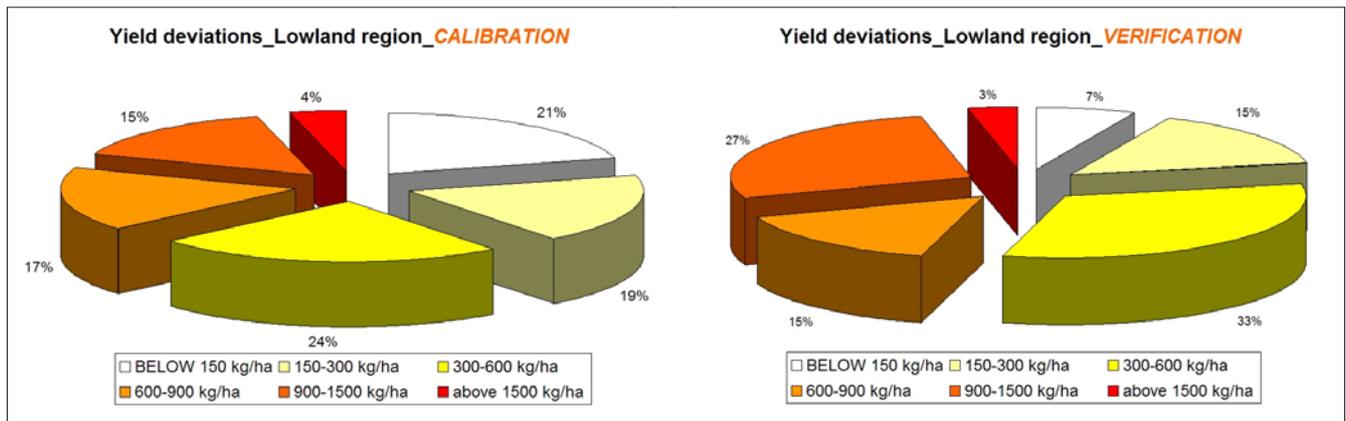


Abbildung 8: Abweichungen der GRAM-Ergebnisse der 2-Regionen-Lösung, nach Abweichungsklassen unterteilt, Flachlandregion.

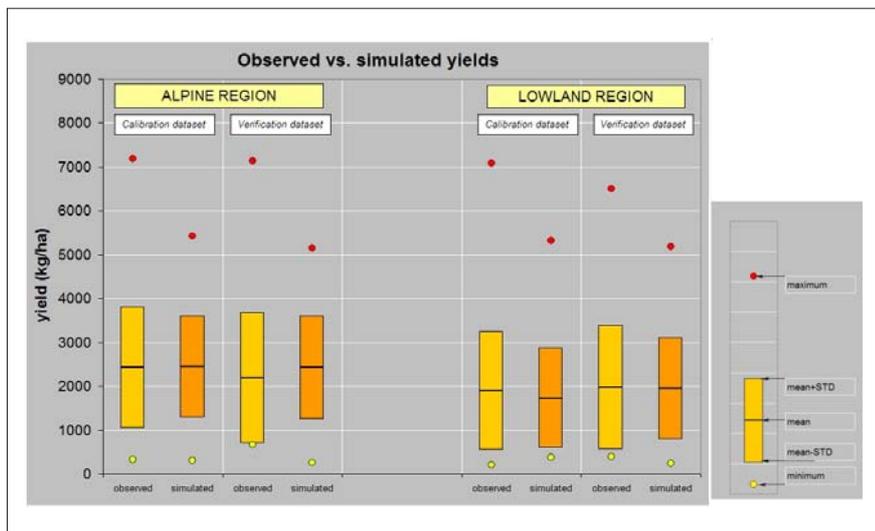


Abbildung 9: Vergleich der simulierten und gemessenen Trockenmasseerträge der 2-Regionen GRAM Gleichungen.

gischer 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 Zu-

kunft 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., I-Rome, 78-86.
- EITZINGER, J., M. TRNKA, G. GRUSZCZYNSKI, 2004: DESSIS - A simple and cost effective Decision Support System for Irrigation Scheduling and drought management. In: THYSEN, I. and A. HOCEVAR, (Eds.), On-line 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.
- 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, 101-111.