

StartClim2004.C

Analyse der Auswirkungen der Trockenheit 2003 in der Landwirtschaft Österreichs – Vergleich verschiedener Methoden

ARC Seibersdorf research



AUSTRIAN RESEARCH CENTERS

Institut für Meteorologie
und
Institut für Vermessung, Fernerkundung
und Landinformation
der Universität für Bodenkultur



Leitung des Teilprojekts StartClim 3b:

PD DI .Dr. Gerhard Soja
ARC Seibersdorf research
Abt. Umweltforschung
A-2444 Seibersdorf
gerhard.soja@arcs.ac.at

Projektmitarbeiter und Autoren des Berichts:

ARC Seibersdorf research, Abt. Umweltforschung :

Gerhard Soja, Anna–Maria Soja

Institut für Meteorologie (IM) – BOKU :

Josef Eitzinger, Grzegorz Gruszczynski, Mirek Trnka, Gerhard Kubu, Herbert Formayer

Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL) – BOKU :

Werner Schneider, Franz Suppan, Tatjana Koukal

**Wir danken allen Eigentümern und Mitarbeitern von den involvierten landwirtschaftlichen
Praxisbetrieben herzlich für Ihre Kooperation
und die unentgeltliche Bereitstellung von Daten !**

Wien, im Jänner 2005

StartClim2004.C

Teilprojekt von StartClim2004

„Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich“

Projektleitung StartClim2004:

Institut für Meteorologie,
Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur

Peter Jordan Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract 5	
C-1 Einleitung	7
C-2 Material und Methodik - Bezirksebene	9
C-2.1 Datengrundlagen und Untersuchungsparameter	9
C-2.1.1 Auswahl der untersuchten Kultur- bzw. Fruchtarten	9
C-2.1.2 Auswahl der Untersuchungsgebiete	9
C-2.1.3 Meteorologische Daten	9
C-2.2 Datenauswertung und Darstellung	10
C-3 Ergebnisse und Diskussion - Bezirksebene	11
C-3.1 Erträge 2003 in den Bezirken relativ zum Vergleichszeitraum 1997 bis 2002 11	
C-3.1.1 Sommergerste	11
C-3.1.2 Weichweizen	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.1.3 Körnermais	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.1.4 Wiese.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.2 Korrelationen zwischen Erträgen und ausgewählten meteorologischen Parametern der Jahre 1997 bis 2003	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.2.1 Dürre	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.2.2 Hitze	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.2.3 Kälte	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.2.4 Dürreentschädigung durch die Hagelversicherung 2003	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.3 Korrelationen zwischen Erträgen und meteorologischen Parametern der Jahre 1869 bis 2003	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.3.1 Sommergerste	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-3.3.2 Weichweizen	21
C-3.3.3 Körnermais	21
C-3.4 Regressions- und neuronale Netzwerkmodelle - Ertrag als Funktion ausgewählter meteorologischer Parameter	22
C-3.4.1 Multiple lineare Regression.....	23
C-3.4.2 Artificial Neural Network-Modelle.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
C-4 Material und Methodik – Feldebene	27

C-4.1	Auswählte Regionen, Schläge und Kulturpflanzen -----	27
C-4.2	Meteorologische Parameter -----	27
C-4.3	Bodenparameter -----	27
C-4.4	Landwirtschaftliche Ertragsdaten -----	27
C-4.5	Fernerkundungsdaten -----	28
C-4.6	Verwendete Methoden zur Bestimmung von Trockenheit -----	31
	<i>C-4.6.1 Diskrete und kumulative Niederschlagsanomalien</i> -----	<i>31</i>
	<i>C-4.6.2 Niederschlags Dezile</i> -----	<i>32</i>
	<i>C-4.6.3 Niederschlagsanomalie Index (RAI)</i> -----	<i>32</i>
	<i>C-4.6.4 Standardized Precipitation Index (SPI)</i> -----	<i>33</i>
	<i>C-4.6.5 Hydrothermale Indizes (T-Index und K-Index)</i> -----	<i>33</i>
	<i>C-4.6.6 Palmer Moisture Anomaly Index (Z-Index) und Palmer Drought Severity Index (PDSI)</i> -----	<i>34</i>
	<i>C-4.6.7 Crop Moisture Index (CMI)</i> -----	<i>35</i>
	<i>C-4.6.8 Crop Specific Drought Index (CSDI)</i> -----	<i>36</i>
	<i>C-4.6.9 FAO Wasserbilanzmodell und abgeleitete Parameter</i> -----	<i>36</i>
	<i>C-4.6.10 DSSAT – Prozessorientierte Pflanzenwachstumsmodelle</i> -----	<i>36</i>
	<i>C-4.6.11 Fernerkundungsindizes</i> -----	<i>37</i>
C-5	Ergebnisse und Diskussion - Feldebene -----	43
C-5.1	Meteorologische Indizes -----	43
C-5.2	Agrarmeteorologische Indizes -----	46
C-5.3	Prozessorientierte Ertragsmodelle (DSSAT) -----	48
C-5.4	Fernerkundungsindizes -----	49
	<i>C-5.4.1 LANDSAT</i> -----	<i>49</i>
	<i>C-5.4.2 MODIS</i> -----	<i>52</i>
C-5.5	Vergleich der Methoden / Indizes -----	53
C-6	Schlussfolgerungen -----	57
	Literaturverzeichnis -----	60
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis -----	62
	Anhang 66	

Kurzfassung

Das Trockenjahr 2003 wies deutlich auf die Verwundbarkeit der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion durch ungünstige Witterungsbedingungen hin. Dieses Projekt vergleicht verschiedene Methoden zur Bestimmung von Trockenheit und deren Ertragsauswirkungen auf 2 verschiedenen räumlichen Skalen (Bezirksebene und Feldebene). Auf Bezirksebene wurde die Abhängigkeit des Ertrages von Gerste, Weizen, Mais und Wiesen von Niederschlagssummen und Temperaturen auf Basis der amtlichen Ertragsdaten aller Bezirke Österreichs 1997-2003 untersucht. Die räumliche Darstellung der Ertragsreduktionen 2003 wies auf eine deutliche Variabilität der Produktivitäts-Einbußen hin. Günstige Niederschlagsverteilungen und geringe Maximaltemperaturen konnten geringe Niederschlagssummen mancherorts kompensieren. Die statistischen Auswertungen zeigten die Existenz kulturart-spezifischer Zeitfenster besonderer Empfindlichkeit auf, zu denen sich lange Trockenheit und hohe Temperaturen negativer auswirkten, als wenn sie zu anderen Zeiten auftraten. Außer Mais waren die untersuchten Pflanzenarten im Allgemeinen gegen hohe Maximaltemperaturen noch empfindlicher als gegen Niederschlagsmangel; diese Sensitivität war besonders in Ostösterreich stark ausgeprägt. Die Ertragseinbußen durch hohe Temperaturen haben demnach im Laufe der letzten 130 Jahre allmählich zugenommen und waren insbesondere in den letzten 15 Jahren deutlich geworden, während die Ertragseinbußen durch Niederschlagsmangel in etwa gleich geblieben war. Es ist zu bedenken dass Wassermangel und hohe Temperaturen oft in Kombination wirken können. Bei der Entwicklung multipler linearer Regressions- und neuronaler Netzwerkmodelle wurden das Potenzial und die Limitierung von Modellen, welche nur auf meteorologischen Daten beruhen, evident. Mit dem Potential agrarmeteorologischer Modelle könnten diese Limitierungen überwunden werden, was die Untersuchungen auf Feldebene belegen. Hier zeigte sich die hohe Variabilität an Trockenstressbedingungen die durch die Bodeneigenschaften verursacht wird. Agrarmeteorologische Trockenheitsindizes und Fernerkundungsindizes zeigten einen guten Zusammenhang zu den Ertragsreduktionen im Jahr 2003, wobei die jeweilige Abstimmung auf die phänologischen Phasen der Kulturpflanzen eine wichtige Rolle spielt. Auch einige meteorologische Indizes zeigten sehr gute Ergebnisse, die Robustheit dieser Methoden sollte jedoch anhand mehrerer Jahre überprüft werden. Eine Kombination von Methoden könnte die feldbezogene Aussagekraft als auch die Zuordnung der Ursachen von Ertragseinbußen (wie die Trennung von Trocken- und Hitze-stress) noch wesentlich verbessern.

Abstract

The drought year 2003 clearly showed the vulnerability of agricultural crop production in Austria through extreme weather events. This project compares various drought estimation methods and their relation to crop yields in two different spatial scales (district scale and field scale). On district scale the dependence of crop yields based on official statistics from 1997-2003 (barley, wheat, maize and grassland) on precipitation sums and temperatures were investigated. The spatial analysis showed a high variability of yield depression in 2003. In some districts low precipitation sums were compensated by an optimal distribution of rain and low temperatures. The statistical analysis showed the existence of crop-specific time-windows with high sensitivity to drought and high temperatures. Except for maize, all crop yields were more sensitive to high temperatures than to low precipitation sums, especially in the eastern part of Austria. The yield depressions caused by high temperatures increased during the past 130 years, most prominently during the past 15 years, whereas the depressions caused by low precipitation didn't vary much. However, it is important to point out that high temperatures and drought stress often are combined. The developed multiple linear regression models and neural networks (ANN) showed the advantages and limitations of models which are based only on meteorological parameters. Through the application of agrometeorological models some of these limitations could be removed, as the results at the field scale confirm. These results disclose a high spatial variability of actual drought stress levels due to the soil conditions. Agrometeorological drought indices and remote sensing

indices showed a good relationship to yield depression in 2003 at the field scale, whereby the adaptation to the most sensitive crop-specific phenological phases is important. Also a few meteorological indices showed good results, however all these methods should be further tested using data of several years to confirm their robustness. A combination of methods could further improve the results at the field scale, and the interpretation of the reasons of yield depressions (especially in distinguishing between the effects of high temperatures and drought stress).

C-1 Einleitung

Allgemeines

Dieses Projekt wurde auf Basis des Werkvertrages im Rahmen des Startprojekts Klimaschutz 2004 (StartClim2004) zwischen dem Institut für Meteorologie, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt an der Universität für Bodenkultur und der ARC Seibersdorf research GmbH, Biogenetics – Umweltforschung, vom 26.5.2004 durchgeführt.

Hintergrund

Die im Jahr 2003 gewonnenen Ergebnisse des Vorgängerprojektes – Extremereignisse – Auswirkungen auf die Landwirtschaft – wiesen auf die Bedeutung einer genaueren zeitlichen und räumlichen Auflösung hin. Diese Ergänzungen konnten durch die im Rahmen der verschiedenen Teilprojekte geschaffene Datenbasis nun im aktuellen Projekt behandelt werden. Die im Sommer 2003 herrschende Trockenheit verursachte z. T. katastrophale Schäden durch Produktivitätsverluste in der Landwirtschaft (BMLFUW, 2004). Dies war der Anlass, sich mit dem Extremereignis Wassermangel näher auseinanderzusetzen und die Erklärbarkeit der Ertragsreduktionen mittels verschiedener Methoden (Indizes, Parameter, Modelle) in unterschiedlichen räumlichen Skalen zu prüfen.

Problemstellung

Die Bewertung und Quantifizierung der Auswirkungen von Trockenheit stellt insbesondere im landwirtschaftlichen Sektor eine Herausforderung dar (Alexandrov et al., 2000; Alexandrov and Eitzinger, 2003; Eitzinger et al., 2001). Trockenschäden an Pflanzenbeständen treten kulturarten-, teilweise sogar sortenspezifisch auf und werden nicht nur durch die meteorologischen Bedingungen, sondern auch durch die Standorts- und Produktionsfaktoren beeinflusst (z.B. Eitzinger et al., 2003), wie z.B. die Bodenwasserspeicherfähigkeit. Die räumliche Auflösung spielt bei der Auswahl der Methoden als auch beim Datenbedarf, sowie für die Unsicherheiten in den Ergebnissen eine wesentliche Rolle. In unserer Studie werden daher in 2 verschiedenen räumliche Skalen – Bezirksebene (österreichweit) und Feldebene (in ausgewählten Regionen) – geeignete Methoden zur Abschätzung von kulturartenspezifischen Trockenschäden untersucht und verglichen.

Beitrag des Projekts zur Problemlösung

Ein Jahr mit im Großteil der österreichischen Produktionsgebiete ausgeprägter Trockenheit wie 2003 erlaubt im Vergleich mit durchschnittlichen Jahren die vergleichenden Analysen der Schlüsselparameter, welche für die Erklärung und Prognose von Trockenstressauswirkungen am wichtigsten sind. Verschiedene Methoden zur Bewertung der Auswirkungen von Trockenheit zeigen unterschiedliche Sensitivität, daher besitzen sie unterschiedliche Aussagekraft bei Anwendung an verschiedenen Standorten und Produktionssystemen hinsichtlich der tatsächlich aufgetretenen Schäden. Zusätzlich spielt bei der Abschätzung von Trockenschäden bei Kulturen die räumliche und zeitliche Skala, an der die verschiedenen Methoden angewendet werden, eine große Rolle – oft in Verbindung mit den unterschiedlich langen Empfindlichkeitsphasen der Pflanzen. Das Wissen um Stärken und Schwächen der einzelnen Bewertungsverfahren (Prognosegenauigkeit vs. Input-Erfordernisse) sowie die Prüfung der Aussagekraft und Kombinierbarkeit von Methoden soll eine Selektion der Verfahren sowie eine bessere Bewertung der spezifischen Auswirkungen, wie z.B. die Ertragsreduktion bei bestimmten Fruchtarten erlauben.

Anwendung der Ergebnisse

Die Empfehlungen über die Anwendung der Bewertungsverfahren liefern für die österreichische Landwirtschaft und für weiterführende Projekte wertvolle Informationen, z.B. zur Abschätzung der ökonomischen Auswirkungen einer durch Klimawandel induzierten Veränderung von durchschnittlichen Klimabedingungen und der Klimavariabilität. Weiters soll Grundlagenwissen für ein künftiges Trockenheitsmonitoringssystem in Österreich geschaffen werden.

C-2 Material und Methodik - Bezirksebene

C-2.1 Datengrundlagen und Untersuchungsparameter

C-2.1.1 Auswahl der untersuchten Kultur- bzw. Fruchtarten

Bei den auszuwählenden Fruchtarten sollte an die Arbeiten des Vorgänger-Projektes angeschlossen werden, daher empfahl sich die Auswahl von Sommergerste als Sommergetreide, Weichweizen als Wintergetreide, und Körnermais als Hackfrucht. Weichweizen wird erst ab dem Jahr 2001 getrennt als Sommer – und Winterweichweizen in der amtlichen Statistik ausgewiesen. Der Anteil des Sommerweichweizens an der gesamten Weichweizenanbaufläche machte in Österreich in den veröffentlichten Jahren 2001 bis 2003 nur durchschnittlich 2% aus. Zusätzlich sollte in die Untersuchungen auch Grünland aufgenommen werden, da die Trockenschäden bei dieser Kultur 2003 besonders gravierend waren. Folgende Grünlandarten wurden ertragsmäßig gesammelt erfasst und werden im Bericht mit "Wiesen" bezeichnet: Egart, ein-, zwei- und mehrmähdige Wiesen, sowie Streuwiesen.

C-2.1.2 Auswahl der Untersuchungsgebiete

Auf Bezirksebene wurde ganz Österreich erfasst werden. Bei den detaillierteren Fragestellungen war in bestimmten Gebieten aber eine Auflösung bis zum einzelnen Schlag möglich.

C-2.1.2.1 Bezirksertragsdaten

Im Vorgängerprojekt StartClim.3b konnte nur auf Bundesländerbasis gearbeitet werden, da im damals untersuchten Zeitraum von 1869 bis 2002 besonders aber ab den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts Bezirksdaten von der amtlichen Statistik nicht erfasst worden waren. Im gegenständlichen Projekt sollte ein Vergleich des Trockenjahres 2003 mit einer kurzen Periode durchschnittlicher Jahre erfolgen. Da bei der Statistik Austria die Erträge auf Bezirksebene ab dem Jahr 1997 lückenlos vorlagen, konnte die Periode 1997-2002 als Vergleichszeitraum zu 2003 verwendet werden. Für einen Vergleich mit den Erträgen der Langzeituntersuchung wurden in Kapitel C-3.3 und C-3.4 Bundesland-ertragsdaten von 1869 bis 2003 des Vorgängerprojektes verwendet.

C-2.1.2.2 Schadensdaten

Um nicht nur die Beziehung zwischen Meteorologie und Absolutertrag, sondern auch direkt zur Schädigung zu erfassen, wurden dankenswerter Weise von der "Österreichischen Hagelversicherung" zur Verfügung gestellte Daten verwendet. Dadurch konnte bei Weichweizen und Körnermais der Prozentsatz der durch Trockenheit geschädigten versicherten Fläche in den einzelnen Bezirken in die Untersuchung miteinbezogen werden.

C-2.1.3 Meteorologische Daten

Für die Auswertung auf Bezirksebene wurden Tagesdaten der Lufttemperatur und des Niederschlags von 95 Stationen der ZAMG, Wien, verwendet, wobei darauf geachtet wurde, dass die meteorologischen Stationen repräsentativ für die landwirtschaftlichen Produktionsgebiete des Bezirkes gelegen sind (siehe Tab. C-Anhang-1). Die Berechnungen im Kapitel C-3.3 basieren auf Monatswerten der Station Wien, Hohe Warte.

C-2.2 Datenauswertung und Darstellung

Für die Darstellung der bundesweiten prozentuellen Abweichung der Erträge im Jahr 2003 von der Kontrollperiode 1997-2002 fand das Programm REGIOGRAPH, Version 8, Verwendung. Statistische Auswertungen erfolgten mittels STATISTICA, Version 6.

Korrelationen zwischen den Erträgen einzelner Bezirke und den respektiven meteorologischen Parametern wurden für den Zeitraum 1997 bis 2003 berechnet (Kapitel C-3.2). Zum Vergleich dieser kurzfristigen mit einer langfristigen Zeitreihe wurden für das Bundesland Niederösterreich die Erträge (Abweichungen vom 10jährigen gleitenden Mittel) von 1869 bis 2003 mit den meteorologischen Monatsdaten der Station Wien, Hohe Warte, mit Korrelation und multipler linearer Regression in Beziehung gesetzt (Kapitel C-3.3). Weiters wurde der Zusammenhang zwischen den Dürreschäden (entschädigte Flächen als Prozentsatz der versicherten Bezirksfläche) und den jeweiligen meteorologischen Parametern im Jahr 2003 untersucht (Kapitel C-3.2.4).

Als Inputs für die multiplen linearen Regressionsmodelle (MLR) sowie die Artificial Neural Network (ANN) - Modelle wurden die am stärksten mit dem Ertrag korrelierten, aber möglichst untereinander nicht korrelierten meteorologischen Faktoren ausgewählt. Bei MLRs war es möglich, die Bedeutung der einzelnen Faktoren für den Ertrag mittels standardisierter Regressionskoeffizienten zu schätzen (Kapitel C-3.4.1). Die ANNs wurden als Multilayer Perceptrons (3 layers) konfiguriert und die Netzwerkmodelle mit der höchsten Erklärungskraft für weitere Analysen verwendet. Dazu gehörten u.a. die Untersuchung der Residuen und der Ursachen von Ausreißern (Kapitel C-3.4.2).

C-3 Ergebnisse und Diskussion - Bezirksebene

C-3.1 Erträge 2003 in den Bezirken relativ zum Vergleichszeitraum 1997 bis 2002

C-3.1.1 Sommergerste

Sommergerste wird nur im Norden und Osten des Bundesgebietes in nennenswertem Umfang angebaut. Ertragsbeeinträchtigungen im Jahr 2003 gegenüber dem Durchschnitt der vorhergehenden 6 Jahre waren vor allem in den Bezirken Eisenstadt, Neusiedl/See, Baden, Oberwart, Fürstenfeld, sowie Völkermarkt, Rohrbach und Eferding festzustellen, was in Abb. C-1 durch die Orange- bzw. Rotfärbung dieser Bezirke kenntlich gemacht ist. In vereinzelt Bezirken waren jedoch sogar Erträge über dem früheren Durchschnitt zu beobachten: Hollabrunn, Korneuburg, Oberpullendorf, Weiz (Grünfärbung in Abb. C-1).

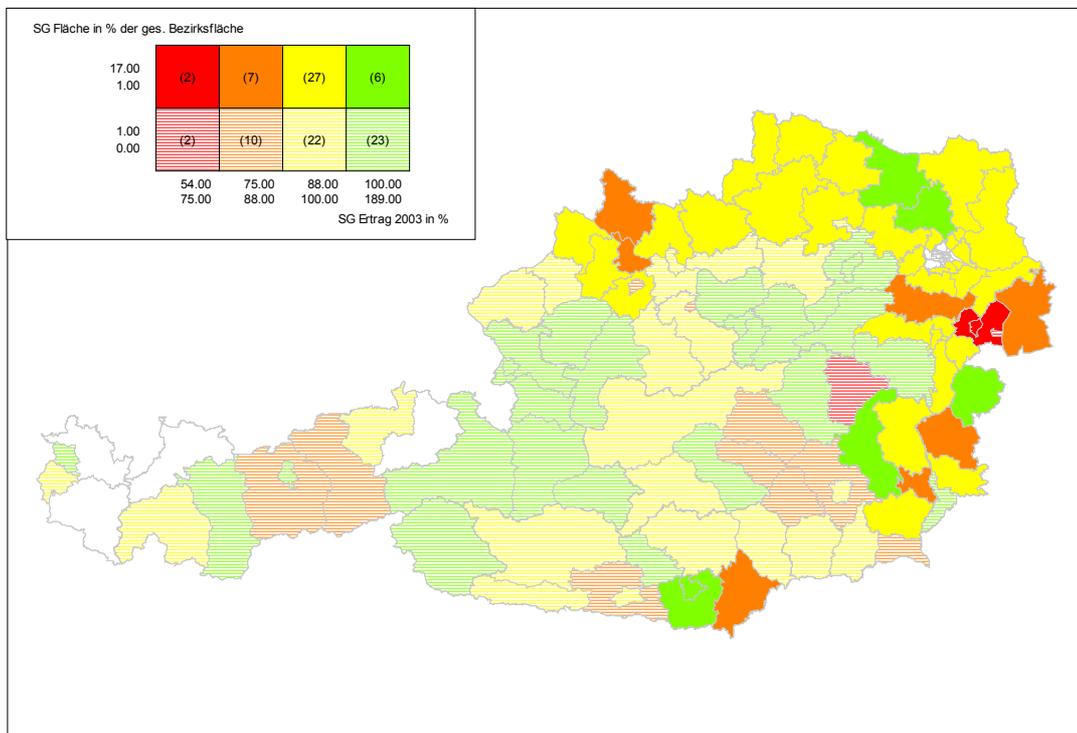


Abb. C-1: Erträge von Sommergerste in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.

Grün: Erträge 2003 über dem Durchschnitt 1997-2002, gelb, orange, rot: Erträge 2003 leicht, mittel bzw. deutlich unter dem Durchschnitt 1997-2002. Schraffierungen weisen auf eine Anbaufläche von Sommergerste < 1% der Bezirksfläche hin.

In Tab. C-1 wird anhand der meteorologischen Parameter dargestellt, warum Bezirke im Jahr 2003 entgegen dem allgemeinen Trend im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren höhere Sommergerstenerträge erbrachten als die umliegenden Nachbarbezirke.

Tab. C-1: Bezirke, deren Sommergersten-Erträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken: Relativerträge sowie meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren.

Alle Werte 2003 in % vom Durchschnitt 1997 bis 2002; T. ohne Nd.(>5mm) = Tage ohne Niederschlag, der pro Tag mehr als 5 mm ausmachte; mi. Tmax = durchschnittliche Maximaltemperatur; max.Tmax = absolute Maximaltemperatur, min. Tmin = absolute Minimaltemperatur. 1./2 = erste Monatshälfte; 2./2 = zweite Monatshälfte.

Bezirk	%Ertrag	%T. ohne Nd.(>5mm)			
Hollabrunn	103.0	100.7			
MW-Nachbarbezirke	92.7	104.5			
p-Wert (t-Test)	0.057	0.011			
Bezirk	%Ertrag	%durchschnittl. Tmax Mai			
Korneuburg	101.9	108.5			
MW-Nachbarbezirke	93.0	107.0			
p-Wert (t-Test)	0.032	0.027			
Bezirk	%Ertrag	%Tage ohne Nd. (>5mm)	%max.Tmax 1./2 Juni	%max.Tmax 2./2 Juni	%min.Tmin März
Oberpullendorf	102.5	98.8	117.7	101.3	164.7
MW-Nachbarbezirke	90.5	101.5	120.0	105.4	152.7
p-Wert (t-Test)	0.279	0.017	0.030	0.009	0.000

Am Beispiel von Tab. C-1 ist zu erkennen, dass in den ertragsmäßig weniger beeinträchtigten Bezirken sich einzelne meteorologische Parameter signifikant unterschieden. Hollabrunn und Oberpullendorf hatten im Verlauf der Vegetationsperiode 2003 weniger Tage ohne Niederschlag als die umgebenden Bezirke mit weniger Ertrag – der Trockenstress wirkte sich dort also nicht so gravierend wie in der Umgebung aus, da offenbar eher vereinzelte Niederschlagsereignisse temporäre Stresserholung ermöglicht hatten. Korneuburg wies im Mai höhere Temperaturen auf, während in Oberpullendorf die Juni-temperaturen nicht so extrem hoch waren wie in den Nachbarbezirken. Aus den Ergebnissen von StartClim 1 ist bekannt, dass Hitzestress in der Kornfüllungsphase im Juni nachteiligere Wirkung als zu anderen Entwicklungsphasen ausübt. Im März wirkten sich höhere Minimaltemperaturen günstig aus.

C-3.1.2 Weichweizen

Der Weichweizenanbau hat im Osten Österreichs und im oberösterreichischen Zentralraum größte Bedeutung. In der folgenden Abb. C-3 ist zu sehen, dass der Weizenertrag im Jahr 2003 im Gebiet um Eisenstadt und Mödling besonders beeinträchtigt wurde (ca. -30% gegenüber 1997 bis 2002). Auch lagen die Erträge in den Bezirken Neusiedl/See, Güssing, Oberwart, Baden, Bruck/Leitha, Gänserndorf, Horn, Krems Land, Mistelbach, Waidhofen/Thaya, Braunau, Rohrbach und Leibnitz um 20 bis 25% unter dem Durchschnitt des Vergleichszeitraums. Einzelne Bezirke verhielten sich jedoch entgegen dem allgemeinen Trend: Jennersdorf, Oberpullendorf, Vöcklabruck, Fürstenfeld und Hartberg. Um zu prüfen, ob diese Unterschiede auch durch meteorologische Gegebenheiten hervorgerufen worden sein könnten, wurden verschiedene meteorologische Einflussgrößen mit den ertraglich stärker beeinträchtigten Nachbarbezirken verglichen (siehe Tab. C-2). In Oberpullendorf regnete es im Vergleich zu den Vorjahren bzw. den Nachbarbezirken in der zweiten Junihälfte mehr, in Vöcklabruck gab es von Jänner bis März deutlich höhere Niederschläge und es dauerte die durchschnittliche regenfreie Periode (Regen >0.1mm) signifikant kürzer. In Oberpullendorf und Hartberg war die absolute Maximaltemperatur im Juni bezogen auf den Vergleichszeitraum und die umgebenden Bezirke geringer. In Oberpullendorf wurden im Vergleich mit den Vorjahren und Nachbarbezirken nicht so tiefe Temperaturen im März erreicht. Vöcklabruck zeichnete sich im

gesamten Winter und Frühling durch höhere absolute und durchschnittliche Minimaltemperaturen gegenüber den Vorjahren bzw. den Nachbarbezirken aus.

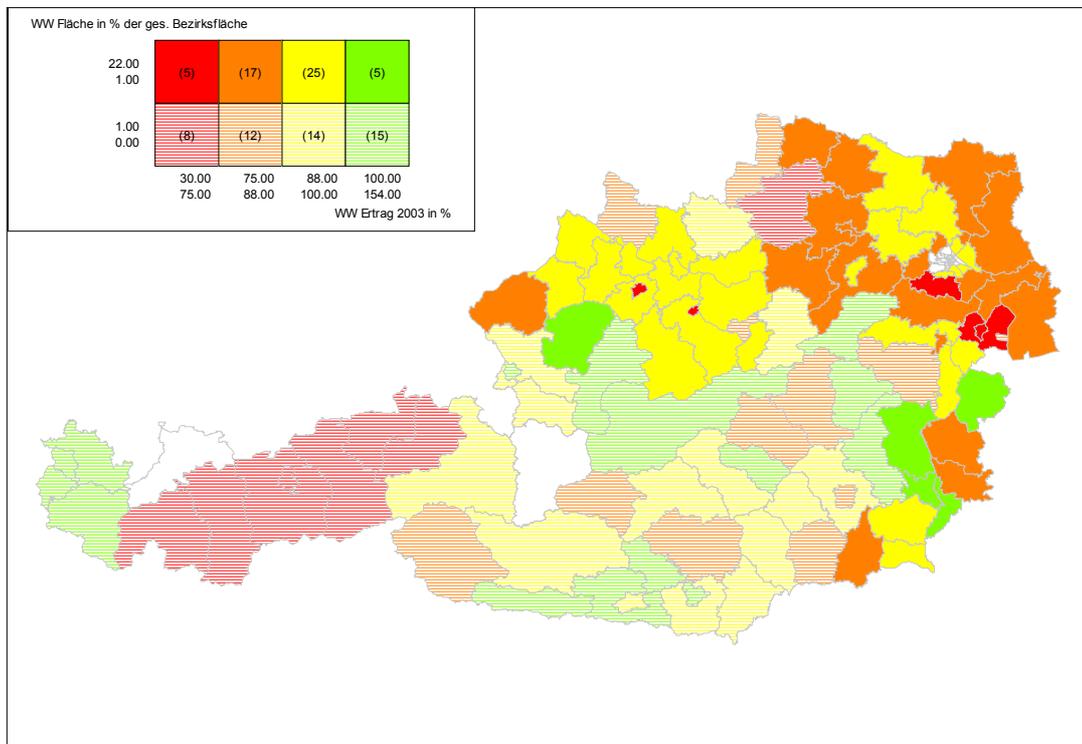


Abb. C-2: Erträge von Winterweizen in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.

Weitere Erklärungen siehe Abb. C-1.

Tab. C-2: Bezirke, deren Weichweizen - Erträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken sowie meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren.

(Abkürzungen siehe auch Tab. C-1. mi. D. ndfr. Per. (>1mm) = mittlere Dauer der Periode ohne Niederschlag während der Vegetationszeit, der pro Tag mehr als 1 mm ausmachte; Nd = Niederschlagssumme; Nd. 2./2 Juni = Niederschlagssumme für die zweite Junihälfte; mi. Tmin = mittlere Minimaltemperatur.

Bezirk	%Ertrag	%Nd 2./2 Juni	%max. Tmax 1./2 Juni	%max. Tmax 2./2 Juni	%min. Tmin März
Oberpullendorf	102.8	132.5	117.7	101.3	164.7
MW-Nachbarbezirke	91.4	52.2	120.0	105.4	152.7
p-Wert (t-Test)	0.358	0.001	0.030	0.009	0.000
Bezirk	%Ertrag	%max. Tmax 2./2 Juni			
Hartberg	102.4	103.7			
MW-Nachbarbezirke	89.4	105.5			
p-Wert (t-Test)	0.342	0.035			
Bezirk	%Ertrag	%mi. D. ndfr. Per.	%Nd Jän-Mär	%mittl. Tmin Dez	%min. Tmin Dez
Vöcklabruck	109.4	118.1	99.4	125.0	90.1
MW-Nachbarbezirke	91.8	134.9	65.7	71.8	68.2

p-Wert (t-Test)	0.055	0.044	0.008	0.019	0.001
-----------------	-------	-------	-------	-------	-------

C-3.1.3 Körnermais

Körnermais wird vor allem im Osten und Süden sowie im oberösterreichischen Zentralraum in höheren Flächenprozenten angebaut (Abb. C-3). Im Vergleich zu den anderen Getreidearten zeigte Mais auf einer größeren Fläche Ertragsreduktionen um mehr als 25%: Eisenstadt Umgebung, Korneuburg, Krems Land, Mistelbach. In folgenden Bezirken waren im Jahr 2003 Ertragseinbußen gegenüber 1997 bis 2002 von 15 bis 20% zu verzeichnen: Güssing, Jennersdorf, Neusiedl/See, St. Pölten, Tulln, Fürstenfeld, Radkersburg.

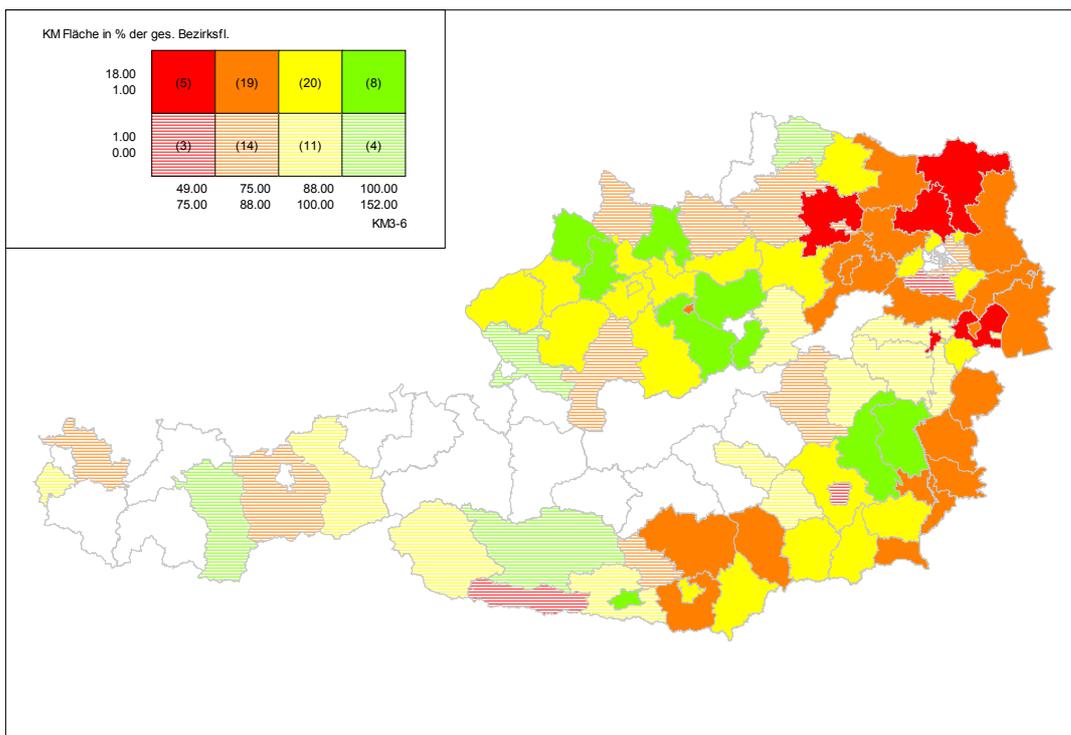


Abb. C-3: Erträge von Körnermais in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.

Weitere Erklärungen siehe Abb. C-1.

Aber auch bei Körnermais fanden sich einige nicht beeinträchtigte Bezirke: Amstetten, Grieskirchen, Schärding, Steyr Land, Urfahr Umgebung, Hartberg, Weiz und Villach Stadt. Tab. C-3 zeigt die Zusammenhänge mit den meteorologischen Parametern: im Bezirk Hartberg bzw. Weiz fiel mehr Niederschlag in der 1. Julihälfte 2003 im Vergleich zu den Jahren 1997 bis 2002 und den mehr beeinträchtigten Nachbarbezirken, zusätzlich waren die absoluten Maximaltemperaturen im Juni bzw. Mai höher. Im Bezirk Amstetten waren es nur Niederschlagsparameter, die ihn von den umliegenden Gebieten unterschieden, z.B. mehr Niederschlag insgesamt oder kürzere Dauer der niederschlagsfreien Zeit. In Steyr Land waren höhere Temperaturen im Juli und Mai, sowie weniger lange Perioden ohne Regen günstig. Urfahr Umgebung zeichnete sich besonders durch höhere Maximaltemperaturen während des gesamten Sommers aus.

Tab. C-3: Bezirke, deren Körnermais - Erträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken sowie meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren.

Abkürzungen siehe auch Legende der Tab. C-1 und C-2.

Bezirk	%Ertrag	%Nd.1./2 Juli	%max.Tmax 2./2Jun	
Hartberg	102.9	49.4	103.1	
MW-Nachbarbezirke	83.9	27.4	105.9	
p-Wert (t-Test)	0.027	0.001	0.017	
Bezirk	%Ertrag	%Nd.1./2 Juli	%max.Tmax Mai	
Weiz	100.4	47.6	108.0	
MW-Nachbarbezirke	88.4	23.2	104.9	
p-Wert (t-Test)	0.076	0.032	0.040	
Bezirk	%Ertrag	%mi.D.ndfr.Per.(>0.1mm)	%mittl.Tmax1./2 Juli	%min.Tmin Mai
Steyr Land	105.7	92.3	101.0	101.7
MW-Nachbarbezirke	97.7	100.3	100.7	45.5
p-Wert (t-Test)	0.073	0.039	0.048	0.003
Bezirk	%Ertrag	%max.D.ndfr.Per.(>5mm)	%mittl. Tmax Mai	%mittl.Tmax Sep
Urfahr U.	107.1	68.6	111.1	120.0
MW-Nachbarbezirke	95.4	120.4	106.1	109.1
p-Wert (t-Test)	0.013	0.013	0.000	0.010
Bezirk	%Ertrag	%max.D.ndfr.Per.(>5mm)	%Ndgesamt	%Nd.1./2 Juni
Amstetten	104.7	59.6	81.6	219.9
MW-Nachbarbezirke	93.6	119.4	73.6	103.8
p-Wert (t-Test)	0.182	0.038	0.004	0.044

C-3.1.4 Wiese

Wiesen gibt es im ganzen Bundesgebiet in nennenswertem Umfang (außer im Nordosten). Grünlanderträge waren in weit höherem Ausmaß als die Getreidearten von der Trockenstress-Situation 2003 betroffen (Abb. C-4). In 45 Bezirken war der Ertrag gegenüber dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 um mehr als 25% erniedrigt, während eine so starke Reduktion bei Sommergerste nur in 4 Bezirken, bei Weichweizen in 13 und bei Körnermais in 8 aufgetreten war. In weiteren 33 Bezirken fiel der Wiesen-Ertrag 2003 um mehr als 12% ab. Doch auch hier gab es Bezirke, in denen im Durchschnitt keine Produktivitäts-Beeinträchtigungen festzustellen waren: Steyr Land, Hallein, St. Johann/Pongau, Zell/See, Liezen, Müzzzuschlag, Reutte, Schwaz, Bregenz, Dornbirn. Der Großteil dieser Bezirke liegt entlang des Alpenhauptkammes, und haben signifikante Grünlandproduktionsflächen in größeren Seehöhen. Weitere Erklärungsmöglichkeiten zeigt Tab. C-4. Im Bezirk Steyr Land, Müzzzuschlag und Reutte war die Niederschlagssumme Anfang April 2003 höher als in den vorhergehenden Jahren und umliegenden Bezirken, Müzzzuschlag wies über die gesamte Vegetationsperiode 2003 weniger Tage ohne Niederschlag auf. In Steyr Land war die absolute Minimaltemperatur im Mai höher. In Bregenz und Dornbirn waren die Temperaturmaxima im Mai geringer und die Dauer der Periode ohne Regen, der sich auf über 5 mm summierte, kürzer.

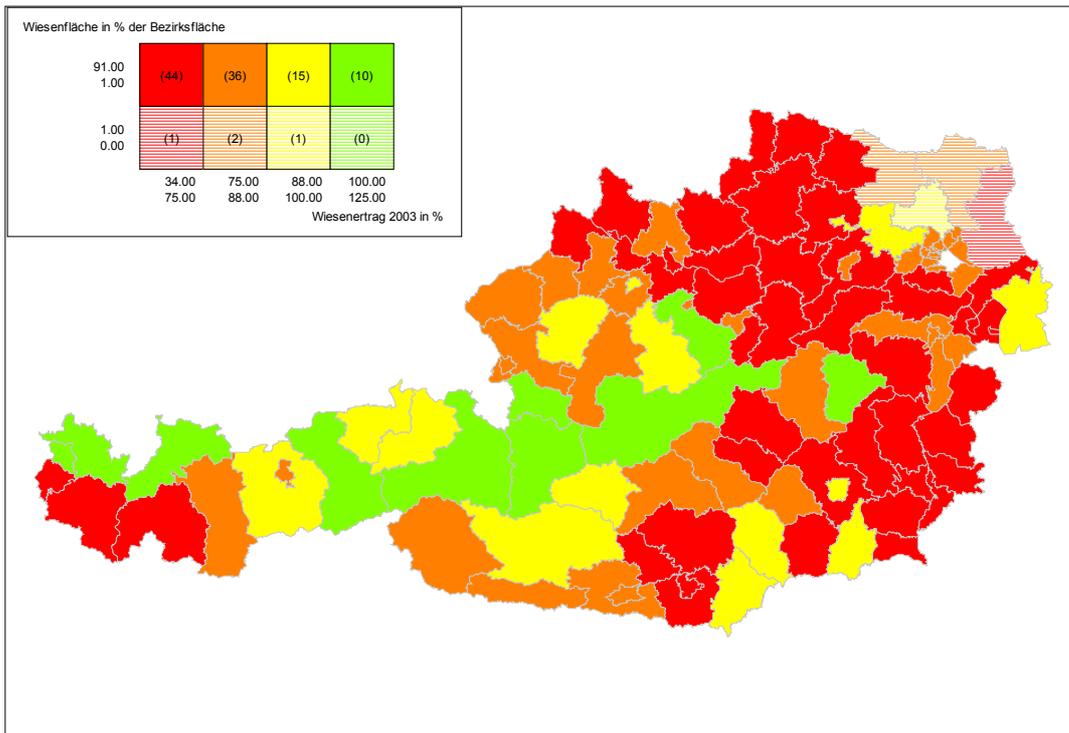


Abb. C-4: Erträge von Wiesen in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.

Weitere Erklärungen siehe Abb. C-1.

Tab. C-4: Bezirke, deren Wiesenerträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken sowie meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren.

Abkürzungen siehe auch Legende der Tab. C-1 und C-2

Bezirk	%Ertrag	%Nd. 1./2 April	%min Tmin Mai
Steyr Land	124.1		66.9
MW-Nachbarbezirke	80.7		31.7
p-Wert (t-Test)	0.078		0.029

Bezirk	%Ertrag	%T. ohne Nd. (>0.1mm)	%Nd.1./2 April
Mürzzuschlag	102.3		102.3
MW-Nachbarbezirke	69.9		108.9
p-Wert (t-Test)	0.062		0.016

Bezirk	%Ertrag	%Nd. 1./2 April
Reutte	110.5	78.2
MW-Nachbarbezirke	65.8	42.7
p-Wert (t-Test)	0.250	0.030

Bezirk	%Ertrag	%mi.D. nd.fr.Per.>5mm	%mi. Tmax Mai
Dornbirn	110.0		113.5
Bregenz	118.1		116.7
MW-Nachbarbezirke	64.9		139.2
p-Wert (t-Test)	0.039		0.011

C-3.2 Korrelationen zwischen Erträgen und ausgewählten meteorologischen Parametern der Jahre 1997 bis 2003¹

C-3.2.1 *Trockenheit*

C-3.2.1.1 Sommergerste

Eine Steigerung der Niederschlagsmenge über die gesamte Vegetationsperiode stand in diesem Zeitraum im östlichen Anbaugebiet mit steigenden Erträgen in Zusammenhang, im Süden oder Westen, wo die verfügbare Niederschlagsmenge seltener ein produktionslimitierender Faktor ist, zeigte sich jedoch eine gegenläufige Tendenz (Burgenland (B) $r=0.51$ ($p<0.001$), Steiermark (St) $r=-0.28$ ($p=0.002$)). Bei Betrachtung einzelner Monatshälften waren die Niederschläge vor allem in der 2. Hälfte April (positive signifikante Korrelationen in fast allen Bundesländern, z.B. B, Oberösterreich (OÖ) $r=0.41$ ($p<0.001$), gesamtes Bundesgebiet (Ö) $r=0.20$ ($p<0.001$)) und 2.Hälfte Juni (Ö $r=0.15$ ($p<0.001$)) am deutlichsten ertragswirksam. Tage ohne Niederschlag waren beinahe unabhängig vom Schwellwert, der als Niederschlag zählte; im Osten negativ und im Süden und Westen positiv mit dem Ertrag korreliert (B $r=$ ca. -0.40 ($p=0.001$), St $r=$ ca. 0.20 ($p=0.029$)). Die Korrelation der Dauer der niederschlagsfreien Periode nahm hingegen vom Schwellwert >0.1 mm auf >10 mm Niederschlag im Osten von ca. -0.20 ($p=0.003$) auf ca. -0.35 ($p<0.001$) zu, im Süden und Westen fand sich allenfalls eine positive Beziehung bei Perioden ohne Niederschlag von >0.1 oder >1 mm.

C-3.2.1.2 Weichweizen

Ähnlich wie bei der Sommergerste zeigte sich eine positive Korrelation zwischen der gesamten Niederschlagsmenge der Vegetationsperiode und dem Ertrag im Osten (B $r=0.38$ ($p=0.002$)), jedoch das Gegenteil im Süden (St $r=-0.22$ ($p=0.016$)) und Westen, wo auch für Weizen ein Niederschlagsdefizit seltener ertragslimitierend ist. Im Westen ergaben sich aber für die Niederschläge von Jänner bis März positive Korrelationen (Salzburg (S) $r=0.56$ ($p<0.001$)). Auch beim Weichweizen war wie bei der Sommergerste der Niederschlag in der 2. Aprilhälfte am ehesten positiv mit dem Ertrag korreliert (Ö $r=0.20$ ($p<0.001$)), dann die 1. (B) oder 2. Junihälfte (Niederösterreich (NÖ), OÖ, S), jedoch zeigten zu diesem Zeitpunkt St und Kärnten (K) negative Korrelationen. Die Zahl der Tage ohne Niederschlag war im Osten mit einem r von ca. -0.40 ($p<0.001$) negativ, im Süden mit r von ca. 0.20 ($p=0.003$) positiv korreliert. Im B wirkten erst höhere Niederschlagsmengen (>5 mm), in NÖ, K und St auch schon geringere Mengen (<5 mm). Bei der Dauer der niederschlagsfreien Periode war eine Auswirkung nur im Osten (eher wirksam nur Mengen ab 5 mm) und im Westen gegeben.

C-3.2.1.3 Körnermais

Für das gesamte Bundesgebiet galt hier für den Untersuchungszeitraum, dass steigende Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode höhere Erträge brachten. Am meisten ausgeprägt war dieser Zusammenhang im Osten (NÖ $r=0.40$ ($p<0.001$), Ö $r=0.27$ ($p<0.001$)). Im Osten waren die Niederschläge Ende Juni und August wichtig, im Süden jene Anfang Juli und August. Von großer Bedeutung für die Ertragsbildung war die Zahl der Tage mit Niederschlag, besonders jene ab 5 mm Regen (Ö $r=0.27$ ($p<0.001$)). Die Dauer der niederschlagsfreien Periode hatte den größten Einfluss bei einem Schwellwert >5 mm, was für Osten und Süden gleichermaßen gültig war.

¹ In diesem Kapitel werden ausschließlich signifikante Korrelationen ($p\leq 0.05$) besprochen

C-3.2.1.4 Wiese

Auch bei den Wiesenerträgen zeigte sich der Zusammenhang zwischen steigenden Niederschlagsmengen und höheren Erträgen. Die Korrelation nahm aber von Osten (B $r=0.65$ ($p<0.001$), NÖ $r=0.56$ ($p<0.001$)) nach Süden (St $r=0.41$ ($p<0.001$)) und Westen (T $r=0.33$ ($p=0.008$)) ab. Als wichtigste Niederschlagsperiode stellte sich im gesamten Gebiet die zweite Junihälfte und im Osten auch die 2. Aprilhälfte heraus. Sehr wichtig war weiters im gesamten Bundesgebiet die Zahl der Tage ohne Niederschlag, die durchschnittliche Dauer der Perioden ohne Niederschlag wirkte sich vor allem im Osten und bei höheren Niederschlagsmengen (Dürre wurde erst durch Niederschlag ab 5 mm unterbrochen) signifikant aus.

C-3.2.2 Hitze

C-3.2.2.1 Sommergerste

Im Osten zeigte sich eine negative Korrelation zwischen Maximaltemperatur und Ertrag der Sommergerste (z.B. NÖ durchschnittliche Tmax Mai $r=-0.32$ ($p<0.001$)), im Süden und Westen bestand keine oder eine positive Korrelation (z.B. St gleicher Zeitraum und Parameter $r=0.27$ ($p=0.003$)). Das durchschnittliche Temperaturmaximum war im Osten besonders in der ersten Maihälfte wichtig, beim absoluten Temperaturmaximum wirkte sich vor allem die zweite Junihälfte (z.B. NÖ abs. Tmax Mai $r=-0.16$ ($p=0.023$), 1. Junihälfte $r=-0.30$ ($p<0.001$), 2. Junihälfte $r=-0.49$ ($p<0.001$)) ertragswirksam aus. Letzteres war bei dieser Getreideart wichtiger als das mittlere Temperaturmaximum. Im Durchschnitt spielte die Maximaltemperatur bei Sommergerste eine größere Rolle als die untersuchten Niederschlagsparameter.

C-3.2.2.2 Weichweizen

Auch beim Winterweizen fiel mit steigenden Maximaltemperaturen ab Mai der Ertrag im Osten (durchschnittliche Tmax Mai $r=-0.37$ ($p<0.001$)) ab, im Rest des Bundesgebietes (z.B. Süden Mai $r=0.29$ ($p<0.001$)) war eher eine positive Korrelation festzustellen. Bei den mittleren Maximaltemperaturen waren die erste Maihälfte und besonders die erste Junihälfte wichtig, bei den absoluten Maximaltemperaturen war die zweite Junihälfte bedeutender. Für die Winterweizenpflanzen erwiesen sich insgesamt aber die mittleren Maximaltemperaturen wichtiger als die absoluten (z.B. Osten Mai siehe oben, Juni $r=-0.44$ ($p<0.001$), bzw. Mai $r=-0.17$ ($p=0.008$) Juni $r=-0.41$ ($p<0.001$)). Im Durchschnitt spielten die Maximaltemperaturen eine geringere Rolle als der Niederschlag, außer im Osten (B, NÖ, W), wo die Temperatur-Korrelation ausgeprägter war (maximales r beim Niederschlag für dieses Gebiet $=0.46$ ($p<0.001$), bei der Maximaltemperatur $=-0.58$ ($p<0.001$)).

C-3.2.2.3 Körnermais

Im östlichen Anbaugebiet war eindeutig eine negative Korrelation zwischen Ertragsbildung von Körnermais und Maximaltemperaturen festzustellen (z.B. durchschnittliche Tmax Mai $r=-0.33$ ($p<0.001$)), im übrigen Bundesgebiet fiel die Reaktion nicht einheitlich aus. Von den einzelnen Monaten war besonders der August wichtig (z.B. im Osten durchschnittliche Tmax August $r=-0.43$ ($p<0.001$)): die erste Hälfte August war im Süden, die zweite Hälfte im Osten bedeutender. In der ersten Septemberhälfte zeigte sich in beinahe allen Gebieten ein positiver Einfluss steigender Temperaturen auf den Ertrag. Bei Körnermais waren die mittleren wichtiger als die absoluten Maximaltemperaturen (z.B. im Osten abs. Tmax August $r=-0.27$ ($p<0.001$)). Im Durchschnitt spielten die Maximaltemperaturen eine ähnlich bedeutende Rolle für die Ertragsbildung wie die Niederschlagssummen; die Zahl der niederschlagsfreien Tage war für B, NÖ und OÖ ähnlich

mit dem Ertrag korreliert (r für diese Region = -0.47 ($p < 0.001$)) wie das Temperaturmaximum $r = -0.43$ ($p < 0.001$).

C-3.2.2.4 Wiese

Beim Grünland zeigten sich im Osten und Süden abnehmende Erträge bei steigender Maximaltemperatur, im Westen war kaum eine signifikante Korrelation zwischen diesen Parametern gegeben. Die mittlere Maximaltemperatur war in der ersten Maihälfte ($r = -0.45$) und vor allem in der zweiten Augushälfte ($r = -0.55$) wichtig; die absolute Maximaltemperatur war primär im August ($r = -0.49$, alle ($p < 0.001$)) von Bedeutung. Wie bei Weichweizen und Körnermais war auch beim Grünland die mittlere Maximaltemperatur wichtiger als die absolute. Bei Betrachtung der einzelnen Monate insgesamt war die Maximaltemperatur von etwas größerer Bedeutung für die Ertragsbildung als die Niederschlagssummen (Ö $r = -0.27$ gegenüber $r = 0.22$ ($p < 0.001$)), Auch die Zahl der niederschlagsfreien Tage war weniger ausschlaggebend für den Ertrag als die Maximaltemperaturen.

C-3.2.3 Kälte

C-3.2.3.1 Sommergerste

Beim mittleren Temperaturminimum für März waren im Süden tiefere Temperaturen mit geringeren Sommergerstenerträgen ($r = 0.22$ ($p < 0.001$)) verbunden, im Osten und Westen ergab sich keine signifikante Korrelation. Das absolute Temperaturminimum zeigte für den Süden ($r = 0.17$ ($p = 0.011$)) und Osten die gleiche Beziehung.

C-3.2.3.2 Weichweizen

Im Süden galt für November ($r = 0.17$ ($p = 0.011$)), Februar ($r = 0.36$ ($p < 0.001$)) und März ($r = 0.20$ ($p = 0.003$)), im Osten eher nur für Jänner ($r = 0.22$ ($p < 0.001$)), dass mit höheren mittleren und absoluten Temperaturminima höhere Erträge verbunden waren. Für Weichweizen war Kälte im Durchschnitt weniger bedeutend als Hitze oder Niederschlag.

C-3.2.3.3 Körnermais

Im Süden zeigte sich nur beim absoluten Temperaturminimum im Mai eine positive Korrelation zum Körnermaisertrag ($r = 0.15$ $p = 0.033$). Im Osten war im Mai für den Beobachtungszeitraum eine negative Korrelation zum Ertrag zu verzeichnen, wobei das durchschnittliche Temperaturmaximum ($r = -0.24$ $p < 0.001$) negativere Korrelationswerte als das absolute aufwies ($r = -0.15$ $p = 0.021$).

C-3.2.3.4 Wiese

Eine signifikant negative Korrelation mit dem Wiesenertrag war im Osten und Süden in den Monaten November, Dezember, Februar (nur absolutes Temperaturminimum), März (nur mittleres Temperaturminimum) und Mai festzustellen, im Westen gab es keine signifikante Beziehung. In Kärnten und Oberösterreich zeigten sich für die Monate April und Mai positive Korrelationen zum Ertrag.

C-3.2.4 Dürreentschädigung durch die Hagelversicherung 2003

C-3.2.4.1 Weichweizen

Der Zusammenhang der entschädigten Flächen mit der Niederschlagssumme über die gesamte Vegetationsperiode 2003 war vor allem in den Bezirken NÖs ($r = -0.47$ $p = 0.032$)

und OÖs ($r=-0.53$ $p=0.042$) signifikant, nicht aber mit der Niederschlagssumme Jänner bis März. In NÖ und OÖ zeigte sich mit den Niederschlägen in der 2. Junihälfte ($r=-0.36$ $p=0.023$) und in der 1. Julihälfte ($r=-0.44$ $p=0.004$) eine signifikant negative Korrelation für das Gesamtgebiet schon ab Mitte Mai ($r=-0.31$ $p=0.006$) bis Mitte Juli ($r=-0.33$ $p=0.003$). Die Zahl der Tage ohne Niederschlag war bei allen Schwellenwerten ab 0.1 mm signifikant positiv ($r=0.28$ bis 0.43 , $p=0.014$ bis $p<0.001$) mit den Entschädigungsfällen korreliert. Daneben war auch die Dauer der niederschlagsfreien Periode von Bedeutung: im Osten war der größte Einfluss schon bei 1 mm Niederschlag ($r=0.36$ $p=0.023$) gegeben, für das Gesamtgebiet war eine Regenmenge von über 10 mm ($r=0.23$ $p=0.044$) erforderlich, um eine Trockenperiode zu unterbrechen. Die mittlere Maximaltemperatur war im Osten von Mai bis Juli signifikant positiv mit der entschädigten Fläche korreliert ($r=0.37$ bis 0.39), die absolute Maximaltemperatur war nur im Osten im Juni ($r=0.45$) und Juli ($r=0.58$) von signifikanter Bedeutung.

C-3.2.4.2 Körnermais

In den Bezirken NÖs erwiesen sich 2003 bezüglich des Niederschlags die zweite Hälfte Mai ($r=-0.63$ $p=0.003$) und Juli ($r=-0.52$ $p=0.019$), in der St die zweite Hälfte Mai ($r=-0.59$ $p=0.026$) und Juni ($r=-0.61$ $p=0.021$) als kritisch. Für das Beenden der niederschlagsfreien Periode waren in der St Niederschlagsmengen von über 10 mm bedeutsam ($r=0.69$ $p=0.006$). Die Zahl der Tage ohne Niederschlag (ab 1 mm) war mit den Ertragsausfällen in der St korreliert ($r=0.55$ $p=0.042$). Dort zeigten die mittlere Maximaltemperatur (Mai bis September, max. $r=0.73$ für 2.Augusthälfte) und die absolute Maximaltemperatur (Juli und August, max. $r=0.74$ für 1.Augusthälfte) signifikante Beziehungen zum Ernteausfall, aber auch in OÖ (Juni $r=0.62$ $p=0.014$) und NÖ (August $r=0.47$ $p=0.037$) zeigten sich Auswirkungen.

C-3.3 Korrelationen zwischen Erträgen und meteorologischen Parametern der Jahre 1869 bis 2003

C-3.3.1 Sommergerste

Bei Sommergerste waren auch in der Langzeiterhebung (Tab. C-5) Temperaturmaxima für die Ertragsbildung häufig bedeutender als Niederschlagssummen, vor allem in der letzten Zeit gewannen sie im Mai und Juni an Einfluss. Die Minimaltemperatur im März war in den letzten Zeitabschnitten nicht mehr einschränkend für den Ertrag.

Bei gleichzeitiger Betrachtung des Niederschlag- und des Temperatureinflusses anhand einer multiplen Regression ergaben sich für die standardisierten Regressionskoeffizienten dieser Einflussgrößen ähnliche, jedoch noch akzentuiertere Aussagen.

Tab. C-5: Korrelationen zwischen Sommergerstenertrag (Abweichung vom zehnjährigen Mittel) und meteorologischen Parametern auf Monatswertbasis für Niederösterreich

Legende siehe Tab. C-1, rote Zahlen bei signifikanter Korrelation, $p<0.05$

Zeitraum	Nd summe				mi. Tmax		mi. Tmin
	März	April	Mai	Juni	Mai	Juni	März
1869-1899	-0.43	-0.17	-0.16	-0.02	-0.12	-0.20	0.18
1900-1929	-0.03	-0.16	-0.04	0.01	-0.38	-0.34	0.26
1930-1959	-0.15	-0.03	0.10	-0.43	-0.43	-0.10	0.46
1960-1989	-0.35	-0.25	0.04	-0.47	-0.13	-0.30	0.14
1974-2003	-0.31	0.21	0.23	-0.23	-0.39	-0.41	0.06
1975-1989	-0.39	0.06	0.30	-0.59	-0.24	-0.30	-0.04
1990-2003	-0.18	0.47	0.21	0.41	-0.57	-0.57	0.12

C-3.3.2 Weichweizen

Der Niederschlag zeigte nur für den gesamten Betrachtungszeitraum (1869-2003) eine signifikante Beziehung zum Weichweizenertrag: zu viel Niederschlag im Juni erniedrigte den Ertrag. Die Maximaltemperatur nahm über die Jahre an Bedeutung zu (siehe Tab. C-6): erst im letzten Abschnitt wirkte sich Hitze im Mai und Juni negativ auf Weichweizen aus (bei Teilung des letzten Zeitraums in zwei Abschnitte lässt sich feststellen, dass sogar nur der zweite Teil ab den Neunzigerjahren signifikant negative Korrelationen mit der Maximaltemperatur aufweist). Die Minimaltemperaturen von Februar und März zeigten nur bei Betrachtung des Gesamtzeitraums eine negative Beziehung zum Ertrag, in jüngeren Zeitabschnitten waren sie nicht mehr bedeutend.

Bei Prüfung des Sachverhalts mittels multipler Regression (simultane Betrachtung von Niederschlag und Temperatur), zeigte sich ein ähnliches Bild: Niederschläge waren außer im Juni nicht ertragswirksam, die Bedeutung der Juniniederschläge nahm gegenüber den Temperaturen ab, Maximaltemperaturen waren im Mai um die Mitte des 20. Jahrhunderts und ab den 90er Jahren relevant, Juni-Maximaltemperaturen gewannen ab den 60er Jahren zunehmend an Bedeutung.

Tab. C-6: Korrelationen zwischen Weichweizenertrag (Abweichung vom zehnjährigen Mittel) und meteorologischen Parametern auf Monatswertbasis für Niederösterreich.

Legende siehe Tab. C-1 und C-5

Zeit- raum	Nd.summe				mittlere Tmax		mittlere Minimaltemperatur				
	Jän.- März	April	Mai	Juni	Mai	Juni	Nov.	Dez.	Jän.	Feb.	März
1869- 1899	0.00	-0.09	0.04	-0.13	-0.20	-0.02	-0.07	0.04	-0.17	0.22	0.13
1900- 1929	-0.48	-0.06	-0.04	-0.15	-0.31	-0.15	0.15	0.02	-0.21	0.16	0.41
1930- 1959	0.11	0.11	-0.08	-0.38	-0.38	0.00	0.01	0.28	0.28	0.27	0.37
1960- 1989	-0.28	-0.29	0.03	-0.40	-0.06	-0.31	-0.01	0.25	0.27	0.24	0.09
1974- 2003	-0.17	0.12	0.18	-0.26	-0.44	-0.48	0.06	0.04	0.31	0.17	0.00
1975- 1989	-0.20	0.04	0.34	-0.59	-0.27	-0.38	0.35	0.11	0.27	0.02	-0.25
1990- 2003	-0.07	0.37	0.12	0.30	-0.62	-0.62	-0.16	0.01	0.29	0.21	0.29

C-3.3.3 Körnermais

Bei Körnermais musste man auf Grund von Trockenheit im Juli und August immer wieder Ertragsseinbußen verzeichnen, in den letzten 30 Jahren waren mangelnde Juliniederschläge besonders ausgeprägt. Die Maximaltemperatur im Juli hatte um die Jahrhundertwende negative Ertragsauswirkungen, erst in letzter Zeit war Hitze bei dieser Wärme liebenden Kultur wieder wichtiger: im jüngsten Zeitraum ab den 70er Jahre spielte nur August eine Rolle, bei Teilung gewinnen ab den 90er Jahren sowohl Juli als auch August an Bedeutung. Die Minimaltemperatur spielte weder im April noch im Mai eine Rolle (Tab. C-7).

Analysen mittels multipler Regression zeigten ebenso, dass Niederschläge und Temperaturen im Mai, Juni und September keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag nahmen. Die Bedeutung des Juli-Niederschlags bzw. der August-Maximaltemperatur in den letzten 30 Jahren war jedoch bei dieser Art der Analyse nur marginal signifikant ($p=0.061$ bzw. 0.064 für die standardisierten Regressionskoeffizienten).

Tab. C-7: Korrelationen zwischen Körnermaisertrag (Abweichung vom zehnjährigen Mittel) und meteorologischen Parametern auf Monatswertbasis für Niederösterreich.Legende siehe Tab. C-1, rote Zahlen bei signifikanter Korrelation, $p < 0.05$

Zeit- raum	Nd.summe					mittlere Maximaltemperatur					mi. Tmin	
	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	April	Mai
1869-1899	-0.11	0.12	-0.09	-0.17	0.20	0.22	0.23	-0.57	0.25	-0.03	-0.17	0.11
1900-1929	0.03	0.18	0.70	0.13	-0.25	-0.16	-0.14	-0.58	-0.36	0.09	0.02	-0.07
1930-1959	0.04	-0.18	0.02	0.54	0.10	-0.01	0.19	-0.20	-0.35	-0.04	-0.37	-0.07
1960-1989	-0.11	0.07	0.36	0.30	-0.07	0.35	0.04	-0.14	-0.28	0.22	-0.05	0.34
1974-2003	-0.04	0.05	0.41	0.34	0.02	0.21	-0.02	-0.27	-0.40	0.00	0.02	0.25
1975-1989	-0.29	0.18	0.47	0.33	-0.40	0.37	-0.04	-0.08	0.06	0.33	-0.12	0.45
1990-2003	0.07	-0.06	0.43	0.29	0.14	0.08	-0.14	-0.56	-0.66	-0.23	0.13	0.12

C-3.4 Regressions- und neuronale Netzwerkmodelle - Ertrag als Funktion ausgewählter meteorologischer Parameter

Bei dieser Untersuchungsteil wurde die bisherige vorwiegend einfaktorische Betrachtungsweise zur mehrfaktorischen ausgeweitet. Die Auswahl der Inputs beruhte auf der Erklärungskraft der einzelnen Parameter bei unifaktorieller Auswertung. Bei Betrachtung der Modell-Ergebnisse in Tab. C-8 fällt auf, dass zumeist die Bestimmtheitsmaße der neuronalen Netzwerkmodelle (ANN) etwas höher waren als bei den multiplen Regressionsmodellen. Die beste Annäherung der Modelle gelang im B und in Nordost-Ö bei SG und für Süd-Ö und Ost-Ö bei Wiese mittels ANN. Bei WW und besonders KM ließ sich nur ein geringer Teil der Gesamtvariation mit diesen Modellen erklären. Für den Langzeitraum waren außer beim ANN für NÖ auf Grund der geringeren Zahl der Datensätze (viele Jahre, aber nur eine Region) die Bestimmtheitsmaße gering.

Tab. C-8: Vergleich der Ergebnisse von multipler linearer Regression und ANN – Modellen

Legende: 1997 – 2003: Ertragswerte pro Bezirk in Beziehung gesetzt mit bezirksspezifischen Niederschlags- und Temperatur-Tagesparametern; 1869-2003: Ertragsabweichung vom 5 jährigen Mittel für Bundesland, Region oder Bezirk in Beziehung gesetzt mit Niederschlags- und Temperatur-Monatsparametern für die Station Wien, Hohe Warte; n bezeichnet die Größe der dem Modell zugrunde liegenden Datenbasis; Inputs: Zahl der ausgewählten meteorologischen Parameter (siehe Tab. C-9 bis C-12); N = Nord; M = Mittel.

Fruchtart	Region	n	Mult. Regression		ANN ²	
			R ²	Inputs	R ²	Inputs
SG 1997-2003	B	63	0.501	6	0.581	6
	NÖ+B(N+M)	245	0.328	6	0.566	4
	NÖ+B(N+M)+OÖ	378	0.274	6	0.267	6
SG1869-2003	NÖ	125	0.267	6	0.537	6

² Das angegebene Bestimmtheitsmaß der neuronalen Netzwerkmodelle bezieht sich ausschließlich auf Testdaten, die beim Training des Modells nicht einbezogen worden sind.

	Wiener Becken	114	0.290	6	0.167	4
	Bezirk Gänserndorf	76	0.213	6	0.135	6
WW 1997-2003	B	63	0.420	7	0.787	6
	NÖ+B(N+M)	245	0.224	7	0.255	3
	NÖ+B(N+M)+OÖ	378	0.333	8	0.394	4
KM 1997-2003	NÖ+B(N+M)	232	0.232	9	0.354	4
	NÖ+B(N+M)+OÖ	365	0.261	9	0.379	5
Wiese 1997-2003	NÖ+B(N+M)	238	0.454	11	0.378	5
	NÖ+B(N+M)+OÖ	371	0.469	10	0.576	7
	B(Süd)+K+St	224	0.393	10	0.560	10
	S+T+V	133	0.261	7	0.160	3

C-3.4.1 *Multiple lineare Regression*

C-3.4.1.1 Sommergerste

In Tab. C-9 wird gezeigt, in welchem Ausmaß die nach der Bedeutung ihrer Korrelation ausgewählten meteorologischen Faktoren Einfluss auf die Ertragsbildung bei Sommergerste im Zeitraum 1997 bis 2003 genommen haben. Für alle Bereiche galt, dass Sommergerste empfindlicher auf Hitze reagierte als auf Trockenheit.

Tab. C-9: Standardisierte Regressionskoeffizienten der bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Sommergerstenertrages verwendeten meteorologischen Parameter.

Legende siehe Tab. C-1 und C-2; - bedeutet, dass dieser Faktor nicht im Modell verwendet wurde, für rote Zahlen gilt $p < 0.05$.

Parameter / Region	B	NÖ+B(N+M)	NÖ+B(N+M)+OÖ
Nd. gesamte Vegetationsperiode	0.106	0.145	0.061
Nd. 2.Hälfte April	-0.016	-	0.219
Nd. 1.Hälfte Juni	0.151	0.020	-
Nd. 2.Hälfte Juni	-	0.022	0.118
mi. D. der nd.fr. Per. >10mm	-0.148	-0.122	-0.083
mi. Temp.max. 1.Hälfte Mai	-	0.175	0.229
mi. Temp.max. 1.Hälfte Juni	-0.309	-	-
max. Temp.max. 2.Hälfte Juni	-0.268	-0.570	-0.473

C-3.4.1.2 Weichweizen

Tab. C-10 fasst die Modell-Ergebnisse von Weichweizen zusammen: Im Modell für B oder den Nordosten waren Niederschlag und Maximaltemperaturen insgesamt etwa gleich wichtig für die Ertragsbildung, obwohl höhere Regressionskoeffizienten häufiger bei den Temperaturen auftraten. Beim umfassenderen Modell für den Osten mit OÖ hatten die Niederschlagsparameter insgesamt erheblich mehr Gewicht als die Temperaturwerte.

Tab. C-10: Standardisierte Regressionskoeffizienten der bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Weichweizenertrages verwendeten meteorologischen Parameter.

Legende siehe Tab. C-1, C-2 und C-9.

Parameter / Region	B	NÖ+B(N+M)	NÖ+B(N+M)+OÖ
Nd. gesamte Vegetationsperiode	-0.074	0.095	0.137
Nd. Jänner bis März	-	-	-0.292
Nd. 2.Hälfte April	-	0.092	0.225
Nd. 1.Hälfte Juni	0.310	-	-
Tage ohne Nd. >10/>0.1/>1 mm	-0.056	-0.070	-0.663
max. D. der nd.fr. Per. >10/>5/>5mm	0.243	-0.044	-0.234
mi. D. der nd.fr. Per. >10/>0.1/>5mm	-0.180	0.011	0.199
mi. Temp.max. 1.Hälfte Mai	-0.385	0.030	-
mi. Temp.max. 2.Hälfte Juni	-	-	0.314
max. Temp.max. 1.Hälfte Mai	-0.164	-	-
max. Temp.max. 2.Hälfte Juni	-	-0.357	-0.214

C-3.4.1.3 Körnermais

Im Nordosten war die Hitze sehr entscheidend bei der Ertragsbildung von Körnermais, bei Einbeziehung von Oberösterreich spielte auch die Zahl niederschlagsfreier Tage oder die Dauer der Trockenperiode eine bedeutende Rolle (siehe Tab. C-11).

Tab. C-11: Standardisierte Regressionskoeffizienten der bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Körnermaisertrages verwendeten meteorologischen Parameter.

Legende siehe Tab. C-1, C-2 und C-9.

Region	NÖ+B(N+M)	NÖ+B(N+M)+OÖ
Nd. gesamte Vegetationsperiode	-0.049	-0.051
Nd. Juni	-0.114	-
Nd. 2.Hälfte Juni	-	0.010
Nd. 2.Hälfte August	0.067	0.036
Tage ohne Nd >5mm	-0.013	-0.247
mi. D. der nd.fr. Per. >10mm	-0.068	-0.157
mi. Temp.max. Mai	0.123	0.127
mi. Temp.max. 1.Hälfte Aug.	-0.159	-0.150
mi. Temp.max. 2.Hälfte Aug.	-0.317	-0.320
max. Temp.max. 2.Hälfte Aug.	-	0.095
max. Temp.max. 2.Hälfte Sept.	-0.127	-

C-3.4.1.4 Wiese

Wie in Tab. C-12 zu sehen ist, war der Wiesenertrag im Nordosten und Osten des Bundesgebietes stark von den Maximaltemperaturen abhängig, während im Süden und Westen dieser Einfluss sehr zurückging. Beim Niederschlag zeigte sich im Osten insgesamt eine geringere Abhängigkeit als im Süden und Westen, doch waren einzelne Regressionskoeffizienten hochsignifikant ausgeprägt.

Tab. C-12: Bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Wiesenertrages verwendete meteorologische Parameter und deren Anteil an der Abweichungsquadratsumme in %.

Legende siehe Tab. C-1, C-2 und C-9

Region	NÖ+B(N+M)	NÖ+B(N+M)+OÖ	B(S)+K+St	S+T+V
Nd. ges. Veg.periode	0.331	-0.085	-0.200	0.244
Nd. 2.Hälfte April	0.207	0.094	-	0.166
Nd. 2.Hälfte Juni	0.108	0.033	0.251	0.124
Nd. 1.Hälfte Juli	-	-	0.069	-

Nd. 2.Hälfte Juli	-	-	-	0.270
Nd. 2.Hälfte August	-	0.056	-	-
Tage ohne Nd. >1/5mm	-	-0.372	-0.239	-
Tage ohne Nd. >10/mm	0.087	-	-0.121	0.123
mi. Temp.max. 1.Hälfte Mai	0.136	0.147	-0.032	-0.022
mi. Temp.max. 2.Hälfte Mai	-0.155	-	-	-
mi. Temp.max. 1.Hälfte Aug.	-0.210	-0.068	-	-
mi. Temp.max. 2.Hälfte Aug.	-0.178	-0.295	-0.194	-
max. Temp.max. 2.Hälfte Juni	-0.061	-	-	-
max. Temp.max. 1.Hälfte Aug.	0.217	-0.005	-0.032	-
max. Temp.max. 2.Hälfte Aug.	-0.055	-0.238	0.034	-0.172
max. Temp.max. 1.Hälfte Sept.	-	-	0.228	-

C-3.4.2 Artificial Neural Network–Modelle

Neuronale Netzwerk-Modelle bieten zwar im Durchschnitt eine höhere Erklärungsqualität als Regressionsmodelle, können jedoch ebenfalls keine vollständige Erklärung der Streuungsursachen liefern. Für jeden Datenpunkt ergibt sich daher eine gewisse Abweichung zwischen beobachtetem und modelliertem Wert, welche als Residue bezeichnet wird. Eine separate Analyse der Fälle, bei denen die Residuen besonders hoch waren, kann Gemeinsamkeiten für diese Fehlerursachen erkennen lassen und bei zukünftigen Entwicklungen durch entsprechende Berücksichtigung genauere Modelle ermöglichen.

Die Differenzen zwischen beobachteten und für die jeweilige Kultur und Region berechneten Ertragswert waren in den einzelnen Jahren sehr unterschiedlich, wie aus Tab. C-13 hervorgeht. Bei den negativen Abweichungen, die durch Unterschätzungen des tatsächlichen Ertrages durch das Modell zustande kamen, waren vor allem die Jahre 1999, 2000 und 2002 betroffen. Positive Abweichungen ergaben sich in den Jahren 1997, 2000 und 2001.

Tab. C-13: Untersuchung der Fehlerquellen von ANN–Modellen – zeitliche Aufgliederung. Die Zahlen sind Prozentsätze der Fälle mit besonders hohen positiven oder negativen Abweichungen ("Ausreißer").

Ausreißer = Abweichung vom Mittelwert $>\pm 1$ Standardabweichung (sd) der Residuen

Kultur / Region	Negative Abweichung $>1sd$							Positive Abweichung $>1sd$							
	Jahr	97	98	99	00	01	02	03	97	98	99	00	01	02	03
SG / NÖ+B(N+M)		29	5	32	5	8	5	16	12	12	7	26	12	14	17
WW / NÖ+B(N+M)+OÖ		13	11	16	9	15	24	12	13	8	12	27	10	8	22
KM / NÖ+B(N+M)+OÖ		13	2	20	28	6	9	22	27	13	13	9	20	11	7
Wiese/NÖ+B(N+M)+OÖ		18	10	10	14	18	18	14	10	6	17	19	21	17	10
MW		18	7	20	14	12	14	16	16	10	12	20	16	13	14

In der Tab. C-14 sind jene Bezirke aufgelistet, bei denen das ANN-Modell besonders weit abweichend (d.h. mit Abweichung von einer Standardabweichung vom Mittelwert) geschätzt hat. Unterschätzt wurden auf Grund der meteorologischen Gegebenheiten hauptsächlich in oberösterreichischen Bezirken, gehäuft überschätzt in zwei nieder- und einem oberösterreichischen Bezirk.

Tab. C-14: Untersuchung der Fehlerquellen von ANN–Modellen – räumliche Aufgliederung. Die Zahlen sind Prozentsätze der Fälle mit besonders hohen positiven oder negativen Abweichungen ("Ausreißer").

d.h. in mindestens fünf von sieben Jahren wurden in diesem Bezirk Ausreißer (siehe auch Tab. C-13) festgestellt; Bezirke in Klammern - weniger als 1% der Bezirksfläche ist Anbaufläche für die jeweilige Fruchtart.

Kultur / Region	Mind. 5x negative Abweichung >1sd	Mind. 5x positive Abweichung >1sd
SG / NÖ+B(N+M)		Gmünd
WW / NÖ+B(N+M)+OÖ	Linz L., Ried/I.	(Gmünd, Lilienfeld, Rohrbach)
KM / NÖ+B(N+M)+OÖ	Eferding	(Rust S.)
Wiese / NÖ+B(N+M)+OÖ	Krems L., Schärding	Lilienfeld, Linz S.

C-4 Material und Methodik – Feldebene

Diese Untersuchung beinhaltet die Berechnung verschiedener Trockenheitsindizes und den Vergleich mit realen und simulierten Erträgen des Jahres 2003 (zum Teil auch der Jahre 2002 und 2004 als Vergleichsjahre) zum Zweck der Beurteilung der verschiedenen Indizes und Methoden auf Ihre Güte und Sensitivität zur Bestimmung von Trockenschäden an Kulturpflanzen. Dies wurde auf der kleinsten räumlichen Skala (Feldgröße) für drei ausgewählte Gebiete von vorwiegend von Trockenheit betroffenen Regionen im Osten und Süden Österreichs durchgeführt, da viele der standortspezifischen und daher repräsentativen Daten (Erträge, Bewirtschaftung, Bodeninformationen) auf dieser Ebene vorliegen, was wiederum genauere und verbesserte Ergebnisse verspricht. Die verwendete Datenbasis erlaubte eine Anwendung und Validierung der verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Trockenheitsauswirkungen für ausgewählte Regionen bzw. Kulturen für das Jahr 2003 (und teilweise 2002 und 2004). Eine GIS-Implementation und Berechnungen ausgewählter Indizes für das gesamte Bundesgebiet ist in Bearbeitung (in Kooperation mit dem Projekt „Trockenschäden in Grünland“), konnte aber zum Zeitpunkt des Endberichtes aus zeitlichen Gründen noch nicht fertiggestellt werden.

C-4.1 Auswählte Regionen, Schläge und Kulturpflanzen

Ausgewählte Schläge von verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben aus drei Regionen wurden für die Untersuchungen verwendet (Tab.C-15). Dabei handelt es sich um insgesamt 33 Schläge (jeweils mit zum Teil unterschiedlicher Nutzung) mit unterschiedlicher Bodenwasserspeicherkapazität aus den Regionen östliches Marchfeld, burgenländischer Seewinkel und Region Leibnitz. Die vorwiegend untersuchten Kulturpflanzen beinhalten Sommergetreide (Sommerweizen, Sommergerste), Wintergetreide (Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen) und Körnermais. Um die Variabilität hinsichtlich der Trockenheitseinflüsse zu erhöhen wurden für die selben Schläge zum Teil auch die Jahre 2002 und 2004 herangezogen, wobei zusätzliche Kulturpflanzen wie Luzerne, Hafer, Zuckerrübe, Miscanthus und Raps berücksichtigt wurden (2004 insbesondere für die NDVI-Bestimmung aus den Fernerkundungsdaten).

C-4.2 Meteorologische Parameter

Als repräsentative Wetterstationen für tägliche meteorologische Standardparameter aus den Regionen wurden verwendet : Fuchsenbigl, Andau, Leibnitz; Datenquelle : Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Hohe Warte 36, 1190 Wien.

C-4.3 Bodenparameter

Bodeninformation zur Bestimmung der mittleren Bodenwasserspeicherkapazität jedes ausgewählten Schlages wurde aus der Bodenkarte 1:25.000 gewonnen. Nach der Zuordnung der Feldkoordinaten erfolgte aus der Profilbeschreibung der repräsentativen Bodenprofile über Transferfunktionen (mittels Software „Rosetta“) die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität. Die anteilmäßigen Bodenarten wurden pro Schlag anteilmäßig gemittelt. Die gewonnenen Daten zur Bodenwasserspeicherfähigkeit stellen daher nur eine Schätzung mit einer bestimmten Unsicherheit dar. Datenquelle: Publikationen zur österr. Bodenkarte 1:25.000.

C-4.4 Landwirtschaftliche Ertragsdaten

Die schlagspezifischen Kulturpflanzenerträge aus den Jahren 2003 und 2004 wurden durch die jeweiligen Betriebsleiter zur Verfügung gestellt. Die zum Teil unterschiedliche

Nutzung der unterschiedlichen Schläge und deren räumliche Zuordnung wurde vor Ort mit den Betriebsleitern geklärt. Zusatzinformationen wie Bewässerung von Kulturen wurden ebenfalls registriert.

Tab. C-15: Übersicht über ausgewählte Basisinformationen zu den einzelnen Schlägen in den verschiedenen Regionen (nFK= nutzbare Feldkapazität, FK=Feldkapazität, WP=Welkepunkt).

Wetterstation / Region	Nr. intern	Kultur 2003	Ertrag 2003	Kultur 2004	Ertrag 2004	Bodentiefe	Sand	Schluff	Ton	nFK	FK	WP
			t/ha		t/ha	cm	%	%	%	mm	%-Vol.	%-Vol.
Fuchsenbigl / Marchfeld	6	Durumweizen	4.8	Durumweizen	5.4	77	30	50	20	140	27.5	9.2
Fuchsenbigl / Marchfeld	7	Durumweizen	4.8	Durumweizen	4.8	80	38	45	17	121	25.3	10.1
Fuchsenbigl / Marchfeld	2	Sommergerste	4.4	Wintergerste	7.7	68	35	48	17	121	26.2	8.3
Fuchsenbigl / Marchfeld	27	Sommergerste	3.8	Winterweizen	5.6	86	25	53	23	159	28.5	9.9
Fuchsenbigl / Marchfeld	28	Sommergerste	4.5	Winterweizen	5.7	75	41	40	19	104	24.0	10.1
Fuchsenbigl / Marchfeld	8	Winterweizen	2.3	Erbse	3.9	90	75	19	6	39	12.6	8.3
Fuchsenbigl / Marchfeld	9	Winterweizen	2.5	Raps	2.6	85	55	33	12	100	20.1	8.2
Fuchsenbigl / Marchfeld	10	Winterroggen	1.5	Hirse	3.4	80	38	45	17	121	25.3	10.1
Fuchsenbigl / Marchfeld	11	Winterroggen	1.7	Hirse	3.8	61	53	33	14	83	19.9	6.3
Fuchsenbigl / Marchfeld	4	Winterweizen	4.3	Winterweizen	6.6	57	31	53	15	106	26.9	8.3
Fuchsenbigl / Marchfeld	29	Winterweizen	3.4	Sorghum	5.5	75	41	40	19	104	24.0	10.1
Fuchsenbigl / Marchfeld	30	Winterweizen	4.0	Wintergerste	5.8	88	27	54	19	174	28.4	8.5
Fuchsenbigl / Marchfeld	5	Winterweizen	3.6	Winterweizen	4.9	75	31	55	15	157	27.7	6.8
Fuchsenbigl / Marchfeld	3	Körnermais	6.5	Winterweizen	5.4	66	32	47	21	115	26.6	9.2
Fuchsenbigl / Marchfeld	12	Körnermais	6.8	Winterweizen	4.8	105	49	35	16	142	22.1	8.5
Fuchsenbigl / Marchfeld	1	Körnermais	5.5	?	?	61	9	73	19	125	30.2	9.7
Andau / bgld. Seewinkel	15	Winterweizen	1.7	?	?	68	50	33	18	84	21.8	9.5
Andau / bgld. Seewinkel	16	Winterweizen	1.8	?	?	58	53	32	15	71	20.0	7.7
Andau / bgld. Seewinkel	17	Winterweizen	1.9	?	?	53	33	45	22	90	26.7	9.7
Andau / bgld. Seewinkel	18	Winterweizen	2.1	?	?	65	26	50	25	117	28.5	10.5
Andau / bgld. Seewinkel	21	Durumweizen	1.9	Durumweizen	3.5	73	42	38	21	99	24.1	10.4
Andau / bgld. Seewinkel	22	Winterweizen	2.9	Winterweizen	4.8	82	43	37	20	91	23.6	12.6
Andau / bgld. Seewinkel	23	Körnermais	?	?	?	70	33	43	24	116	26.6	10.0
Andau / bgld. Seewinkel	24	Körnermais	?	?	?	95	36	42	22	151	25.8	9.9
Andau / bgld. Seewinkel	13	Sommerweizen	1.8	?	?	39	74	17	9	22	13.2	7.5
Andau / bgld. Seewinkel	14	Sommerweizen	2.5	?	?	53	62	25	13	53	16.9	7.0
Andau / bgld. Seewinkel	20	Winterweizen	2.9	Winterweizen	4.8	77	34	42	24	120	26.3	10.6
Andau / bgld. Seewinkel	19	Körnermais	6.0	?	?	87	53	33	14	66	20.0	12.4
Andau / bgld. Seewinkel	26	Körnermais	5.0	Körnermais	?	75	38	40	22	109	25.2	10.6
Leibnitz / Südsteiermark	31	Körnermais	4.0	?	?	101	46	42	12	154	22.5	7.3
Leibnitz / Südsteiermark	32	Körnermais	6.7	?	?	78	11	74	15	158	30.2	9.9

In den Analysen wurden soweit möglich auch die Ertragsdaten aus dem Jahr 2004 inkludiert, da in diesem Jahr mit relativ hohen Niederschlägen weitgehend kein Trockenstress bei den Kulturpflanzen aufgetreten ist (siehe unten). Die realen Erträge 2004 der nicht bewässerten Kulturpflanzen liegen je nach Standort und in den wenigen vergleichbaren Fällen (gleiche Frucht in beiden Jahren) um ca. 50-100 % über jenen des Jahres 2003.

C-4.5 Fernerkundungsdaten

Datengrundlage für die Fernerkundungsanalysen bilden Aufnahmen der beiden Sensoren LANDSAT und MODIS. Sie unterscheiden sich in ihrer räumlichen, zeitlichen und spektralen Auflösung und ermöglichen daher unterschiedliche Herangehensweisen.

LANDSAT

Pixelgröße am Boden: 30 m (VNIR, SWIR); 60 m (TIR)
Wiederholrate: 16 Tage
Anzahl der Bänder: 7
Streifenbreite: 180 km
Kosten : je nach Anbieter zwischen 425 \$ und 1500 € für 180 x 180 km²
MODIS

Pixelgröße am Boden : 250 m (VNIR), 500 m (VNIR, SWIR), 1000 m (SWIR, TIR)
 Wiederholrate: 1-2 Tage
 Anzahl der Bänder: 36
 Streifenbreite: 2330 km
 Kosten : gratis

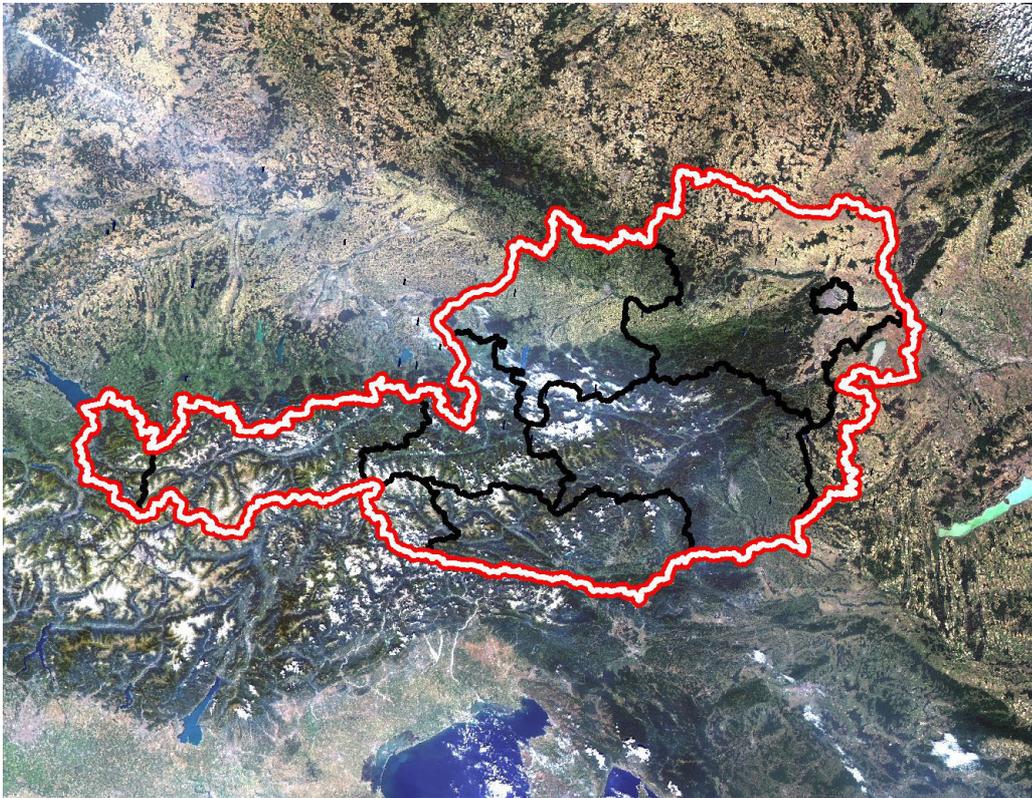


Abb. C-5: MODIS-Ausschnitt, Echtfarbdarstellung

Um das Reflexionsverhalten identer Flächen zu verschiedenen Zeitpunkten vergleichen zu können, wurde das MODIS- Datenprodukt „Surface Reflectance“ (MOD09) gewählt. Es handelt sich dabei um Werte des spektralen Reflexionsgrades, welche ausgehend von den Bänder 1 bis 7 der MODIS Level 1B Daten (MOD02; radiometrisch kalibriert, ohne atmosphärische Korrektur) durch Eliminierung der Atmosphäreneinflüsse gewonnen werden. Die Bodenauflösung beträgt bei den Bändern 1 und 2 250 m und bei den Bändern 3 bis 7 500 m (siehe Tab. C-16). Das 500m- Paket enthält zusätzlich zu den Bändern 3 bis 7 die Bänder 1 und 2 aggregiert auf 500 m.

Tab. C-16: Bodenauflösung und spektrale Eigenschaften des MODIS-Produkts „Surface Reflectance“ (MOD09)

250 m	500 m
Band 1 (620-670 nm)	Band 3 (459-479 nm)
Band 2 (841-876 nm)	Band 4 (545-565 nm)
	Band 5 (1230-1250 nm)
	Band 6 (1628-1652 nm)
	Band 7 (2105-2155 nm)

Die Auswahl geeigneter Szenen erfolgte unter Berücksichtigung folgender Vorgaben:

- Daten der Vegetationsperioden 2003 und 2004
- mind. 2 Zeitpunkte pro Jahr, im Idealfall Anfang Juni und Mitte August, um je nach Fruchtart geeignete Aufnahmen zur Verfügung zu haben
- bestmögliche zeitliche Koinzidenz von LANDSAT- Daten und MODIS- Daten sowie möglichst ähnliche Aufnahmezeitpunkte in den Jahren 2003 und 2004
- Abdeckung aller Testflächen in den drei Testgebieten Marchfeld, Seewinkel und Südsteiermark
- möglichst geringe Beeinträchtigung durch Wolkenbedeckung
- zusätzlich bei MODIS: Lage der Testgebiete möglichst in der Mitte der Szene, da nur unter dieser Bedingung die angegebene Bodenauflösung gewährleistet ist und auch radiometrische Blickrichtungseffekte weniger ins Gewicht fallen.

Folgende Szenen wurden schließlich verwendet:

LANDSAT (Landsat 5)	
23.06.2003	190/26
	190/27
10.08.2003	190/26
	190/27
09.06.2004	190/26-27 (Floating)

MODIS	
30.05.2003	jeweils Tile h19 v4
11.08.2003	
08.06.2004	
18.08.2004	

Im Jahr 2004 konnte aufgrund der Beeinträchtigung durch Wolken nur 1 LANDSAT-Szene (9.6.) angeschafft werden. Für eine optimale Ausnützung der wolkenfreien Gebiete wurde eine Floating-Szene gewählt. Die Testgebiete Seewinkel und Südsteiermark sind auf dieser Szene durch Wolken bzw. Wolkenschleier beeinträchtigt und können nicht ausgewertet werden.

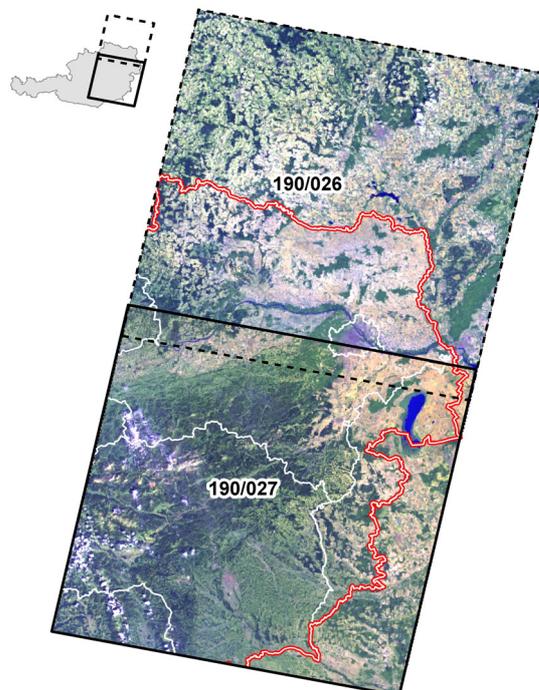
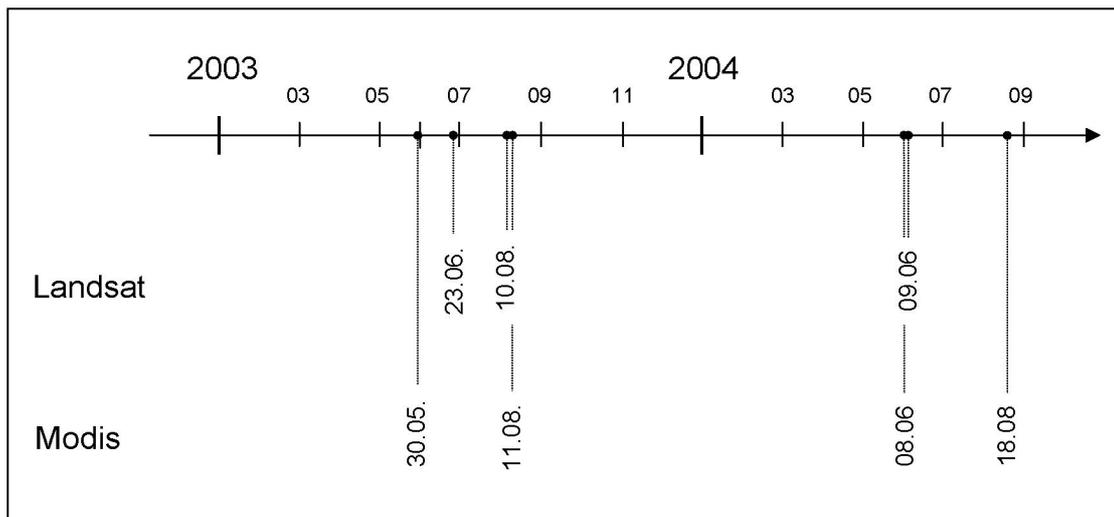


Abb. C-6: LANDSAT Lageübersicht u. Bezeichnung der Szenen



Übersicht der Aufnahmezeitpunkte der gewählten LANDSAT- und MODIS- Szenen

C-4.6 Verwendete Methoden zur Bestimmung von Trockenheit

Die in der Studie verwendeten Indizes und Methoden zur Bestimmung von Trockenheit sind in Tab.C-17 aufgelistet und werden folgend im Detail erklärt. Weiterführende Informationen von verschiedenen Trockenheitsindizes findet man im Internet z.B. beim „National Drought Mitigation Center“, USA (<http://www.drought.unl.edu/index.htm>).

Tab. C-17: Die verwendeten Methoden zur Bestimmung von Trockenheit

Meteorologische Indizes	Quelle
Discrete and cumulative precipitation anomalies	Foley (1957)
Rainfall deciles	Gibbs and Maher (1967)
Rainfall Anomaly Index	Van Rooy (1965)
Standardized Precipitation Index (SPI)	McKee et al. (1993, 1995)
Hydro-thermal indices (TI, KI)	Harlfinger and Knees (1999)
Agrarmeteorologische Modelle od. Indizes	
Palmer Moisture Anomaly Index (Z index)	Karl (1986); Palmer (1965)
Palmer Drought Severity Index (PDSI)	Karl (1986); Palmer (1965)
Crop Moisture Index (CMI)	Palmer (1968)
Crop specific drought index (CSDI)	Meyer (1993a,b)
Water balance model (FAO Method)	Allen et al. (1998)
Dynamisches Ertragsmodell	
DSSAT - modelle	Tsuji et al. (1994, 1998)
Fernerkundungsindizes	
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) u.a.	Kogan (1995); Peters et al. (2002)

C-4.6.1 Diskrete und kumulative Niederschlagsanomalien

Foley's Trockenheitsindex ($D_{m,y}$) (Foley 1957) ist ein durch den mittleren Jahresniederschlag (A) standardisiertes monatliche (m) Niederschlagsdefizit eines Standortes eines bestimmten Jahres (y).

$$d_{m,y} = \sum_{i=m-12+1}^m \frac{a_{i,y} - A}{A}$$

wobei $a_{-m,y} = a_{12-m,y-1}$ für $m = 0..11$; a =Monatsniederschlag.

und

$$D_{m,y} = \sum_{z=y-x+1}^{z=y} d_{m,z}$$

wobei x die ausgewählte Periode ist (3, 4, 5 und 6 Jahre).

C-4.6.2 Niederschlags Dezile

Dezile zeigen an ob der Niederschlag einer bestimmten Periode (z.B. monatlich) über oder unter dem langfristigen Mittel einer bestimmten Station liegt. Dabei wird der Bereich der langfristig aufgetretenen Niederschlagsmengen in 10 gleichgroße Klassen unterteilt und der aufgetretene aktuelle Niederschlag dazu in Bezug gesetzt :

Deciles Classifications		
Deciles 1-2	lowest 20%	much below normal
Deciles 3-4	next lowest 20%	below normal
Deciles 5-6	middle 20%	near normal
Deciles 7-8	next highest 20%	above normal
Deciles 9-10	highest 20%	much above normal

C-4.6.3 Niederschlagsanomalie Index (RAI)

Der „Rainfall Anomaly Index“ (RAI) wurde von van Rooy (1965) entwickelt und beinhaltet eine Rankingprozedur für positive und negative Niederschlagsanomalien einer ausgewählten Periode. Er berechnet sich aus :

$$RAI = \frac{P - \bar{P}}{\bar{E} - \bar{P}}$$

wobei P = Niederschlag, \bar{P} = mittlerer Niederschlag, und \bar{E} = Mittelwert aus 10 Extremen.

Für positive Anomalien ist das Vorzeichen positiv und E bezeichnet die 10 höchsten Niederschläge einer bestimmten Periode, und umgekehrt. Der Index ist in 9 Klassen von extrem trocken zu extrem feucht unterteilt.

C-4.6.4 **Standardized Precipitation Index (SPI)**

Der SPI Index (McKee et al., 1993, 1995) kann Niederschlagsdefizite für variable Zeitperioden quantifizieren. Dieses Konzept beruht darauf, dass Trockenheitseinflüsse für unterschiedliche Bereiche (Anwendungen) in unterschiedlichen Zeitskalen signifikante Wirkungen zeigen. Die Berechnungen werden je nach Anwendung in verschiedenen monatlichen Zeitskalen durchgeführt, wobei zur Kennzeichnung von Trockenheitseinflüssen auf Kulturpflanzen die kürzeren 1-3 monatigen Einheiten am besten geeignet sind. Ein Vergleich zum PDSI ist in Guttman (1998) dargestellt. Praktische Erfahrungen zeigen eine gute Übereinstimmung dieser vergleichsweise einfachen und nur Niederschlagsdaten benötigenden Methode.

Die Berechnung basiert auf langjährigen Niederschlagsdaten eines Standortes. Die Niederschlagsverteilung dieser langjährigen Periode wird einer Wahrscheinlichkeitsfunktion zugeordnet, welche dann in eine geeignete Normalverteilung (Wilkes, 1995) transformiert wird, sodass der mittlere SPI des Standortes und der gewählten Periode null ist. Positive SPI Werte zeigen Niederschläge über dem Median an und umgekehrt. Eine Klassifikation erlaubt die Zuordnung zum Grad der Abweichung :

SPI Values	
2.0+	extremely wet
1.5 to 1.99	very wet
1.0 to 1.49	moderately wet
-.99 to .99	near normal
-1.0 to -1.49	moderately dry
-1.5 to -1.99	severely dry
-2 and less	extremely dry

C-4.6.5 **Hydrothermale Indizes (T-Index und K-Index)**

T- Index :

Als einfache Beziehung zur Feststellung einer monatlichen Trockenheitsgrenze wurde die Gleichung von Gaussen (1955)

$$r = 2t$$

herangezogen, wobei

r = Monatssumme des Niederschlags in mm und

t = Monatsmitteltemperatur in °C bedeuten.

Für die Berechnung des T-Index wählte man folgende Form der Gleichung:

$$TI = \frac{3t}{r}$$

Liegt der TI-Wert über 1,5 so gilt der Monat als trocken. Der Index ist nur für die Vegetationsperiode verwendbar.

K- Index :

Der K-Index charakterisiert die Aridität beziehungsweise Humidität für das Gesamtjahr und wird nach Celjaninov durch folgende Formel berechnet:

$$KI = \frac{0.16 \sum t}{R}$$

KI = K-Index in 1 /100

$\sum t$ =Temperatursumme

R =Jahresniederschlagsmenge

0,16 = Koeffizient

K-Wert [1/100]	Aridität/Humidität
< 40	stark humid
40- 59	mäßig humid
60- 79	schwach humid
80- 99	semi- humid
100-115	schwach semi-arid
> 115	Semi-arid

C-4.6.6 **Palmer Moisture Anomaly Index (Z-Index) und Palmer Drought Severity Index (PDSI)**

Der PDSI (Karl (1986); Palmer (1965)) ist ein sehr häufig verwendeter Trockenheitsindex. Die Berechnung des PDSI beginnt mit der Bestimmung einer klimatischen Wasserbilanz, wobei monatliche Niederschlagssummen und Mitteltemperaturen einer langjährigen (30-jährigen) Periode verwendet werden. Zusätzlich wird die Bodenwasserspeicherfähigkeit in Abhängigkeit der nutzbaren Feldkapazität berücksichtigt, wobei der Boden in 2 Schichten unterteilt ist. Dabei werden folgende Wasserbilanzparameter errechnet: Pot. Evapotranspiration (PE, versch. Methoden verwendbar); Pot. Bodenwasserdefizit (PR) – Wassermenge im Boden die zur Erreichung der Feldkapazität notwendig ist); Pot. Wasserverlust durch Evapotranspiration (PL); Pot. Abfluss (PRO) – Niederschlag-PR. Dann werden Koeffizienten als Verhältnis von den langjährigen aktuellen Werten zu den potentiellen Werten für jedes Monat bestimmt. Daraus wird der CAFEC Niederschlag (Climatically Appropriate for Existing Conditions (CAFEC)) ermittelt. Die Differenz, d , zwischen aktuellem (P) und CAFEC Niederschlag (\hat{P}) ist ein Indikator des monatlichen Wasserdefizits.

$$d = P - \hat{P} = P - (\alpha PE + \beta PR + \gamma PRO + \delta PL)$$

wobei die Koeffizienten das Verhältnis von langjährigen aktuellen zu potentiellen Werten sind:

$$\alpha = \overline{ET} / \overline{PE}, \beta = \overline{R} / \overline{PR}, \gamma = \overline{RO} / \overline{PRO}, \text{ und } \delta = L / \overline{PL} \text{ für 12 Monate.}$$

d ist ein Indikator, der die Abweichung des Bodenwassergehaltes vom Normalwert angibt, da der CAFEC Niederschlag ein adaptierter Normalniederschlag unter Berücksichtigung der Bodenwasserspeicherfähigkeit ist.

Der Palmer Moisture Anomaly Index (Z-Index) ist definiert als :

$$Z = Kd$$

wobei K ein empirischer Gewichtungsfaktor ist, der ebenfalls aus den langjährigen Daten bestimmt wird :

$$K_i = \left(\frac{17.6}{\sum_{i=1}^{12} \bar{D}_i K_i'} \right) K_i'$$

wobei i das Monat, \bar{D}_i das absolute Mittel von d ist, und K_i' vom mittleren Wasserinput und -bedarf abhängt :

$$K_i' = 1.5 \log_{10} \left[\left(\frac{\bar{P}\bar{E} + \bar{R} + \bar{R}\bar{O}}{\bar{P} + \bar{L}} + 2.8 \right) \bar{D}^{-1} \right] + 0.5$$

Der PDSI ist gegeben durch :

$$PDSI_i = 0.897 PDSI_{i-1} + \frac{1}{3} Z_i$$

wobei der PDSI des Anfangsmonats in einer Trocken- oder Feuchtperiode gleich $\frac{1}{3} z_i$ ist.

PDSI Indexwerte werden wie folgt klassifiziert :

Palmer Classifications	
4.0	or more extremely wet
3.0 to 3.99	Very wet
2.0 to 2.99	moderately wet
1.0 to 1.99	Slightly wet
0.5 to 0.99	incipient wet spell
0.49 to -0.49	near normal
-0.5 to -0.99	incipient dry spell
-1.0 to -1.99	mild drought
-2.0 to -2.99	moderate drought
-3.0 to -3.99	severe drought
-4.0	or less extreme drought

C-4.6.7 Crop Moisture Index (CMI)

Der „Crop Moisture Index“ (CMI) beinhaltet eine meteorologische Methode von wöchentlichen Trockenstressbedingungen für Kulturpflanzen. Er wurde von Palmer (1968) unter Verwendung der PDSI Berechnungsmethode entwickelt. Während der PDSI vorwiegend längerfristige Trocken- bzw. Feuchteperioden anzeigt (>Monatsbasis), berechnet der CMI kurzfristige Trockenperioden welche zur Bestimmung von Trockenstressbedingungen für Kulturpflanzen in vielen Fällen geeigneter sind. Der CMI Index reagiert daher schneller auf Änderungen und ist regional und zeitlich gewichtet, und wird zusätzlich oft mit kulturartspezifischen Ertragsdaten kalibriert (jedoch nicht in unseren Berechnungen).

C-4.6.8 Crop Specific Drought Index (CSDI)

Der CSDI ist definiert als :

$$CSDI_{pred} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{\sum ET_{calc}}{\sum ET_{pc}} \right)_i^{\lambda_i} = \frac{Y_{pred}}{Y_{pot}}$$

wobei:

ET_{calc} und ET_{pc} , sind jeweils die berechnete aktuelle und potentielle Evapotranspiration [mm] einer bestimmten Kulturpflanze.

n ist der auf die Sensitivität der jeweiligen Kulturpflanze abgestimmte Zeitabschnitt während der Wachstumsperiode und λ_i ist die relative Empfindlichkeit auf Trockenstress während dieses Zeitabschnittes.

Mithilfe des $CSDI_{pred}$ kann durch Multiplikation mit dem maximalen potentiellen Ertrag der aktuelle Kulturpflanzenertrag abgeschätzt werden.

C-4.6.9 FAO Wasserbilanzmodell und abgeleitete Parameter

Das nach Allen (1998) verwendete vereinfachte Bodenwassermodell (Bilanzmethode) auf Tagesbasis beruht auf der Berechnung einer Referenz-Evapotranspiration einer Grasoberfläche nach Penman-Monteith und der Berechnung der aktuellen Verdunstung von Kulturpflanzenbeständen mit Hilfe von bestandes- und bodenwassergehaltsabhängigen Koeffizienten (Kc Faktoren). Aus den errechneten Parametern der Bestandeswasserbilanz wurden in unserer Analyse weitere Kennwerte abgeleitet :

- Das Verhältnis von aktueller zu Referenzverdunstung (Eta/Etr);
- der relative Wasserstress (Anteil der verfügbaren Wassermenge die über 30% der nutzbaren Feldkapazität liegt);
- Anzahl der Tage mit Trockenstress (definiert als Bodenwassergehalt < 30% der nutzbaren Feldkapazität) und
- maximale Dauer einer Trockenstressperiode.

C-4.6.10 DSSAT – Prozessorientierte Pflanzenwachstumsmodelle

In unserem Projekt wurden dynamische (prozessorientierte) Pflanzenwachstumsmodelle aus der DSSAT Modellgruppe (Decision Support System for Agrotechnology Transfer (Hoogenboom *et al.*, 1994)) für Winterweizen, Sommerweizen/gerste und Mais (Ceres-Wheat, Ceres-Barley und Ceres-Maize) verwendet, die bereits in Österreich getestet und für frühere Studien verwendet wurden (Eitzinger *et al.*, 2001,2003).

Diese Modelle beinhalten detaillierte prozessorientierte Simulation des Wasserhaushaltes und des Wachstums von Kulturpflanzenbeständen auf Tagesbasis. Als Eingabedaten dienen tägliche Witterungsparameter, Bodeneigenschaften und Pflanzeigenschaften (Reaktionsfunktionen physiologischer und Entwicklungsprozesse auf verschiedene Umweltbedingungen). Die Modelle berechnen u.a. die Simulation des Bodenwasser-

haushaltes inkl. Verdunstung, den Wasserentzug durch die Pflanzenwurzeln, Trockenstresskoeffizienten sowie die sich aus den Umweltfaktoren ergebende Photosyntheseleistung, den Biomassenzuwachs und den Kornertrag, und die phänologische Entwicklung. Detaillierte Beschreibungen der Modellprozesse sind u.a. in Tsuj et al. (1998) und Eitzinger et al. (2004) zu finden.

C-4.6.11 Fernerkundungsindizes

Trockenstress von Pflanzenbeständen kann mit Methoden der Fernerkundung im optischen Spektralbereich (sichtbares Licht, reflektiertes Infrarot, thermisches Infrarot) nach drei physikalischen Prinzipien erfasst werden: unter Ausnützung der spektralen Reflexion, der Fluoreszenz, und der thermischen Emission. Die spektralen Reflexionseigenschaften von Pflanzen werden im Wesentlichen durch den Gehalt an Blattpigmenten (sichtbares Licht), die Zellstrukturen (nahes Infrarot) und den Wassergehalt (mittleres Infrarot) bestimmt.

Durch photosynthese-aktive Strahlung wird Chlorophyll-Fluoreszenz induziert. Die Fluoreszenzemission steht in Konkurrenz mit photochemischen Prozessen und nichtphotochemischen Prozessen und gibt Aufschluss über den Zustand der Pflanze. Die durch Sonnenbestrahlung induzierte Fluoreszenz ist jedoch zu gering, um mit den heute zur Verfügung stehenden Satellitensensoren brauchbare Signale zu geben.

Auch die Oberflächentemperatur von Pflanzendecken kann Aufschluss über die Belastungen durch Trockenstress geben. Das vom Sensor gemessene Signal im thermischen Infrarot kommt jedoch durch das Zusammenwirken mehrerer Faktoren zustande. So haben neben der thermodynamischen Temperatur der Pflanzenoberfläche auch das Emissionsvermögen der Blätter und die thermische Ausstrahlung des Bodens Einfluss auf die Messungen. Durch die Verwendung mehrerer thermischer Bänder können sowohl Emissionsvermögen als auch thermodynamische Temperatur ermittelt werden. Der Einfluss des Bodens kann durch Abschätzung der Anteile nackten Bodens und Pflanzenbedeckung beispielsweise mit Hilfe des Vegetationsindexes berücksichtigt werden.

Basierend auf den beschriebenen biophysikalischen Mechanismen sind verschiedene Indikatoren in Verwendung, die zur Beurteilung des Wasserhaushalts von Pflanzenbeständen herangezogen werden können: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), VCI (Vegetation Condition Index), TCI (Temperature Condition Index), SG (Seasonal Greenness), „Red edge“-Indikatoren (nur bei Verwendung von Hyperspektraldaten), u.a.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Gewinnung von Trockenstress anzeigenden Indizes aus Satellitenbilddaten. Dabei soll

- die praktische und mit realistischem wirtschaftlichem Aufwand gegebene Verfügbarkeit der Satellitenbilddaten und
- die Aussagekraft der Indizes für möglichst kleine räumliche Bereiche bis zu Einzelparzellen und Einzelschlägen

besonders beachtet werden. Aus diesem Grund ist diese Untersuchung auf Indizes beschränkt, die auf der Basis der reflektierten Strahlung definiert sind.

C-4.6.11.1 Datenaufbereitung

LANDSAT-Daten

Für jedes Testgebiet wurden Bildausschnitte hergestellt und georeferenziert. Die Georeferenzierung erfolgte mit einem Polynom erster Ordnung (affin). Auf die Verwendung eines Höhenmodells wurde verzichtet, da die Testflächen in weitgehend ebenem Gebiet liegen. Als Referenzsystem wurde die UTM-Projektion Zone 33, WGS84 verwendet. Besonderes Augenmerk wurde auf die relative Lagegenauigkeit der verschiedenen Aufnahmezeitpunkte zueinander gelegt.

MODIS-Daten

Zur leichteren Datenhandhabung wurde von jedem Aufnahmezeitpunkt ein passender Ausschnitt erstellt, der alle drei Testgebiete abdeckt. Weiters erfolgte die Projektion der in Sinusoidal-Projektion vorliegenden Daten auf UTM Zone 33, WGS 84. Schließlich wurden die Grauwerte der 16bit-Daten skaliert, um den Reflektionsgrad zu erhalten.

Digitale Katastralmappe (DKM)

Ausgehend von der Parzellennummer wurden DKM-Ausschnitte für einzelne Parzellen bzw. Parzellengruppen erstellt. Diese wurden ins Vektorformat konvertiert und den Satellitenbildern überlagert.

C-4.6.11.2 Zusammenführung von Fernerkundungsdaten und Ertragsdaten

Die Lokalisierung der Parzellen im Satellitenbild (Abb. C-7) erfolgte basierend auf Katastralgemeinde und Parzellennummer mit Hilfe der DKM-Ausschnitte. Einige Parzellen sind in mehrere Schläge unterteilt. Mit Hilfe von Detailplänen, Kenntnissen von ortskundigen Personen und dem Wissen über spektrale Eigenschaften verschiedener Fruchtarten zu bestimmten Zeitpunkten war es möglich, auch Einzelschläge am Satellitenbild zu identifizieren.

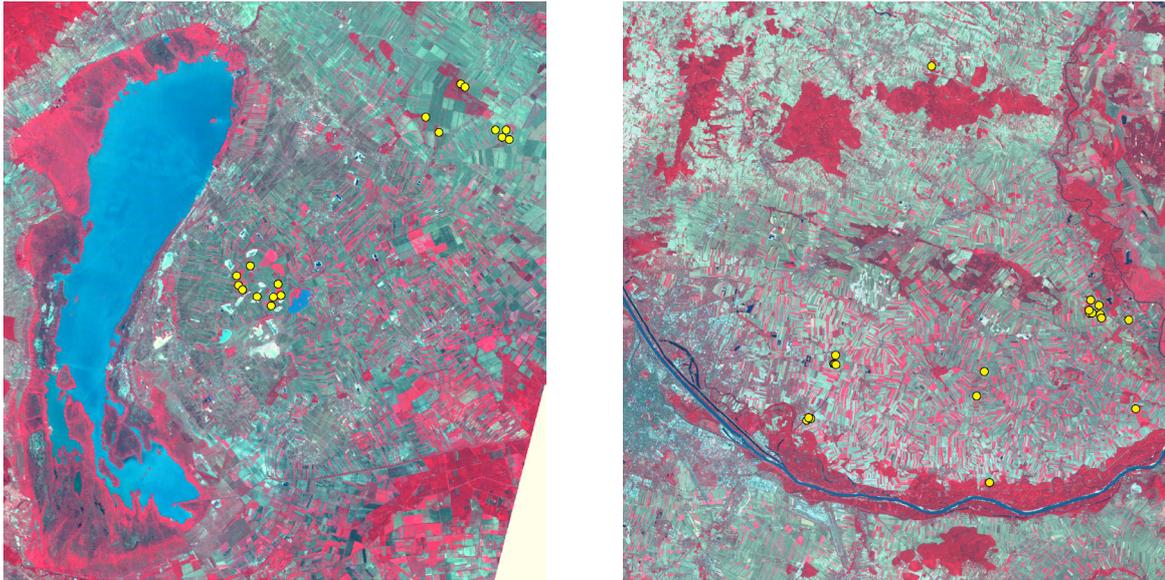


Abb. C-7: Testgebiete Seewinkel (li.) und Marchfeld (re.) (LANDSAT Falschfarbdarstellung)

Es kommen folgende Fruchtarten auf den untersuchten Parzellen und Schlägen vor (siehe Tab. C-17), für die zum Teil keine Ertragsdaten vorlagen und die daher nur für Fernerkundungsanalysen verwendet wurden:

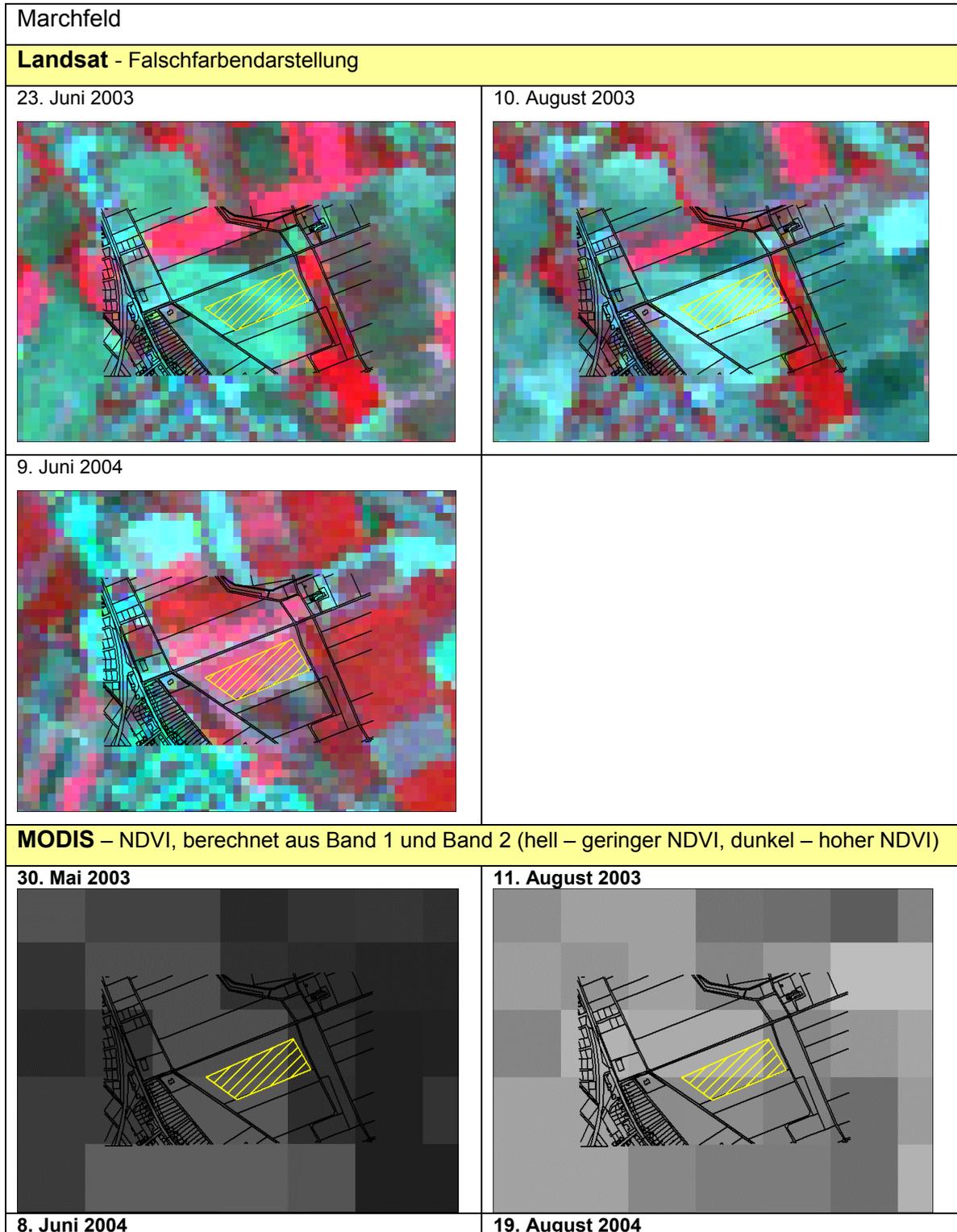
- 1 Winterweizen
- 2 Winterroggen
- 3 Sommerweizen
- 4 Durum
- 5 Sommergerste
- 6 Sommerhafer
- 7 Raps
- 8 Körnermais
- 9 Zuckerrübe
- 10 Luzerne
- 11 Miscantus
- 12 Erbse
- 13 Hirse
- 14 Gras
- 15 Wintergerste

Auf den Parzellen bzw. Einzelschlägen wurden Probeflächen in den LANDSAT-Bildern abgegrenzt (Abb. C-8-9). Es wurde darauf geachtet, dass Mischpixel an den Parzellen- bzw. Schlagrändern ausgespart blieben. Die Bildwerte aller Probeflächenpixel wurden pro Probefläche und Aufnahmezeitpunkt ausgelesen und zu folgenden statistischen Parametern (je Band) bzw. Indizes weiterverarbeitet:

Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung, Kovarianzen, NDVI, Wetness.

Aus den MODIS-Bildern (Band 1 und 2) wurden für jedes auf LANDSAT abgegrenzte Polygon der Bildwert eines Einzelpixels sowie die Bildwerte eines 3x3- und eines 5x5-

Fensters ausgelesen. Als Einzelpixel wurde jeweils jenes Pixel gewählt, dessen Zentrum am nächsten dem Zentrum des abgegrenzten Polygons lag (Abb. C8-9). In den meisten Fällen reichen sowohl die Einzelpixel als auch insbesondere die 3x3- und die 5x5-Fenster weit über die Parzellengrenzen hinaus. Für jede Beispielfläche wurde der NDVI berechnet.



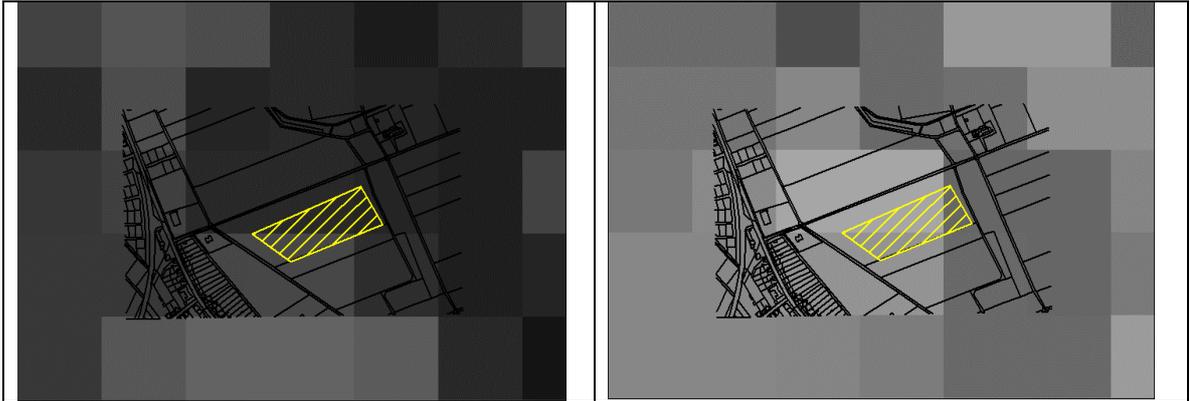
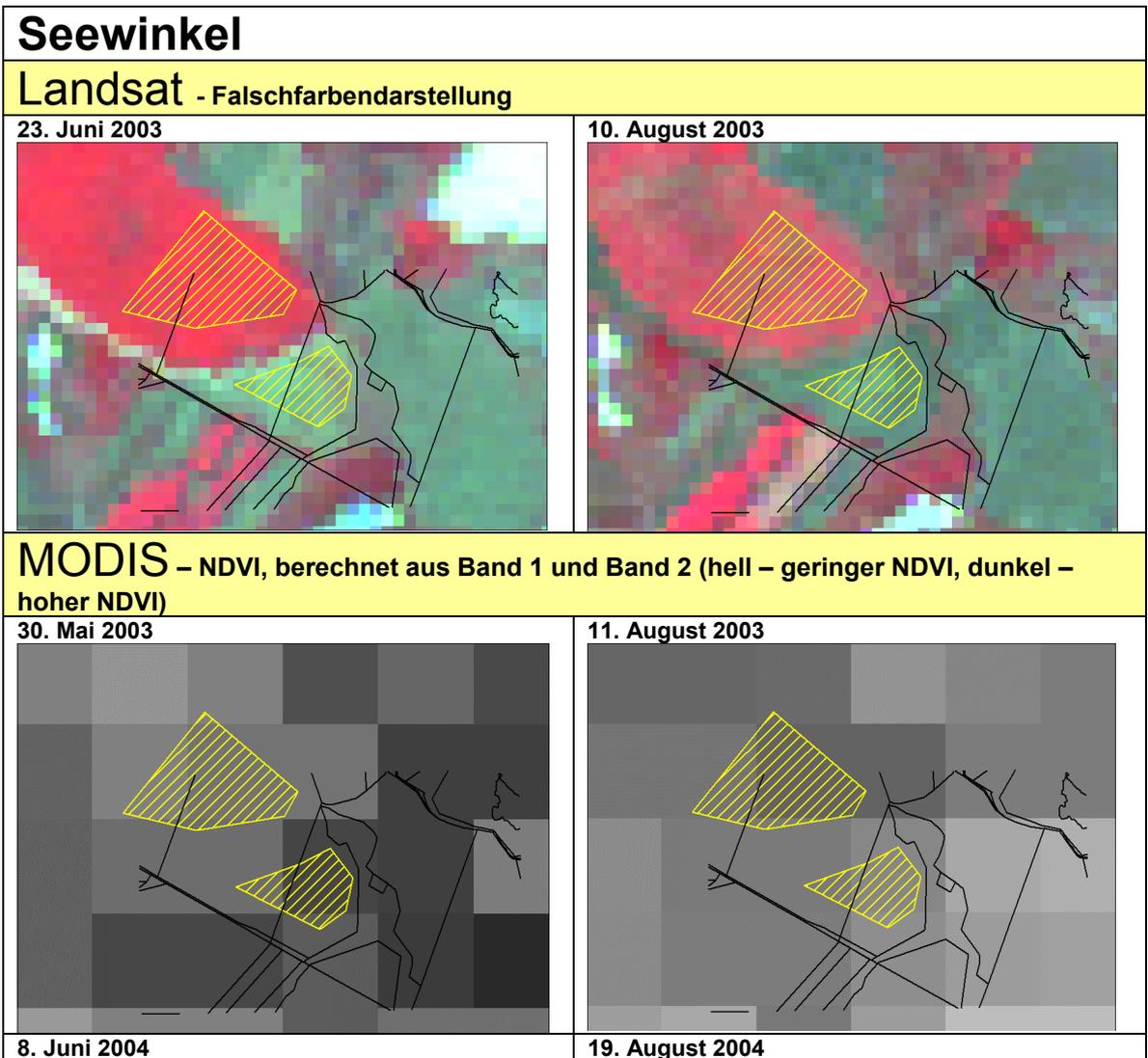


Abb. C-8: Probefläche über Landsat- und MODIS-Satellitenbilder am Beispiel einer Parzelle im Marchfeld



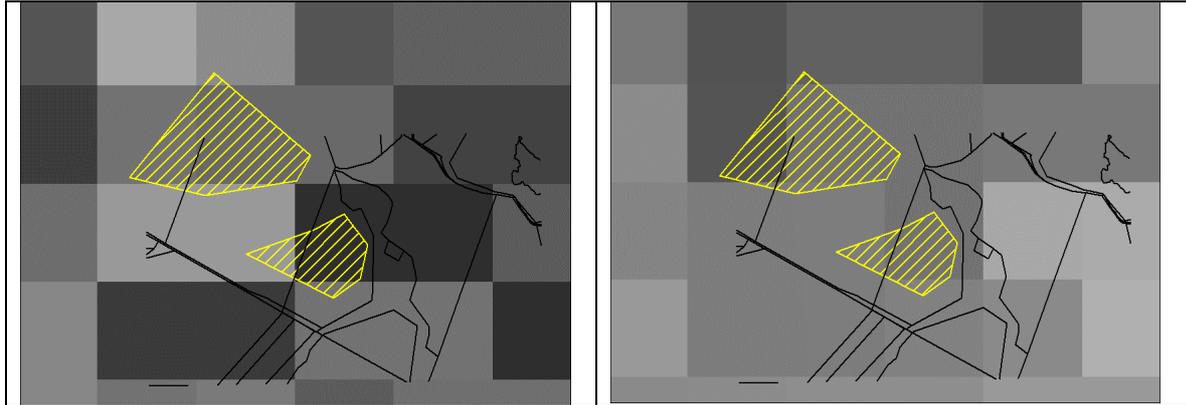


Abb. C-9: Probefläche über Landsat- und MODIS-Satellitenbilder (NDVI) am Beispiel einer Parzelle im Seewinkel

C-5 Ergebnisse und Diskussion - Feldebene

C-5.1 Meteorologische Indizes

Der zeitliche Verlauf der Trockenheit in einer Zeitskala von mindestens 1 Monat ist zur Beurteilung der Auswirkung auf Kulturpflanzen von Bedeutung, da diese in bestimmten phänologischen Phasen besonders stark auf Trockenstress reagieren. Folgend werden ausgewählte zeitliche Verläufe der untersuchten meteorologischen Indizes über mehrere Jahre (je nach Datenverfügbarkeit unterschiedlich, jedoch 2003 inkludiert) für die 3 ausgewählten Regionen Marchfeld, Seewinkel und Leibnitz (jeweils auf die repräsentative meteorologische Station Fuchsenbigl, Andau und Leibnitz bezogen) in monatlicher Auflösung (außer K-Index) dargestellt (Abb. C-10-15).

Am K Index (Abb.C-10) fällt auf dass die Station Leibnitz im Normalfall weniger „trocken“ ist als die anderen beiden Stationen, die wiederum in ihren monatlichen Indizes sehr ähnlich sind (Abb.C-11-13). Lediglich im Jahr 2003 ist auch Leibnitz relativ trocken, die monatlichen Indizes zeigen hier aber dass dies vorwiegend in der ersten Jahreshälfte der Fall ist. Weiters zeigt sich in den monatlichen Indizes, dass diese den Grad an „Trockenheit“ unterschiedlich wiedergeben, aufgrund der unterschiedlichen Gewichtung der eingehenden Parameter.

Abb. C-14 zeigt die Auswertung von Decilen am Beispiel von Andau und Fuchsenbigl, wobei der große Unterschied zwischen den beiden Jahren erkennbar ist (2003 extrem trocken, 2004 sehr feucht).

In Abb. C-15 ist schließlich der langjährige 3-monatsbezogene SPI Index (reiner Niederschlagsindex) dargestellt, welcher die langjährige Niederschlagsvariabilität und Trends an den verschiedenen Standort erkennen lässt. Die im Vergleich zu den Vorjahren besonders ausgeprägte Trockenheit während der Vegetationsperiode ist im Jahr 2003 an allen Standorten deutlich erkennbar.

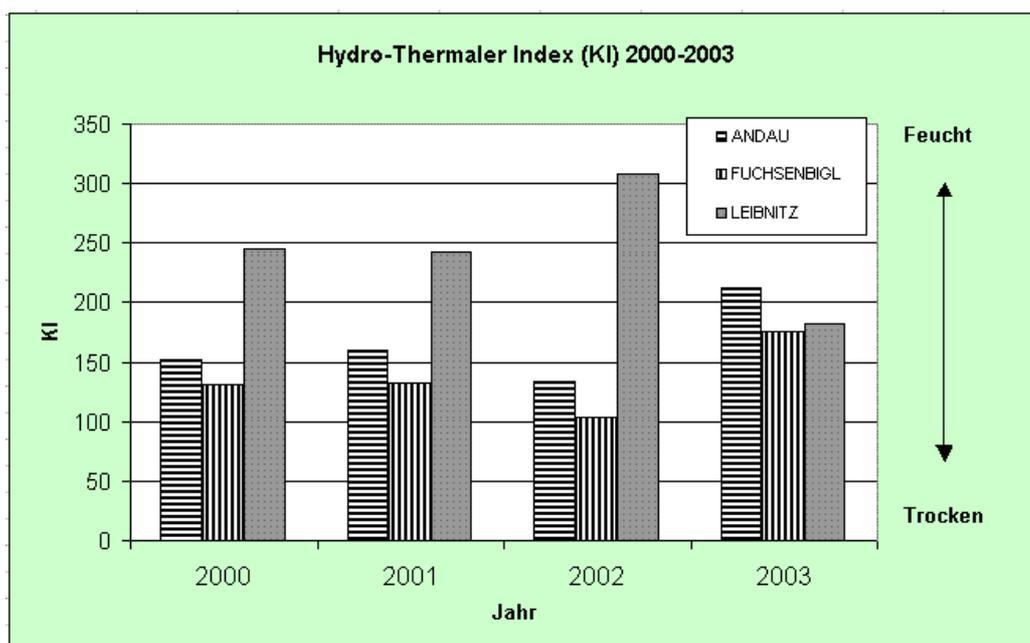


Abb. C-10: Der jährliche KI Index für die 3 ausgewählten Regionen der vergangenen Jahre.

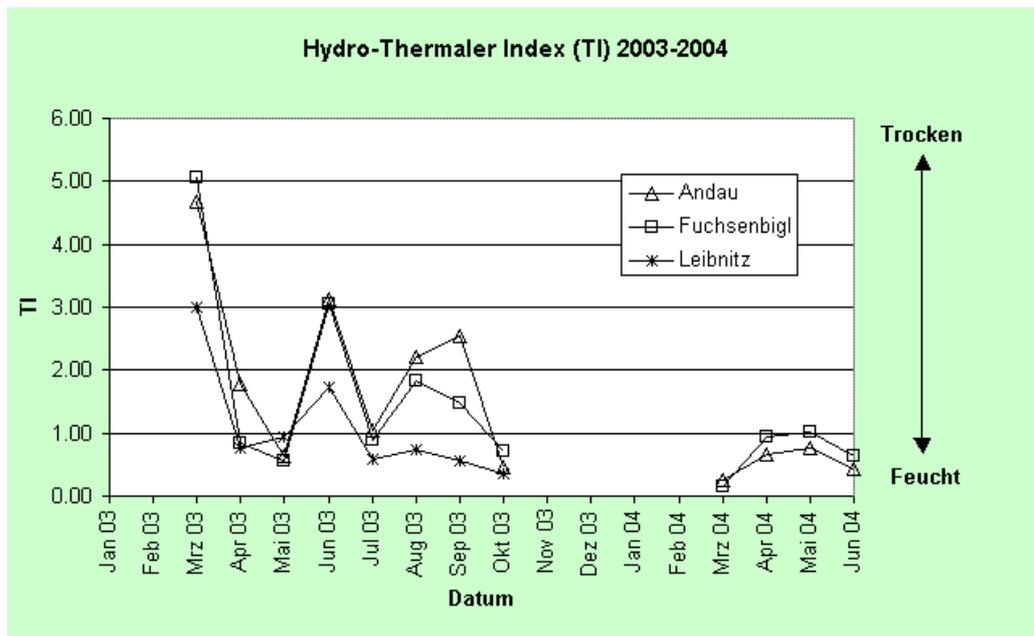


Abb. C-11: Der monatliche TI Index für die 3 ausgewählten Regionen der Jahre 2003-2004.

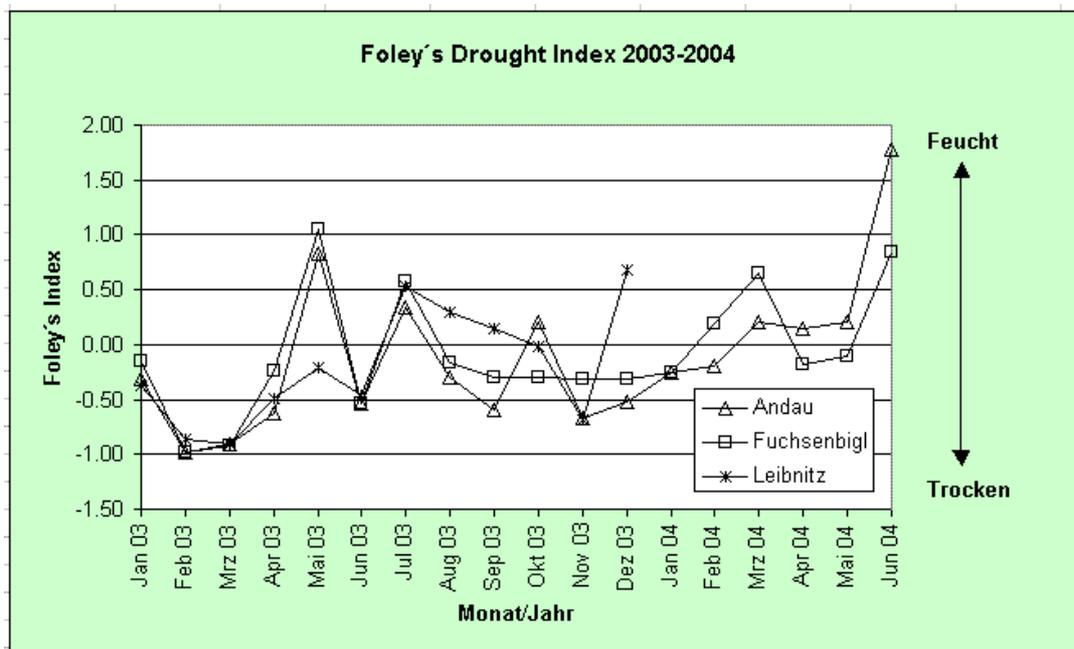


Abb. C-12: Der monatliche Foley Index für die 3 ausgewählten Regionen der Jahre 2003-2004.

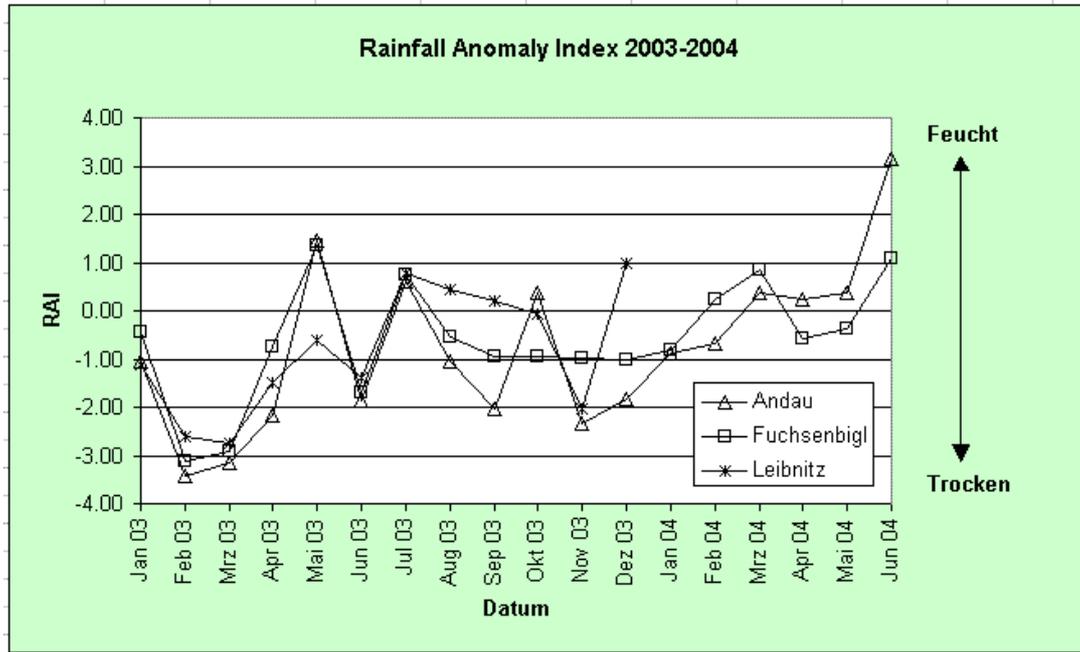


Abb. C-13: Der monatliche RAI Index für die 3 ausgewählten Regionen der Jahre 2003-2004.

		Deciles 3 Months												Deciles 12 Months		
		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December			Year 2003
max	ANDAU DECIL	168.1	132.7	149.0	153.0	217.5	248.4	380.2	309.8	306.4	258.4	243.9	183.3	max	ANDAU DECIL	682.4
	10	151.8	107.8	136.0	152.0	194.3	247.3	281.2	267.4	295.5	253.2	199.2	145.9		10	668.6
	9	142.4	99.0	112.5	136.3	178.2	215.6	235.5	246.6	279.6	219.9	181.6	136.4		9	632.5
	8	127.9	91.1	91.3	122.8	165.4	185.7	226.8	239.8	260.5	194.4	169.2	135.8		8	586.8
	7	107.9	80.0	79.7	117.2	149.8	163.4	200.5	219.8	245.0	184.1	155.4	133.2		7	573.0
	6	93.3	72.2	79.5	114.3	123.6	128.1	183.8	193.4	222.5	167.6	149.2	125.8		6	574.5
	5	78.5	70.8	78.6	112.8	120.3	126.2	165.2	165.8	200.6	156.6	146.2	123.4		5	562.7
	4	74.5	65.9	72.8	103.2	118.0	114.9	132.3	142.1	187.4	131.9	131.3	106.8		4	547.5
	3	74.1	56.9	56.8	82.3	114.3	96.4	124.2	131.1	180.4	114.8	117.0	89.1		3	504.3
	2	66.1	44.1	37.5	52.6	107.1	78.7	119.7	124.3	159.2	99.4	106.4	72.4		2	448.0
	1	35.8	28.4	34.2	23.1	94.2	75.7	114.5	120.2	117.8	52.8	93.2	47.8		1	360.3
		2003.0	138.9	81.9	38.3	23.1	110.3	128.1	174.6	120.2	117.8	111.0	93.2	96.1		380.3
		2004.0	74.3	97.3	132.7	151.7	171.4	247.0								
		Deciles 3 Months												Deciles 12 Months		
		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December			Year 2003
max	FUCHSEN DECIL	192.4	168.2	174.0	209.4	318.4	409.7	397.1	379.4	316.7	281.8	266.0	243.0	max	FUCHSEN DECIL	682.4
	10	159.4	130.0	140.2	171.2	189.7	223.4	290.8	274.0	250.9	212.8	196.4	197.6		10	659.9
	9	137.8	119.7	107.2	148.7	163.6	196.4	234.6	226.9	202.3	189.8	167.9	162.2		9	611.2
	8	126.2	107.2	98.9	134.3	149.9	190.3	197.8	214.4	199.8	169.2	156.4	154.0		8	597.0
	7	118.4	91.5	92.0	124.9	147.4	178.7	190.0	195.9	187.1	147.5	152.1	141.9		7	573.2
	6	112.5	84.3	79.3	110.6	133.2	170.3	176.3	182.9	163.9	135.6	140.5	125.5		6	530.7
	5	99.1	77.2	74.9	99.5	125.7	155.8	158.5	155.2	143.0	121.9	134.8	106.4		5	508.4
	4	95.8	69.5	73.7	84.8	115.3	134.5	150.5	146.8	132.6	105.1	121.8	93.3		4	496.5
	3	77.0	63.2	67.0	64.3	100.1	114.2	134.3	135.8	119.7	95.6	109.6	73.6		3	477.4
	2	58.1	52.9	53.1	50.9	80.6	90.5	117.3	118.0	97.9	92.8	72.4	65.0		2	446.0
	1	30.2	31.8	42.6	37.3	43.3	67.4	86.4	89.9	76.2	55.8	65.0	53.7		1	357.5
Average		2003.0	131.3	86.1	43.8	39.4	133.2	151.0	188.4	132.2	143.0	102.8	96.3	95.5		433.3
Average		2004.0	97.7	120.5	165.4	168.5	154.8	163.3								

Abb. C-14: Auswertung der Niederschlagsdecile (3- und 12-Monatsbasis) für Andau und Fuchsenbigl der Jahre 2003-2004.

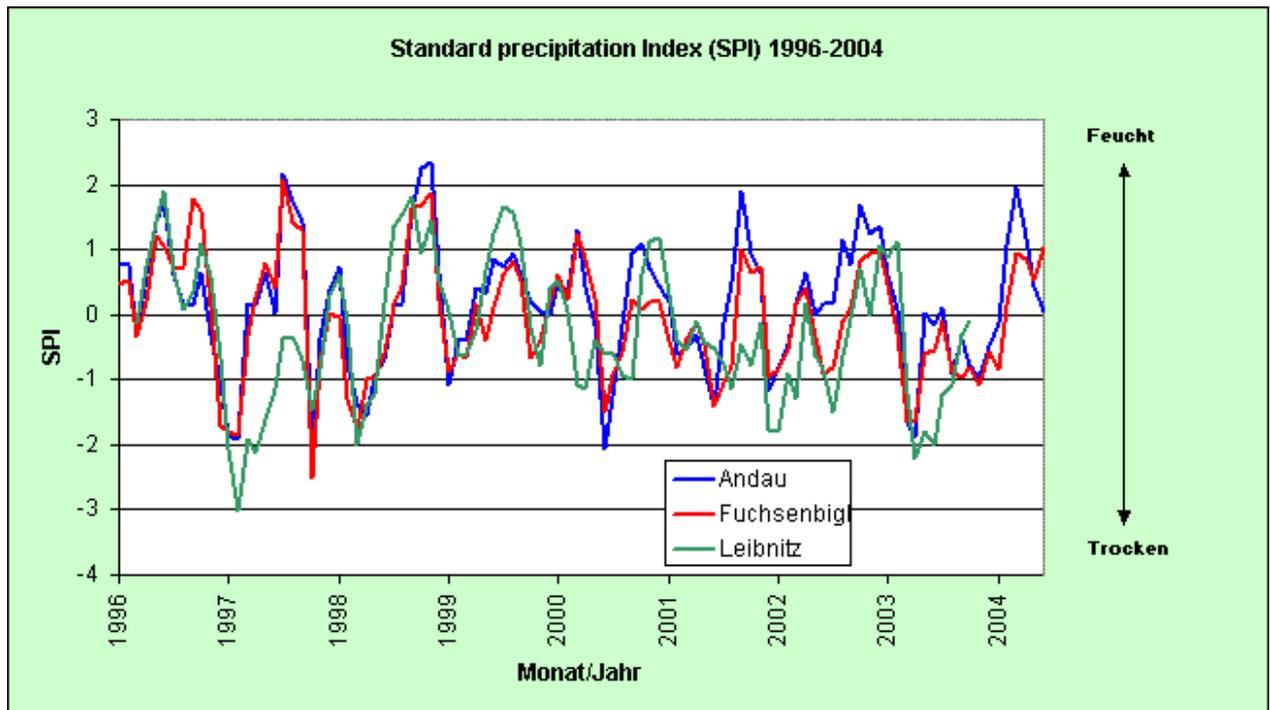


Abb. C-15: SPI Index (3-Monatsbasis) der Stationen Andau, Fuchsenbigl und Leibnitz von 1996-2004.

C-5.2 Agrarmeteorologische Indizes

Diese beinhalten im Vergleich zu den meteorologischen Indizes auch die Information zur kulturartenspezifischen Bodenwasserbilanz und stellen somit einen detaillierteren Einblick über die Trockenstresssituation der einzelnen Kulturen bereit. Im folgenden sind ausgewählte Detailauswertungen aus dem FAO-Bodenwasserbilanzmodell graphisch dargestellt.

Abb. C-16-18 zeigen die 10-Tagesverläufe verschiedener aus dem FAO Bodenwasserbilanzmodell abgeleiteten Trockenstressparameter (für eine Referenz-Bodentiefe von 40 cm) an verschiedenen Standorten und für verschiedene Kulturen. Die aktive Wachstumsdauer der jeweiligen Kulturpflanze hat neben den Bodeneigenschaften und der Witterung einen signifikanten Einfluss auf den Zeitverlauf der dargestellten Trockenstressparameter, wobei Sommergetreide früher abreift als Wintergetreide und Mais einen späteren Wachstumsbeginn aber eine lange Wachstumsperiode bis in den Herbst aufweist.

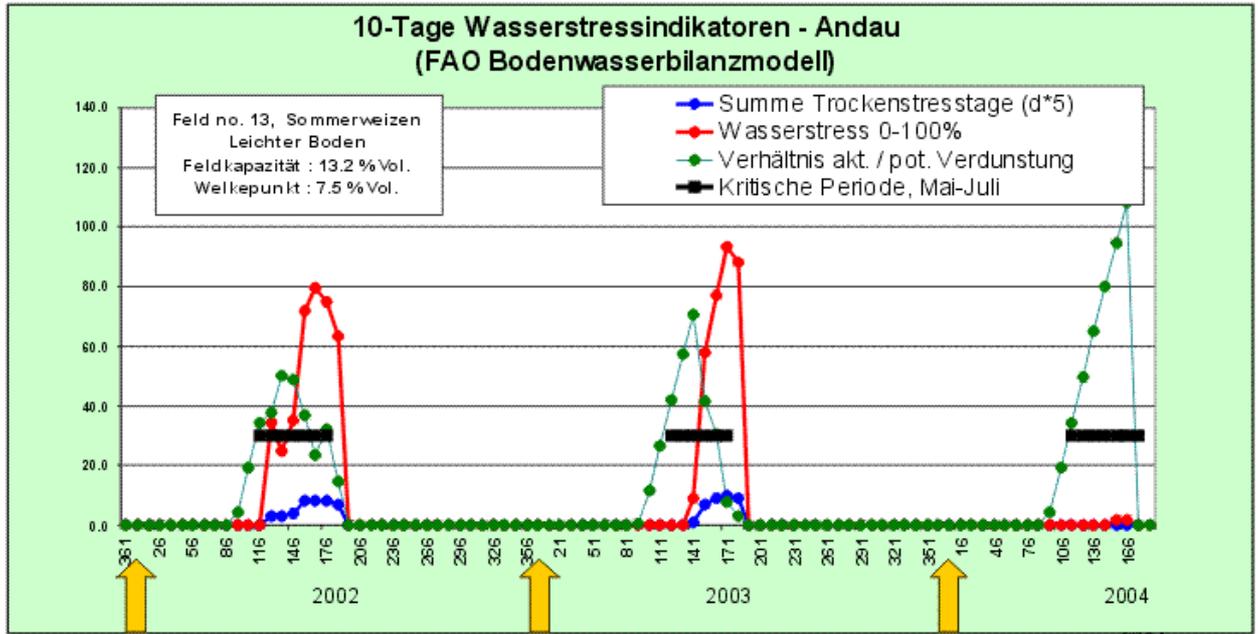


Abb. C-16: Abgeleitete Trockenstressparameter aus dem FAO Modell für den Seewinkel und Sommerweizen auf einem Boden mit niedriger Bodenwasserspeicherkapazität.

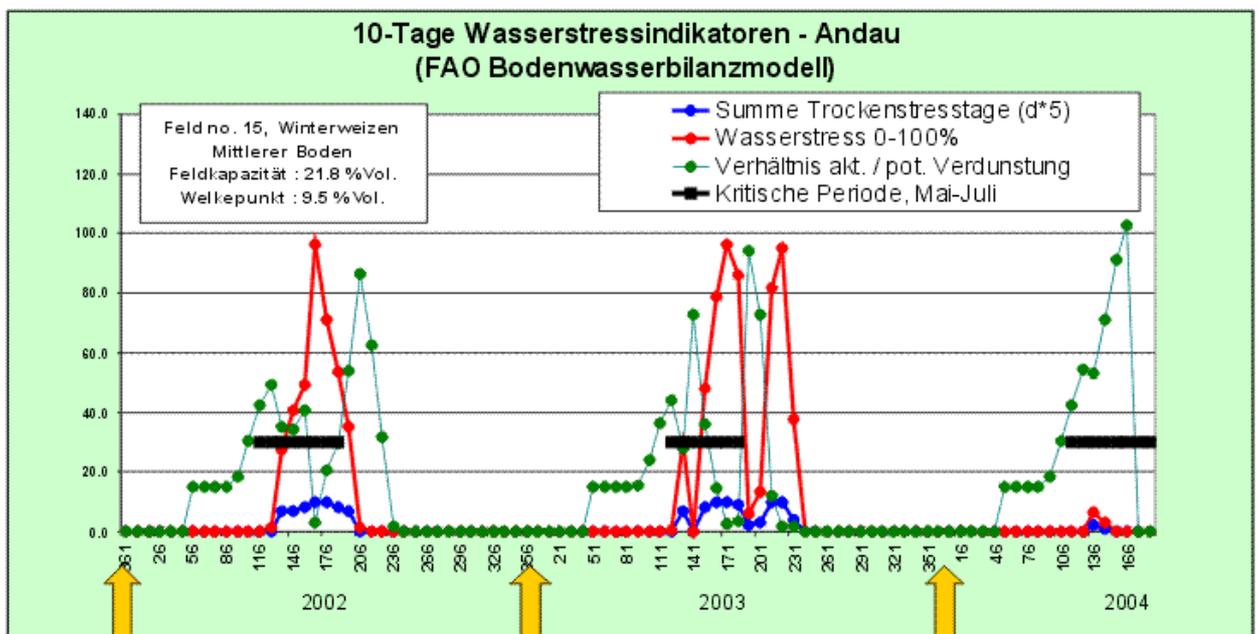


Abb. C-17: Abgeleitete Trockenstressparameter aus dem FAO Modell für das Marchfeld und Winterweizen auf einem Boden mit mittlerer Bodenwasserspeicherkapazität.

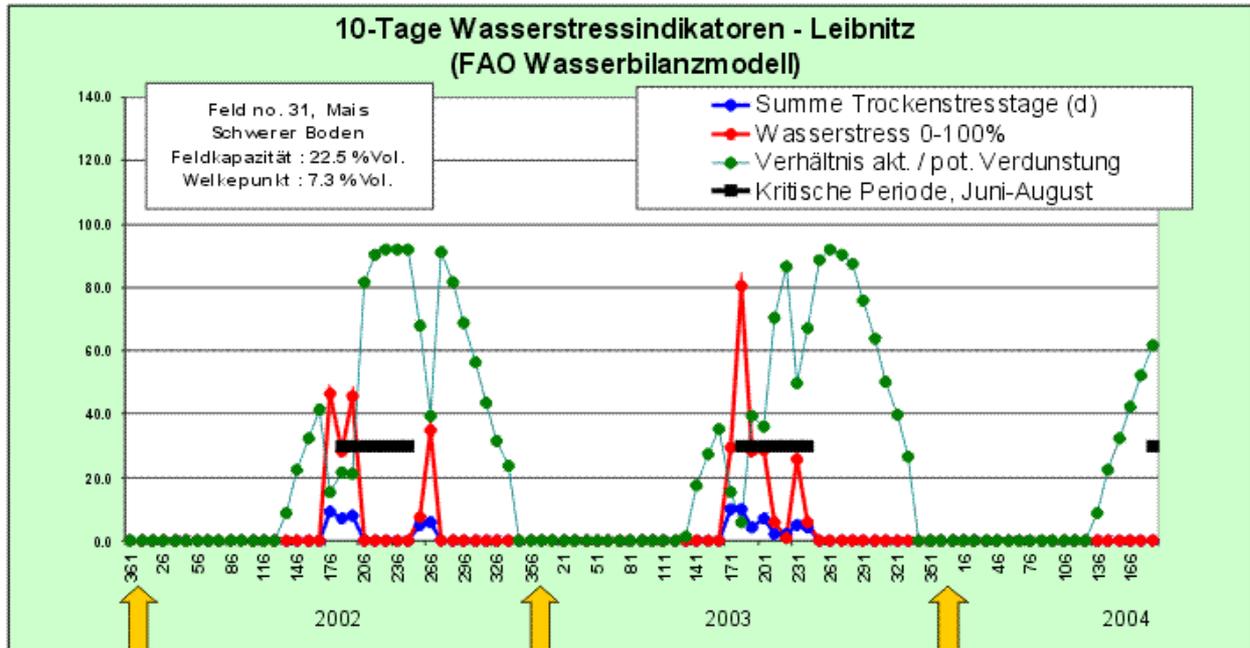


Abb. C-18: Abgeleitete Trockenstressparameter aus dem FAO Modell für die Region Leibnitz und Mais auf einem Boden mit hoher Bodenwasserspeicherkapazität.

C-5.3 Prozessorientierte Ertragsmodelle (DSSAT)

Mit den kulturartenspezifischen DSSATmodellen für Winterweizen, Sommerweizen/gerste und Mais wurden die Ertragsausbildung und Trockenstress für das Jahr 2002 und 2003 simuliert. Die simulierten Kornerträge werden in Abb. C-19 mit den realen Erträgen verglichen (nur 2003). Die Ergebnisse zeigen dass das Modell geringere Erträge simuliert hat als in der Realität aufgetreten. Dies liegt wahrscheinlich an der begrenzten Profiltiefe, für welche Bodeninformationen vorlagen, wobei der reale Bodenwasserspeicher unterschätzt und der Trockenstresseffekt überschätzt wurde. Für eine verbesserte absolute Ertragssimulation wären daher genauere Bodendaten erforderlich. Abgesehen von den absoluten Abweichungen gibt das Modell jedoch die relativen Unterschiede zwischen den Einzelschlägen und in Abhängigkeit zur nutzbaren Feldkapazität gut wieder.

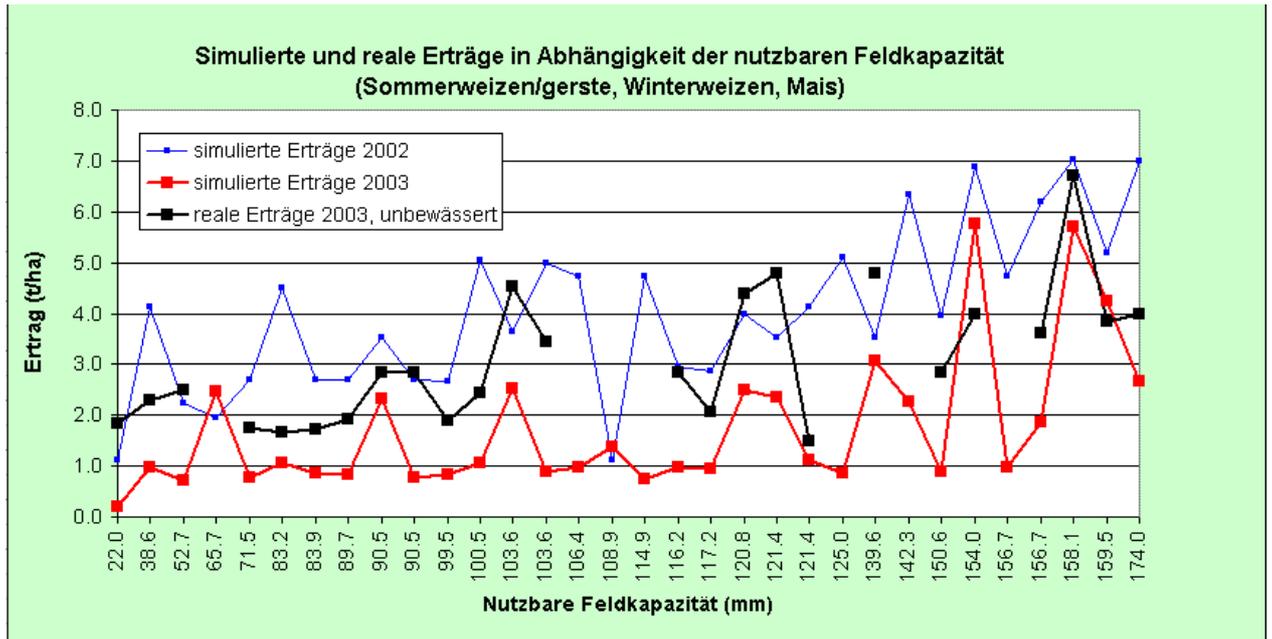


Abb. C-19: Die mit den DSSAT Modellen simulierte Erträge (Sommergetreide, Wintergetreide, Mais) im Vergleich zu den Realerträgen, geordnet nach der nutzbaren Feldkapazität (2002 und 2003 gleiche Kulturart je Feld angenommen).

C-5.4 Fernerkundungsindizes

C-5.4.1 LANDSAT

Bei der Interpretation der Daten ist zu berücksichtigen, dass keine radiometrische Kalibrierung durchgeführt wurde. Dadurch kann es zwischen den betrachteten Zeitpunkten zu Abweichungen kommen, die nicht auf unterschiedliche Zustände der Vegetation zurückzuführen sind. Dies gilt insbesondere bei einzelnen Bändern (z.B. TM6) und in geringem Maße bei Verhältnissen von Bändern (z.B. NDVI).

Die Abbildungen C-20, C-21 und C-22 zeigen die Indizes NDVI, TM6 (Pixelwert im thermischen Infrarot als Maß für die Oberflächentemperatur) und die Tasseled-Cap-Komponente „Wetness“, die als Maß für den Wassergehalt der Oberflächen dienen kann. Die Fruchtarten sind hier durch Nummern entsprechend der Auflistung in Kapitel C-4.6.11.2 bezeichnet.

NDVI: Die Getreidearten und Raps (Fruchtarten 1 bis 7) zeigen im Juni 2003 einen niedrigen NDVI-Wert (geringe Dichte grüner Biomasse). Die vereinzelt höheren Werte zeigen bewässerte Felder an. Die Fruchtarten 8 bis 11 haben generell höhere NDVI-Werte. Im August 2003 sind dieselben Relationen in verstärktem Maße zu erkennen. Hier gibt es natürlich keine bewässerten Getreidefelder. Ein Vergleich von Juni 2003 und Juni 2004 ist insofern schwer, als die Bildaufnahme 2004 um 2 Wochen früher erfolgte. Die höheren NDVI-Werte für Getreide 2004 können daher sowohl auf den fehlenden Trockenstress als auch auf den weniger fortgeschrittenen Reifezustand zurückgeführt werden.

Wetness: Für den Parameter „Wetness“ sind im wesentlichen dieselben Trends wie für den Parameter NDVI zu erkennen.

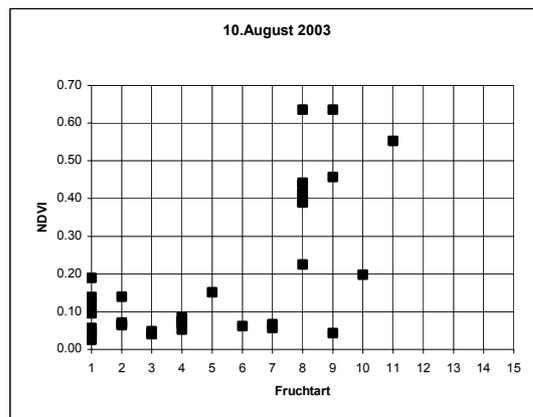
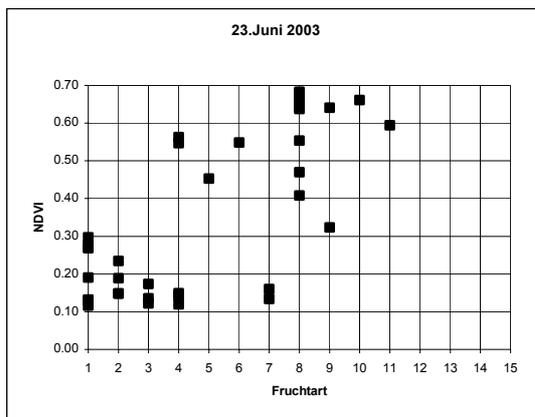
TM6: Im Juni sind nur geringe Temperaturunterschiede zwischen den Fruchtarten zu sehen. Dabei ist aber doch die plausible Tendenz zu erkennen, dass höhere NDVI-Werte (höhere Biomassendichtewerte) mit niedrigeren Temperaturwerten verbunden sind. Im Gegensatz dazu zeigen sich für August 2003 zwischen den Fruchtarten größere Temperaturunterschiede. Diese dürften auf die Bestandeshöhenunterschiede und damit auf die unterschiedlichen Schattenanteile auf den Bildern zurückzuführen sein.

Die Korrelationen zwischen NDVI, Wetness und TM6 sind in der Abbildung C-23 dargestellt.

Die Tabelle C-18 zeigt die gemittelten Werte für die 3 betrachteten Indizes für die 3 Zeitpunkte Juni 2003, August 2003 und Juni 2004. Auch hier sind die im Jahr 2003 Trockenstress anzeigenden Tendenzen der Indizes zu sehen: niedriger NDVI (niedrige Dichte der grünen Biomasse), hoher Wert TM6 (hohe Temperatur) und niedriger Wert für Wetness.

Tab. C-18: Gemittelte Werte für die 3 betrachteten Indizes für die 3 Zeitpunkte Juni 2003, August 2003 und Juni 2004

	NDVI	TM6	wetness
Juni 2003	0,36	139	-19
August 2003	0,19	160	-44
Juni 2004	0,48	123	-2



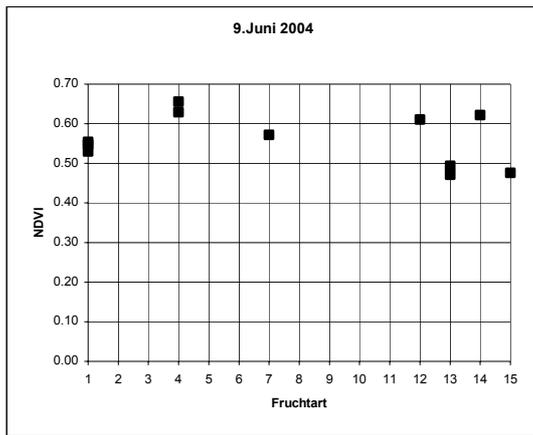


Abb. C-20: Index NDVI (Landsat) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten

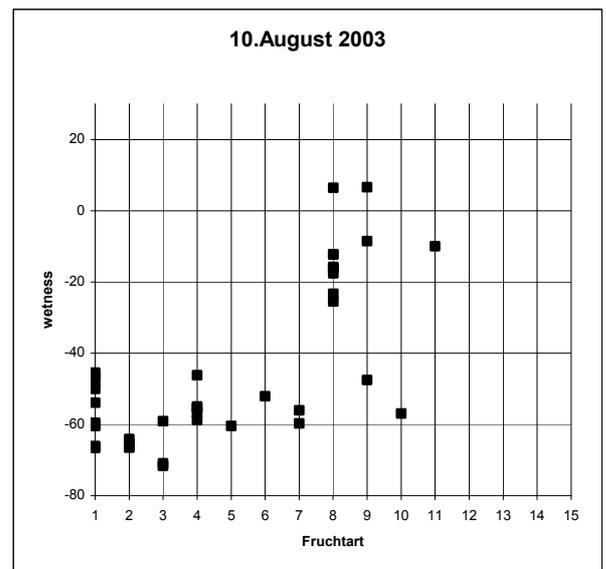
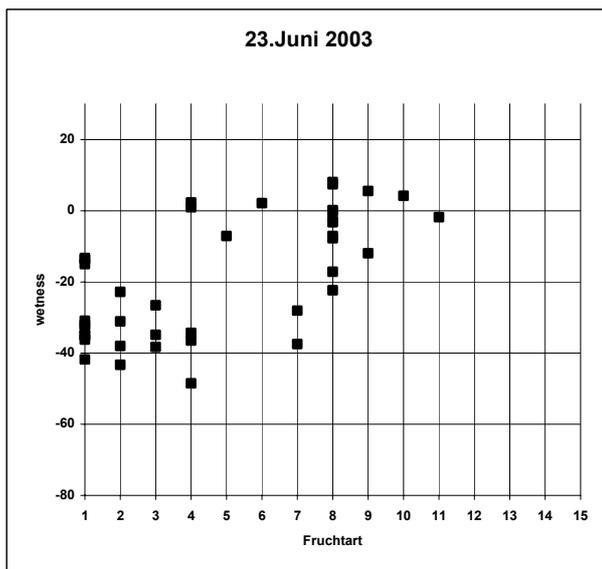


Abb. C-21: Index Wetness (Landsat) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten

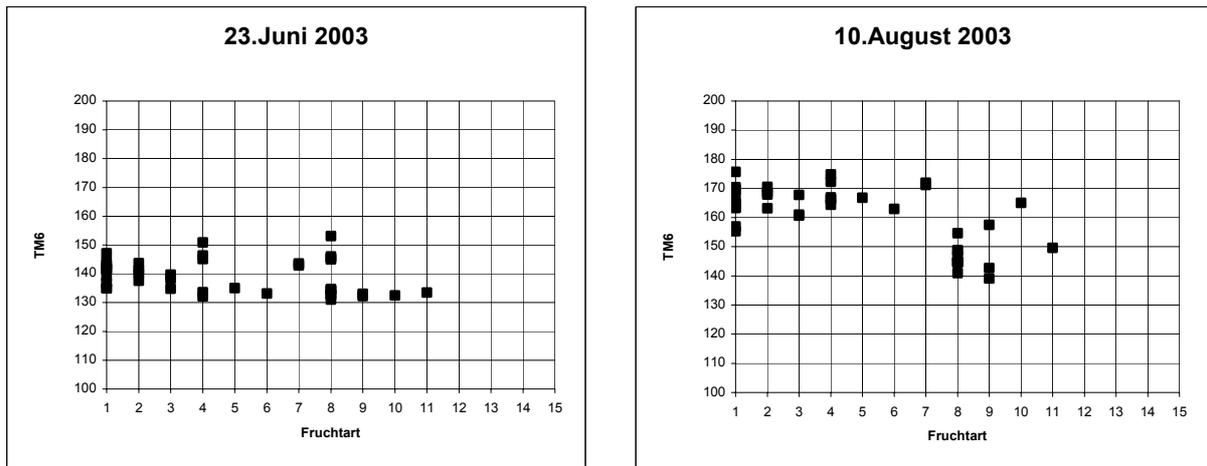


Abb. C-22: Index TM6 (Landsat) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten

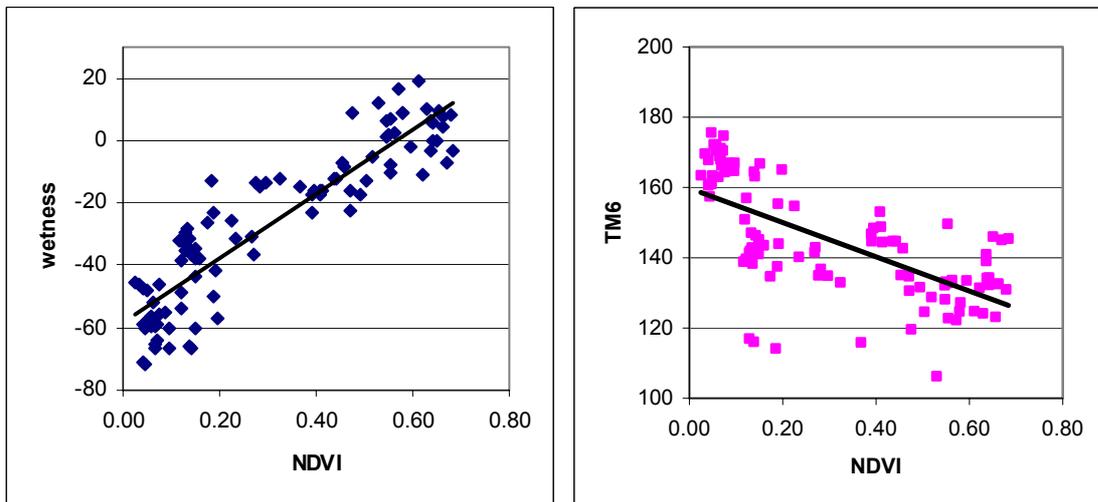


Abb. C-23: Die Korrelationen zwischen NDVI, Wetness und TM6 (Landsat)

C-5.4.2 MODIS

Die NDVI-Werte aus den MODIS-Bilddaten zeigen im Prinzip ähnliche Tendenzen wie die Landsat-Daten (Abb. C-24). Die Unterschiede sind jedoch weniger ausgeprägt, was aus der geringen räumlichen Auflösung (Schwierigkeit, die Werte einzelnen Feldern zuzuordnen) erklärt werden kann. Weitere Untersuchungen mit Subpixelanalyse-Methoden könnten hier Verbesserungen ergeben.

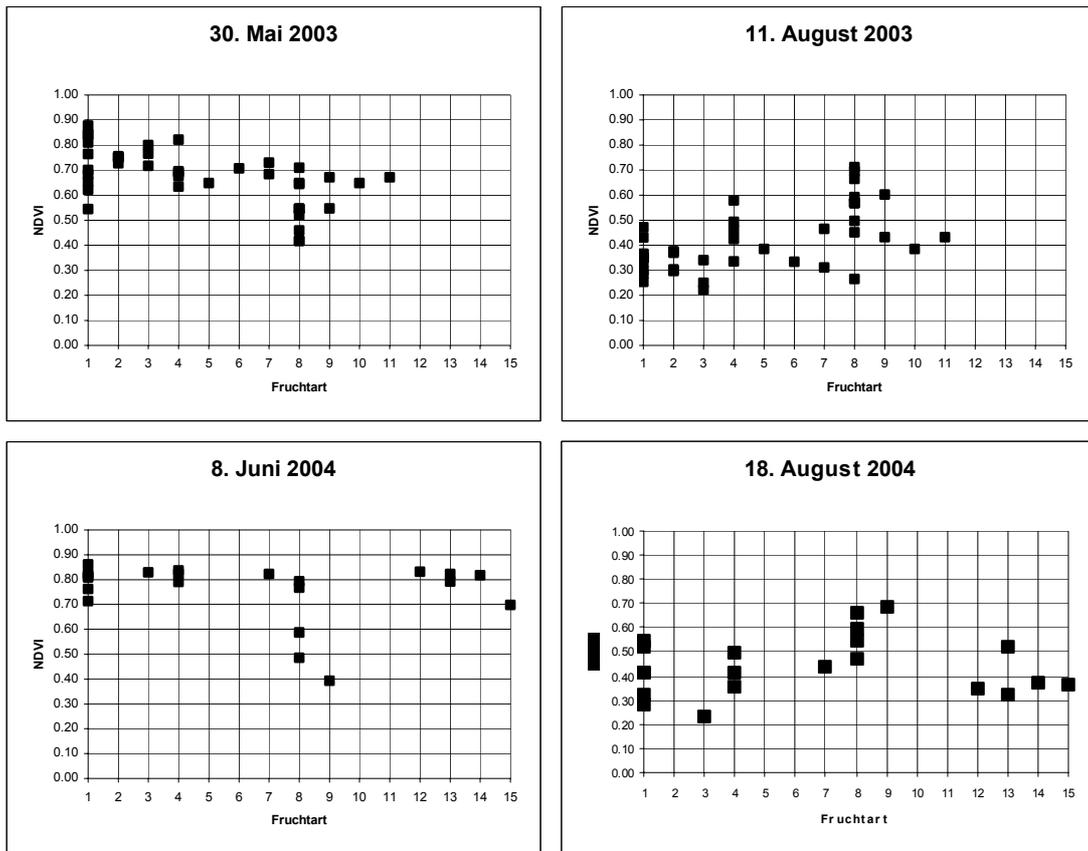


Abb. C-24: Index NDVI (MODIS) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten

C-5.5 Vergleich der Methoden / Indizes

Im Folgenden werden die Ergebnisse für meteorologische Indizes (nur Wetterdaten der repräsentativen Station gehen in die Berechnung ein), von agrarmeteorologischen Indizes (Schlag- und Kulturbezogen, da die Bodenwasserspeicherfähigkeit und Phänologie berücksichtigt wird) und des DSSAT Ertragsmodells durch den Vergleich zu einer vorgegebenen Trockenheits-Ertragseinbusse der berücksichtigten Kulturpflanzen miteinander verglichen. Für die Berechnung der realen Ertragseinbusse durch Trockenheit wurden die besten Erträge des Jahres 2004 (weitgehend ohne Trockenstress) der jeweiligen Kulturpflanze als Referenzertrag definiert (Sommergetreide : 5.5 t/ha; Wintergetreide : 6.6 t/ha; Mais : 6.9 t/ha). Beim Vergleich ist zu beachten, dass sich die verschiedenen Indizes auf 2 unterschiedliche Zeiträume beziehen (jeweils nur eine 3-monatige Hauptwachstumsperiode der jeweiligen Kulturpflanze und die Periode April bis September), wobei jeweils für diesen Zeitraum ein Mittelwert des jeweiligen Index als Vergleichsbasis verwendet wurde. Korrelationen der verschiedener Parameter und Indizes sind in Abb. C-25-26 und Tab. C-19 dargestellt.

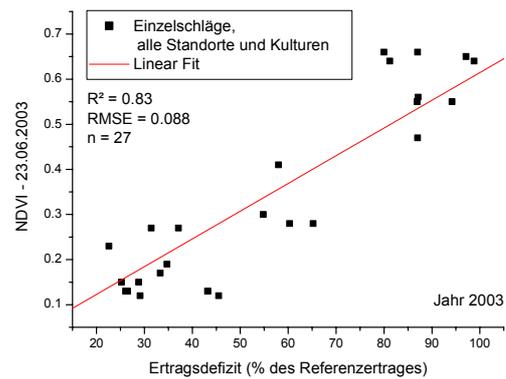
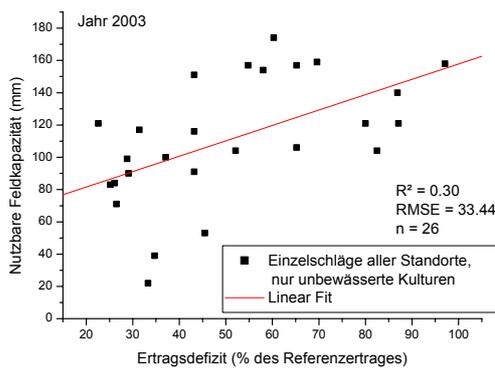


Abb. C-25: Die Korrelation der nutzbaren Feldkapazität und des NDVI Index zum realen Ertragsdefizit im Jahr 2003.

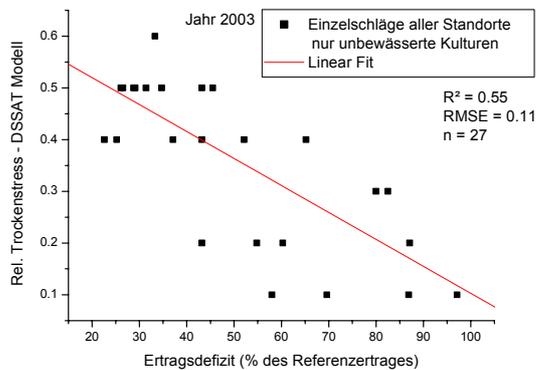
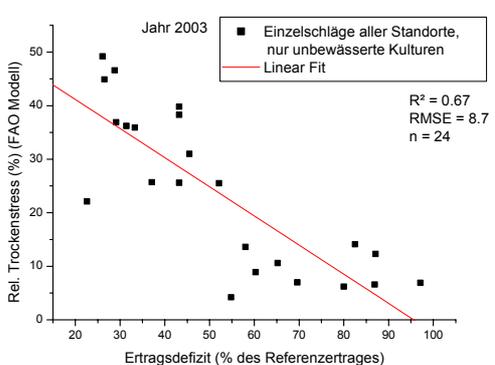


Abb. C-26: Die Korrelation der relativen Trockenstressparameter des FAO und DSSAT - modells zum realen Ertragsdefizit im Jahr 2003.

In Abb. C-25a ist erkennbar, dass die verfügbare Bodenwasserspeicherkapazität (trotz der unterschiedliche Niederschläge an den verschiedenen Feldstandorten) eine große Rolle bei der Entwicklung von Trockenschäden und Trockenstress der verschiedenen Kulturpflanzen spielt. Die übrigen in Abb. C-25-26 dargestellten Parameter (NDVI, FAO und DSSAT Wasserstressfaktoren), in welche zusätzlich zu den Bodenbedingungen der Niederschlag und die Kulturart eingehen, zeigen eine wesentlich verbesserte Korrelation zum realen Ertragsdefizit.

In Tab. C-19 werden die Korrelationen sämtlicher Indizes und Parameter zum realen Ertragsdefizit des Jahres 2003 dargestellt.

Tab. C-19: Statistik des Zusammenhanges von Trockenheitsindizes zur Ertragsreduktion durch Trockenheit (Referenzertrag 2004 – Ertrag 2003) im Jahr 2003.

Index / Parameter	Kulturartspezifische ¹ Hauptwachstumsperiode (3 Monate)			April – September (6 Monate)		
	R ²	RMSE	N ³	R ²	RMSE	N
Einzelschlagsbezogen						
DSSAT – Trockenstressfaktor	-	-	-	0.55	0.1	27
FAO – Rel. Trockenstress	0.67	8.7	24	0.45	7.6	27
FAO - Trockenstresstage	0.55	9.1	27	0.20	27.6	27
FAO – Max.Trockenstressdauer	0.35	8.2	27	0.06	18.2	27
FAO – akt. / Referenzverdunstung	0.35	7.0	27	0.11	7.9	27
Crop Drought Stress Index (CDSI)	0.30	0.06	22	0.09	0.15	26
Nutzbare Feldkapazität	-	-	-	0.30	33.4	26
NDVI am 23.06.2003	0.83	0.09	27	-	-	-
Schläge gleicher Wetterstation und Kulturart gemittelt (N=5)						
Crop Moisture Index (CMI)	0.21	0.19	5	0.06	0.3	5
Standard Precipitation Index (SPI)	0.19	0.46	5	0	0.4	5
Niederschlagssumme	0.16	75	5	0.50	63	5
Temperatursumme	0.10	275	5	0.45	130	5
3-Monats Niederschlagsdezile	0.10	1.8	5	0.12	0.51	5
Rainfall Anomaly Index (RAI)	0.005	0.44	5	0.62	0.19	5
Foley's Index	0.18	0.23	5	0.48	0.13	5
TI Index	0.07	0.23	5	0.65	0.28	5
Palmers Index (PDSI) ²	0.09	1.7	5	-	-	-
Z - Index ²	0.02	2.4	5	-	-	-
¹ Für Sommergetreide : April – Juni; für Wintergetreide : Mai-Juli; für Mais : Juni - August ² gerechnet nur für nutzbare Feldkapazität 100mm (alle Felder) ³ Anzahl der berechneten Schläge (Felder)						

Aus den in Tab. C-19 angeführten Korrelationen ist ersichtlich dass Indizes, welche alle beeinflussenden Faktoren für Trockenstress bei Pflanzen (Bodenbedingungen, Niederschlag und Kulturart) berücksichtigen bei der Abschätzung von Ertragsreduktion durch Trockenheit relativ gut abschneiden. Diese Beziehung verschlechtert sich wieder, wenn der berücksichtigte Zeitraum über die kulturartspezifische Hauptwachstumsperiode (Periode April-September) hinausgeht. Bei der Beurteilung der einzelnen Indizes ist zu berücksichtigen, dass bei Methoden in denen Daten über die Bodenwasserspeicherfähigkeit eingehen, aufgrund der Datengewinnung aus der Bodenkarte 1:25.000 diese mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Die Güte dieser Methoden könnte bei Nutzung genauerer und repräsentativerer Bodendaten weiter wesentlich verbessert werden. Auffällig ist das schlechte Abschneiden des PDSI und Z Index, der hier allerdings nur für einen mittleren Boden gerechnet wurde, was den schlechten Zusammenhang sicher zum Teil bedingt.

Bei den meteorologischen Indizes, welche nicht schlagsspezifisch, aber auf Wetterstationen bzw. Kulturarten bezogen sind, scheinen die Verhältnisse anders zu liegen, wobei in den meisten Fällen die Indizes bei Betrachtung der längeren 6-Monatsperiode besser

abschneiden, wobei vor allen die niederschlagsbezogenen Indizes (Niederschlagssumme, TI Index und RAI Index) sehr gut abschneiden. Dies dürfte auf die extrem trockenen Verhältnisse während der gesamten Vegetationsperiode und das große Gewicht auch geringer Niederschläge und der Bodenverhältnisse im Jahr 2003 zurückzuführen sein. Diese Indizes und auch die Robustheit der anderen Indizes sollten daher für eine entgeltliche Bewertung in weiteren Schritten anhand mehrerer Jahre mit unterschiedlichen klimatischen Verhältnissen beurteilt werden.

Hervorzuheben ist schließlich der NDVI, der als Momentaufnahme zu einem Zeitpunkt der größten Wasserstresssensitivität (z.B. im Juni bei den meisten einjährigen Kulturpflanzen) ein guter Indikator für Trockenschäden sein könnte. Jedoch sind auch hier noch weiterführende Untersuchungen und Vergleiche über die Robustheit der Methode in unterschiedlichen Jahren und über die phänologische Entwicklung des NDVI nötig.

C-6 Schlussfolgerungen

Wassermangel verringert die Pflanzenproduktivität. Dieser schon seit langem intuitiv erkennbare Zusammenhang erfuhr 2003 besondere Aktualität. Gleichzeitig bot dieses Extremjahr Gelegenheit, darüber hinausgehende Erkenntnisse abzuleiten, um die Auswirkungen zukünftiger Klimaszenarien genauer abschätzen zu können.

Landwirtschaftliche Kulturen dürfen nicht über einen Kamm geschoren werden. Es gibt kein Trockenjahr, das in ganz Österreich alle Arten in gleicher Weise schädigt. Es spielt eine große Rolle, ob der Schwerpunkt des Niederschlagsdefizits im Frühjahr oder im Sommer liegt. Getreidearten wie Gerste und Weizen, die ihre Vegetationsperiode in den meisten Gebieten Anfang Juli abgeschlossen haben, wurden durch den Schwerpunkt der Trockenperiode im Juli und August 2003 nicht so stark getroffen wie Mais oder Grünland, die ihren wesentlichsten Trockenmassezuwachs in dieser Periode erzielen. Dieses Verhalten zeigte sich sowohl bei den Untersuchungen auf Bezirksebene als auch auf Feldebene.

Die Analysen der Ertragsdaten 1997 – 2003 auf Bezirksebene zeigten, dass Sommergerste von den Witterungsbedingungen 2003 am wenigsten beeinträchtigt wurde (der durchschnittliche Sommergerstenertrag in den Hauptproduktionsgebieten lag nur um 8 % niedriger als in den 6 Jahren zuvor). Eine um 10 mm verringerte Niederschlagssumme während der Sommergersten-Vegetationsperiode reduziert den Ertrag im Osten Österreichs um durchschnittlich 56 ± 16 kg/ha; fallen nur im Juni 10 mm weniger Niederschläge als im Durchschnitt, ist eine Ertragsreduktion von 38 ± 16 kg/ha zu erwarten. Auch ein Trockenjahr ist in seinen Auswirkungen lokal variabel – bei einzelnen Bezirken waren die Erträge 2003 überhaupt nicht reduziert. In genau jenen Bezirken war die Trockenperiode durch – wenn auch geringe – Niederschläge unterbrochen worden, oder die Hitzeperiode war weniger ausgeprägt gewesen. Die Temperatur in der Kornfüllungsphase (Juni) erwies sich als mindestens ebenso wichtig wie eine Unterbrechung der niederschlagsfreien Zeit. Bei einer Erhöhung der durchschnittlichen Maximaltemperatur im Juni um 1°C ist mit einer Gersten-Ertragsreduktion um 108 ± 19 kg/ha zu rechnen. Auch Schelling et al. (2003) beschreiben für Gerste die überragende Bedeutung der Temperatur: mit einem Anstieg der mittleren Tagestemperatur um 1°C über das Optimum von 14 bis 18°C während der Kornfüllungsphase kam es zu einer Abnahme des Kornertrags um ca. 5%.

Weizen, der in den Hauptproduktionsgebieten 2003 durchschnittlich 12 % Ertragsminderungen aufwies, war ebenso nicht nur gegen Wassermangel, sondern auch gegen hohe Maximaltemperaturen in der Kornfüllungsphase empfindlich. Ein um 10 mm geringerer Niederschlag im Juni kann für Weizen einen Kornertragsverlust von 41 ± 18 kg/ha bedeuten, bei einer Erhöhung der mittleren Maximaltemperatur im Juni ($+1^\circ\text{C}$) können um 152 ± 32 kg/ha niedrigere Erträge auftreten, bei Gibson und Paulsen (1999) kam es bei gleicher Erwärmung zu einer Ertragsminderung von 3 – 5%, bei Hartwell (2003) zu einer 10%igen Abnahme bei Zunahme der Temperatur um 3.5° .

Obwohl der Ertrag von Mais in größeren Gebieten als Weizen um mehr als 25 % verringert war, ergab sich im Durchschnitt ebenfalls nur eine Kornertragsminderung von 11 %, da in manchen Gebieten 2003 nicht wesentlich ungünstigere Produktionsbedingungen als die Jahre zuvor geboten hatte. Auch bei diesen Gebieten waren es fallweise Unterbrechungen der niederschlagsfreien Perioden und geringere Maximaltemperaturen gewesen, welche Ertragsrückgänge im Vergleich zum Umland vermieden oder geringer hatten ausfallen lassen. Ein trockener Juni (-10 mm Niederschlag) kann den Kornertrag um 71 ± 41 kg/ha verringern, ein heißer August ($+1^\circ\text{C}$ mittleres Temperaturmaximum) reduziert den Ertrag um potentiell 214 ± 113 kg/ha. Wilhelm et al. (1999), Hu und Buya-

novsky (2003), Lobell und Asner (2003) beschreiben ebenfalls den negativen Effekt von super-optimalen Temperaturen während der Kornfüllungsphase von Mais.

Die Produktivität von Wiesen-Grünland wurde 2003 am deutlichsten reduziert (im Mittel -15 %), doch der Unterschied in der Seehöhe zwischen unterschiedlich stark betroffenen Gebieten verursachte auch hier deutliche Disparitäten in den Ertragsreduktionen. In den hauptsächlich entlang des Alpenhauptkamms gelegenen Gebieten war es primär die fallweise Unterbrechung der niederschlagsfreien Periode sowie öfters die Niederschlagssummen im Frühjahr (April) gewesen, welche günstigere Wachstumsbedingungen für das Grünland geschaffen hatten. Eine während der gesamten Vegetationsperiode um 10 mm verringerte Niederschlagssumme kann die Produktivität um 24 ± 4 kg/ha verringern, hohe Temperaturen im August ($+1$ °C mittlere Maximaltemperatur) reduzieren um bis zu 445 ± 36 kg/ha. Sparks und Potts (1999) berichten bei Untersuchungen an Rothamsted-Grünlanddaten, dass eine positive Korrelation zur Sommerniederschlagsmenge und eine negative mit der Maximaltemperatur bestand ($+1$ °C bedeutete Ertragsminderung von 0.33 t/ha).

Der Vergleich der Bedeutung von Hitze-, Kälte- und Trockenheitseinflüssen zeigte für die Untersuchungsperiode 1997-2003 die vorrangige Rolle der Maximaltemperaturen bei der Reduktion von Erträgen. Die negativen Auswirkungen einer Trockenperiode entstehen somit nicht nur durch den Wassermangel, sondern unter den gegebenen klimatischen Bedingungen in noch stärkerem Ausmaß durch den Hitzestress und eine beschleunigte Entwicklung bzw. eine verkürzte Zeitperiode für die Biomassebildung. Eine hohe Temperatur darf nicht nur in ihrer Rolle als Motor der Evapotranspiration gesehen werden, sondern hat auch physiologische Beeinträchtigungen der Assimilatspeicherung und Verlagerung in die Ertragsorgane zur Folge. Diese Auswirkungen sind primär im Osten Österreichs als sommerwärmstem landwirtschaftlichem Intensivproduktionsgebiet merkbar. Bei Mais als hochtemperatur-verträglichster Kulturart war der Einfluss von Maximaltemperatur und Niederschlagsmangel etwa gleich groß, während bei allen anderen untersuchten Arten die Beziehung zwischen Ertrag und Trockenheit weniger ausgeprägt als zwischen Ertrag und Maximaltemperatur. Bei Einbeziehung der historischen Ertragsdatenbasis aus dem Vorgängerprojekt StartClim 2003 wird ein langfristiger Trend sichtbar: in den letzten 135 Jahren blieb die Bedeutung des Niederschlagsmangels bei allen untersuchten Kulturen ungefähr gleich groß, während die Rolle der Maximaltemperaturen sukzessive anstieg. Am deutlichsten wurde diese Entwicklung etwa seit 1990, als die mittleren Maximaltemperaturen deutlich enger mit dem Ertrag korreliert waren als die Niederschlagssumme.

Die Entwicklung von Regressions- und neuronalen Netzwerkmodellen mit Verwendung verschiedener meteorologischer Inputs zur Erklärung der Ertragsbildung zeigte außer den Anwendungsmöglichkeiten auch die Limitierungen solcher Modelle auf: Nur in Ausnahmefällen konnten Modelle, die ausschließlich mit meteorologischen Inputs arbeiteten, mehr als 50 % der Datenvariabilität erklären. Im Durchschnitt boten neuronale Netzwerkmodelle ein um 10 % höheres Erklärungsniveau als Regressionsmodelle, ließen aber keine befriedigende Gewichtung der Bedeutung der einzelnen Inputs zu. Je kleinräumiger das Gebiet war, für das ein Modell entwickelt wurde, umso höher war das Bestimmtheitsmaß des Modells.

Der Vergleich verschiedener Indizes auf Feldebene in den ausgewählten Trockenregionen Österreichs wurden mit meteorologischen Indizes, agrarmeteorologischen Indizes / Modellen und Fernerkundungsmethoden nur für das sehr trockene Jahr 2003 durchgeführt. Dies erforderte einen höheren Aufwand bei der Datenerstellung hinsichtlich der Anzahl an räumlichen Einheiten und einer vermehrten Parameteranzahl (wie der Bodenwasserspeicherkapazität).

Trockenheitsindizes geben ein relatives Maß für Trockenheit an, vorerst ohne einen bestimmten Auswirkungs-Bezug. Je nach Index sind verschiedene Inputparameter un-

terschiedlich gewichtet und zeitlich berücksichtigt, was mit unterschiedlichen Auswirkungen verschieden gut korrelieren kann. Bei den Untersuchungen auf Feldebene wurden insbesondere die Zusammenhänge mit den Ertragsreduktionen des Jahres 2003 (im Vergleich zum feuchten Jahr 2004) ausgewertet. Die Güte der einzelnen Methoden war in sich unterschiedlich, jedoch zeigten einige agrarmeteorologische Modelle und die Fernerkundungsmethode wesentlich bessere Ergebnisse (die Besten zwischen 60 % und 83 % Erklärung der Datenvariabilität) als die meteorologischen Indizes bei einer 3-monatigen Bezugsperiode. Nicht nur die räumliche Auflösung sondern auch die zeitliche Auflösung spielt bei diesen Modellen eine wichtige Rolle wobei es sich zeigt dass die agrarmeteorologischen Modelle besser abschneiden, wenn sie auf die entscheidenden phänologischen Phasen der Kulturpflanzen abgestimmt sind. Auch bei den agrarmeteorologischen Modellen auf Feldebasis zeigt sich – wie bei den Bezirksanalysen - dass Sommergetreide im Jahr 2003 eher weniger vom Trockenstress betroffen ist als zum Beispiel Mais, da der simulierte Trockenstress erst im Juni signifikant anstieg. Es zeigte sich bei den Einzelfeldanalysen jedoch auch die enorme Variabilität der Trockenstressbedingungen die durch die Bodenwasserspeicherkapazität und damit der Bodenart auch innerhalb der einzelnen Betriebe verursacht wird – eine Information die in größeren räumlichen Skalen nicht ersichtlich ist. Einige meteorologische niederschlagsbezogene Indizes zeigten ein erstaunlich gutes Ergebnis bei Bezug auf die 6-monatige Zeitperiode April-September, was aber auch ein für das Jahr 2003 spezifisches Ergebnis ist, aufgrund der extrem trockenen Verhältnisse in 2003 und der relativ geringen Zahl der einbezogenen Fälle. Insgesamt wäre eine Erweiterung der Analyse auf mehrere, klimatisch unterschiedliche Jahre anzustreben um die Robustheit der Methoden zu überprüfen. Insbesondere dürfte die ertragsreduzierende Rolle der hohen Temperaturen bei manchen Trockenheitsindizes in den unterschiedlichen Jahren unterschiedlich wirken, da nur manche Indizes die Temperatur berücksichtigen. Andererseits könnten Trockenheitsindizes auch dazu dienen, Ertragseinbußen durch Trockenstress von Hitzestress einbußen zu trennen, wenn man diesbezügliche Methoden kombiniert. Eine Kombination mit Zeitpunktaufnahmen durch Fernerkundungsmethoden könnte ebenfalls ein innovativer Schritt zur Verbesserung der Nutzung von Trockenheitsindizes oder agrarmeteorologischen Modellen zur Ergründung von Ertragsreduktionen sein.

Die Ergebnisse der verschiedenen Methoden auf Bezirks- und Feldebene veranschaulicht die Möglichkeit einer räumlichen Individualisierung von Agrarproduktionsmodellen, wobei ein Kompromiss zwischen der guten Datenbasis und allgemeinen Gültigkeit bei nur mäßiger Güte eines überregionalen Modells und der schmalen Datenbasis, hohen Aussagekraft und schlechten Verallgemeinerbarkeit eines Standortmodells – je nach Erfordernissen und Anwendungsfall - getroffen werden kann. Eine Überwindung der Limitierungen von statistisch-meteorologischen Modellen erfordert die Einbeziehung weiterer boden- und produktionsspezifischer Inputs, wie dies bei agrarmeteorologischen Modellen der Fall ist. Diese haben das Potential höherer Erklärungskraft für das Zustandekommen von Ertragsreduktionen, sind aber wegen der notwendigen höheren räumlichen Auflösung auch inputbedürftiger und mit wesentlich mehr Aufwand (z.B. für eine GIS-Implementation) zu entwickeln. Da die Verbesserung der hochaufgelösten räumlichen Datenbasis und die Techniken der Bearbeitung jedoch schnell voranschreiten, liegen hier noch große Potentiale, insbesondere auch in Verbindung mit Fernerkundungsmethoden, verborgen. Zunehmend werden auch schlagspezifische Auswertungen und Daten durch den vermehrten Einsatz der GIS Technologie in der Praxis (wie Trockenschadensabschätzungen auf Feldebasis usw.) möglich und Genauigkeit, Repräsentanz bei vielen Anwendungen (z.B. ÖPUL Maßnahmen) immer wichtiger.

Literaturverzeichnis

- Alexandrov, V., J. Eitzinger and H. Formayer, 2000. Vulnerability and Adaptation Assessments of Agricultural Crops under Climate Change in North-East Austria. Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Climatology "Tools for the environment and man of the year 2000" Pisa, Italy, 6 pp. (CD version).
- Alexandrov, V. and J. Eitzinger, 2003. Drought impacts in southeastern and central Europe during the late 20th century. Proceedings of the ECAM 2003, Rome, Italy, 16-19 September, 2003, 25 pp. (CD version).
- Allen, G.A., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 78-86.
- BMLFUW, 2004. Grüner Bericht 2003. Bericht über die Lage der österreichischen Landwirtschaft 2003, Wien.
- Eitzinger, J., V. Alexandrov, E. Klaghofer und M. Oberforster, 2001. Die Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt von Kulturpflanzen bei unterschiedlichem Bodenwasserspeichervermögen. Proceedings, Deutsch - Österreichisch - Schweizerische Meteorologen - Tagung, 18. bis 21. September 2001, Wien, Österreich.
- Eitzinger, J., Štastná, M., Žalud, Z., Dubrovský, M., 2003. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agricultural Water Management*, 61, 3, 163-234.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hösch, J., Žalud, Z., Dubrovský, M., 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling* 171 (3), 223-246.
- Foley, J.C., 1957. Droughts in Australia: Review of Records from Earliest Years of Settlement to 1955. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 43, 281pp.
- Gibbs, W.J., Maher, J.V., 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Australian Bureau of Meteorology, Bull. 48, 37 pp.
- Gibson, L.R., Paulsen, G.M., 1999. Yield components of wheat grown under high temperature stress during reproductive growth. *Crop Science* 39, 1841-1846.
- Guttman, N.B., 1998. Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 113-121.
- Harlfinger, O. und G. Knees, 1999. Klimahandbuch der Oesterreichischen bodenschaetzung. Mitteilung der Oesterreichischen Bodenkundlichen Gessellschaft. Heft 58, 196.
- Hartwell, A.Jr., 2003. Temperature rise might stall seed yield. *Agric. Res.*, August, 23
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Batchelor, W.D., Bowen, W.T., Hunt, L. A., Pickering, N.B., Singh, U., Godwin, D.C., Bear, B., Boote, K. J., Ritchie, J.T. and White, J.W., 1994, Crop models, DSSAT Version 3.0. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer. University of Hawaii, Honolulu, 692 pp.
- Hu, Qi, Buyanovsky, G., 2003. Climate effects on corn yield in Missouri. *J. Appl. Meteor.* 42, 1626-1635.
- Karl, T.R., 1986. The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmers Z-index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *J. Climate Appl. Meteor.* 25, 77-86.
- Kogan, F.N., 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 76, 655-668.
- Lobell, D.B., Asner, G.P., 2003. Climate and Management contributions to recent trends in U.S. agricultural yields. *Science* 299, 1032.

- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist, 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15-20, 1995, Dallas TX, pp. 233-236.
- Meyer, S.J., 1993a. A crop specific Drought index for corn I. Model development and validation. *Agronomy Journal* 85, vol 2, 388-395.
- Meyer, S.J., 1993b. A crop specific Drought index for corn II. Application in drought monitoring and assessment. *Agronomy Journal* 85, vol 2, 396-399.
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological Drought. US Weather Bureau Research Paper No.45, Washington DC, 58 pp.
- Palmer, W.C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. *Weatherwise* 21, 156-161.
- Peters, A. J., Walter-Shea, E. A., Ji, L., Vina, A., Hayes, M., Svoboda, M. D., 2002. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 68 (1), 71-75.
- Schelling, K., Born, K., Weissteiner, C., Kühbauch, W. 2003: Relationships between yield and quality parameters of malting barley (*Hordeum vulgare* L.) and phenological and meteorological data. *Journal of Agronomy and Crop Science* 189, 113-122.
- Sparks, T.H., Potts, J.M., 1999. Late summer grass production. In: Cannell M.G.R., Palutikof J.P., Sparks T.H. Indicators of Climate Change in the UK. Dep. Environment, Transport and the Regions, London.
- Tsuji, G., Hoogenboom, G., Thornton, P., 1998. Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Acad. Publ., 399 pp.
- Wilhelm, E.P., Mullen, R.E., Keeling, P.L., Singletary, G.W., 1999. Heat stress during grain filling in maize. *Crop Science* 39, 1733-1741.
- Wilkes, D.S., 1995. Statistical methods in the atmospheric sciences: An introduction. Academic Press, 467 pp.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. C-1: Erträge von Sommergerste in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.	11
Abb. C-2: Erträge von Winterweizen in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.	13
Abb. C-3: Erträge von Körnermais in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.	14
Abb. C-4: Erträge von Wiesen in den politischen Bezirken Österreichs im Jahr 2003 in Prozent der Erträge 1997 bis 2002.	16
Abb. C-5: MODIS-Ausschnitt, Echtfarbdarstellung.....	29
Abb. C-6: LANDSAT Lageübersicht u. Bezeichnung der Szenen	30
besonders beachtet werden. Aus diesem Grund ist diese Untersuchung auf Indizes beschränkt, die auf der Basis der reflektierten Strahlung definiert sind.	37
Abb. C-7: Testgebiete Seewinkel (li.) und Marchfeld (re.) (LANDSAT Falschfarbdarstellung).....	39
Abb. C-8: Probefläche über Landsat- und MODIS-Satellitenbilder am Beispiel einer Parzelle im Marchfeld	41
Abb. C-9: Probefläche über Landsat- und MODIS-Satellitenbilder (NDVI) am Beispiel einer Parzelle im Seewinkel	42
Abb. C-10: Der jährliche KI Index für die 3 ausgewählten Regionen der vergangenen Jahre.	43
Abb. C-11: Der monatliche TI Index für die 3 ausgewählten Regionen der Jahre 2003-2004.	44
Abb. C-12: Der monatliche Foley Index für die 3 ausgewählten Regionen der Jahre 2003-2004.	44
Abb. C-13: Der monatliche RAI Index für die 3 ausgewählten Regionen der Jahre 2003-2004.	45
Abb. C-14: Auswertung der Niederschlagsdecile (3- und 12-Monatsbasis) für Andau und Fuchsenbigl der Jahre 2003-2004.....	45

Abb. C-15: SPI Index (3-Monatsbasis) der Stationen Andau, Fuchsenbigl und Leibnitz von 1996-2004. -----	46
Abb. C-16: Abgeleitete Trockenstressparameter aus dem FAO Modell für den Seewinkel und Sommerweizen auf einem Boden mit niedriger Bodenwasserspeicherkapazität. -----	47
Abb. C-17: Abgeleitete Trockenstressparameter aus dem FAO Modell für das Marchfeld und Winterweizen auf einem Boden mit mittlerer Bodenwasserspeicherkapazität. -----	47
Abb. C-18: Abgeleitete Trockenstressparameter aus dem FAO Modell für die Region Leibnitz und Mais auf einem Boden mit hoher Bodenwasserspeicherkapazität. -----	48
Abb. C-19: Die mit den DSSAT Modellen simulierten Erträge (Sommergetreide, Wintergetreide, Mais) im Vergleich zu den Realerträgen, geordnet nach der nutzbaren Feldkapazität (2002 und 2003 gleiche Kulturart je Feld angenommen). -----	49
Abb. C-20: Index NDVI (Landsat) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten -----	51
Abb. C-21: Index Wetness (Landsat) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten -----	51
Abb. C-22: Index TM6 (Landsat) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten -----	52
Abb. C-23: Die Korrelationen zwischen NDVI, Wetness und TM6 (Landsat) -----	52
Abb. C-24: Index NDVI (MODIS) im zeitlichen Vergleich mit den verschiedenen Fruchtarten -----	53
Abb. C-25: Die Korrelation der nutzbaren Feldkapazität und des NDVI Index zum realen Ertragsdefizit im Jahr 2003. -----	54
Abb. C-26: Die Korrelation der relativen Trockenstressparameter des FAO und DSSAT -modells zum realen Ertragsdefizit im Jahr 2003. -----	54

Tabellen

Tab. C-1: Bezirke, deren Sommergersten-Erträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken: Relativerträge sowie meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren. -----	11
Tab. C-2: Bezirke, deren Weichweizen - Erträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken sowie	

meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren.	13
Tab. C-3: Bezirke, deren Körnermais - Erträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken sowie meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren.	14
Tab. C-4: Bezirke, deren Wiesenerträge im Jahr 2003 über dem Durchschnitt der Jahre 1997 bis 2002 lagen, im Vergleich mit den Nachbarbezirken sowie meteorologische Parameter, die für diese Bezirksgruppen signifikant verschieden waren.	16
Tab. C-5: Korrelationen zwischen Sommergerstenertrag (Abweichung vom zehnjährigen Mittel) und meteorologischen Parametern auf Monatswertbasis für Niederösterreich	20
Tab. C-6: Korrelationen zwischen Weichweizenertrag (Abweichung vom zehnjährigen Mittel) und meteorologischen Parametern auf Monatswertbasis für Niederösterreich.	21
Tab. C-7: Korrelationen zwischen Körnermaisertrag (Abweichung vom zehnjährigen Mittel) und meteorologischen Parametern auf Monatswertbasis für Niederösterreich.	22
Tab. C-8: Vergleich der Ergebnisse von multipler linearer Regression und ANN – Modellen	22
Tab. C-9: Standardisierte Regressionskoeffizienten der bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Sommergerstenertrages verwendeten meteorologischen Parameter.	23
Tab. C-10: Standardisierte Regressionskoeffizienten der bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Weichweizenertrages verwendeten meteorologischen Parameter.	23
Tab. C-11: Standardisierte Regressionskoeffizienten der bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Körnermaisertrages verwendeten meteorologischen Parameter.	24
Tab. C-12: Bei der multiplen linearen Regression (siehe Tab. C-8) für die Untersuchung des Wiesenertrages verwendete meteorologische Parameter und deren Anteil an der Abweichungsquadratsumme in %.	24
Tab. C-13: Untersuchung der Fehlerquellen von ANN–Modellen – zeitliche Aufgliederung. Die Zahlen sind Prozentsätze der Fälle mit besonders hohen positiven oder negativen Abweichungen ("Ausreißer").	25
Tab. C-14: Untersuchung der Fehlerquellen von ANN–Modellen – räumliche Aufgliederung. Die Zahlen sind Prozentsätze der Fälle mit besonders hohen positiven oder negativen Abweichungen ("Ausreißer").	25

Tab. C-15: Übersicht über ausgewählte Basisinformationen zu den einzelnen Schlägen in den verschiedenen Regionen (nFK= nutzbare Feldkapazität, FK=Feldkapazität, WP=Welkepunkt). -----	28
Tab. C-16: Bodenauflösung und spektrale Eigenschaften des MODIS-Produkts „Surface Reflectance“ (MOD09) -----	29
Tab. C-17: Die verwendeten Methoden zur Bestimmung von Trockenheit -----	31
Tab. C-18: Gemittelte Werte für die 3 betrachteten Indizes für die 3 Zeitpunkte Juni 2003, August 2003 und Juni 2004 -----	50
Tab. C-19: Statistik des Zusammenhanges von Trockenheitsindizes zur Ertragsreduktion durch Trockenheit (Referenzertrag 2004 – Ertrag 2003) im Jahr 2003. -----	55
Tab. C-Anhang-1: Politische Bezirke und meteorologische Stationen, deren Daten stellvertretend für die landwirtschaftlichen Produktionsgebiete des Bezirkes verwendet wurden. -----	66

Anhang

Tab. C-Anhang-1: Politische Bezirke und meteorologische Stationen, deren Daten stellvertretend für die landwirtschaftlichen Produktionsgebiete des Bezirkes verwendet wurden.

Politischer Bezirk	Meteorologische Station	Stationsnummer
Eisenstadt Stadt	Eisenstadt	7704
Rust Stadt	Eisenstadt	7704
Eisenstadt Umgebung	Eisenstadt	7704
Güssing	Fürstenfeld	16600
Jennersdorf	Feldbach/Fürstenfeld	19205
Mattersburg	Wiener Neustadt	7604
Neusiedl/See	Neusiedl/See	7905
Oberpullendorf	Lutzmannsburg	13906,13907
Oberwart	Kleinzicken	16800
Klagenfurt Stadt	Klagenfurt	20212
Villach Stadt	Villach	20123
Hermagor	Reisach	19800
Klagenfurt Land	Ferlach	20200,20201
St Veit /Glan	St Veit /Glan	18620,18621
Spittal/Drau	Spittal/Drau	(18220)18225
Villach Land	Villach	20123
Völkermarkt	Feistritz/St.Michael/Bl.	20401-20404
Wolfsberg	St.Andrä	18705
Feldkirchen	Feldkirchen	20270
Krems Stadt	Krems	3805
St Pölten Stadt	St Pölten	5604
Waidhofen/Ybbs	Waidhofen/Ybbs	7011,7012
Wiener Neustadt Stadt	Wiener Neustadt	7604
Amstetten	Amstetten	5315,5316
Baden	Baden	5870
Bruck/Leitha	Fischamend/Seibersdorf	6050/7710
Gänserndorf	Gänserndorf/Fuchsenbigl	4221,4223,4224
Gmünd	Weitra	1800
Hollabrunn	Hollabrunn	2201
Horn	Allentsteig	2115/1905
Korneuburg	Stockerau/Langenlebar/WienH.W.	4030/4081/
Krems Land	Langenlois	3811
Lilienfeld	Lilienfeld	5625
Melk	Oberndorf/Melk	5410
Mistelbach	Poysdorf	2503
Mödling	Gumpoldskirchen	5881
Neunkirchen	Pottschach	10530
St Pölten Land	St Pölten	5604
Scheibbs	Oberndorf	5410
Tulln	Langenlebar	4081
Waidhofen/Thaya	Schwarzenau/Allentsteig	1900,1901,1903
Wiener Neustadt Land	Wiener Neustadt	7604
Wien Umgebung	Schwechat	5990
Zwettl	Stift Zwettl	1920
Linz Stadt	Hörsching	5000
Steyr Stadt	Kremsmünster	5010,5012

Politischer Bezirk	Meteorologische Station	Stationsnummer
Wels Stadt	Wels/Schleißheim	4905
Braunau	Ranshofen	4501
Eferding	Waizenkirchen	3110
Freistadt	Freistadt	1601
Gmunden	Gmunden	6620
Grieskirchen	Gallspach	4801
Kirchdorf	Kirchdorf	6800
Linz Land	Hörsching	5000
Perg	Allerheiligen	3400
Ried/Innkreis	Ried/Innkreis	4700,4705
Rohrbach	Rohrbach	1415
Schärding	Schärding	2910
Steyr Land	Ternberg/Weyer	6900
Urfahr Umgebung	Reichenau-OÖ	3210
Vöcklabruck	Wolfsegg	4815
Wels Land	Wels/Schleißheim	4905-4909
Salzburg Stadt	Salzburg Flughafen	6300
Hallein	Salzburg Flughafen	6300
Salzburg Umgebung	Salzburg Flughafen	6300
St Johann/Pongau	St Johann/Pongau	12505
Tamsweg	Tamsweg	15710,15711
Zell/See	Zell/See	12322
Graz Stadt	Graz Flughafen	16400
Bruck/Mur	Bruck/Mur	13301
Deutschlandsberg	Deutschlandsberg	18905,18906
Feldbach	Feldbach/Fürstenfeld	19205
Fürstenfeld	Fürstenfeld	16600
Graz Umgebung	Graz Flughafen	16400
Hartberg	Hartberg	13605
Judenburg	Zeltweg	16101
Knittelfeld	Zeltweg	16101
Leibnitz	Leibnitz	19020,19021
Leoben	St. Michael/Leoben	13250
Liezen	Aigen/Ennstal	9801
Mürzzuschlag	Mürzzuschlag	10400
Murau	Murau	15920
Radkersburg	Bad Radkersburg/Leibnitz	20901,20902
Voitsberg	Lobming	16300
Weiz	Weiz	16520
Innsbruck Stadt	Innsbruck-Flughafen	11800
Imst	Imst	14512
Innsbruck Land	Innsbruck-Flughafen	11800
Kitzbühel	Kitzbühel	12200,12201
Kufstein	Kufstein	9016
Landeck	Landeck	14403
Lienz	Lienz	17901
Reutte	Reutte	11505
Schwaz	Jenbach	11901
Bludenz	Bludenz/Bürs	14105,14100
Bregenz	Bregenz	11102
Dornbirn	Dornbirn	11112
Feldkirch	Feldkirch	11115

Politischer Bezirk	Meteorologische Station	Stationsnummer
Wien	Großenzersdorf	5972