

# Klimawandel

## Fluch oder Segen

# für die Landwirtschaft



### Was die LandCaRe-Simulationen sagen

Karl-Otto Wenkel, Wilfried Mirschel, Michael Berg, Claas Nendel, Ralf Wieland (Müncheberg) und Barbara Köstner (Dresden)

Klimawandel und Landwirtschaft – für die einen Fluch, für die anderen eventuell ein Segen. Zukunftsplanungen sind stets mit großen Unsicherheiten behaftet, das wissen Landwirte ebenso wie Forscher: Unsicherheit entsteht, sobald konkrete Aussagen zu den Auswirkungen eines möglichen Klimawandels oder über Optionen für die Anpassung an einem bestimmten Standort zu machen sind. Eine neue Generation interaktiv nutzbarer, modellgestützter Informations- und Entscheidungsunterstützungssysteme kann helfen, die komplexen Folgen eines möglichen Klimawandels für die Landwirtschaft abzuschätzen und besser mit Unsicherheiten umzugehen.

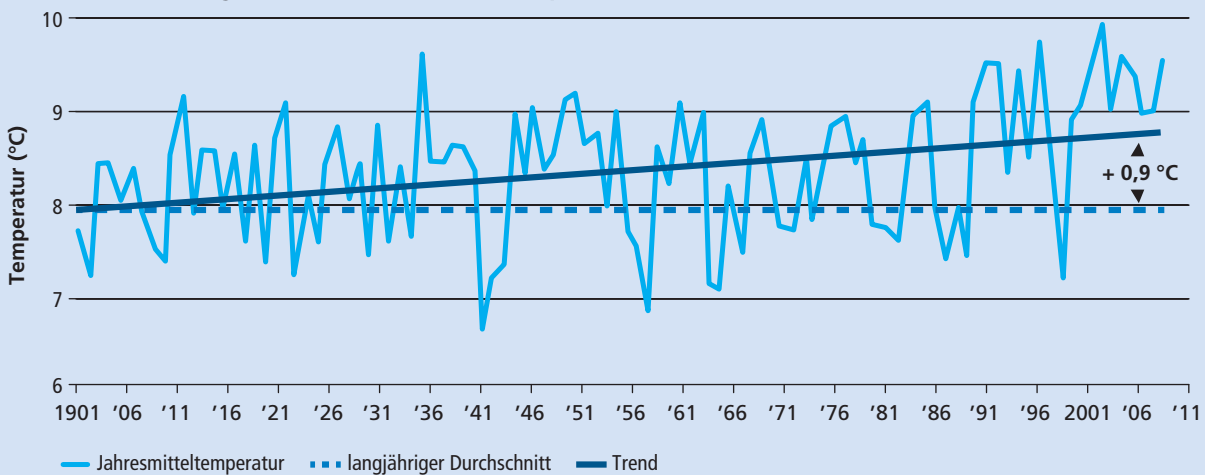
### Klimaänderungen in Deutschland – worauf müssen wir uns einstellen?

Das Wetter scheint mehr denn je verrückt zu spielen. Nachrichten über Überschwemmungen infolge von Starkniederschlägen wechseln sich mit Nachrichten über extreme Dürreperioden in immer kürzerer Folge ab. Beispiele hierfür sind das Elbehochwasser 2002, dem ein extremes Trockenjahr 2003 sowie ein Hohertragsjahr für die Landwirtschaft 2004 folgten. Bereits drei Jahre später berichten die Medien erneut über eine ausgeprägte Dürre im April und über Starkniederschläge mit großflächigen Überflutungen im Sommer. Wie die aktuelle Dürreperiode am Horn von Afrika zeigt, kommt es weltweit verstärkt zu solchen Erscheinungen – mit zum Teil drastischen Auswirkungen für die Landwirtschaft.

Im 20. Jahrhundert betrug die beobachtete globale Temperaturerhöhung in der Erdatmosphäre 0,7 °C. Für Deutschland hat der Deutsche Wetterdienst seit 1901 eine Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur von 0,9 °C ermittelt (Abb. 1). Globale Klimamodelle zeigen, dass die durchschnittlichen Jahrestemperaturen in Mitteleuropa bis zum Jahr 2050 zwischen 0,8 °C und 2 °C und bis zum Ende des Jahrhunderts voraussichtlich noch einmal um 2,5 °C bis 4,5 °C steigen könnten.

Bezüglich der Jahresniederschlagssummen wird nur von einer geringfügigen Veränderung ausgegangen. Jedoch wird erwartet, dass sich die Niederschläge saisonal verschieben werden mit einem Trend zur Zunahme im Winter und Abnahme im Sommer. Regionale Unterschiede in der Niederschlagsversorgung werden sich voraussichtlich noch verstärken.

Abb. 1: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperatur in Deutschland seit 1901



Quelle: Deutscher Wetterdienst (DWD)

## Klimaänderungen haben komplexe Auswirkungen

Beim Thema Klimaänderungen wird häufig verkürzt nur über die Änderung der physikalischen Klimaelemente wie Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchte und Strahlung gesprochen. Doch auch die Zusammensetzung der Atmosphäre mit chemischen Klimaelementen wie  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_y$  und Kohlenwasserstoffen ändert sich. Beides beeinflusst die Agrarökosysteme und die Landwirtschaft in komplexer Weise – positiv wie negativ, direkt und indirekt.

Positiv könnte die Verlängerung der Vegetationsperiode sein, denn sie eröffnet – wenn die Wasserverhältnisse es gestatten – die Möglichkeit, zwei Kulturen statt nur eine pro Saison anzubauen. Auch der indirekte Düngungseffekt durch eine erhöhte  $\text{CO}_2$ -Konzentration der Atmosphäre sowie die Möglichkeit, ertragsstarke wärmeliebende Kulturpflanzen wie Sojabohnen anzubauen, könnte für die Landwirtschaft vorteilhaft sein, ebenso wie verbesserte Produktionsbedingungen in Regionen, in denen die Temperaturverhältnisse den Anbau leistungsfähiger Kulturarten und Sorten bisher stark eingeschränkt haben.

Allerdings, und das ist die zweite Seite der Medaille, können die stärkeren Klimaschwankungen sowie höherer Wasser- und Hitzestress ein zunehmendes Ertragsrisiko für wichtige Anbaukulturen darstellen. Auch die mögliche Zunahme von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten, die Verschlechterung der Produktqualität, die mögliche Zunahme der Wasser- und Winderosion, von Sturm- und Hagelschäden und schlechterer Ernte- und Bestellbedingungen infolge extremer Wetterereignisse sind Effekte, die negativ zu Buche schlagen können. Das heißt: Der Klimawandel betrifft die Agrarökosysteme in komplexer Weise und in all ihren Funktionen.

Indirekt kann der Klimawandel die Landwirtschaft auch über veränderte Weltagrarpreise beeinflussen. Aus Sicht der landwirtschaftlichen Produzenten können hohe Agrarpreise infolge weltweiter Missernten schlechtere Ertragsleistungen in Einzeljahren sowie steigende Kosten für Energie und Betriebsmittel abpuffern. Umgekehrt belasten geringe Agrarpreise die Betriebsökonomie zusätzlich. Be-

reits heute wird an den stark schwankenden Preisen deutlich, dass die direkten Wirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft die Weltagrarmärkte nachhaltig beeinflussen.

## Modellbasierte Analyse ergänzt Erfahrungswissen

Das regionale Klima stellt neben der Standortqualität eine wesentliche Rahmenbedingung für die Landwirtschaft dar und war bisher relativ verlässlich. Seit einigen Jahrzehnten werden jedoch bekannte Schwankungsbereiche überschritten. Das Erfahrungswissen der Vergangenheit lässt sich deshalb nur eingeschränkt in die Zukunft übertragen. Komplexe mathematische Modelle, die das Systemwissen integrieren und mit dessen Hilfe das zukünftige Systemverhalten komplex analysiert werden kann, könnten helfen, dieses Dilemma zu überwinden. Die Güte der Klima- und Landnutzungsfolgenabschätzung hängt einerseits vom Systemverständnis und seiner Wiedergabe im Modell ab, andererseits von der Sicherheit und Qualität der treibenden Kräfte, den sogenannten Modell-Inputs. Als ein möglicher methodi-



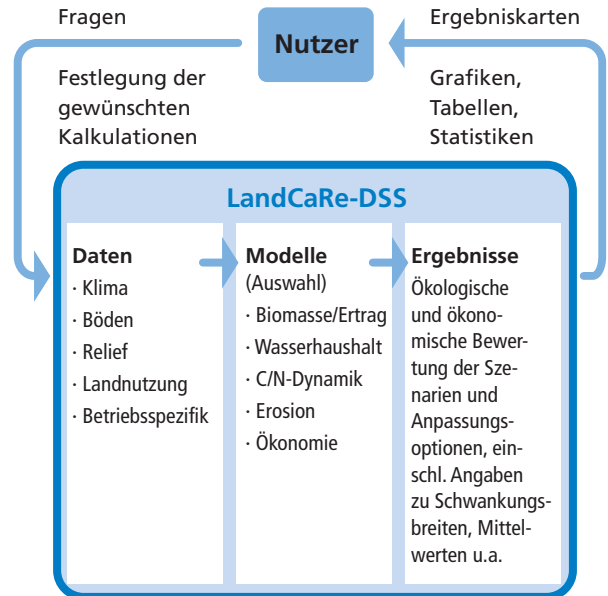
Hagelschaden im Mais: Unwetter könnten die Landwirtschaft künftig stärker beeinträchtigen.

scher Lösungsweg für das Problem „Planen mit unscharfem und unvollständigem Wissen“ bietet sich die modellbasierte Szenarienanalyse an. Fortschritte in der mathematischen Modellierung und in der Informationstechnologie ermöglichen es, die wahrscheinlichen ökologischen und ökonomischen Folgen möglicher Klimaentwicklungen sowie unterschiedlicher Anpassungsstrategien der Landwirtschaft mit mehreren Modellen und Datenkonstellationen interaktiv zu simulieren. Damit besteht eine Möglichkeit, das beste Wissen über denkbare Klimaentwicklungen mit dem besten ökologischen Wissen sowie möglichen Markt- und Preisentwicklungen zu verknüpfen. Die daraus entstehenden Informationen helfen, effektive betriebsspezifische Klimaanpassungsstrategien für die Landwirtschaft abzuleiten.

### LandCaRe-DSS, eine interaktive modellgestützte Entscheidungshilfe

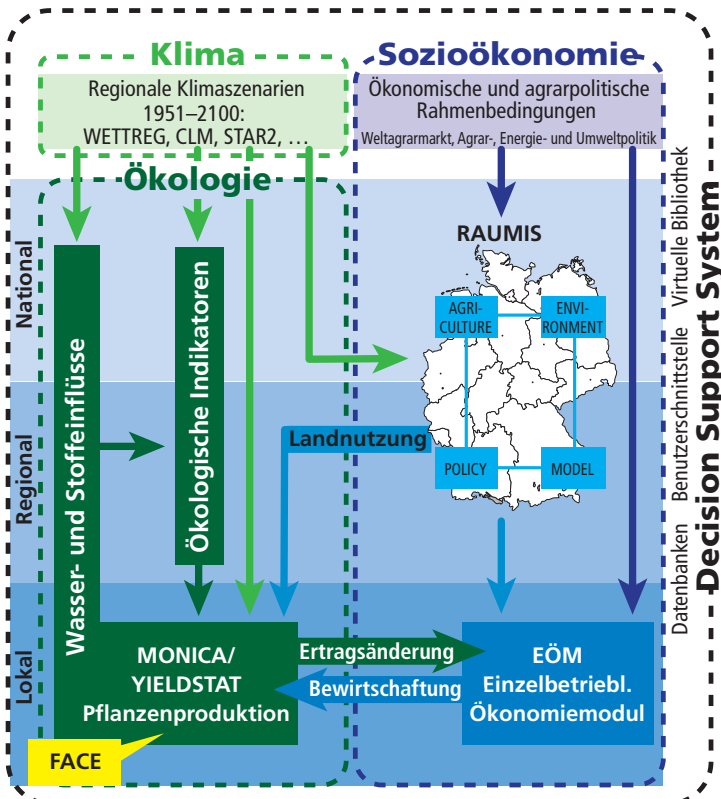
Ausgangspunkt für die Entwicklung des LandCaRe-DSS war die Überlegung, dass nur ein gut informierter Landwirt, Landschaftsplaner oder sonstiger Akteur im ländlichen Raum gute Entscheidungen treffen kann. Dies führte im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens „Vorsorge- und Gestaltungspotenziale in ländlichen Räumen unter regionalen Wetter- und Klimaänderungen – LandCaRe 2020“ zu dem Wunsch nach einem Werkzeug, mit dem unterschiedliche regionale Klimamodelle mit ökologischen und ökonomischen Wirkmodellen verknüpft werden können. Und zwar so, dass sich zukünftige Entwicklungen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen (Schläge, Land-

Abb. 3: Prinzipielle Arbeitsweise des LandCaRe-DSS zur Ableitung von Entscheidungen



kreise, Regionen) abschätzen lassen und Entscheidungen zur Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel unterstützt werden. Das „Land, Climate and Resources – Decision Support System“ (LandCaRe-DSS) ist eine solche interaktive Entscheidungshilfe. Sie unterstützt das Lernen um den Klimawandel und seine vielfältigen Auswirkungen, bleibt dabei selbst aber offen und lernfähig, um neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Anforderungen der Praxis aufzunehmen. Das System unterstützt sektorübergreifende Betrachtungen und stellt sicher, dass bei der Wirkungsanalyse immer von denselben Klimaprojektionen ausgegangen wird. Zurzeit arbeitet das LandCaRe-DSS mit Daten der regionalen Klimamodelle WETTREG und COSMO-CLM sowie STAR2/K. Entsprechend den unterschiedlichen räumlichen Ebenen (lokal, regional, national) und Themenbereichen (Klima, Ökologie, Ökonomie) kann es von landwirtschaftlichen Betrieben, aber auch von Beratern, Landkreisen, Verbänden oder Fachbehörden genutzt werden (Abb. 2). Im Gegensatz zu anderen Entscheidungsunterstützungssystemen lassen sich mit LandCaRe-DSS die Folgen möglicher Anpassungsstrategien an das veränderte Klima quantitativ bewerten, und zwar mit Angaben zu den Streubreiten der jeweiligen Ergebnisgrößen. Es unterstützt Multiensemble- und Multimodellsimulationen, enthält ein Wissens- und Auskunftssystem zum Themenbereich „Klimawandel und Landwirtschaft“ und verfügt über ein leistungsfähiges Tool zur interaktiven Analyse von Klimadaten (Abb. 3). Aktuell enthält das LandCaRe-DSS zehn ökologische Modelle, verknüpft mit einem ökonomischen Modell und verbunden mit Daten verschiedener regionaler Klimamodelle. Der gegenwärtig vorliegende Prototyp ist für die Region Uckermark (stark trockenheitsgefährdetes Gebiet im Nordostdeutschen Tiefland) und für den ehemaligen Weißeritzkreis (Mittelgebirgslandschaft im Osterzgebirge mit relativ hohen Niederschlägen) validiert.

Abb. 2: Grobstruktur des Informations- und Entscheidungsunterstützungssystems LandCaRe-DSS



## Erfahrungen aus Szenarioanalysen

Im Rahmen der Pilotstudie Uckermark wurde mit Hilfe des Land-CaRe-DSS analysiert, wie sich mögliche regionale Klimaänderungen bis Ende des Jahrhunderts auf die Länge der Vegetationsperiode, die Pflanzenphänologie, die landwirtschaftliche Produktivität, die Verfahrensökonomie, das Erosionsrisiko und den Landschaftswasserhaushalt auswirken. Auch weitere landwirtschaftsbezogene Kenngrößen wurden mit einbezogen.

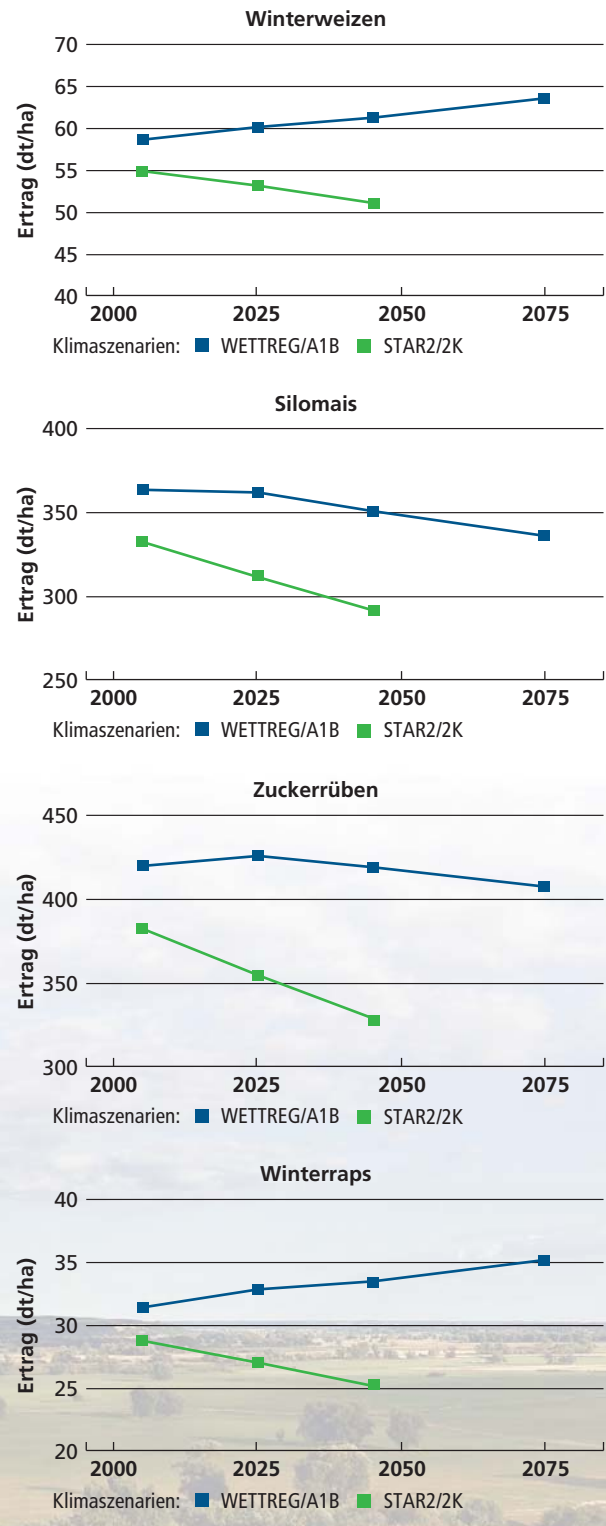
Die erzielten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Nach allem, was gegenwärtig bekannt ist, sind bis 2050 keine dramatischen klimabedingten Auswirkungen auf die Erträge zu erwarten.
- Das Beispiel Uckermark zeigt, dass sich der für diese Region projizierte Klimawandel je nach verwendetem Klimaszenario sehr unterschiedlich auf die Ertragsleistungen landwirtschaftlicher Kulturen auswirkt. Während bei Nutzung des Klimaszenarios STAR2/2K die Wirkmodelle einen Ertragsrückgang sowohl bei Sommer- wie Winterkulturen aufzeigen, werden bei Verwendung von Daten aus WETTREG/A1B steigende Ertragserwartungen für Winterweizen und Winterraps sowie potenzielle Ertragsrückgänge für die Sommerkulturen Silomais und Zuckerrüben ausgewiesen (Abb. 4).
- Das Risiko, dass es zu Wassererosion kommt, verändert sich mittel- bis langfristig nur geringfügig (Tab. 1).

**Tab. 1: Klimaeinfluss auf den potenziellen Bodenabtrag durch Wassererosion bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf den Agrarflächen der Uckermark**

Klimaperiode	Bodenbearbeitung	
	konventionell	Direktsaat
Potenzieller Bodenabtrag [t/ha]		
<b>WETTREG/A1B</b>		
2005	0,55	0,33
2025	0,50	0,32
2045	0,45	0,28
2075	0,58	0,28
<b>STAR2/2K</b>		
2005	0,51	0,30
2025	0,53	0,32
2040	0,49	0,27

Abb. 4: Einfluss möglicher Klimaentwicklungen auf die Ertragsleistungen landwirtschaftlicher Kulturen in der Uckermark



**Tab. 2: Zu erwartender Zusatzwasserbedarf sowie daraus resultierender Mehrertrag (relativ zu unbewässert) für die trockenheitsgefährdeten Agrarstandorte in der Uckermark**

Klima- periode	Winter- weizen		Zucker- rüben		Silomais		Kartoffeln	
	ZWB [mm]	ME [%]	ZWB [mm]	ME [%]	ZWB [mm]	ME [%]	ZWB [mm]	ME [%]
2005	99	27	110	25	122	43	102	32
2025	87	23	112	26	119	42	97	30
2045	109	28	132	31	154	56	111	34
2075	127	31	167	40	201	75	126	40

ZWB = Zusatzwasserbedarf, ME = Mehrertrag



agrarpres

Die Bewässerung ist in der trockenheitsgefährdeten Region eine sehr wirksame Maßnahme, um die Erträge zu stabilisieren und weiter zu steigern. Unter den für die Uckermark postulierten Klimabedingungen kann mittel- bis langfristig der Ertrag durch Zusatzbewässerung bei Winterweizen, Kartoffeln und Zuckerrüben zwischen 25 und 40 % gesteigert werden. Bei Silomais zeigen die Simulationsergebnisse sogar potenzielle Ertragssteigerungen von 43 bis 75 % (Tab. 2).

### Prognose positiv

Die deutsche Landwirtschaft hat nach heutigem Wissen genügend Möglichkeiten, sich an die Folgen des prognostizierten Klimawandels anzupassen. Dies trifft aber nur dann zu, wenn sich der Klimawandel nicht noch weiter verschärft. Bis etwa 2050 werden sich voraussichtlich keine dramatischen klimabedingten Ertragsänderungen ergeben, wenn sich die Landwirtschaft kontinuierlich an den Klimawandel anpasst. Da wir mit vielen Unsicherheiten leben müssen, sollten vorwiegend solche Klimaanpassungsmaßnahmen gewählt werden, die sich relativ robust gegenüber unsicheren Entwicklungen

*Künftig sollten verstärkt alle Möglichkeiten zur Wasserregulierung und Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts genutzt werden.*



agrarpres

verhalten, umsteuerbar und flexibel sind (No-Regret Maßnahmen). Das bedeutet:

- die Arten- und Sortenvielfalt im Rahmen erweiterter Fruchtfolgen wieder zu erhöhen, um das Risiko von Ertragseinbußen zu verringern,
- den Humusgehalt der Böden durch organische Düngung, Zwischenfruchtanbau und schonende Bodenbearbeitung zu stabilisieren und zu verbessern,
- einen guten Nährstoffgehalt der Böden nachhaltig zu sichern,
- unproduktive Wasserverluste durch möglichst ganzjährige Bodenbedeckung zu verringern,
- Voraussetzungen für einen möglichst großen Wurzeltiefgang zu schaffen, um Wasservorräte in tieferen Bodenschichten zu erschließen sowie
- alle Möglichkeiten zur Wasserregulierung und Stabilisierung des Landschaftswasserhaushalts zu nutzen.

Zu den möglichen Maßnahmen zur Verbesserung der Pflanzenwasserversorgung zählen nicht nur ingenieurtechnische Maßnahmen der Be- und Entwässerung, sondern auch strukturverbessernde Maßnahmen wie die Anlage von Windschutzhecken oder der verstärkte Übergang zu Agroforstsystemen (Kombination von Baum- und Heckenreihen mit dazwischenliegenden landwirtschaftlich genutzten Flächen).

Nicht zuletzt kann die Pflanzenzüchtung durch neue, stresstolerante und physiologisch flexible Sorten einen wirksamen Beitrag zur Klimaanpassung der Landwirtschaft leisten.

Mehr denn je zeichnet sich ab, dass den Folgen des Klimawandels nicht mit Einzelmaßnahmen allein, sondern nur durch eine sinnvolle Kombination verschiedener Maßnahmen begegnet werden kann. ■



Prof. Dr. Karl-Otto Wenkel,  
Dr. Wilfried Mirschel, Dipl.-  
Ing. Michael Berg, Dr. Claas  
Nendel, Dr. Ralf Wieland, Leibniz-Zentrum für Agrarland-  
schaftsforschung, Institut für Landschaftssystemanalyse,  
Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg.

E-Mail: [wenkel@zalf.de](mailto:wenkel@zalf.de)

PD Dr. habil. Barbara Köstner, Technische Universität  
Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie,  
Pienner Str. 23, 01737 Tharandt.