

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Ertragsentwicklung im Marktfruchtbau in Bayern

Impacts of climate change on yields in cash crop production in Bavaria

Thomas FELBERMEIR, Harald MAIER und Kurt-Christian KERSEBAUM

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag untersucht die Auswirkungen veränderter Klimaparameter auf die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Hierfür kommen an ausgewählten Untersuchungsstandorten in Bayern verschiedene aufeinander aufbauende Modelle zum Einsatz. Diese decken die für die Problemstellung relevanten Aspekte des Klimas („Klimamodell“), sowie des Pflanzenwachstums („Pflanzenwachstumsmodell“) ab. Das Klimamodell (WETTREG 2010) ermittelt für die Parameter Temperatur, Globalstrahlung und CO₂-Konzentration bis zum Jahr 2049 moderate Zunahmen, während sich beim Parameter Niederschlag eine geringfügige Abnahme abzeichnet. Aus diesen Vorgaben errechnet das Pflanzenwachstumsmodell (HERMES) die Ertragsleistung verschiedener Kulturpflanzen. Je nach Kultur und Standort zeigen sich dabei unterschiedliche Richtungen sowohl beim durchschnittlichen Niveau als auch bei der Streuung der Erträge. Für eine umfassende Abschätzung möglicher Auswirkungen des Klimawandels bildet die Modellierung der Ertragsentwicklung letztendlich den Ausgangspunkt einer ökonomischen Folgenabschätzung.

Schlagnorte: Klimawandel, Klimamodell, Ertragsentwicklung, Pflanzenwachstumsmodell

Summary

Erschienen 2013 im *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*, Band 22(2): 3-12. On-line verfügbar: <http://oega.boku.ac.at>.

The presented paper focuses on impacts of climate change on yields in cash crop production. For this purpose a crop growth model based on a climate model analyses the consequences of climate change on different crops and investigation sites in Bavaria. According to the climate model (WETTREG 2010), until 2049 parameters as temperature, global solar radiation and CO₂-concentration will increase, whereas precipitation will decrease slightly. The crop growth model (HERMES) uses these parameters as an input to calculate yields of different crops considering local soil conditions and management practices. As a result, the model shows that impacts of climate change on yields can differ subject to the local conditions and examined crops at the investigation sites. Finally, results of the crop growth model can be the basis for a comprehensive economic impact assessment of climate change.

Keywords: Climate change, Climate model, Yield development, Crop growth model

1. Einleitung

Klima und Boden stellen neben weiteren Faktoren wesentliche Einflussgrößen auf den Ertrag landwirtschaftlicher Kulturpflanzen dar. Eine Veränderung des Witterungsgeschehens im Zuge des Klimawandels wirkt sich auf Wachstumsbedingungen und somit auf die Ertragsleistung im Pflanzenbau aus. Sowohl die durchschnittliche Höhe als auch die Streuung der Erträge werden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit verändern. Landwirtschaftliche Betriebe müssen sich demzufolge darauf einstellen, dass sich Anbauwürdigkeit und Konkurrenzkraft der Kulturen je nach Standort verschieben werden.

Verschiedene Studien untersuchen auf der Grundlage von Modellen mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen an ausgewählten Standorten und Regionen in Deutschland (ALCAMO et al., 2005, 15ff; EITZINGER et al., 2009, 168ff; MIRSCHEL et al., 2009, 49ff; STOCK, 2005, 63ff; WECHSUNG et al., 2008, 55ff). Die Ergebnisse dieser Studien reichen von stark rückläufigen bis hin zu steigenden Erträgen. Insbesondere unter zukünftig trockeneren Bedingungen lässt sich zudem eine Zunahme der Ertragsvariabilität und somit auch des damit verbundenen Produktionsrisikos feststellen (GANDORFER und KERSEBAUM, 2009, 52ff). Die Ergebnisse der

jeweiligen Studien sind jedoch stets im Kontext der verwendeten Modelle, Methoden und Untersuchungsgrundlagen zu betrachten. Somit ist eine direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben. Jedoch skizzieren die Untersuchungen einen ersten Eindruck der Rahmenbedingungen, auf die sich landwirtschaftliche Betriebe unter künftigen Klimabedingungen einstellen müssen.

Vor diesem Hintergrund besteht das Ziel des vorliegenden Beitrages darin, mögliche Konsequenzen einer Klimaänderung für die Ertragsentwicklung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen an ausgewählten Standorten in Bayern zu bewerten. Die auf diese Weise ermittelten Ergebnisse ergänzen die bisherigen Erkenntnisse zur Klimafolgenabschätzung im Pflanzenbau: Sie beziehen sich auf verschiedene Kulturpflanzen in den wichtigsten Naturräumen Bayerns auf der Grundlage aktueller klimatologischer Referenzperioden. Durch die Erweiterung der Vergleichsbasis ermöglichen sie somit eine bessere Abschätzung der künftigen Entwicklungen bei Naturalerträgen und Ertragsrisiken.

2. Methodik

Die Analyse möglicher Auswirkungen der Klimaänderung auf die Ertragsentwicklung im Marktfruchtbau beruht auf biophysikalischen Modellierungen anhand des Pflanzenwachstumsmodells HERMES. Als Grundlage für die Untersuchung nutzt das Modell zum einen Angaben über die realen Gegebenheiten an ausgewählten Versuchsstandorten (Boden, Bewirtschaftung). Zum anderen dienen die Ergebnisse eines Klimamodells aus Vergangenheit und Zukunft als Inputgrößen.

2.1 Untersuchungsgrundlage

Das Pflanzenwachstumsmodell orientiert sich an Bodenbedingungen, Bewirtschaftungsmaßnahmen und Klimaverhältnissen ackerbaulich genutzter Standorte. Um eine solide Validierung des Modells für Aussagen zum Klimawandel zu ermöglichen, müssen die Untersuchungsstandorte folgenden Kriterien genügen: Zugehörigkeit zu den ackerbaulich bedeutsamsten Boden-Klima-Räumen Bayerns, homogene räumliche Verteilung in Bayern sowie Verfügbarkeit langjährig umfangreicher Datenaufzeichnungen. Aufgrund dieser Auswahlkriterien erweisen sich sieben Standorte des Landessortenversuchs-

wesens als geeignet. Abbildung 1 gibt einen Überblick über deren räumliche Lage.

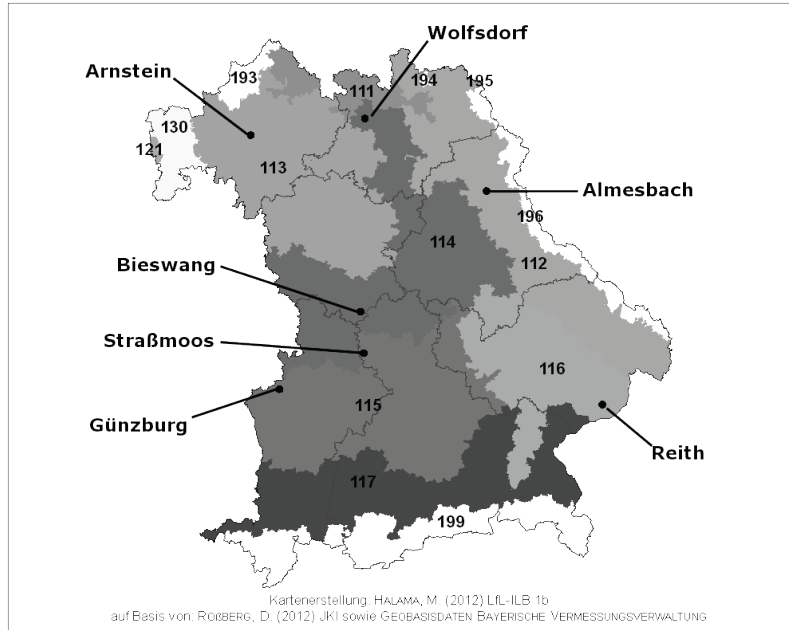


Abb. 1: Räumliche Lage der Untersuchungsstandorte in Bayern
Quelle: Eigene Darstellung, 2012

An jedem Standort erfolgt die Modellierung des Pflanzenwachstums für diejenigen Kulturen, die dort im Rahmen des Landessortenversuchswesens geprüft werden. In Summe werden folgende Kulturen hinsichtlich ihrer Reaktion auf den Klimawandel untersucht: Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Winterraps, Körnermais, Silomais, Speisekartoffeln.

Um den Einfluss des Klimawandels auf die Erträge der Kulturpflanzen abschätzen zu können, wird die Ertragsleistung der jeweiligen Kulturen in der Zeitscheibe 1981 - 2010 mit der Ertragsleistung in der Zeitscheibe 2020 - 2049 verglichen. Zu diesem Zweck berechnet das Pflanzenwachstumsmodell die Naturalerträge für die beiden Zeitscheiben ausgehend von den Ergebnissen des Klimamodells und den lokalen Gegebenheiten (Boden, Bewirtschaftung) am Standort.

2.2 Klimamodell

Im Rahmen regionaler Klimaszenarien beschreibt das Klimamodell die Ausprägung der pflanzenbaulich relevanten Parameter Temperatur, Niederschlag, Strahlung und CO₂-Gehalt der Atmosphäre. Diese Ergebnisse der Klimaszenarien beruhen auf dem statistischen Regionalisierungsverfahren WETTREG.

Das verwendete regionale Klimamodell WETTREG 2010 basiert auf den Vorgaben des globalen Klimamodells ECHAM 5 unter Annahme des SRES-Emissionsszenarios A1B. Im Rahmen der regionalen Klimaszenarien weist das Modell zehn Realisierungen stationsspezifischer Klimaparameter für den Zeitraum der Jahre 1961 bis 2100 in Tagesschritten aus (KREIENKAMP et al., 2010). Aus diesem Zeitraum werden die Daten der relevanten Klimaparameter für die beiden Untersuchungszeitscheiben (1981 - 2010 und 2020 - 2049) entnommen.

2.3 Pflanzenwachstumsmodell

Als Pflanzenwachstumsmodell zur Simulation der Trockenmasse des Naturalertrages kommt das prozessorientierte Modell HERMES zur Anwendung. Dieses Modell berechnet simultan für jeden Tag die im System Atmosphäre-Pflanze-Boden ablaufenden Prozesse des Wasserhaushalts, des Stickstofftransports, der Mineralisation, der Denitrifikation und des Pflanzenwachstums (KERSEBAUM, 2007, 40f).

Die für die Simulation benötigten Inputparameter zu Klima, Bewirtschaftung und Boden entstammen zum einen den Szenarien des Klimamodells und orientieren sich zum anderen an den standort- und kulturartspezifischen Aufzeichnungen im Rahmen der Sortenversuche. Die Daten der Landessortenversuche dienen darüber hinaus der Kalibrierung und Validierung des Modells. Hierfür werden gemessene Wetterzeitreihen verwendet. Angaben zu Bodenparametern werden der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 der Bundesrepublik Deutschland (BGR, 1997) entnommen. Zur Darstellung der Ertragsentwicklung im Pflanzenbau bildet der von HERMES ermittelte Naturalertrag den Ausgangspunkt. Ein Vergleich des mittleren Ertragsniveaus (Mittelwert) sowie der damit verbundenen Streuung (Standardabweichung) in den beiden Untersuchungszeiträumen verdeutlicht das durch den Klimawandel induzierte Ertragsrisiko.

3. Ergebnisse

Im Folgenden werden erste Ergebnisse des Klima- sowie des Pflanzenwachstumsmodells am Beispiel des Untersuchungsstandortes „Reith“ dargestellt. Dieser befindet sich im Boden-Klima-Raum 116 („Gäu, Donau- und Inntal“) in Niederbayern und umfasst mit Winterweizen, Körnermais und Winterraps die für den Marktfruchtbau in Bayern flächenmäßig bedeutendsten Kulturen. Darüber hinaus werden Ergebnisse für Winterweizen an verschiedenen Untersuchungsstandorten miteinander verglichen.

3.1 Veränderung pflanzenbaulich relevanter Klimaparameter

Tabelle 1 beschreibt pflanzenbaulich relevante klimatische Kenngrößen des Standortes „Reith“ in den beiden Untersuchungszeiträumen. Als Referenz für den Standort dient die jeweils nächstgelegene Klima- bzw. Niederschlagsstation des Klimamodells.

Tab. 1: Klimatische Kenngrößen und deren Veränderung am Standort „Reith“ in den Zeiträumen 1981 - 2010 und 2020 - 2049

Kenngröße	Zeitraum		Änderung	
	'81 -'10	'20 -'49	absolut	relativ
Durchschnittstemperatur [°C]	8,5	9,7	+ 1,2	+ 14%
Niederschlagssumme [mm]	843	821	- 22	- 3%
Globalstrahlungssumme [kWh/m ²]	1099	1153	+ 54	+ 5%
CO ₂ -Konzentration [ppm]	363	465	+ 102	+ 28%

Die Werte der Kenngrößen beziehen sich jeweils auf den jährlichen Durchschnitt (arithmetisches Mittel) des 30-jährigen Untersuchungszeitraumes über die zehn Realisierungen des Klimamodells hinweg.

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von KREIENKAMP et al., 2010

Bei den Parametern Durchschnittstemperatur und CO₂-Konzentration zeigen sich relevante Zunahmen von 14% bzw. 28%, wohingegen sich die Globalstrahlungssumme nur um 5% erhöht. Die jährliche Niederschlagssumme nimmt geringfügig um 3% ab.

3.2 Ertragsentwicklung unter Bedingungen des Klimawandels

Tabelle 2 verdeutlicht die mit der Änderung klimatischer Kenngrößen verbundenen Auswirkungen auf den Ertrag von Winterweizen.

Tab. 2: Ertrag von Winterweizen am Standort „Reith“ in den Zeiträumen 1981 - 2010 und 2020 - 2049

Kenngröße	Zeitraum		Änderung	
	'81 -'10	'20 -'49	absolut	relativ
Mittelwert [dt/ha]	93	95	+ 2	+ 3%
Minimum [dt/ha]	38	40	+ 2	+ 5%
Maximum [dt/ha]	98	100	+ 2	+ 2%
Standardabweichung [dt/ha]	8,16	8,24	+ 0,08	+ 0,1%

Die Werte der Kenngrößen beziehen sich jeweils auf den jährlichen Durchschnitt (arithmetisches Mittel) des 30-jährigen Untersuchungszeitraumes über die zehn Realisierungen des Klimamodells hinweg.

Quelle: Eigene Berechnungen, 2012

Für Winterweizen ergibt die Simulation eine geringfügige Zunahme des mittleren Ertragsniveaus. Gleiches gilt für die Minimum- und Maximumwerte. Die Standardabweichung als Maß für die Streuung des Ertrages unterscheidet sich in den beiden Zeiträumen nur marginal.

Abbildung 2 veranschaulicht neben der beschriebenen Ertragsveränderung bei Winterweizen zusätzlich die Entwicklungen bei Körnermais und Winterraps. Beide Kulturen zeigen deutliche Zunahmen im mittleren Ertragsniveau. Gleichzeitig zeichnet sich aber auch eine erhebliche Zunahme bei der Streuung der Erträge ab.

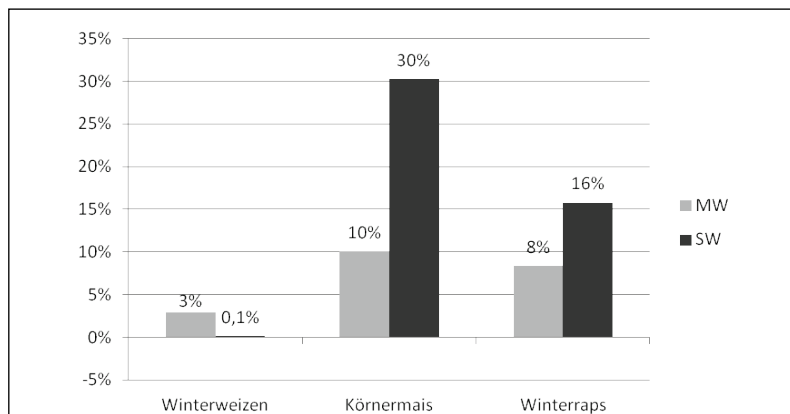


Abb. 2: Veränderung von Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SW) der Erträge am Standort „Reith“ 2020 - 2049 gegenüber 1981 - 2010

Quelle: Eigene Berechnungen, 2012

Generell profitieren die untersuchten Kulturen von dem zunehmenden Strahlungsangebot, das sich in einem höheren mittleren Ertragsniveau niederschlägt. Mais als C₄-Pflanze kann zusätzlich steigende Temperaturen für höhere Ertragsleistungen nutzen. Dagegen kommt den C₃-Pflanzen Weizen und Raps der Anstieg der Kohlendioxidkonzentration in Form des sogenannten CO₂-Düngungseffektes entgegen.

Die Zunahme der Ertragsstreuung scheint in erster Linie dem Rückgang der Niederschläge geschuldet. Obwohl die jährliche Niederschlagssumme zwar nur geringfügig abnimmt, verbirgt sich dahinter gleichzeitig eine Verschiebung der Niederschläge in das Winterhalbjahr. In der Folge können die Kulturpflanzen vor allem im Frühjahr und Sommer an Wassermangel leiden, der durch hohe Temperaturen verstärkt wird und sich während empfindlicher Entwicklungsstadien besonders negativ auswirkt.

Abbildung 3 verdeutlicht den Einfluss des Anbauortes für die Ertragsentwicklung bei Winterweizen. Neben dem bereits bekannten Standort „Reith“ werden zusätzlich die anderen Untersuchungsstandorte dargestellt, an denen Winterweizen angebaut wird.

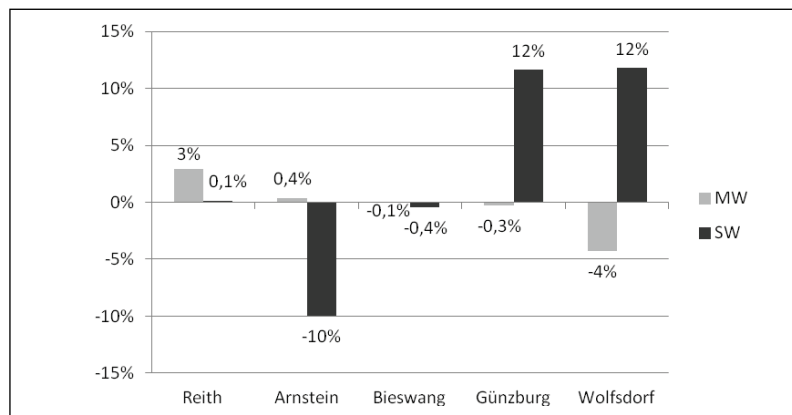


Abb. 3: Veränderung von Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SW) der Erträge bei Winterweizen 2020 - 2049 gegenüber 1981 - 2010 an verschiedenen Untersuchungsstandorten

Quelle: Eigene Berechnungen, 2012

An den Standorten „Arnstein“, „Bieswang“ und „Günzburg“ ändert sich das mittlere Ertragsniveau (Mittelwert) nur marginal. Am Standort

„Wolfsdorf“ ergibt sich dagegen ein moderater Rückgang um 4%. Bei der Streuung der Erträge (Standardabweichung) zeigt sich am Standort „Bieswang“ kaum eine Veränderung. In „Arnstein“ geht die Streuung merklich um 10% zurück, während sie in „Günzburg“ und „Wolfsdorf“ mit 12% deutlich zunimmt.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Ertragsentwicklung je nach betrachteter Kultur und untersuchtem Standort unterschiedlich ausfallen. In der Mehrzahl der dargestellten Fälle verändert sich die Streuung des Ertrages stärker als das durchschnittliche Ertragsniveau. Darin drückt sich ein zunehmendes Produktionsrisiko für den Marktfruchtbau aus.

Zudem decken sich diese Ergebnisse in der Tendenz mit den Erkenntnissen der eingangs zitierten Studien. Dies gilt insbesondere für die Ertragsentwicklung von Winterweizen an den bislang in Bayern untersuchten Standorten (GANDORFER und KERSEBAUM, 2009, 52ff). Der vorliegende Beitrag verdeutlicht darüber hinaus die Konsequenzen für weitere Kulturen und an mehreren Standorten.

Trotz der generell mit der Klimamodellierung und darauf aufbauender Untersuchungen einhergehenden Unsicherheiten lässt sich daraus eine Zunahme des Produktionsrisikos im Marktfruchtbau ableiten. Weiterführende Analysen sollen sich zum einen auf den Aspekt der Risikobetrachtung konzentrieren und zum anderen durch die Einbeziehung weiterer Modelle die Bandbreite möglicher Ergebnisse aufzeigen.

Literatur

- ALCAMO, J., PRIESS, J., HEISTERMANN, M., ONIGKEIT, J., MIMLER, M., PRIESS, J., SCHALDACH, R. und TRINKS, D. (2005): Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge. URL: <http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/inklim/endberichte/landwirtschaft.pdf> (18.02.2012).
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) (1997): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1000000 (BÜK 1000). Hannover.
- EITZINGER, J., KERSEBAUM, K.C. und FORMAYER, H. (2009): Landwirtschaft im Klimawandel – Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Clenze: Verlag Agrimedia.

- GANDORFER, M. und KERSEBAUM, K.C. (2009): Einfluss des Klimawandels auf das Produktionsrisiko in der Weizenproduktion unter Berücksichtigung des CO₂-Effekts sowie von Beregnung. In: Peyerl, H. (Hrsg.): Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie 18/3. Wien: Facultas Verlag, 47-56.
- KERSEBAUM, K.C. (2007): Modelling nitrogen dynamics in soil-crop systems with HERMES. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 77(1): 39-52.
- KREIENKAMP, F., ENKE, W. und SPEKAT, A. (2010): WR2010_EH5_1_A1B: UBA-WETTREG ECHAM5/OM 20C + A1B Lauf 1 realization run 1961-2100. World Data Center for Climate. CERA-DB "WR2010_EH5_1_A1B". URL: http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=WR2010_EH5_1_A1B (17.01.2012).
- MIRSCHEL, W., WENKEL, K.O., WIELAND, R., LUZI, K., ALBERT, E. und KÖSTNER, B. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsleistung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten im Freistaat Sachsen – eine landesweite regionaldifferenzierte Abschätzung. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 28/2009.
- STOCK, M. (Hrsg.) (2005): KLARA Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung [PIK], PIK-Report Nr.99, Potsdam, 2005.
- WECHSUNG, F., GERSTENGARBE, F.W., LASCH, P. und LÜTTGER, A. (Hrsg.) (2008): Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung [PIK], PIK-Report Nr.112.

Anschrift der Verfasser

Thomas Felbermeir
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökonomie
Menzinger Straße 54, 80638 München, Deutschland
Tel.: +49 89 17800 464
eMail: thomas.felbermeir@lfl.bayern.de

Dr. Harald Maier
Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie
Alte Akademie 16, 85354 Freising-Weihenstephan, Deutschland
Tel.: +49 8161 53769 0
eMail: Harald.Maier@dwd.de

PD Dr. Kurt-Christian Kersebaum
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V., Institut für Landschaftssystemanalyse
Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, Deutschland
Tel.: +49 33432 82 394
eMail: ckersebaum@zalf.de