

Auswirkung des Klimawandels auf den Water Footprint von Weizen in ausgewählten Regionen entlang eines Nord-Süd Transekts in Deutschland

Kurt Christian Kersebaum

Institut für Landschaftssystemanalyse
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg
ckersebaum@zalf.de

Abstract: Der Klimawandel beeinflusst die Pflanzenproduktion sowie den damit verbundenen Wasserhaushalt. Neben Temperaturerhöhung und Veränderung der Niederschlagshöhe und -verteilung hat auch die erhöhte CO₂ Konzentration der Atmosphäre einen Einfluss auf die pflanzliche Biomasseerzeugung und den Wasserverbrauch. Der sogenannte Water Footprint kennzeichnet den Wasserverbrauch eines Produktes in m³ pro Tonne und soll als Indikator für die Nachhaltigkeit der Erzeugung dienen. Mit Hilfe des Agrarökosystemmodells HERMES wurde für 6 ausgewählte Regionen Deutschlands entlang eines Nord-Süd Transektes die standortspezifisch zu erwartenden Veränderungen der Weizenerträge sowie des Wasserverbrauchs ermittelt, um daraus Veränderung im Waterfootprint der Weizenerzeugung abzuleiten. Hierzu werden in einem GIS Bodenkarte und Landnutzung miteinander verschnitten. Für die einzelnen Regionen werden jeweils 3 Realisationen von 30-jährigen täglichen Wetterzeitreihen für die Vergangenheit (1961-1990) und die nähere Zukunft (2021-2050) für das A1B Szenario mit Hilfe des statistisch basierten Regionalen Klimamodells WETTREG generiert. Je nach Bodenverhältnissen, klimatischen und hydrologischen Gegebenheiten der einzelnen Regionen ergeben sich Veränderungen mit unterschiedlichen Vorzeichen. In den meisten Fällen nimmt der Water Footprint der Weizenerzeugung ab, was eine höhere Wassernutzungseffizienz gedeutet. Die projizierte Ertragsentwicklung ist in den einzelnen Regionen in Abhängigkeit vom Boden und Grundwasserflurabstand sehr unterschiedlich, sodass in fast allen Regionen Gewinner- und Verliererstandorte kleinräumig nebeneinander vorkommen.

1 Einleitung

Der Anstieg der atmosphärischen CO₂ Konzentration sowie der damit einhergehende Klimawandel haben Auswirkungen auf den Wasserhaushalt von Landschaften sowie das Pflanzenwachstum. Eine erhöhte CO₂ Konzentration der Atmosphäre erhöht einerseits die Fotosynthese von C3 Pflanzen und ermöglicht andererseits den Pflanzen auch bei höherem Stomatawiderstand einen ausreichenden CO₂ Fluss in das Blatt, wodurch die

Pflanze Wasser effektiver nutzen kann. Der sogenannte Water Footprint [Ho11] bezeichnet die für die Erzeugung einer bestimmten Menge eines Produktes notwendige Wassermenge in m³ pro Tonne. Er stellt somit den Kehrwert zur Wassernutzungseffizienz dar. Im Zuge des Klimawandels ist sowohl mit einer Veränderung des Wasserverbrauchs der Pflanzen als auch mit einer Änderung der Pflanzenerträge zu rechnen. Sind diese Veränderungen unterschiedlich in ihrer relativen Höhe oder sogar in ihrem Vorzeichen, verändert sich der Water Footprint als ein Kennwert der Nachhaltigkeit des Anbaus. Beispielhaft wurde in dieser Studie für ausgewählte Regionen in Deutschland die Auswirkung des Klimawandels auf die Erträge und den Wasserverbrauch von Winterweizen entlang eines Nord-Süd Transekts mit Hilfe von Modellrechnungen abgeschätzt.

2 Material und Methoden

Für die Studie wurden stationsbasierte tägliche Wetterdatenreihen für den Zeitraum 1962-1991 (Basisperiode) sowie 2021-2050 (Klimaszenario) verwendet, die mit Hilfe des statistisch basierten regionalen Klimamodells WETTREG [En05] für die vergangenen sowie die im A1B zu erwartenden Klimabedingungen generiert wurden. Grundlage des Klimaszenariums waren die Berechnungen des globalen Klimamodells ECHAM5/MPI-OMT63L31. Für die Simulationen wurden jeweils 3 Realisationen (trocken, normal, feucht) für die Simulation ausgewählt.

2.1 Datenbasis

Für die Studie wurden sechs Regionen in der Umgebung der Wetterstationen Schleswig, Rotenburg/Wümme, Hannover, Leinefelde, Würzburg und Dillingen entlang eines Nord-Süd Transekts ausgewählt. Ihre Lage und klimatische Charakterisierung für den Basiszeitraum sowie das Klimaszenario sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Lage und klimatische Charakterisierung der ausgewählten Regionen

Region	Breiten grad	Höhe ü. NN	Periode	Temperatur (°C)				Niederschlag (mm)			
				Jahres mittel	Δ abs./%	Jahres summe	Δ abs./%	Summe DJF	Summe MAM	Summe JJA	Summe SON
Schleswig	54°32"	43	1962-1991	8.2	0.7	742.4	28.7	178.4	152.1	190.8	221.1
			2021-2050	8.9	8.1%	771.2	3.9%	208.6	157.6	199.9	205.1
Rotenburg/W	53°08"	32	1962-1991	8.9	0.8	740.5	11.3	189.3	164.7	207.0	179.5
			2021-2050	9.7	9.0%	751.8	1.5%	210.9	173.5	196.8	170.6
Hannover	52°28"	55	1962-1991	9.1	0.8	625.1	-18.6	150.7	144.1	185.1	145.2
			2021-2050	9.9	8.8%	606.6	-3.0%	157.7	142.5	168.6	137.7
Leinefelde	51°24"	356	1962-1991	7.7	0.7	800.0	-33.4	189.2	198.3	234.0	178.6
			2021-2050	8.4	8.6%	766.6	-4.2%	201.3	201.7	198.6	165.0
Würzburg	49°46"	268	1962-1991	9.2	0.7	544.5	-10.6	117.2	128.6	169.5	129.2
			2021-2050	9.9	8.0%	533.9	-1.9%	137.5	131.9	152.7	111.9
Dillingen	48°34"	420	1962-1991	8.5	0.7	707.2	-4.2	127.7	160.7	256.9	161.7
			2021-2050	9.2	8.3%	665.0	-6.0%	147.8	160.8	215.7	140.7

Die digitale Bodenkarte 1:1.000.000 (BÜK 1000) von Deutschland [Ha95] wurde mit der CORINE 2000 Landnutzungskarte verschnitten, um die Flächen der Ackernutzung in den Regionen und ihre Böden herauszufiltern. Die Beschreibungen der Bodenprofile der einzelnen Bodeneinheiten wurden für die Simulation genutzt. Eventuelle Grundwassereinflüsse wurden über die Lage vorhandener Gleyhorizonte berücksichtigt, um dem kapillaren Aufstieg von Wasser in den Wurzelraum Rechnung zu tragen. Aussaat- und Erntetermine von Winterweizen wurden regionsspezifisch aus dem Beobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes abgeleitet.

2.1 Verwendetes Modell

Die Simulationen wurden mit dem Modell HERMES durchgeführt, welches Pflanzenwachstum, Wasserhaushalt und Stickstoffdynamik von Ackerflächen auf der Basis täglicher Witterungsdaten beschreibt. Eine detailliertere Beschreibung der Methodik und des Modells ist bei [KN14] dargestellt. Die Simulationen wurden jeweils ohne Berücksichtigung des CO₂ Effekts sowie unter Verwendung einer Kombination eines Ansatzes nach [Mi95] für den CO₂ Effekt auf die Fotosynthese sowie eines Algorithmus zur Reduktion des Stomatawiderstands nach [Yu01] durchgeführt. Innerhalb einer Region wurden die einzelnen Bodeneinheiten mit den regionalen Klimareihen simuliert.

3 Ergebnis

Die Ergebnisse der Simulationen mit und ohne Berücksichtigung des CO₂ Effekts sind aggregiert für die Regionen in Tabelle 2 dargestellt. Die Veränderungen unter den projizierten Klimabedingungen gegenüber dem Basiszeitraum sind als flächengewichtete Mittel der einzelnen Bodeneinheiten und dem Durchschnitt der drei Realisationen dargestellt. Während ohne Berücksichtigung des CO₂ Effektes die Erträge unter den projizierten Klimabedingungen durchweg abnehmen und der Wasserverbrauch aufgrund der höheren Temperaturen in der Mehrheit zunimmt, werden bei Berücksichtigung des CO₂ Effektes in immerhin 2 Regionen sogar Ertragszuwächse berechnet, wohingegen die aktuelle Evapotranspiration mit Ausnahme der Region Schleswig eher zurückgeht. Während im ersten Fall die Veränderungen von Ertrag und Verdunstung gleichgerichtet sind und daher die Veränderung im Water Footprint unter 5% bleiben, nimmt der Wasserverbrauch bei Berücksichtigung des CO₂ Effekts stärker ab, was insbesondere bei einer berechneten Zunahme der Erträge zu einer deutlichen Abnahme des Water Footprints von bis zu -25% führt. Wenngleich der größte Ertragszuwachs im Norden und der größte Ertragsrückgang im Süden berechnet wurden, ist ein eindeutiger Trend entlang des Transektes nicht zu identifizieren. Dies liegt vor allem daran, dass die Auswirkungen der Klimaänderung stark von den Standorteigenschaften abhängig sind, die die regionalen Unterschiede in der Klimaentwicklung überlagern. Daher werden innerhalb der meisten Regionen Gewinner und Verlierer im Hinblick auf die Ertragsveränderung nebeneinander ermittelt. Während sandige Böden mit geringer Wasserspeicherfähigkeit meist negative Ertragsveränderungen aufgrund abnehmender Sommerniederschläge aufweisen, können die Pflanzen auf lehmigen und grundwassernahen Standorte in der Regel von den geänderten Klimabedingungen profitieren. Trotz zum Teil abnehmender Erträge

führt insbesondere der CO₂ Effekt zu einer durchgehend höheren Wassernutzungseffizienz und einer entsprechenden Abnahme des Water Footprint.

Tabelle 2: Simulierte relative Veränderungen von Weizenenerträgen, aktueller Evapotranspiration (ETA) und Water Footprint (WF) ohne (0) und mit (CO₂) Berücksichtigung des CO₂ Effekts.

Region	ΔErtrag_0	$\Delta\text{Ertrag}_{\text{CO}_2}$	ΔETA_0	$\Delta\text{ETA}_{\text{CO}_2}$	WF_0	ΔWF_0	$\Delta\text{WF}_{\text{CO}_2}$
	[%]	[%]	[%]	[%]	[m ³ t ⁻¹]	[%]	[%]
Schleswig	-3.6	7.4	4.4	0.8	619	-2.2	-15.2
Rotenburg/W.	-13.3	-5.2	1.6	-2.1	623	-2.5	-14.1
Hannover	-13.1	-2.4	1.3	-2.3	712	-3.9	-17.6
Leinefelde	-10.2	-1.7	2.4	-2.1	660	-4.8	-16.9
Würzburg	-15.8	3.8	-0.4	-3.2	1209	-5.2	-25.2
Dillingen	-21.2	-12.9	-2.3	-5.8	680	-0.1	-12.8

4 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen von COST ES 1106 “Assessment of EUROpean AGRICulture WATER use and trade under climate change - EURO-AGRIWAT” durchgeführt sowie im Rahmen des JPI FACCE knowledge hub MACSUR durch das Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung gefördert.

Literaturverzeichnis

- [En05] Enke, W.; Schneider, F.; Deutschländer, T.: A novel scheme to derive optimized circulation pattern classifications for downscaling and forecast purposes. *Theor. Appl. Climatol.* 82, 2005, S. 51-63.
- [Ha95] Hartwich, R et al.: *Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (BÜK1000) - Erläuterungen und Textlegende (Beiheft zur Karte)*. Hannover, 1995.
- [Ho11] Hoekstra, A.Y. et al.: *The Water Footprint Assessment Manual*. Earthscan, London, 2011.
- [KN14] Kersebaum, K.C.; Nendel, C.: Site-specific impacts of climate change on wheat production across regions of Germany using different CO₂ response functions. *Eur. J. Agronomy* 52, 2014, S. 22-32.
- [Mi95] Mitchell, R.A.C. et al.: Effects of elevated CO₂ concentration and increased temperature on winter-wheat – Test of ARCWHEAT1 simulation model. *Plant Cell Environ.* 18, 1995, S. 736-748.
- [YGW01] Yu, Q.; Goudriaan, J.; Wang, T.D.: Modelling diurnal courses of photosynthesis and transpiration of leaves on the basis of stomatal and non-stomatal responses, including photoinhibition. *Photosynthetica* 39, 2001, S. 43-51.