



2.3 Wasserbedarf in der Landwirtschaft

FRANK-M. CHMIELEWSKI

Water demand in agriculture: Worldwide, agriculture is the economic sector which has the highest demand for water, which is about 70%. This amount varies from region to region. An especially high demand exists in the arid and semi-arid climates where irrigated agriculture dominates. In these regions the water requirement rises up to 85% and more. Today already 40% of all foods are produced by irrigated agriculture. Growing population and climate changes will increase the need of water. For this reason efficient irrigation systems, regional adapted agricultural practices as well as water conserving cultivation methods will be necessary to produce sufficient food also in future.

Die Nutzung von Wasser für landwirtschaftliche Zwecke reicht weit in die Geschichte zurück und wurde von den Zivilisationen in den mediterranen Regionen seit Jahrtausenden praktiziert. Bis heute ist Wasser ein wertvolles Gut, das angesichts des stetigen Bevölkerungswachstums in vielen Regionen und des hierdurch steigenden Nahrungsmittelbedarfs, sowie infolge wachsender individueller Ansprüche zunehmend knapper wird. Der Wasserverbrauch in privaten Haushalten variiert zwischen 10 l (Länder mit Wasserarmut) und 400 l (hoch entwickelte Industrieländer) pro Tag. Tiere benötigen je nach Tierart und klimatischen Bedingungen täglich 20–50 l Wasser. Zur Herstellung von 1 kg Brot werden ca. 1.000 l Regen- bzw. Bewässerungswasser benötigt, da hierfür 2 kg Weizen (oberirdische Biomasse, s. Tab. 2.3-2) geerntet werden müssen. Für die Produktion von 1 kg Fleisch ist mehr als die fünffache Wassermenge erforderlich, da Nutztiere nur etwa 10% der pflanzlichen Nahrung in Fleisch umsetzen. In den Industrieländern werden somit für die tägliche Ernährung einer Person im Durchschnitt bis zu 5.000 l Wasser aufgebracht (virtuelles Wasser). Für einen Menschen in Afrika stehen dagegen weniger als 200 l zur Verfügung.

Wasserbedarf in der Landwirtschaft

Wasserverfügbarkeit spielt weltweit für den Pflanzenbau eine entscheidende Rolle. 70% des globalen Wasserverbrauchs gehen gegenwärtig auf die landwirt-

schaftliche Produktion zurück. Der weltweite Bedarf von Industrie (20%) und privaten Haushalten (10%) ist damit vergleichsweise gering. Nahezu 40% der Nahrungsmittel werden heute durch Bewässerungslandwirtschaft produziert, d.h. es werden fast 20% der globalen Anbaufläche bewässert. Regional bestehen jedoch enorme Unterschiede, die sowohl von den klimatischen Bedingungen als auch von der Industrialisierung des Landes abhängig sind.

In den ariden und semiariden Regionen der Erde ist großflächige Landwirtschaft nur mit Hilfe von Bewässerung möglich. Dementsprechend stark ist dort die Bewässerungslandwirtschaft verbreitet. Das hierfür notwendige Wasser wird Stauseen, Tiefbrunnen (fossiles Grundwasser) und natürlichen Flüssen entnommen. Die Entsalzung von Meerwasser ist sehr energie- und damit kostenintensiv und kann daher nur in wenigen wohlhabenden Ländern, wie beispielsweise in den Arabischen Emiraten angewandt werden. In den tropischen und subtropischen wechselfeuchten Klimaten, mit ausgeprägten Regen- und Trockenzeiten, muss sich die landwirtschaftliche Produktion an die saisonalen Gegebenheiten anpassen. Mit zunehmender Entfernung vom Äquator werden innerhalb der Tropen die Regenzeiten immer kürzer. Die jährlichen Niederschlagshöhen nehmen ebenfalls im Mittel ab. Für einige Kulturarten ist saisonal durchaus noch Regenfeldbau möglich, hingegen ist in den Trockenzeiten die Bewässerung eine wichtige Maßnahme im Pflanzenbau. In Ländern Asi-

ens und Afrikas liegt damit der Wasserverbrauch der landwirtschaftlichen Produktion über 85%. Mit ca. 10% ist der Wasserbedarf der Industrie hier vergleichsweise gering.

In den gemäßigten Breiten sind die Niederschläge im Mittel über das ganze Jahr verteilt. Zusatzbewässerung, in Form von Beregnung, dient hier der Erhöhung und Stabilisierung der Erträge und ist vor allem bei lang anhaltender Trockenheit und auf leichten Böden (Sandböden, lehmige Sandböden) notwendig. Beregnungswürdige Kulturen sind Kartoffeln, Qualitätsweizen, Braugerste, Zuckerrüben und Mais sowie Obst und Gemüse (Spargel, Gurken, etc.). Eine Verbesserung der Ertragsqualität, beispielsweise des Stärkeanteils bei Speisekartoffeln oder geringere Eiweißgehalte bei Braugerste, sind positive Nebeneffekte der Bewässerung. In den landwirtschaftlichen Betrieben erhöht sich durch Beregnungsmaßnahmen vor allem die Planungssicherheit. Im Mittel ist jedoch in den gemäßigten Klimaten der Zusatzwasserbedarf der Landwirtschaft vergleichsweise gering. In Europa entfällt auf den landwirtschaftlichen Sektor ein Wasserbedarf von etwa 35%. Regionale Unterschiede ergeben sich hier zwischen Nord und Süd. Während in den skandinavischen Ländern nur wenig Wasser für die Landwirtschaft benötigt wird, ist vor allem in Griechenland, Spanien, Portugal und Italien der Bewässerungsbedarf sehr hoch.

Tab. 2.3-1 gibt einen Überblick über die Beregnungsflächen im Jahr 2008 in Deutschland. Von den rund 17 Mio. ha landwirtschaftlicher Nutzfläche in

Deutschland werden im Mittel nur 3,3% beregnet, d.h. die hiesige Landwirtschaft nutzt jährlich lediglich 4% der Wasserreserven. Auf die Industrie hingegen entfallen in Deutschland 23%, auf Wärmekraftwerke immerhin 64% und auf die Haushalte 9%.

Innerhalb Deutschlands ergeben sich größere Unterschiede zwischen den Bundesländern. Allein in Niedersachsen liegen über 50% der in Deutschland beregneten Fläche von 560.000 ha. Bundesweit wird das Bewässerungswasser zu über 85% aus Grund- und Quellwasser gewonnen, weniger als 15% entstammen den Oberflächengewässern (UBA 2011).

Die Kosten für Beregnungsmaßnahmen belaufen sich in durchschnittlichen Jahren auf ca. 200 bis 400 € pro Hektar. Dies sind für jeden Millimeter Zusatzregen 2,80 Euro. In sehr trockenen Jahren, wie beispielsweise im Jahr 2003, waren Kosten für Bewässerungsmaßnahmen von 500 €/ha und mehr erforderlich. In vielen Teilen Deutschlands musste von April bis September ununterbrochen beregnet werden. Die Wasserdefizite beliefen sich in einigen Regionen auf über 450 mm.

Die Verfügbarkeit von Wasser für das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen hängt nicht nur von der jährlichen Höhe und Verteilung der Niederschläge ab, sondern ebenso von den physikalischen Fähigkeiten des Bodens, Wasser zu speichern, den klimatischen Verhältnissen, die die Verdunstung des Bestandes steuern und letztendlich vom Wasserbedarf der Nutzpflanzen selbst. Zwischen Biomassebildung und Wasserverbrauch der Pflanzen besteht ein enger Zusammenhang. Bei Wassermangel kommt es zu einer Einschränkung

Tab. 2.3-1: Beregnungsflächen in Deutschland im Jahr 2008 (FRICKE 2010) (*Daten von 1995 bzw. Schätzungen nach FRICKE 2010).

Bundesland	Landw. Nutzfläche (LF) (ha)	Beregnungsfläche 2008 (ha)	Beregnungsfläche (in % der LF)
Baden-Württemberg	1.437.200	23.000	1,6
Bayern	3.224.700	31.200	1,0
Brandenburg	1.336.400	25.000*	1,9
Hessen	773.600	43.000	5,6
Mecklenburg-Vorpommern	1.368.600	20.000	1,5
Niedersachsen	2.617.700	300.000	11,5
Nordrhein-Westfalen	1.505.200	31.000	2,1
Rheinland-Pfalz	708.400	38.700	5,5
Saarland	77.000	300*	0,4
Sachsen	910.800	15.000*	1,6
Sachsen-Anhalt	1.175.100	20.000*	1,7
Schleswig-Holstein	997.600	5.900	0,6
Thüringen	793.800	6.600	0,8
Berlin, Bremen, Hamburg	24.700	300*	1,2
Deutschland (Gesamt)	16.950.800	560.000	3,3

der Transpiration und damit in der Regel zu einer linearen Verminderung der Stoffproduktion. Die Folge sind zwangsläufig Ertragseinbußen. Bei Mais beispielsweise nimmt der potentielle Ertrag bei einer Reduktion des Wasserangebots zwischen Mai und September von 500 auf 250 mm um 12.5 dt Trockenmasse je Hektar ab (VETTER 2010).

Ausgedrückt wird der Zusammenhang zwischen Wasserverbrauch und Biomassebildung durch den Transpirations- ($l\ H_2O / kg\ Trockenmasse$) bzw. Wassernutzungskoeffizienten ($kg\ Trockenmasse / l\ H_2O$). Zwischen den einzelnen Kulturarten ergeben sich große Unterschiede im Wasserverbrauch (Tab. 2.3-2), die nicht zuletzt von der Wachstumszeit und -dauer sowie der Kulturart abhängig sind. Beispielsweise haben Wintergetreidearten, die einen Teil ihrer Entwicklung in der kühleren Jahreszeit (Herbst, Frühjahr) durchlaufen, einen geringeren Wasserverbrauch als die entsprechenden Sommerformen. Blattfrüchte wie Kartoffeln und Zuckerrüben haben aufgrund ihrer relativ langen Vegetationszeit einen höheren Wasserbedarf als Getreide. Die höchsten Wasserverbrauchswerte haben langlebige Futterpflanzen (Rotklee, Luzerne) und Grünland.

Die Bodenfeuchtigkeit ist damit die im Garten- und Pflanzenbau zu steuernde Größe, die sich über die Wasserbilanzgleichung beschreiben lässt:

$$\Delta S = P - I - E - T - R_o - V_s \text{ [mm]}$$

Die Änderung des Wasservorrats im Boden (ΔS) hängt primär von den natürlichen Niederschlägen (P) ab. Sie wird durch Interzeptionsverluste an der Pflanzendecke (I), die Verdunstung des Bodens (E), die Transpiration der Pflanzen (T), den oberirdischen Abfluss (R_o) und die Versickerung von Wasser aus der durchwurzelten Zone (V_s) reduziert.

Allein in Deutschland ergeben sich relativ große Unterschiede, was die räumliche Verteilung der Niederschläge betrifft. Vor allem in Ostdeutschland ist der Anteil von Flächen mit mittleren jährlichen Niederschlagshöhen unter 600 mm überdurchschnittlich hoch.

Optimale Werte der Bodenfeuchtigkeit liegen zwi-

schen 60 und 80% der nutzbaren Feldkapazität (nFK). Bei Feuchtwerten unter 30–40% nFK ist mit deutlichen Wachstums- und Ertragsdepressionen zu rechnen, wie sie im Jahr 2003 vielerorts zu beobachten waren (Abb. 2.3-1). Längere Zeiträume mit Bodenfeuchtwerten über 80% nFK können infolge von Bodenluftmangel ebenfalls negative Wirkungen haben.

Die Steuerung der Bewässerung sollte sich daher an den für die jeweilige Pflanzenart optimalen Werten orientieren. Hierbei ist neben dem aktuellen Bodenwassergehalt in der durchwurzelten Zone die Entwicklung der Pflanze zu berücksichtigen, da sich der Wasserbedarf der Pflanze über die Vegetationszeit verändert. Bei Sommergetreide kann sich Wasserdefizit vor allem im Mai und Juni negativ auf den Ertrag auswirken, bei Kartoffeln zwischen Juni und August sowie bei Zuckerrüben von Juli bis September (CHMIELEWSKI & KÖHN 1999). Unter nordwestdeutschen Klimaverhältnissen lässt sich bei Bodenwassergehalten von 40–50 Vol.-% pro 1 mm Beregnungswassermenge ein Mehrertrag bei Getreide von 0,14 dt/ha und bei Rüben und Kartoffeln von 1,2 dt/ha erzielen (RENGER & STREBEL 1982). In Brandenburg ergab sich durch bedarfsgerechte Beregnung im 7-jährigen Mittel (1996–2002) ebenfalls ein Mehrertrag bei Kartoffeln von 1,6 dt/(mm×ha) (DITTMANN 2003).

Bewässerungstechniken

Für die Bewässerung kann sowohl Oberflächenwasser aus Seen und Flüssen, gespeichertes bzw. zurückgehaltenes Wasser aus dem jährlichen Niederschlag als auch Grundwasser genutzt werden. Generell gibt es drei Möglichkeiten der Bewässerung. Bei der Oberflächenbewässerung werden die Felder mit Wasser überflutet. Dies kann sowohl entlang von Furchen oder innerhalb umrandeter Areale erfolgen. Für die Feldberegnung kommen mobile (Düsenwagen, Einzugsregner) bzw. teilmobile Beregnungsmaschinen (Kreisregner, Linearregner) sowie Reihenregner mit Rohr-, Schlauchverbindung zum Einsatz. Die Mikrobewässerung kann oberirdisch (rTöpfchen- und Sprühbewässerung) und

Tab. 2.3-2: Transpirationskoeffizient für landwirtschaftliche Nutzpflanzen (GEISLER 1988).

Transpirationskoeffizient [l H ₂ O / kg TM]	Kulturart
200 – 300	Hirsen
300 – 400	Mais, Beta-Rüben
400 – 500	Gerste, Roggen, Hartweizen
500 – 600	Kartoffeln, Sonnenblumen, Weichweizen, Kohl, Buchweizen
600 – 700	Raps, Erbsen, Bohnen, Hafer, Gurken, Rotklee
über 700	Luzerne, Soja, Lein, Kürbis, Kohlrübe

unterirdisch (Tropfbewässerung) erfolgen. Die Art der Bewässerung ist teilweise von den Gelände- und Bodeneigenschaften sowie von der anzubauenden Kulturart abhängig. Feldberegnung und Mikrobewässerung sind wesentlich wassersparender als die Oberflächenbewässerung.

Nutzung von Oberflächenwasser

In ariden und semi-ariden Regionen ist Bewässerung seit jeher die Grundlage für Ackerbau und Viehzucht. Hierzu dienen alle technischen Maßnahmen, die in Trockenzeiten ausreichende Wassermengen zur Förderung des Pflanzenwachstums bereitstellen.

In Regionen mit kurzen saisonalen Niederschlägen wird während der Regenzeit das Flutwasser in eingedeichten Bassins entlang von Wadis, d.h. in Trockentälern, die nur zu Regenzeiten mit Wasser gefüllt sind über viele Wochen gespeichert, so dass der Boden gut durchfeuchtet ist. Nachdem das Überschwemmungswasser abgeflossen ist, kann gesät werden. Größere landwirtschaftlich nutzbare Flächen können gewonnen werden, indem nicht die Wadis selbst, sondern die Überschwemmungsgebiete entlang der Ufer großer Wadis genutzt werden. Diese Formen der Sturzwasserlandwirtschaft sind sehr alt und wurden schon 1.000 Jahre v. Chr. im südlichen Israel (Negev-Wüste) angewandt. Bei dieser Art der passiven Bewässerungstechnik ist die Gefahr der Bodenversalzung (s. unten) gering, zudem wird bei der Überflutung fruchtbarer

Schlamm mitgeführt, der die Ertragsfähigkeit des Bodens erhält.

Eine andere Form der Wasserspeicherung ist die Nutzung von Zisternen oder Erdbecken, in denen Wasser aus einer größeren Fläche zusammenströmt. Natürliche Quellen wie Seen, Teiche und Flüsse dienen ebenfalls zur Bewässerung, solange diese nicht ausgetrocknet sind. Wesentlich aufwändiger ist es, ganze Flussläufe zu verlegen oder große Talsperren zu bauen. Das vor Ort benötigte Wasser muss im letztgenannten Fall über Pipelines bis in die landwirtschaftlich genutzten Regionen transportiert werden.

Nutzung von Grundwasser

Das Grundwasserdargebot wird in Regenzeiten meist wieder erneuert. Vor allem in Gebieten mit winterlichen Niederschlägen, bei gleichzeitig herabgesetzter Verdunstung, ist die Auffüllung der Reservoirs effektiv. Dennoch kann nicht in allen ariden und semi-ariden Gebieten der Erde von einer stetigen Erneuerung der Grundwasservorräte ausgegangen werden. Vor allem in Regionen mit starker Wassernutzung bzw. geringen und sehr variablen Niederschlägen wird häufig mehr Wasser entnommen als erneuert werden kann.

Die Förderung des Grundwassers erfolgt mit Schöpfvorrichtungen oder Motorpumpen aus Vorratsbehältern und Brunnen (Schacht- und Bohrbrunnen). Das hieraus entnommene Wasser wird oftmals über weit verzweigte Kanäle in die zu bewässernden Gebiete ge-

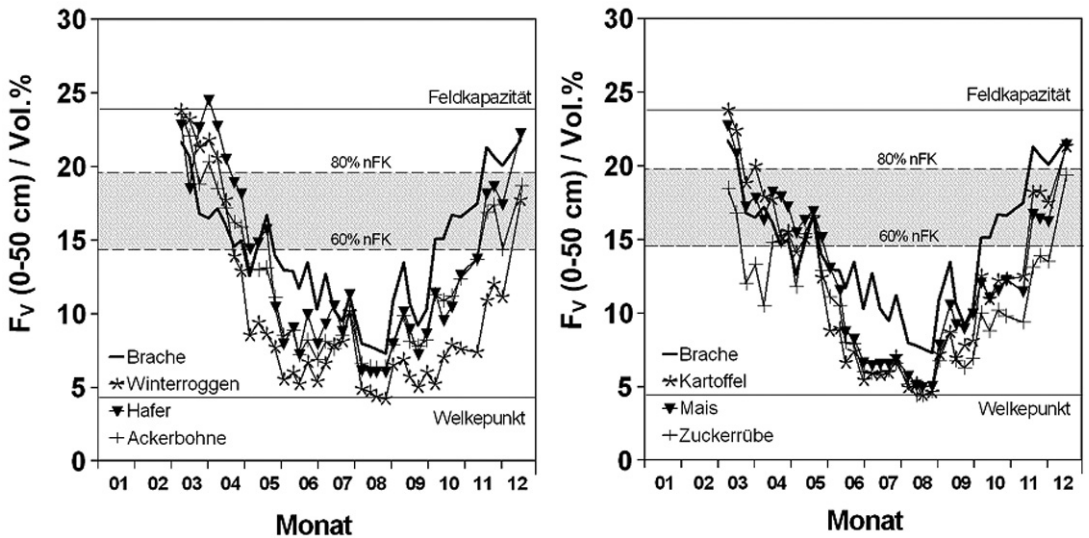


Abb. 2.3-1: Bodenfeuchteverlauf unter ausgewählten Kulturarten und unter Schwarzbrache im Jahr 2003 (Daten: Agrar-meteorologisches Intensivmessfeld, Berlin-Dahlem), F_v: Bodenfeuchte in Vol.%.

leitet. Hierbei entstehen oft erhebliche Wasserverluste, wenn die Bewässerungskanäle nicht ausgekleidet sind (Ton, Mauerwerk, Beton, Folien) oder aus vorgefertigten Rinnen oder Rohren bestehen.

Unsachgemäße Bewässerung in Trockenklimaten führt häufig zu einer Übernutzung bzw. Versalzung der ansonsten sehr fruchtbaren Böden dieser Regionen. Die überdurchschnittliche Entnahme von Grundwasser aus Brunnen kann dazu führen, dass diese mit der Zeit versiegen. Hiervon ist dann nicht nur die lokale Landwirtschaft betroffen, sondern durch den sinkenden Grundwasserstand auch die natürliche Vegetation. Die letzten Bäume und Sträucher sterben ab, und das Land verodet zusehends.

Darüber hinaus ist die Versalzung von Böden ein allgegenwärtiges Problem bei der Bewässerung in ariden Regionen. Der Grundsatz „keine Bewässerung ohne ausreichende Entwässerung“ wird oft missachtet. Bei der Bewässerung werden stets im Boden vorhandene Salze gelöst. In Regionen, in denen die Verdunstungshöhe deutlich die Niederschlagshöhe übersteigt, lagert sich das gelöste Salz durch den kapillaren Aufstieg des Wassers in der Krume (Oberboden) und an der Oberfläche des Bodes ab. Hierdurch reichert sich der gesamte durchwurzelte Bereich des Bodens mit Salz an, worauf die meisten Kulturpflanzenarten mit Ertragsdepressionen reagieren. Nur eine ausreichende

Auswaschung und Entwässerung des Bodens kann diesen Prozess verhindern.

Die Mikrobewässerung gehört heute zu den effektivsten und sparsamsten Methoden und ist mit einer hohen Wassereffizienz und niedrigem Energiebedarf sehr gut in ariden Regionen der Erde anwendbar. Eine Versalzung des Bodens entsteht kaum. Da bei diesem Verfahren die Blätter der Pflanzen nicht mit Wasser benetzt werden, sinkt zugleich das Risiko für Pilzinfektionen. Das Hauptproblem besteht darin, dass die Investitionen für solche Bewässerungssysteme sehr hoch sind und daher bis heute diese fortschrittlichen Techniken nur in relativ wohlhabenden Ländern verfügbar sind. Zudem ist durch den stationären Aufbau die Ernte und Feldbearbeitung eingeschränkt.

Klimawandel und Wasserbedarf

Die Wirkungen des Klimawandels auf den Pflanzenbau hängen von vielfältigen Faktoren ab. Positive Effekte wie der CO₂-Düngeeffekt kommen nur dann vollständig zur Wirkung, wenn die klimatischen Veränderungen (Temperaturerhöhung, Wasserverfügbarkeit, Extremwetterereignisse) nicht zu einem zusätzlichen Stressfaktor für die Pflanzen werden. Ist dies der Fall, können die ertragssteigernden Wirkungen des höheren CO₂-Gehalts nur teilweise zum Tragen kommen.

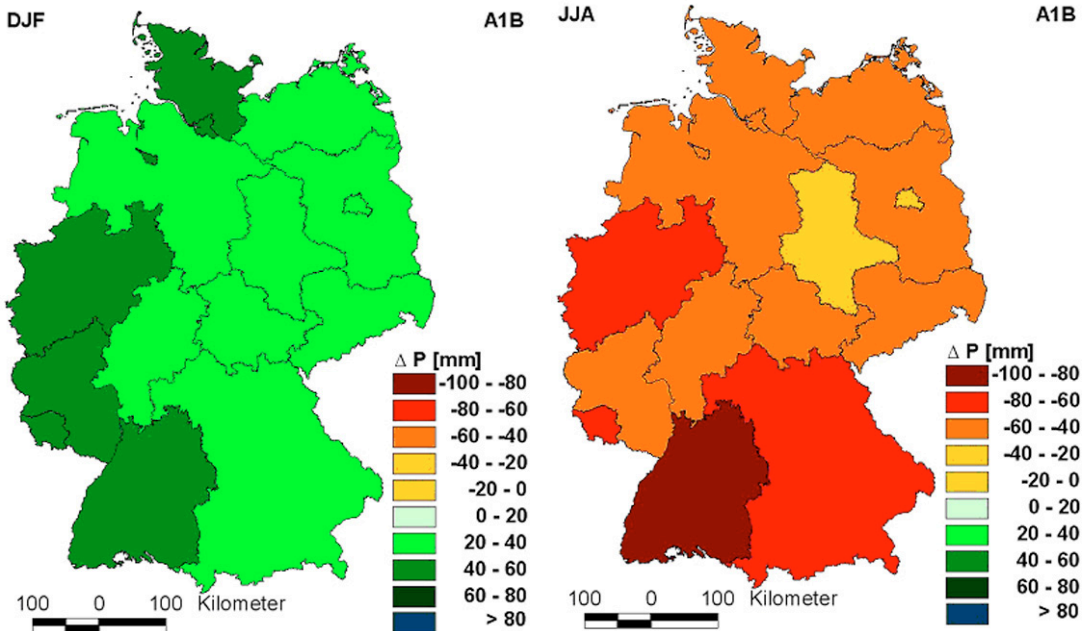


Abb.: 2.3-2: Mögliche Veränderungen der Niederschlagshöhe im Winter (links) und im Sommer (rechts) für Deutschland nach REMO-UBA, Szenario A1B, dargestellt sind die Veränderungen im Zeitraum 2071–2100 vs. 1961–1990 für alle Bundesländer.

FACE-Experimenten in Braunschweig zufolge könnte der direkte CO₂-Düngeeffekt zu einem kulturartenspezifischen Ertragszuwachs von ca. 10% führen (WEIGEL et al. 2006, MANDERSCHIED & WEIGEL 2006, FANGMEIER et al. 2002, KAMMANN et al. 2005).

Die globale Erwärmung wird wahrscheinlich eine Verstärkung des Wasserkreislaufes nach sich ziehen und somit im Mittel zu höheren Niederschlagsmengen führen (SOLOMON et al. 2007). Eine Intensivierung des hydrologischen Zyklus bedeutet gleichsam höhere Verdunstung infolge allgemein höherer Temperaturen, wodurch die zusätzlichen Niederschlagsmengen wieder aufgebraucht werden können. Wenn die Intensität einzelner Niederschlagsereignisse zunimmt, ist gleichfalls mit höheren oberirdischen Abflussraten zu rechnen. Stärkere Verdunstung und größerer Abfluss tragen nicht zu einer Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit bei, die letztendlich für das Wachstum und die Ertragsbildung der landwirtschaftlichen Kulturen entscheidend ist. Zudem ist im Pflanzenbau die jahreszeitliche Verteilung der Niederschlagsereignisse von großer Bedeutung.

Für Deutschland wird sich vermutlich bis zum Ende dieses Jahrhunderts kaum eine signifikante Veränderung in der Jahresniederschlagshöhe ergeben. Hingegen deuten verschiedene Modellrechnungen auf eine Verlagerung der sommerlichen Niederschläge

in die Wintermonate hin (Abb. 2.3-2). In der hier gezeigten Regionalisierung ergibt sich im Sommer eine Niederschlagsabnahme von 60 mm und im Winter eine Zunahme der Niederschlagshöhe um 36 mm (CHMIELEWSKI et al. 2009). In den Übergangsjahreszeiten sind die Niederschlagsänderungen leicht positiv, aber keinesfalls statistisch gesichert.

Abnehmende Sommerniederschläge und höhere Lufttemperaturen sprechen zweifelsfrei für sinkende Bodenwasservorräte, da die Verdunstung schätzungsweise mit einem Grad Temperaturanstieg um ca. 5% zunimmt (HERTSTEIN et al. 1994).

Trockenheit beeinträchtigt ebenfalls die Nährstoffaufnahme der Pflanzen, so dass eine Unterversorgung dieser die Folge sein kann. Ausgetrocknete Böden sind zudem anfälliger gegenüber Winderosion, hauptsächlich wenn kein Pflanzenbestand mehr den Boden bedeckt. Ebenfalls ist nach langen Trockenperioden mit höheren Abflussraten zu rechnen, vor allem wenn Starkniederschläge auftreten. Hierdurch kann die oberste fruchtbare Bodenschicht abgetragen werden.

Die Wasserverfügbarkeit im Sommer kann vor allem auf jenen Standorten kritisch werden, auf denen die Wasserspeicherkapazität der Böden, wie in Brandenburg und einigen Regionen Niedersachsens, gering ist. Da Sommertrockenheit meist mit überdurchschnittlichen Tem-

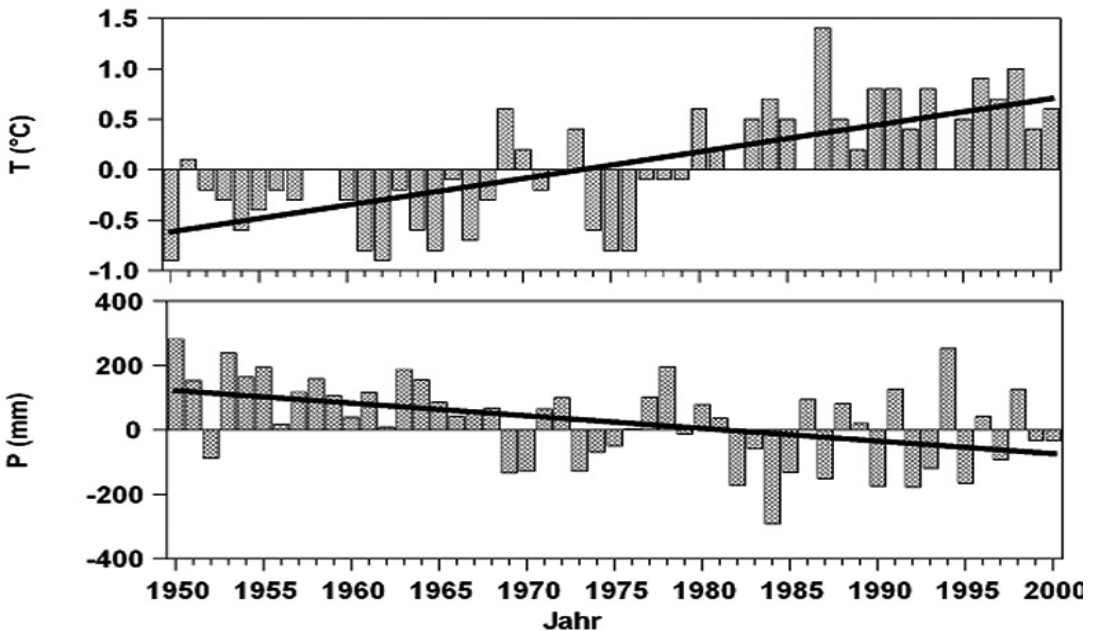


Abb. 2.3-3: Jahreswerte der Lufttemperatur (T) und Niederschlagshöhe (P) an der Station San (Mali), 1950-2000. Dargestellt sind Anomalien zur Periode 1961-90 und lineare Trends für T: +0.26 K/Jahrzehnt, (Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0.01$) und P: -39 mm/Jahrzehnt ($p < 0.01$).

peraturen einher geht, können sich die negativen Effekte auf die Pflanzenbestände noch verstärken.

Die Zunahme der winterlichen Niederschläge führt zweifelsfrei zur Auffüllung der Bodenwasservorräte, sie hat jedoch auch einige negative Auswirkungen. So könnte sich die Gefahr für die Auswaschung von Nähr- und Schadstoffen aus Böden erhöhen, wenn der Bestand abgeerntet ist und keine Nachfrüchte angebaut werden. Exzessive Niederschläge im Winterhalbjahr können zu Staunässe und zur Überflutung der Bestände führen und damit die Pflanzen in Wachstum und Entwicklung beeinträchtigen. Starke Niederschläge bis in das zeitige Frühjahr hinein beeinträchtigen die Befahrbarkeit und Bearbeitung der Böden, so dass trotz verlängerter thermischer Vegetationszeit die Aussaat nicht unbedingt früher erfolgen kann.

Darüber hinaus wird der Klimawandel, infolge von Veränderungen der Allgemeinen Zirkulation, zu einer Ausdehnung arider Gebiete und zu einer Verschiebung dürrefährender Regionen, wie beispielsweise der Sahelzone führen. Bereits in der jüngsten Vergangenheit zeichnet sich in dieser Region ein deutlicher Trend zu abnehmenden Niederschlägen, bei gleichzeitig ansteigenden Temperaturen ab (Abb. 2.3-3). In Gegenden mit monsonalen Niederschlägen kann es ebenfalls zu Veränderungen in der Andauer und der Intensität der Regenzeiten kommen.

Folglich deuten Klimamodellrechnungen auf eine Zunahme des Anteils der Weltbevölkerung hin, die von Wasserknappheit bedroht ist. Gefährdet sind vor allem die ariden und semiariden Regionen der Erde, in denen schon heute die Wasservorräte stark limitiert sind. Die Modelle projizieren, dass mit großer Wahrscheinlichkeit im Jahr 2050 ca. 1000–2000 Mio. Menschen mehr unter Wasserknappheit leiden werden als heute (PARRY et al. 2007). Als kritisch wird vor allem ein Anstieg der globalen Mitteltemperatur über 2 °C eingeschätzt, da dann auch die asiatischen Entwicklungsländer in Mitleidenschaft gezogen werden könnten und sich damit der Anteil der Menschen, die unter Wasserknappheit leiden, sprunghaft erhöhen würde (PARRY et al. 2001).

Schlussbetrachtung

Neben dem Klimawandel ist das Bevölkerungswachstum ein weiterer Faktor, der den Wasserbedarf anwachsen lässt. Die globale Nahrungsmittelproduktion wird dementsprechend nur durch die Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge (um ca. 70%), die Ausweitung kultivierbaren Landes (um ca. 20%) und die Erhöhung der jährlichen Anzahl von Ernten (um ca. 10%) hochzufahren sein (FAO 2001). Ein Weg, dies zu erreichen ist die Ausweitung der Bewässerungslandwirtschaft.

Daneben hat die Landwirtschaft jedoch weitere Möglichkeiten, das vorhandene Bodenwasser effizient zu nutzen und zu konservieren.

Die Gestaltung der Fruchtfolge kann optimal an die klimatischen Verhältnisse des Standortes angepasst werden. Hierbei sind die Wasseransprüche der einzelnen Pflanzenarten zu beachten. Über die Saatstärke und damit Bestandesdichte lässt sich ebenfalls der Wasserverbrauch steuern. Der Anbau von Zwischenfrüchten ist an Trockenstandorten oft nicht empfehlenswert, um eine Gefährdung für eventuelle Nachfrüchte auszuschließen. Direktsaat und konservierende Bodenbearbeitungsmethoden (flaches Pflügen), die möglichst wenig die Bodenoberfläche zerstören, sind ebenfalls Möglichkeiten, gerade auf leichten Böden den Wasserhaushalt zu schonen (ELLMER et al. 2001). Durch die flache Bearbeitung der Krume bleibt mehr Feuchtigkeit im Boden, wodurch die Bewässerung teilweise reduziert werden kann.

Eine Alternative zur Bewässerungswirtschaft in semi-ariden Regionen ist der Regenfeldbau in Trockengebieten (dry land farming). Anwendung finden hierbei alle ackerbaulichen Maßnahmen, die auf eine Optimierung der Wassernutzung zielen. Hierzu zählen Verfahren wie Mulchen, Lockern der Bodenkrume, Aussaat von Mischkulturen etc. Wie bereits erwähnt, kann durch den Anbau trockenresistenter Sorten (Hirse, Sorghum) der Wasserverbrauch ebenfalls reduziert werden.

Mit Tröpfchenbewässerung, die zunehmend im Obst- und Gemüsebau eingesetzt wird, können gegenüber Beregnungsanlagen große Mengen Wasser eingespart werden. Zum einen erfolgt die Zufuhr von Wasser unmittelbar an der Pflanze, so dass Verdunstungsverluste reduziert werden. Zum anderen kann Wasser gespart werden, wenn die applizierten Mengen am tatsächlichen Bedarf der Pflanzen orientiert werden. In Entwicklungsländern sind hierzu umfangreiche Investitionen und Weiterbildungsmaßnahmen erforderlich.

Der Wasserbedarf in der Landwirtschaft kann sowohl durch effiziente Technologien der Bewässerung als auch durch standortangepasste und wasserschonende Bewirtschaftung weiter optimiert werden. Hiermit kann die Landwirtschaft weltweit einen wirkungsvollen Beitrag zum sparsamen Umgang mit der Ressource Wasser leisten. Auf EU-Ebene reguliert die Wasserrahmenrichtlinie den Erhalt der Wasserqualität und die Sicherung der Wasserversorgung (RICHTLINIE 2000/60/EG). Zusätzlich müssen die Mitgliedsstaaten ab 2010 bestimmte Standards bei der Nutzung von Wasser für Bewässerungszwecke einhalten (Cross-Compliance-Verpflichtungen, KOM (2010)).

Literatur:

- CHMIELEWSKI F.-M., BLÜMEL K., HENNIGES Y. & MÜLLER A. (2009): Klimawandel und Obstbau in Deutschland. Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojekts KliO. Humboldt-Universität, Selbstverlag, 2009a, 237 S., <http://www.agrar.hu-berlin.de/agrarmet/forschung/fp/KliO.html>
- CHMIELEWSKI F.-M. & W. KÖHN (1999): The long-term agrometeorological field experiment at Berlin-Dahlem. *Agricultural and Forest Meteorology* 96, 39-48.
- DITTMANN B. (2003): Ergebnisse der Berechnung von Kartoffeln in Brandenburg. 3. Brandenburger Berechnungstag, Kurzfassungen der Vorträge, Güterfelde, 21.11.2002, 31-35.
- ELLMER F.; W. HÜBNER & C.M. SANETRA (2001): Conservation tillage on sandy soils in north-eastern Germany - possibilities and limits. In: *World Congress on Conservation Agriculture*, Madrid, 1-5 October 2001, Vol II: Offered Contributions-Ed. XUL Cordoba, Spain, 77-81.
- FANGMEIER A., D.E. TEMMERMAN, L. BLACK, PERSSON K. & VORNE V. (2002): Effects of elevated CO₂ and/or ozone on nutrient concentrations and nutrient uptake of potatoes. *Eur. J. Agron.* 17, 2002, 353-368.
- FAO (2001): *Food Insecurity: When people live with hunger and fear starvation. The state of food insecurity in the world.* Rome 64 pp.
- FRICKE E. (2010): Aufgabe und Tätigkeiten von Berechnungsverbänden in Deutschland. *Bewässerungstag Thüringen und Sachsen*, Jena 2010 (<http://www.tll.de/ainfo/pdf/h2o/h2of1110.pdf>)
- GEISLER G. (1988): *Pflanzenbau.* Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 530 pp.
- HERTSTEIN U., DÄMMGEN U., JÄGER H.-J., MIRSCHEL G., OBENAUF S. & RÓGASIK J. (1994): Wirkungen eines veränderten Klimas auf die landwirtschaftliche Primärproduktion. In: *Klimaveränderung und Landbewirtschaftung Teil II. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 148*, 1994, 237-294.
- KAMMANN C., GRÜNHAGE L., GRUTERS U., JANZE S. & JÄGER H.J. (2005): Response of aboveground grassland biomass and soil moisture to moderate long-term CO₂ enrichment. *Basic Appl. Ecol.* 6(4), 2005, 351-365.
- KOM (2010): Mitteilungen der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. Zweiter Follow-up-Bericht zur Mitteilung über Wasserknappheit und Dürre in der Europäischen Union, Brüssel 2010, 25 pp.
- MANDERSCHIED R. & WEIGEL H.-J. (2006): Klimawandel und Getreideanbau. Worauf muss sich die praktische Landwirtschaft einstellen? *GetreideMagazin* 11. Jg 2/2006, 134-139.
- PARRY M., N. ARNELL; T. MCMICHAEL; R. NICHOLLS; P. MARTENS; S. KOVATS; M. LIVERMORE; C. ROSENZWEIG; A. IGLESIAS & G. FISCHER (2001): Millions at risk: defining critical climate change threats and targets. *Global Environmental Change* 11, 181-183.
- PARRY M.L., O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, P.J. VAN DER LINDEN & C.E. HANSON (Eds., 2007): *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 976 pp.
- RENGER, M. & O. STREBEL (1982): Berechnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Niedersachsen. *Geol. Jb. F* 13, Hannover, 66 pp.
- RICHTLINIE 2000/60/EG (2000): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, 89 pp.
- SOLOMON S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR & H.L. MILLER (Eds., 2007): *Climate Change 2007, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 996 pp.
- UBA (2011): *Daten zur Umwelt - Ausgabe 2011*, Umwelt und Landwirtschaft, 98 pp.
- VETTER A. (2010): *Agrarökologie, Anbau, Ertragssteigerung und Reststoffnutzung.* Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Vortrag (http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Veranstaltungen/2010/Biomasse_f%C3%BCr_den_Klimaschutz/vetter.pdf).
- WEIGEL H.J., PACHOLSKI A., WALOSZCZYK K., FRÜHAUF C., MANDERSCHIED R., ANDERSON T.H., HEINEMEYER O., KLEIKAMP B., HELAL M., BURKART S., SCHRADER S., STICHT C. & GIESEMANN A. (2006): Effects of elevated atmospheric CO₂ concentrations on barley, sugar beet and wheat in a rotation, examples from the Braunschweig carbon project. *Landbauforschung Völkenrode* 56 (3-4), 2006, 101-115.

*Prof. Dr. Frank-M. Chmielewski
Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
FG Acker- und Pflanzenbau / Agrarklimatologie
Albrecht-Thaer Weg 5 - 14195 Berlin
chmielew@agr.ar.hu-berlin.de*