

Sonderheft 328
Special Issue

Wasser im Gartenbau
Tagungsband zum Statusseminar
am 9. und 10. Februar 2009
im Forum des vTI in Braunschweig.
Organisiert im Auftrag des BMELV

Walter Dirksmeyer, Heinz Sourell (Hrsg.)

**Bibliografische Information
der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese
Publikation in der Deutschen Nationalbibliothek;
detaillierte bibliografische Daten sind
im Internet über <http://www.d-nb.de/>
abrufbar.



2009

Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesforschungsinstitut für
Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI)
Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig,
Germany

Die Verantwortung für die Inhalte liegt
bei den jeweiligen Verfassern bzw.
Verfasserinnen.

landbauforschung@vti.bund.de
www.vti.bund.de

Preis 8 €

ISSN 0376-0723
ISBN 978-3-86576-053-1

Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 328
Special Issue

Wasser im Gartenbau
Tagungsband zum Statusseminar
am 9. und 10. Februar 2009
im Forum des vTI in Braunschweig.
Organisiert im Auftrag des BMELV

Walter Dirksmeyer¹, Heinz Sourell² (Hrsg.)

¹Institut für Betriebswirtschaft

²Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, Germany

Liste der Referenten

Jano Anter

Institut für Ländliche Räume, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI),
Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, 38116 Braunschweig

Till Belau

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), 64289 Darmstadt

Dr. Walter Dirksmeyer

Institut für Betriebswirtschaft, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für
Ländliche Räume, Wald und Fischerei, 38116 Braunschweig

Dr. Matthias Fink

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e. V. (IGZ),
14979 Großbeeren

Ekkehard Fricke

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Niedersachsen), 30159 Hannover

Dr. Jochen Hemming

Wageningen University & Research Centre (WUR), Greenhouse Horticulture, 6700 AA Wageningen,
Niederlande

Dr. Heinz-Dieter Molitor

Forschungsanstalt Geisenheim, 65366 Geisenheim

Prof. Dr. Peter-Jürgen Paschold

Forschungsanstalt Geisenheim, 65366 Geisenheim

Dr. Ingrid Pflieger

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 07743 Jena

Dr. Uwe Schindler

Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg, 15374 Müncheberg

Dr. Heinz Sourell

Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundes-
forschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, 38116 Braunschweig

Dr. Andreas Teichert

Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG Heidelberg), 69123 Heidelberg

Uwe Tiet

Bauernverband Brandenburg, 14531 Ruhlsdorf

Dr. Frank Wendland

Research Centre Jülich, Institute for Chemistry and Dynamics of the Geosphere (ICG-4), 52425 Jülich

Vorwort

Anfang Februar 2009 fand am Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei in Braunschweig das Statusseminar „Wasser im Gartenbau“ statt. Das Seminar wurde auf Initiative des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) durch das Institut für Betriebswirtschaft und das Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik ausgerichtet. Ziel des Statusseminars war abzuschätzen, ob und in welchem Ausmaß der Klimawandel einen Einfluss auf die Bewässerung im Gartenbau hat. Durch insgesamt 13 Vorträge wurde der Impuls dafür gegeben, dass die teilnehmenden Experten in den Diskussionen zu einer Einschätzung darüber gelangen, 1. ob sich der Beregnungsbedarf in der Zukunft verändert, 2. ob technische Lösungen für zu erwartende Probleme vorhanden sind und 3. welche ökologischen und ökonomischen Effekte zu erwarten sind.

Dieser Tagungsband zu dem Statusseminar „Wasser im Gartenbau“ gibt die Beiträge aller Referenten wider. Am Ende befindet sich eine Zusammenfassung des Statusseminars samt den Ergebnissen. Damit liefert dieser Tagungsband eine aktuelle Beschreibung des gesamten Gebietes der Bewässerung im Gartenbau inklusive der Randbereiche und des heutigen Standes der Technik. Wir hoffen, dass dieser Bericht in der Produktionspraxis, der Beratung, der Verwaltung, der Politik und der Forschung auf reges Interesse stößt und zu kritischen Diskussionen anregt.

Einige der Abbildungen dieses Tagungsbands sind farbig besser zu interpretieren als in schwarz-weiß. Dies gilt insbesondere für einige der kartografischen Abbildungen. Für eine farbige Version verweisen wir auf den Tagungsband im Downloadbereich des Instituts für Betriebswirtschaft und des Instituts für Agrartechnologie und Biosystemtechnik des vTI (pdf-Datei, www.vti.bund.de).

Ein herzlicher Dank gilt den Referenten für die fachlichen Grundlagen, auf denen die Expertendiskussion stattfinden konnte. Allen Teilnehmern sei für die fruchtbare Diskussion gedankt.

Darüber hinaus danken wir den Referenten für die zeitnahe Erstellung ihrer Beiträge für diesen Tagungsband. Außerdem gebührt den in die Workshopvorbereitung und die Erstellung dieses Tagungsbandes involvierten technischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern beider Institute ein herzlicher Dank. Ferner danken wir dem BMELV für die Idee zu diesem Statusseminar.

Braunschweig, im April 2009

Walter Dirksmeyer und Heinz Sourell

Inhaltsverzeichnis

Liste der Referenten

Walter Dirksmeyer, Heinz Sourell

Vorwort

Matthias Fink, Hans-Peter Kläring, Eckhard George

1 Gartenbau und Klimawandel in Deutschland

Frank Wendland, Ralf Kunkel, Harald Kunstmann, Imke Lingemann, Richard Knoche, Björn Tetzlaff

11 Area differentiated analysis of impacts of climate change scenarios on groundwater resources in Northwestern Germany

Jano Anter, Horst Gömann, Peter Kreins, Agnes Richmann

21 Einfluss sich wandelnder ökonomischer Rahmenbedingungen auf die Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen in Deutschland

Heinz Sourell

29 Bewässerungstechnik: Wasserverteilung mit Blick in die Zukunft, Freilandberechnung

Andreas Teichert

33 Freiland Tropfbewässerung im Gemüsebau und weiteren gärtnerischen Kulturen?

Heinz-Dieter Molitor

37 Bewässerung in Gewächshäusern bei Bodenkulturen und in erdelosen Systemen

Peter-J. Paschold, Jürgen Kleber, Norbert Mayer

43 Bewässerungssteuerung bei Gemüse im Freiland

Ingrid Pflieger

49 Bewässerungswasserqualität – Hygienische und chemische Belange

Ekkehard Fricke

59 Stoffverlagerungen durch Bewässerung in Niedersachsen

Uwe Schindler, Gunnar Lischeid

63 Analyse des Bewässerungsbedarfes und Bewässerungskontrolle im Gartenbau

Till Belau, Norbert Fröba

- 69 **Investitionen und Verfahrenskosten für die Feldbewässerung – Ergebnisse der KTBL-Arbeitsgruppe „Feldbewässerung“**
-

Walter Dirksmeyer

- 73 **Ökonomik der Bewässerung im Gartenbau**
-

Jochen Hemming, Erik van Os, Jos Balendonck

- 81 **Intelligent bewässern im Gartenbau: Forschungstrends in den Niederlanden**
-

Walter Dirksmeyer, Heinz Sourell, Eiko Lübbe

- 89 **Ergebnisse des Statusseminars „Wasser im Gartenbau“**
-

Anhang

Programm

Teilnehmerliste

Gartenbau und Klimawandel in Deutschland

Dr. Matthias Fink, Dr. Hans-Peter Kläring, Prof. Dr. Eckhard George¹

1 Einleitung

Kaum eine menschliche Tätigkeit ist schon immer in solch direkter Weise vom Klima abhängig gewesen wie die gärtnerische Arbeit. Dies gilt für den frühen Gartenbau als Grundlage menschlicher Sesshaftwerdung, für den modernen Hausgärtner und auch für den europäischen Erwerbsgartenbau. Vom Gärtner wird die Bereitstellung von Frischware für den Markt von Obst, Gemüse und Zierpflanzen erwartet. Die Qualität dieser Frischware ist meist noch deutlicher von den Witterungsbedingungen beeinflusst, als dies bei anderen landwirtschaftlichen Produkten der Fall ist. Deshalb ist mit großer Sicherheit davon auszugehen, dass globale Klimaveränderungen im Gartenbau unmittelbare Konsequenzen haben werden. Auf der anderen Seite ist der Gartenbau schon immer darauf angewiesen gewesen, ein Verständnis für die Veränderbarkeit des Klimas zu entwickeln und anpassungsfähig zu reagieren.

Das IGZ hat deshalb die Aufgabe, an der vorliegenden Forschung zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Gartenbau mitzuwirken. Dabei ist das IGZ auf Partner angewiesen, unter anderem aus der Klimaforschung, der Klimafolgenforschung, der Pflanzenzüchtung, der Industrie und dem praktischen Gartenbau. Die vorliegende Kurzübersicht soll dazu dienen, den Wissenstand zum Thema Gartenbau und Klimawandel in Deutschland zusammenzufassen und Partner zu gemeinsamen Forschungsvorhaben anzuregen.

In der Diskussion um mögliche Auswirkungen des zu erwartenden Klimawandels spielen die Begriffe Vulnerabilität und Anpassungskapazität eine zentrale Rolle (IPCC, 2001). **Vulnerabilität** (gegenüber dem globalen Wandel) ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein spezifisches Mensch-Umwelt-System Schaden nimmt, durch Veränderungen in der Gesellschaft oder der Umwelt und unter Berücksichtigung seiner Anpassungskapazität (Zebisch et al., 2005). **Anpassungskapazität** ist die Fähigkeit, geplante Anpassungsmaßnahmen durchzuführen.

Ziel dieser Studie ist es, Vulnerabilität und Anpassungskapazität des Gartenbausektors in Deutschland darzustellen. Dabei werden nur agronomische – nicht aber sozioökonomische oder ökologische – Aspekte betrachtet. Um die Vulnerabilität des Gartenbausektors analysieren zu können, ist es zunächst erforderlich, das Ausmaß möglicher Klimaänderungen zu definieren. Dazu wird in der vorliegenden Studie ein Bericht verwendet, den das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) erstellt hat (Zebisch et al., 2005). Aus der Kurzfassung dieses Berichts wird nachfolgend das Kapitel „Szenarien zum zukünftigen Klimawandel“ zitiert.

2 Szenarien zum zukünftigen Klimawandel

Bezogen auf die zukünftige **Temperaturentwicklung** ist in allen innerhalb der PIK-Studie verwendeten Szenarien eine deutliche Erwärmung Deutschlands zu erkennen. Die Spanne der Erwärmung der langjährigen Jahresmitteltemperaturen der berücksichtigten sieben Klimaszenarien bis zum Jahr 2080 reicht von +1,6 bis +3,8° C. Räumlich zeigen viele Szenarien eine besonders starke Erwärmung im Südwesten, z. T. auch im äußersten Osten Deutschlands. Saisonal ergibt sich in den verschiedenen Szenarien ein uneinheitliches Bild. Der Trend zur stärkeren Erwärmung im Winter, der in der Vergangenheit beobachtet wurde, wird in den Zukunftsszenarien nicht wiedergegeben. Für den **Jahresniederschlag** zeigen alle Klimaszenarien nur sehr geringe Veränderungen, die bis 2080 im Wesentlichen unter 10 % liegen. Stärkere Veränderungen zeigen sich bei Sommer- und Winterniederschlägen. Während in allen sieben Szenarien eine Erhöhung der Winterniederschläge zu beobachten ist, nehmen die Sommerniederschläge in den meisten Szenarien ab. Dies ist konsistent mit dem bereits zu beobachtenden Trend einer Verschiebung der Niederschläge in den Winter. Regional ergibt sich für die Winterniederschläge eine

¹ Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e. V. (IGZ), Theodor Echtermeyer Weg 1, 14979 Großbeeren, fink@igzev.de.

besonders deutliche Zunahme in Süddeutschland, zumindest in den auf dem Klimamodell HadCM3 aufbauenden Szenarien. Der Rückgang der Sommerniederschläge konzentriert sich in diesen Szenarien auf Südwestdeutschland (Rheinland) und die zentralen Teile Ostdeutschlands. Die Ergebnisse der anderen Modelle liefern allerdings räumlich z. T. widersprüchliche Trends. (Zebisch et al., 2005).

Die Vorhersage der zukünftigen **CO₂-Konzentration** wird vom IPCC (2007) als unsicher bezeichnet. Es wird erwartet, dass die Kopplung von Klima und Kohlenstoffkreislauf der Atmosphäre Kohlendioxid hinzufügt, wenn sich das Klimasystem erwärmt, aber die Stärke dieser Rückkopplung ist unsicher. Dies erhöht die Unsicherheit in Bezug auf den für die Erreichung eines bestimmten Stabilisationsniveaus der Kohlendioxidkonzentration nötigen Verlauf der Kohlendioxid-Emissionen. (IPCC, 2007).

Die Menge der auf die Erdoberfläche auftretenden photosynthetisch aktiven **Strahlung** (PAR) hängt im Wesentlichen von der geografischen Breite und von der Jahreszeit ab. Bewölkung vermindert die lokale PAR und verändert die Anteile von direkter und indirekter Strahlung. Die Bewölkung wird durch lokale Klimamodelle bisher noch nicht mit ausreichender Sicherheit prognostiziert (Otte, 2007). Die Berichte des IPCC (2007) und des PIK (Zebisch et al., 2005) enthalten keine Prognosen für Veränderungen der PAR oder der UV-Strahlung in Deutschland.

In den vergangenen Monaten sind immer wieder neue Szenariorechnungen zum zukünftigen Klimawandel in Europa veröffentlicht worden. Die oben erläuterten Trends wurden in den meisten Fällen bestätigt. Deutlich wird aber aus diesen Studien auch, dass noch eine große Unsicherheit über regionale Verteilung und zeitliche Abläufe der erwarteten Klimaänderungen besteht.

3 Gartenbau als Betroffener von Klimawandel

Auswirkungen des Klimawandels, die spezifisch den Gartenbau betreffen, sind insbesondere zu erwarten, wenn veränderte Wachstumsfaktoren zu Änderungen in der Ertrags- und Qualitätsbildung von gartenbaulich genutzten Pflanzen führen. Nachfolgend werden klimatische Wachstumsfaktoren – **Temperatur, CO₂-Konzentration, Strahlung und Wasser** – betrach-

tet. Die Wirkung dieser Wachstumsfaktoren auf landwirtschaftliche Kulturpflanzen sind im Zusammenhang mit dem erwarteten Klimawandel ausführlich von Zebisch et al. (2005) und von Schaller et al. (2007) beschrieben. Im Folgenden wird auf die Besonderheiten der gartenbaulichen Produktion eingegangen.

3.1 Temperatur

Die Temperaturreaktionskurven aller pflanzlichen Wachstums- und Entwicklungsprozesse sind Optimumsfunktionen, die durch Temperaturminimum, -optimum und -maximum gekennzeichnet sind. Innerhalb einer Pflanzenart werden für unterschiedliche Prozesse zum Teil stark unterschiedliche Temperaturreaktionskurven beobachtet. Insbesondere können sich die Temperaturoptima von Wachstums- und Entwicklungsprozessen erheblich unterscheiden. Ob eine Temperaturerhöhung positive oder negative Auswirkungen auf den Ertrag hat, hängt von der Pflanzenart ab. Gartenbaulich relevante Kulturpflanzen stammen aus sehr unterschiedlichen Regionen der Erde, daher sind auch die Unterschiede der Temperaturreaktionen zwischen den Arten sehr groß. Einige Pflanzenarten können sich darüber hinaus an Temperaturveränderungen phänotypisch anpassen, so dass z. B. das Temperaturoptimum der Photosynthese - innerhalb von einigen Tagen bis Wochen - mit steigender Lufttemperatur steigt. Bei einem Anstieg der lokalen mittleren Temperatur um bis zu 1 bis 3° C wird vom IPCC (2007) für das Ernteertragspotenzial in mittleren bis hohen Breiten – abhängig von der Nutzpflanze – ein leichter Anstieg, bei Temperaturen oberhalb dieser Schwelle für einige Regionen ein Rückgang projiziert. Aus den oben genannten Gründen handelt es sich bei dieser Einschätzung um eine extreme Vereinfachung. Eine detaillierte Bewertung kann nur für jeweils einzelne Pflanzenarten im Zusammenhang mit dem Produktionssystem gemacht werden. Eine solche Studie liegt für gartenbauliche Produktionssysteme in Deutschland bisher nicht vor.

Im Produktionssystem „**Anbau im Gewächshaus**“ werden in Deutschland vor allem Zierpflanzen und Fruchtgemüse produziert. Die Temperatur im Gewächshaus wird – innerhalb der technischen Möglichkeiten – unabhängig von der Temperatur der Außenluft geregelt. Eine Temperaturerhöhung würde bei gleichbleibenden Heizungs- und Lüftungssollwerten keinen Einfluss auf Pflanzenwachstum und Ertrag

haben, aber Heizenergie einsparen und dadurch die Produktionskosten und die CO₂-Produktion senken. Nach einer Schätzung von Heißner (1978) sinkt der Heizenergieverbrauch um etwa 7 % bei einem Anstieg der Lufttemperatur um 1 Kelvin. Es handelt sich hierbei um eine Schätzung der relativen Einsparung auf der Grundlage eines vereinfachten k'-Modells. Für eine Bestimmung von absoluten Werten müssen die Gewächshauskonstruktion und die eingestellten Sollwerte berücksichtigt werden.

Es ist zu beachten, dass beim Anbau im Gewächshaus Heizung und Lüftung nicht nur zur Regelung der Temperatur, sondern auch zur Regelung der Luftfeuchte genutzt werden. Höhere Außentemperaturen führen bei gleichbleibenden Temperatursollwerten nicht nur zu geringerem Energiebedarf, sondern auch zu einer erhöhten Luftfeuchte im Gewächshaus. Der zur Luftentfeuchtung notwendige Energieaufwand, könnte die Einsparung von Heizenergie kompensieren. Eine pauschale Quantifizierung ist nicht möglich, da die Effekte sehr stark von Außentemperatur, Temperatursollwert und Gewächshauskonstruktion abhängen. Verzichtet man auf die Verminderung der Luftfeuchte, ist ein höherer Befallsdruck durch Pilzkrankheiten zu erwarten, z. B. durch *Botrytis*, ein Krankheitserreger, der besonders beim Anbau von Zierpflanzen über Winter bereits jetzt ein großes Problem darstellt (Hendriks, 2008).

Hohe Außentemperatur und Strahlung können zu unerwünscht hohen Innentemperaturen führen, insbesondere bei Gewächshäusern älterer Bauart mit ungenügender Lüftungskapazität. Diese Problematik würde durch die erwartete Zunahme von heißen Tagen im Sommer (Otte, 2007; Zebisch, 2005) verstärkt. Als Folge ist mit Ertragsminderungen beim Anbau von Fruchtgemüse zu rechnen. Das Ausmaß der Ertragsminderung kann aus den in der Literatur vorliegenden Daten nicht abgeschätzt werden. Die aus den südlichen Ländern (z. B. Südspanien, Israel) bekannten großen Probleme beim Sommeranbau im Gewächshaus werden vor allem durch die dort viel höhere Einstrahlung verursacht. Diese Probleme sind in Deutschland auch bei einer Zunahme von heißen Tagen nicht zu erwarten.

Die Produktion im Gewächshaus wird in Deutschland im Winter nicht nur durch die Heizkosten limitiert, sondern insbesondere durch die geringe Strahlung. Daher ist auch bei

einer Temperaturerhöhung und dadurch verminderten Heizkosten nicht mit erheblichen Veränderungen der Produktion zu rechnen, wahrscheinlich aber mit einer Ausweitung des Anbauzeitraumes durch frühere Pflanzung. Ein wichtiges Segment des Zierpflanzenbaus sind Beet- und Balkonpflanzen, mit denen etwa 40 % des Jahresumsatzes erzielt werden. Der Hauptabsatzzeitraum von Beet- und Balkonpflanzen hat sich in den letzten Jahren von etwa Mitte Mai auf März bis April verfrüht (Hendriks, 2008). Sollten höhere Frühjahrstemperaturen zu einer weiteren Verfrühtung des Angebotszeitraums führen, wäre es erforderlich, die Produktion in der besonders lichtarmen Jahreszeit zu beginnen. Es ist nicht auszuschließen, dass eine Temperaturerhöhung dadurch zu einem insgesamt höheren Energieaufwand für die Produktion führen könnte (Hendriks, 2008). Dieser Effekt wurde bisher jedoch noch nicht quantifiziert.

Das Produktionssystem „**Satzweiser Anbau im Freiland**“ wird vor allem für die Gemüseproduktion verwendet. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass von Frühjahr bis Herbst, selten auch über Winter, regelmäßig Kulturen gepflanzt und geerntet werden. Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur im Sommeranbau und der Temperatur im Frühjahrs- und Herbstanbau ist erheblich höher als die erwartete Temperaturerhöhung durch Klimawandel. Für satzweise angebaute Pflanzenarten gibt es in der Regel Sorten, die an höhere bzw. niedrige Temperaturen angepasst sind. Eine Temperaturerhöhung würde das Produktionssystem „Satzweiser Anbau im Freiland“ nicht grundsätzlich verändern. Zu erwarten wäre jedoch eine Ausweitung des Anbauzeitraums im Frühjahr und im Herbst. Viele Gemüsekulturen können trotz etwas geringerer Strahlung im Frühjahr und Herbst ohne Ertrags- und Qualitätsverluste produziert werden. Schonhof et al. (2007a) fanden z. B. bei Brokkoli im späten Herbstanbau keine verminderten Erträge sowie keine verminderten Gehalte an Carotinoiden, Ascorbinsäure und Glucosinolaten.

Im Freilandzierpflanzenbau wird die Verwendung später (bisher frostgefährdeter) Sorten zunehmen. Wahrscheinlich wird sich auch das Spektrum der angebauten Gemüse- und Zierpflanzenarten ändern. In wärmeren Anbaugebieten (z. B. in der Pfalz) könnten Arten angebaut werden, die bisher hauptsächlich in Südeuropa produziert werden (z. B. Melonen)

(Laun, 2008), temperaturempfindliche Arten (z. B. Blattsalate, Spinat) werden dann wahrscheinlich vermehrt in Norddeutschland produziert. Das Management von Kulturschutzfolien und -vliesen, das für den frühen Gemüsebau von großer ökonomischer Bedeutung ist, muss an frühere Anbauermine und höhere Temperaturen angepasst werden.

Zur negativen Wirkung von mehr heißen Tagen im Sommer (Zebisch, 2005; Otte, 2007) gibt es keine Studien für alle gartenbaulich relevanten Pflanzenarten. In den vergangenen Jahren sind bei einigen Gemüsearten (z. B. Kopfsalat) bereits Qualitätsprobleme aufgetreten, wenn hohe Nachttemperaturen ($> 20^{\circ}\text{C}$) und sehr hohe Tagestemperaturen ($> 30^{\circ}\text{C}$) vorlagen (Laun, 2008). Diese Problematik würde sich verstärken.

Einige Arten (z. B. Blumenkohl) müssen durch niedrige Temperaturen vernalisiert werden. Das bedeutet, dass nach längeren Perioden mit hoher Temperatur ($> 20^{\circ}\text{C}$) kein Ernteprodukt ausgebildet wird. Es gibt jedoch Sorten, die auch höhere Temperaturen tolerieren.

In Gebieten, die bereits jetzt milde Winter haben, werden in geringem Umfang auch einige Gemüsearten (z. B. Blumenkohl) über Winter angebaut, um eine sehr frühe Ernte im Frühjahr zu ermöglichen. Dieser Anbau ist in Deutschland bisher risikoreich, da es regelmäßig zu Totalausfällen durch sehr niedrige Temperaturen kommt. Steigende Temperaturen und weniger Frosttage im Winter würden das Anbaurisiko vermindern und wahrscheinlich zu einer Ausweitung des Überwinterungsanbaus führen.

Im suboptimalen Temperaturbereich führen erhöhte Wachstumsraten durch einen Temperaturanstieg bei Kulturen, die nach Gewicht vermarktet werden und/oder regelmäßig beerntet werden, direkt zu einem Mehrertrag. Viele satzweise angebaute gartenbauliche Kulturen werden jedoch geerntet, wenn das Ernteprodukt ein Wachstumsstadium erreicht hat, das die Vermarktung ermöglicht. In Abhängigkeit von der Pflanzenart sind diese Wachstumsstadien durch feste Gewichts- oder Größenklassen definiert. Bei diesen Kulturen führen erhöhte Wachstumsraten nicht zu einem höheren Ertrag, sondern zu einer kürzeren Kulturzeit. Ein höherer Ertrag ist nur zu erzielen, wenn mindestens ein zusätzlicher Satz produziert werden kann.

Das System „**Dauerkulturen im Freiland**“ wird für die Produktion von Obst, Rhabarber und Spargel genutzt. An Obstkulturen wurden bereits Auswirkungen des Temperaturanstiegs der vergangenen Jahre beobachtet. Im Niederelbe-Gebiet wurde eine Verfrühung der Apfelblüte von durchschnittlich 18 Tagen innerhalb der letzten 30 Jahre ermittelt (Schulpin, 2007). Entsprechend früher fällt der Erntetermin aus. Bei der Sorte Boskoop konnte innerhalb der letzten 20 Jahre der Erntebeginn von der ersten Oktoberwoche auf die letzte Septemberwoche vorverlegt werden. Zudem haben ein früherer Frühlingsbeginn, längere und wärmere Wachstumsperioden sowie ein später einsetzender Herbst in der nördlichen Anbauregion den Anbau neuer Sorten wie Braeburn und Pink Lady ermöglicht, deren Ertragssituation sich in den letzten drei Jahren deutlich verbessert hat. Dagegen führen höhere nächtliche Herbsttemperaturen bei regional bewährten Apfelsorten wie Jonagold zu einer verminderten Fruchtausfärbung (Schulpin, 2007). Diese Ergebnisse zeigen die Bedeutung einer vorausschauenden Sortenwahl für Pflanzen, die viele Jahre auf dem Feld verbleiben.

Im Spargelanbau ist in den vergangenen Jahren ein neues Problem aufgetreten, das mit einer Temperaturerhöhung in Zusammenhang gebracht wird. Der Spargelaustrieb war in einigen Anbauregionen (z. B. in der Pfalz) zu Beginn der Saison verzögert und ungleichmäßig. Die betroffenen Betriebe hatten verminderte Einnahmen, da die hohen Preise zu Beginn der Saison nicht genutzt werden konnten und die Erntehelfer nicht ausgelastet waren. Ursache für den ungleichmäßigen Austrieb ist vermutlich, dass das Kältebedürfnis während der Ruhezeit des Spargels nicht erfüllt wurde. Um das Problem zu lösen, muss nach Wegen gesucht werden, die Ruhe des Spargels trotz hoher Wintertemperaturen gleichmäßig zu brechen.

Eine Temperaturerhöhung führt auch zu einer höheren Bodentemperatur und damit zu einer Zunahme der Stickstoff- und CO_2 -Freisetzungen aus Bodenhumus. Beispielhaft für den Standort Großbeeren (Leicht humoser lehmiger Sand, Jahresmitteltemperatur $8,7^{\circ}\text{C}$) durchgeführte Simulationsrechnungen zeigen, dass eine Temperaturerhöhung um 3°C zu einem verstärkten Abbau von Humus führt. Dadurch wird die Stickstofffreisetzung von 63 auf $103\text{ kg N/ha}^1\text{ Jahr}^{-1}$ erhöht und zusätzlich etwa $3.200\text{ kg CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ Jahr}^{-1}$ freigesetzt. Die zusätzliche Stick-

stoffmenge sollte bei der Bemessung der Düngung berücksichtigt werden. Außerdem sollte eine Brache im Winter vermieden werden, um zusätzliche Stickstoffverluste zu begrenzen. Eine zunächst erhöhte Stickstoff- und CO₂-Freisetzung wird, bei unveränderter Wirtschaftsweise, nach mehreren Jahrzehnten wieder auf den Ausgangswert vor der Temperaturerhöhung zurückgehen, sobald sich der Humusgehalt auf einem niedrigeren Niveau stabilisiert hat. Ob verminderte Humusgehalte starke Auswirkungen auf gartenbauliche Produktionssysteme haben, kann zurzeit nicht abgeschätzt werden.

In allen Produktionssystemen könnte eine Temperaturerhöhung zu einer veränderten Gefährdung durch Krankheiten und Schädlingen führen. In der Literatur sind dazu bisher überwiegend nur pauschale Bewertungen zu finden. Nach Zebisch et al. (2005) profitieren viele Schädlingsarten generell von höheren Temperaturen, insbesondere von höheren Wintertemperaturen. Infolgedessen kann ein Schädlingsbefall bereits früher im Jahr auftreten, Schädlinge können mehr Individuen und mehr Generation pro Jahr ausbilden. Pilzkrankheiten werden nur bei warmer und gleichzeitig feuchter Witterung zunehmen. Auch Laun (2008) geht von einer Erhöhung des Befallsdrucks an Gemüsepflanzen aus, insbesondere dadurch, dass neue, an höhere Temperaturen angepasste Schädlinge auftreten und die Wintermortalität geringer ausfällt. Hendriks (2008) erwartet an Zierpflanzen verstärkte Probleme mit wärmebedürftigen Schädlingen wie Thripsen und Zikaden. Exemplarische Ergebnisse zu diesem Problem liegen aus dem Projekt KLARA für Schädlinge und Krankheiten von Apfelkulturen vor. Danach führt in der Bodenseeregion ein wärmeres und leicht feuchteres Klima bis 2055 zu einem höheren Schadergerdruck im Apfelanbau durch Apfelwickler und Apfelschorf (Zebisch et al. 2005). Schaller et al. (2007) berichten von einer neuen durch Bakterien (*Xanthomonas fragariae*) verursachten Krankheit, die sich seit einigen Jahren in Deutschland ausbreitet. Andere in Deutschland relevante Schädlinge, z. B. die Möhrenfliege und die Kleine Kohlfliege, reagieren auf eine Temperaturerhöhung im prognostizierten Bereich mit Entwicklungspausen, die insgesamt zu einer Verminderung des Befallsdrucks führen könnten (Schulpin, 2007). Diese Ergebnisse zeigen, dass die Wirkungen einer Temperaturerhöhung nicht pauschal, sondern nur gesondert für jedes

Pathosystem bewertet werden sollten. Für diese Bewertung sind mathematische Simulationsmodelle geeignet, die es bisher aber nur für wenige gartenbaulich relevante Schädlinge und Krankheiten gibt, wie z. B. für Kohl-, Möhren- und Zwiebelfliegen (Gebelein et al., 2007) oder für Zwiebelmehltau (Leinhos et al., 2004).

3.2 CO₂

Eine Erhöhung der CO₂-Konzentration der Luft über den zurzeit gemessenen Wert von etwa 380 ppm wird bei allen Pflanzenarten zu höheren Photosynthese- und Wachstumsraten führen. Die Steigerungsrate hängt von der Pflanzenart ab. Bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration wurde für verschiedene landwirtschaftlich genutzte C3-Pflanzen eine Zunahme von 17 bis 50 % gemessen. Für C4-Pflanzen werden geringere Zunahmen erwartet (Literaturübersicht bei Högy, 2002).

Im Gewächshaus angebaute Arten (z. B. Gurke, Tomate, Paprika, Chrysantheme) zeigten bei einer Verdopplung der CO₂-Konzentration Ertragszuwächse, die in der gleichen Größenordnung lagen, wie bei den landwirtschaftlich genutzten Arten, d. h. bei etwa 20 bis 30 % (Nederhoff, 1994). Bei einer CO₂-Konzentration von etwa 800 ppm fanden Schonhof et al. (2007b) einen leicht erhöhten Frischmassezuwachs der Köpfe von Brokkoli, bei gleichzeitiger Zunahme der qualitätsbestimmenden Glucosinolate. Darüber hinaus liegen Ergebnisse vor, welche CO₂-Konzentrationen negativ auf das Pflanzenwachstum wirken. Auch die überoptimalen Konzentrationen variieren mit der Pflanzenart, z. B. 8.000 ppm für Gurken, 6.000 ppm für Tomaten und 10.000 ppm für Paprika (Literaturübersicht bei Pfeufer, 1990). Die Grenzwerte sind alle so hoch, dass keine Wachstumslimitierung durch zu hohe CO₂-Konzentration zu erwarten ist. Ein Ertragszuwachs durch höhere CO₂-Konzentration kann nur dann realisiert werden, wenn kein anderer Wachstumsfaktor limitierend wirkt. Das bedeutet, dass auch die Düngung und die Wasserversorgung an das höhere Wachstumspotenzial angepasst werden müssen. Der Wasserbedarf steigt aber nicht proportional zum Ertragszuwachs, da die erhöhte CO₂-Konzentration die Wassernutzungseffizienz verbessert (Högy, 2002).

3.3 Strahlung

Wie oben dargestellt, enthalten die Berichte des IPCC (2007) und des PIK (Zebisch et al., 2005) keine Prognosen für Veränderungen der photosynthetisch aktiven Strahlung oder der UV-Strahlung in Deutschland.

3.4 Wasser

Die Wasserversorgung ist für die gartenbauliche Produktion von herausragender Bedeutung, da die Produkte überwiegend frisch vermarktet werden und die äußere und zum Teil auch die innere Qualität der Produkte vom Wasserstatus bestimmt werden. Anders als z. B. in der Getreideproduktion führt im Gartenbau Wassermangel in der Regel nicht zu einer Ertragsminderung, sondern zu einem Totalausfall, da Produkte mit Qualitätsmängeln nicht vermarktet werden können. Nach Zebisch et al. (2005) sind nur geringe Veränderungen des Jahresniederschlags zu erwarten, die Niederschläge im Sommer werden jedoch wahrscheinlich abnehmen. Lüttger (2007) berichtet, dass für viele Regionen in Deutschland im Zeitraum von 1901 bis 2003 ein Trend zu erkennen ist, dass der Niederschlag in der Vegetationsperiode abgenommen hat. Ein regionales Klimamodell sagt für einige Regionen in Deutschland bis 2080 einen Rückgang der Sommerniederschläge um 33 % vorher (Lüttger, 2007). Zebisch et al. (2005) und Otte (2007) weisen allerdings darauf hin, dass die unterschiedlichen regionalen Klimamodelle z. T. noch widersprüchliche Trends aufzeigen. Probleme für die gartenbauliche Produktion im Freiland werden insbesondere dann entstehen, wenn die vorhergesagten Klimaänderungen in der Kombination auftreten: höhere Tagesmitteltemperatur (dadurch verlängerte Vegetationsperiode) + mehr heiße Tage im Sommer + weniger Niederschlag im Sommer. Durch erhöhte Verdunstung und verminderten Niederschlag im Sommer wird die klimatische Wasserbilanz stark negativ. Sie muss durch Bewässerung ausgeglichen werden, um eine gartenbauliche Produktion im Freiland zu ermöglichen. Von den gemüsebaulich genutzten Ackerflächen in Deutschland ist bereits jetzt der weit überwiegende Teil bewässerbar. Eine offene Frage ist, ob die Wasserwirtschaft das zusätzlich benötigte Wasser zur Verfügung stellen kann. Wasser wird in verschiedenen Regionen Deutschlands in steigendem Maße für Zwecke außerhalb des

traditionellen agrarischen Bereichs eingesetzt. Es ist außerdem zu beachten, dass durch die gestiegenen Preise für andere landwirtschaftliche Produkte, eine Bewässerung von z. B. Getreide und Mais immer lohnender wird. Dadurch wird der Wasserverbrauch insgesamt erhöht und die Konkurrenz um das Wasser verschärft (Laun, 2008). Die Konkurrenz um Wassernutzungsrechte und erhöhte Kosten für Bewässerung sind voraussichtlich diejenigen Folgen des Klimawandels, bei denen die Gartenbaubetriebe in den betroffenen Regionen am deutlichsten zu Anpassungsreaktionen gezwungen sein werden. Selbstverständlich ist die Verknappung von Bewässerungswasser nur teilweise eine Folge von Klimaveränderungen. Nutzungsänderungen in der Landschaft, Ansiedlung neuer Industrien oder Wohnbau können zum Beispiel lokal überwiegende Ursachen von Wasserknappheit sein.

Eine Verminderung des Wasserverbrauchs im Gartenbau ist möglich, durch eine bedarfsgerechte Steuerung der Bewässerung sowie durch Wasser sparende Bewässerungsverfahren, wie z. B. Tröpfchenbewässerung. Derartige Verfahren sind in einigen Ländern bereits Standard (z. B. Spanien, Israel), in Deutschland aber noch nicht etabliert. Ergänzt werden können diese Bewässerungstechniken durch Anbaumaßnahmen wie Häufeln oder Mulchen. Weltweit verfügbare Techniken für Anbau in Trockengebieten müssen hier an deutsche Bedingungen angepasst werden. Darüber hinaus gibt es gartenbauliche Kulturen, deren Bewässerung mit einem besonders hohen Aufwand verbunden ist, z. B. Stadtgrün und Friedhofsbepflanzungen. Um diesen Aufwand zu vermeiden, ist die Verwendung von trockenresistenten Pflanzenarten und -sorten die geeignete Anpassungsstrategie (Hendriks, 2008).

3.5 Zusammenfassung - Vulnerabilität und Anpassungskapazität des Gartenbaus in Deutschland

Basierend auf dem Bericht des PIK (Zebisch et al., 2005) bezeichnet das Umweltbundesamt die Vulnerabilität der Landwirtschaft gegenüber dem Klimawandel nur in den von Dürren bedrohten Regionen Ostdeutschlands mit ihren oft armen Böden als „hoch“. Im Übrigen wird die Vulnerabilität als „mäßig“ eingestuft, da die Landwirtschaft sich relativ kurzfristig an veränderte Klima- und Wetterbedingungen anpassen kann (UBA, 2008). Diese Einschätzung gilt

auch für Teile des Gartenbaus. Auch der Gartenbau hat sich in der Vergangenheit ständig an veränderte (Markt-)Bedingungen angepasst. Eine hohe Vulnerabilität ist jedoch im Freilandgemüsebau und -zierpflanzenbau zu erwarten, wenn die Infrastruktur für die Bewässerung und die zur Verfügung stehende Wassermenge nicht ausreichen, um negative Wasserbilanzen im Sommer auszugleichen.

Die **Gartenbaubetriebe** werden sich an den Klimawandel anpassen, durch veränderte Fruchtfolgen, Saat- und Pflanztermine, durch neue Bewässerungs- und Pflanzenschutzstrategien sowie durch die Arten- und Sortenwahl. Dabei müssen die Betriebe durch entsprechendes Wissen unterstützt werden. Vordringliche Aufgabe der **Klimawissenschaft** ist die Verbesserung der regionalen Klimaprognosen, da diese bisher noch sehr unsicher und zum Teil widersprüchlich sind. Die **Agrarwissenschaft** kann die notwendigen Anpassungen der Gartenbaubetriebe zu erleichtern, indem sie die in den vorigen Kapiteln aufgezeigten Wissenslücken schließt. Darüber hinaus gelten die von der Arbeitsgruppe des Senats der Bundesforschungsgemeinschaften des BMVEL (Balko et al., 2007) formulierten offenen Fragen im Zusammenhang mit Klimawandel und Landwirtschaft in vielen Fällen auch für gartenbauliche Produktionssysteme. Bei der Definition möglicher Wissenslücken und der Feststellung von Forschungsbedarf muss dabei beachtet werden, dass die Anpassung von Pflanzen und pflanzlicher Produktionssysteme an klimatische Gegebenheiten und an Klimavariationen ein klassisches Thema früher Agrar- und Gartenbauforschung waren. Eine Übersicht findet sich zum Beispiel im „Yearbook of Agriculture“ des United State Department of Agriculture, das im Jahr 1941 unter dem Titel „Climate and Man“ auf mehr als 1.000 Seiten das damals bereits vorhandene Wissen zusammenfasste (USDA, 1941). Aufgabe der **Politik** wird es sein, Anpassungsmaßnahmen zu fördern und in den Betriebsalltag zu integrieren. Hierzu gehört auch die Anpassung der Gesetze, die die gute fachliche Praxis von Pflanzenschutz und Düngung regeln (Schaller, 2007). Weiterhin sollte geprüft werden, ob der erhöhte Beregnungsbedarf im Sommer durch die bestehenden Bewässerungssysteme gedeckt werden kann, oder ob ein Ausbau der Infrastruktur erforderlich ist.

4 Gartenbau als Verursacher von Klimawandel

Die Landwirtschaft trägt mit etwa 7% zu den gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland bei. Zu den global klimawirksamen Gasen zählen Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid (Lachgas). Die landwirtschaftlich bedingten Methanemissionen mit einem Anteil von etwa 40 % an der Gesamtemission stammen hauptsächlich aus der Rinderhaltung und zu einem geringeren Anteil aus der Wirtschaftsdüngerlagerung. Die Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft tragen mit etwas 50 % zu den Gesamtemissionen von Lachgas bei. Sie sind im Wesentlichen durch Stickstoffumsätze im Boden bedingt, wobei vor allem anaerobe Verhältnisse die Lachgasfreisetzung begünstigen. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Intensität der Bodenbewirtschaftung und der Emissionshöhe. Die Emissionen von Kohlendioxid aus landwirtschaftlichen Böden haben einen Anteil von 4,5 % und spielen damit eine kleinere Rolle. An den Ammoniakemissionen ist die Landwirtschaft hingegen mit mehr als 90 % beteiligt. Diese sind zu 10 % auf die Düngung, der überwiegende Anteil aber auf die Tierhaltung und das Wirtschaftsdüngermanagement zurückzuführen (UBA, 2006). Es ist keine Studie bekannt, in der alle Treibhausgasemissionen des gesamten Gartenbausektors quantifiziert werden. Emissionsminderungspotential gibt es hinsichtlich Lachgas (N_2O) und hinsichtlich Kohlendioxid (CO_2). Die **CO_2 -Freisetzung** lässt sich aus der in Deutschland genutzten Gewächshausfläche und einem mittleren jährlichen Energieverbrauch grob abschätzen. Nach einer vom BMVEL in Auftrag gegebenen Studie über die „Energetische Nutzung von Biomasse im Unterglasanbau“ (Förderkennzeichen 22015703) gaben 18 % der befragten Gemüse- und Zierpflanzenbetriebe einen jährlichen Energieverbrauch von weniger als 100 kWh/m² an, 72 % lagen im Segment von 101 bis 400 kWh/m² und 10 % sogar darüber. Wichtigster Energieträger ist dabei Heizöl (ca. 70 % der Betriebe), sodass bei einem Energieverbrauch von 300 kWh/m² mit einem jährlichen CO_2 -Ausstoß von 84 kg/m² zu rechnen ist. Bei einer Anbaufläche von Gurke, Tomate und Blattgemüse von 953 ha (ZMP-Marktbilanz, 2005) ergibt das eine jährliche CO_2 -Freisetzung von 800.000 t. Obwohl sich hinter dem variablen Energieverbrauch verschiedene Kulturarten und Nutzungsfolgen verbergen, so ist doch die Bandbreite bemerkens-

wert und lässt auf deutlich unterschiedliche Energienutzungseffizienzen und große Einsparpotentiale schließen. Deshalb besteht deutlicher Forschungsbedarf zur Verringerung des Energieverbrauchs von Gewächshäusern. Aber auch durch Optimierung der CO₂-Versorgung der Pflanzen im Gewächshaus können eine erhöhte CO₂-Aufnahme durch die Pflanzen, deutliche Ertragssteigerungen und damit Verringerungen des produktspezifischen CO₂-Ausstoßes erzielt werden (Kläring et al., 2007).

Die Abschätzung der **N₂O-Emission** durch gartenbauliche Produktion ist zurzeit schwierig, da die Emission stark von der Menge und Art der Stickstoffversorgung (mineralisch, organisch) und vom Produktionsverfahren (Feld, Topfkultur, Hydroponik) abhängt. Die N₂O-Emissionen der verschiedenen Produktionsverfahren sind bisher nur wenig untersucht. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass in hydroponischen Anbauverfahren die gasförmigen Stickstoffverluste (N₂O + N₂) bis zu 20 % der N-Düngermenge betragen (Daum et al., 1998). Da gartenbauliche Kulturen in der Regel intensiv mit Stickstoff gedüngt werden, ist davon auszugehen, dass die Emissionen im Gartenbau – bezogen auf die Fläche – höher sind als in der Landwirtschaft. Für eine genaue Schätzung von gasförmigen N-Verlusten durch gartenbauliche Produktionsverfahren gibt es jedoch bisher noch zu wenige Daten.

Literaturverzeichnis

- Balko et al. (2007) Koordinierung der Klimawirkungsforschung im Geschäftsbereich des BMELV, Teil 2, Empfehlung zur künftigen Forschung zu zentralen Fragen der Auswirkungen des Klimawandels und möglichen Maßnahmen zur Anpassung der Land- und Forstwirtschaft.
<http://www.klima-bmvel.de/>
- Daum D et al. (1998) Influence of nutrient solution pH on N₂O and N₂ emissions from a soilless cult
- Gebelein et al. (2007) http://www.jki.bund.de/cln_044/nn_1106428/DE/Home/pflanzenschuetzen/integriert/swat/swat.exe.html, 20.02.08
- Heißner A et al. (1978) Rationeller Wärmeenergieverbrauch in Gewächshausanlagen. Gartenbau 25, 231-232

- Hendriks L (2008) Fachgebiet Zierpflanzenbau, Forschungsanstalt Geisenheim, persönliche Mitteilung 28.05.2008
- Högy (2002) Wirkungen erhöhter CO₂- und/oder Ozonkonzentrationen auf den Ertrag und die Qualität landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaftlichen Fakultät (Fachrichtung Biologie) der Justus-Liebig-Universität Giessen
- IPCC (2001) Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Third Assessment Report. Climate Change 2001: The Scientific Basis; Impacts, Adaptation & Vulnerability; Mitigation. Cambridge University Press
- IPCC (2007) Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Hanson CE, van der Linden PJ, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCCKoordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007
- Kasang (2007) <http://www.hamburger-bildungssever.de/welcome.phtml?unten=/klima/klimafolgen/gesundheits/gesundheits-8.html>
- Kläring H P, Hauschild C, Heißner A, Bar-Yosef B (2007) Model-based control of CO₂ concentration in greenhouses at ambient levels increases cucumber yield. Agricultural and Forest Meteorology 143: 208-216
- Laun N (2008) Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum – Rheinpfalz –, persönliche Mitteilung 21.02.2008
- Leinhos et al. (2004) Development of Zwipero. EJPP, 35-45
- Lüttger (2007) PIK, Vortrag Landwirtschaftliche Woche Nordhessen, 10. Januar 2007
- Nederhoff E (1994) Effects of CO₂ concentration. Dissertation Landbauuniversität Wageningen, NL

- Otte (2007) DWD, Bisheriger Klimawandel in Deutschland und mögliche Perspektiven für die Zukunft, Vortrag Düsseldorf 12.10.2007
- Pfeufer (1990) Wirkung hoher CO₂-Konzentration auf Gemüsearten. Dissertation Universität Hannover
- Schaller et al. (2007) Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 316
- Schonhof I, Kläring H P, Krumbein A, Claußen W, Schreiner M (2007) Effect of temperature increase under low radiation conditions on phytochemicals and ascorbic acid in broccoli. *Agric Ecol Environ* 119, 103-111
- Schonhof I, Kläring H P, Krumbein A, Schreiner M (2007) Interaction between atmospheric CO₂ and glucosinolates in broccoli. *J Chem Ecol* 33,105 -114
- Schulpin (2007) <http://oek.fbl.fh-wiesbaden.de/dgg-neu/index.php?id=76>, 20.02.08
- UBA (2006) Beitrag einer nachhaltigen Landwirtschaft zum Klimaschutz <http://www.umweltbundesamt.de/landwirtschaft/nahrungsmittelproduktion/klimaschutz.htm>, 27.03.2006
- UBA (2008) Klimafolgen und Anpassung im Bereich Landwirtschaft, <http://osiris.uba.de/gisudienste/Kompass/fachinfo/landwirtschaft.htm>, 21.02.08
- USDA (United States Department of Agriculture) (1941) *Climate and Man. Yearbook of Agriculture*. United States Government Printing Office, Washington D.C., USA.
- Zebisch et al. (2005) Klimawandel in Deutschland Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme, Forschungsbericht 201 41 253 UBA-FB 000844, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, ISSN 1611-8855 <http://www.umweltdaten.de/publikationen/pdf-l/2947.pdf>, 20.02.08

Area differentiated analysis of impacts of climate change scenarios on groundwater resources in Northwestern Germany

Dr. Frank Wendland¹, Dr. Ralf Kunkel¹, Dr. Harald Kunstmann², Imke Lingemann¹, Dr. Richard Knoche² and Dr. Björn Tetzlaff¹

1 Introduction

Groundwater plays an important role for the drinking water supply in Germany. According to Genesis – online (2005), in 2001 ca. 85 % of the drinking water demand in the Federal States of North Rhine-Westphalia and Lower Saxony were fed from groundwater resources (including sources and bank filtrate). For this reason, the regional groundwater availability belongs to the key issues of the federal water resources management policy. Groundwater availability depends decisively on percolation water infiltrating the aquifer (groundwater recharge).

The regional groundwater recharge rate represents the framework for granting concessions of groundwater withdrawal rights to public water suppliers and for the required status reviews of the groundwater bodies according to the EU Water Framework Directive (EU, 2000). It is also essential for the discharge of rivers and the maintenance of wetlands at low flow conditions in dry periods.

Groundwater recharge can be determined by a number of methods. Their type and applicability depend on the availability of model input data, the purpose of the investigation and the catchment size. Locally groundwater recharge rates can be measured by means of lysimeters (e.g. Schröder, 1983). Especially for detailed runoff analyses in individual small catchment areas precipitation-runoff models like NASIM (Mittlstedt, 2005), WASIM – ETH (Schulla & Jasper, 1999), ArcEGMO (Becker et al., 2002), WASMOD (Reiche, 1994) have been developed. As integrative values for sub-basins groundwater recharge can be determined by evaluating runoff records observed at gauging stations, e.g. according to the methodologies of Wundt (1958) and Kille (1970).

For assessing long-term groundwater recharge rates in large catchment areas or regions empirical models turned out to be sufficient (e.g. Dörhöfer and Josopait, 1981; Renger and Wessolek, 1996; Meinardi, 1994; Kunkel and Wendland, 1998; DeWit et al., 1999). These models allow a determination of the long-term water balance as a function of the interaction between the actual land cover and climatically, pedagogical, topographical and hydro geological conditions with reasonable accuracy. The GROWA model (Kunkel & Wendland, 2002) belongs to this type of models. In the last years GROWA has been applied for area-covering calculations of natural long-term groundwater availability in the Federal States of Bremen, Hamburg, North Rhine-Westphalia and Lower-Saxony (Kunkel et al., 2006; Bogena et al., 2003; Tetzlaff et al., 2004; Wendland et al., 2003). In the Environmental Agencies and Geological Surveys of these Federal States, GROWA model results were used for practical water resources management related issues, e.g. the grants of water withdrawal rights to public water suppliers and for the required status reviews of the groundwater bodies according to the EU Water Framework Directive.

In this contribution the impacts of regional climate change (derived by dynamical downscaling of the global climate scenario B2 of ECHAM4 with MM5) on the regional water balance in the Federal States of North Rhine-Westphalia, Lower Saxony, Hamburg and Bremen will be analysed. Special emphasizes will be given to the prediction of the mean long-term impacts on groundwater recharge, which determines both the river discharge and ecological status of rivers during dry periods and the upper limit for the sustainable abstraction of groundwater (e.g. prognosis of groundwater hydrograph trends in regions, where water supply is fed from groundwater).

¹ Research Centre Jülich, Institute for Chemistry and Dynamics of the Geosphere (ICG-4), 52425 Jülich, Germany, f.wendland@fz-juelich.de.

² Institute for Meteorology and Climate Research (IMK-IFU), Forschungszentrum Karlsruhe, Kreuzackbahnstrasse 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen, Germany.

The calibrated and validated model results for the hydrological period 1961–1989 will be the reference for the assessment of the impacts of climate change. Results of the MM5 regional climate model (e.g. Grell et al., 1994) for the time period 2071–2099 will be used in the GROWA model in order to predict the long-term trend of groundwater recharge in the four Federal States, including regionally differentiated analyses for river basins, regions and administrative units.

2 Climate model

For receiving regional information out of Global Climate Models (GCMs), it is necessary to improve the spatial resolution. Therefore, the meteorological mesoscale Model MM5 is nested in the GCM ECHAM4 (Roeckner et al., 1996). MM5 is a limited-area, nonhydrostatic, terrain-following sigma-coordinate model designed to simulate or predict mesoscale atmospheric circulation (e.g. Grell et al., 1994). The development of MM5 started in the 1960's at Penn State University (USA) and has been improved by the National Center for Atmospheric Research (NCAR). In this application, MM5 is applied in a horizontal resolution of 19.2 km. The vertical dimension is divided in 27 layers. The time step is ~70 seconds (Keuler et al., DEKLIM, 2006).

The scenario used in this study follows the SRES emission-scenario of the B2-family. The B2 scenarios are characterized by continuously increasing population, but at a slower rate than in A2, emphasis on local rather than global solutions to economic, social and environmental stability, intermediate levels of economic development, less rapid and more fragmented technological change than in B1 and A1 (SRES, 2007).

3 Water balance model GROWA

The GROWA model represents an empirical procedure with a minimal temporal resolution of one year. In a first step mean long-term evapotranspiration rates are determined according to Renger & Wessolek (1996), who used extensive lysimeter data to derive linear relationships between evapotranspiration rates and different land use types and climatic as well as soil physical site conditions for plain, rural areas at some distance from the groundwater table. For a general, i.e. area-wide, application several extensions were developed and implemented to calculate the real evapotranspiration in hilly (Golf, 1981) or

urban areas (Wessolek & Facklam, 1997) as well as for regions close to the groundwater table (ATV, 2004). In a second step total runoff levels are calculated as the difference between precipitation and real evapotranspiration:

$$Q_{ges}(\ell) = P_{So} + P_{Wi} - h_{relief} [a_{\ell} * P_{Wi} + b_{\ell} * P_{So} + c_{\ell} * \log(W_{pff}) + d_{\ell} * ET_{pot} + e_{\ell} * D_p + f_{\ell}]$$

Equation 1

with:

$Q_{ges}(\ell)$	mean annual total runoff for soil cover type ℓ (mm/a)
h_{relief}	correction factor for consideration of relief areas
P_{So}	precipitation level in hydrologic summer period (mm/a)
P_{Wi}	precipitation level in hydrologic winter period (mm/a)
W_{pff}	plant available soil water (mm)
ET_{pot}	mean annual potential evapotranspiration (mm/a)
D_p	degree of sealing
$a_{\ell}, \dots, f_{\ell}$	coefficients depending on soil cover

In a subsequent step total runoff is separated into the runoff components "direct runoff" and "base flow". Direct runoff designates the sum of the fast runoff components surface runoff, interflow and drainage runoff. Base flow is equal to the runoff components, which reach the surface waters via groundwater runoff. In case longer time periods are considered groundwater runoff can be regarded as more or less constant, so that there is a balance between the water percolating into the aquifer from the soils (groundwater recharge) and the groundwater discharging into the receiving waters. Thus, mean long-term groundwater discharge into rivers corresponds to the observable low flow in rivers (MNQ) and hence the mean long-term groundwater recharge.

A mean base runoff fraction $r_{b,ber}$ was calculated for a total of 205 gauged subcatchment areas located in the Federal States of Lower Saxony and North Rhine-Westphalia. Following Wundt (1958) it was assumed that the base flow conditions and hence the groundwater recharge is represented best by the monthly low water runoff flow (MoLWR) for unconsolidated rock areas. For consolidated rock areas rich in precipi-

tation it was observed by Kille (1970) already that the monthly low flow runoff may contain direct runoff fractions, especially during the winter season, so that groundwater recharge is overestimated. Therefore an approach is used, which allows the separation of the direct runoff fractions in the monthly low flow runoff (Bogena et al., 2005).

In this approach the groundwater recharge accounts for the average monthly low flow runoff beneath the linear zone of the distribution curve of all monthly low water runoff values observed. Within a subcatchment, mean long-term groundwater recharge can be expressed site specific (area-differentiated) by a fixed runoff ratio (groundwater runoff/total runoff) and depends on the interplay of groundwater runoff relevant site conditions in the catchment. Therefore characteristic runoff ratios are allocated to geofactors (degree of sealing, artificial drainage, hydraulic conductivity of solid rocks, depth of groundwater, perching water and slope). By summation from the product of the relative area ratio a_i of a certain area property and the respective base runoff fraction $r_{b,i}$ the site specific groundwater recharge can be determined:

$$r_{b,ber} = \sum_{i=1}^n r_{b,i} \cdot a_i$$

Equation 2

The sum covered all 19 different site features, e.g. in the unconsolidated rock areas the categories of groundwater and perching water as well as the hill slope. In the next step, the base runoff fractions were varied so that the sum of the quadratic deviations between the calculated and the base runoff fractions measured in the individual subregions for all 205 subcatchment areas considered took on the smallest value (min):

$$\sum_{j=1}^n (r_{b,gem,j} - r_{b,ber,j})^2 = Min$$

Equation 3

In this way a set of fixed r_b -values has been derived. It can be assumed that these values reflect the observed low flow situation in the subcatchments most suitable (see Kunkel & Wendland, 2002).

4 Data base

Digital data bases for GROWA modelling were provided by the Geological Surveys of Lower Saxony and North Rhine-Westfalia and the Environmental Agency of Hamburg. As all these data bases (see table 1) were available area-covering for the Federal States with a similar spatial resolution and with similar information contents, a consistent calculation of the water balance was possible.

The input data were in parts available in vector format, in parts as grids with varying grid sizes. Previous to the modelling data were transformed to grids of 50 m x 50 m. The processing and representation of data was carried out by means of the GIS ArGis Desktop.

*Table 1
Input data for water balance model GROWA.*

Parameter	Description
CLIMATE (half years)	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitation • Potential evapotranspiration
SOIL:	<ul style="list-style-type: none"> • Effective field capacity • Rooting depth • Groundwater influence • Perching water influence • Capillary rise
SOIL COVER:	<ul style="list-style-type: none"> • Land use classes
HYDROGEOLOGY:	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulic conductivity • Rock units
TOPPOGRAPHY:	<ul style="list-style-type: none"> • Exposition • Slope
VALIDATION:	<ul style="list-style-type: none"> • Observed runoff values

5 Processing and comparing of precipitation data

Climate data (precipitation values and potential evapotranspiration values) was available from different sources. For the time period 1961–1990 climate data was available for the monitoring stations of the German Meteorological Survey (DWD) as daily values for the individual monitoring stations. These values were already used by Kunkel et al. (2006) to calibrate the GROWA model and to calculate the actual mean long-term groundwater recharge level (1961–1990). In addition, MM5 regional climate modelling results from dynamically downscaled ERA15 global reanalysis fields were available in daily time steps for the period 1980–1993 in a spatial resolution of 19.2 km x 19.2 km.

In order to check the differences between the DWD data set and the MM5 data set, a comparison of precipitation data for the period 1980–1993 was carried out, i.e. for a period, for which data from both data sources was available. With the example of the mean precipitation values 1980–1993, figure 1 shows considerable differences amongst the two data sets.

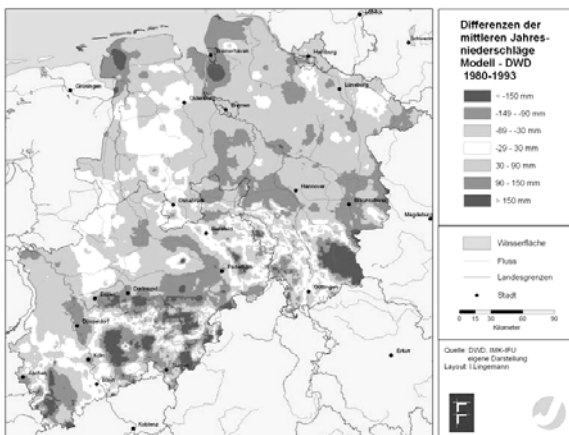


Figure 1
Comparison of the mean precipitation values 1980–1993 for the DWD data set and the MM5 data set

Especially in the high altitude areas of the low mountain ranges in the southern part of the study area, the mean precipitation values 1980–1993 measured by the DWD data set are up to more than 150 mm/a higher than the values given by MM5 for the same period. In the lee of the low mountain ranges and the regions near the coastline however the difference is the other way - round: the precipitation values of the DWD data

set are up to more than 150 mm/a below the values given by the MM5 derived data set.

The different spatial resolutions between the DWD data set (250 m) and the MM5 data set (19.2 km) and along with these the different representations of topographic effects have been identified as the main reasons for these systematic differences.

It can be expected that the conclusions with regard to the long-term development of groundwater recharge rates from 1961–1989 to 2071–2099 will differ significantly. In case of the MM5 climate data, 2071–2099 is compared to the groundwater recharge rate modelled based on the DWD data set and the MM5 data set (control run) as a reference.

The following example illustrates this problem. In the DWD data set the precipitation level in the Harz mountains is on average about 1000 mm/a for the period 1980–1993. In the MM5 data set the precipitation level for the time period 1980–1993 amounts to ca. 800 mm/a only.

First case: groundwater recharge rates modelled based on the MM5 precipitation values 1980–1993 (ca. 800 mm/a) in the Harz mountains are used as a reference data set. Its comparison to the groundwater recharge rates modelled with the MM5 precipitation values 2071–2099 (ca. 850 mm/a) would suggest a slight increase of groundwater recharge in the Harz mountains.

Second case: groundwater recharge rates modelled based on the DWD precipitation values 1980–1993 (ca. 1000 mm/a) in the Harz mountains are used as a reference data set. Its comparison to the groundwater recharge rates modelled based on the MM5 precipitation values 2071–2099 (ca. 850 mm/a) would suggest a decline of groundwater recharge in the Harz mountains.

Consequently, the systematic differences in regional precipitation patterns will influence the modelled groundwater recharge rates presented in section 6 and hence the conclusions with regard to the probable consequences for a sustainable groundwater resources management.

Thus, in order to predict the influence of climate change on groundwater recharge, the systematic differences between the DWD data set and the MM5 data set have to be balanced. The disaggregation of the MM5 data to the 250 m grids by means of a statistical downscaling (e.g. Bürger &

Chen, 2005; Matulla et al., 2002) is the most recommended way to do this. However, due to the complexity of this task and the limited time frame of this study this has not been carried out here.

Instead, to overcome the systematic difference between the DWD and MM5 data sets two pragmatic steps were undertaken. In a first step the differences between the MM5 periods 1961–1989 and 2071–2099 have been determined, assuming that these differences reflect the climate change. In a second step, the net difference between the MM5 data sets has been added up to the values given by the DWD data set 1961–1989. In this way the probable impact of climate change, expressed by the difference in the precipitation values of the MM5 periods, on groundwater recharge is related to groundwater recharge levels, which have been assessed using observed precipitation values given by the DWD data set as input:

$$PCC = PDWD_{1961-1989} + (PMM5_{2071-2099} - PMM5_{1961-1989})$$

Equation 4

Leaving all other model input parameters (table 1) unchanged, the net difference within the data sets from the MM5 is used to predict the impacts of climate change scenarios on groundwater resources in north-western Germany.

6 Results

6.1 Groundwater recharge rates for the hydrologic reference period 1961–1990

Figure 2 shows the mean long-term groundwater recharge rates modelled for the hydrologic reference period 1961–1990 following Kunkel et al. (2006).

As can be seen the calculated groundwater recharge rates range in both cases from less than 25 mm/a to more than 300 mm/a (see figure 2 and figure 4). This reflects the diversity of climatic, pedological and geological conditions. In plain unconsolidated rock areas at some distance from the water table in the North German Plain and in the Lower Rhine Embayment, the groundwater recharge generally amounts to more than 150 mm/a.

In unconsolidated rock areas influenced by the groundwater and water logging (e.g. in flood lands) the groundwater recharge is less than 50 mm/a. The major runoff fraction (more than

80 %) is discharged in the form of direct runoff and reaches the receiving waters via the soil surface or as drainage runoff. The same is true of areas on Palaeozoic and crystalline rocks where, although the base flow can amount to 150 mm/a and more, the groundwater recharge contributes less than 30 % to the total runoff.

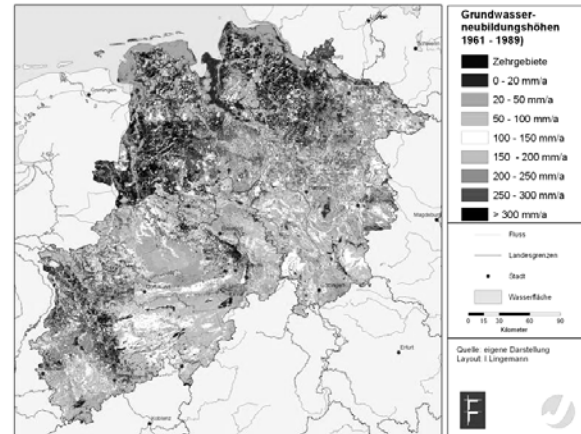


Figure 2
Groundwater recharge rates calculated for the time period 1961–1989

The reliability and representativeness of the calculated area-differentiated groundwater recharge values were verified on the basis of long-term monthly runoff data from representative gauging stations. In selecting the gauging stations, attention was primarily paid to achieving the greatest possible variability with respect to catchment area size as well as land use and climate. For reasons of continuity, only those gauging stations were selected for which long-term time series were available from the period between 1961 and 1990. The calculated groundwater recharge values were integrated for each gauge-related catchment area and compared with the measured MoMnQ-values. MoMnQ-values from 307 subbasins were available (see figure 3, upper part). Figure 3 (lower part) shows a comparison of the calculated groundwater recharge rates to the measured groundwater runoff rates.

As can be seen from Figure 3, the deviation of the calculated groundwater recharge levels differ from the measured values for most gauging stations between 0 and $\pm 15\%$. Errors in this order of magnitude lie within the usual variation range of an empirical model. Furthermore, small but unavoidable measuring and interpolation errors are also undoubtedly involved. It also has to be

taken into account that the deviations can be explained by the fact that in separating the groundwater recharge levels deviations from two sub-models are superimposed (total runoff modelling, separation of runoff components).

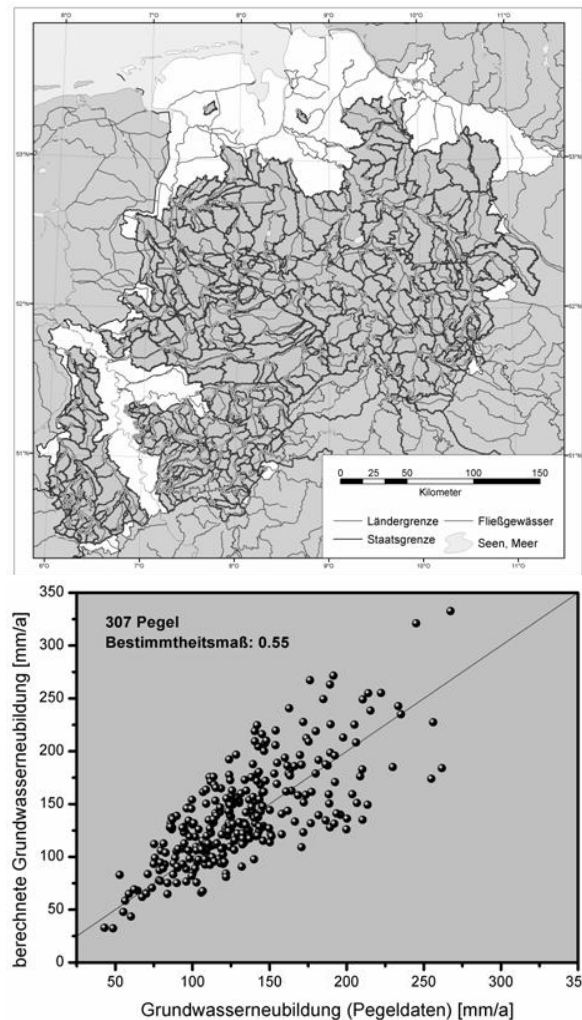


Figure 3 Gauging stations and related subbasins used for validation of the calculated runoff (left part); result of validity check for 307 sub-catchment areas in Lower Saxony and North Rhine-Westphalia

6.2 Predicted groundwater recharge rates for the period 2071–2099

Figure 4 shows the predicted groundwater recharge rates calculated for the time period 2071–2099 using the MM5 data set as input.

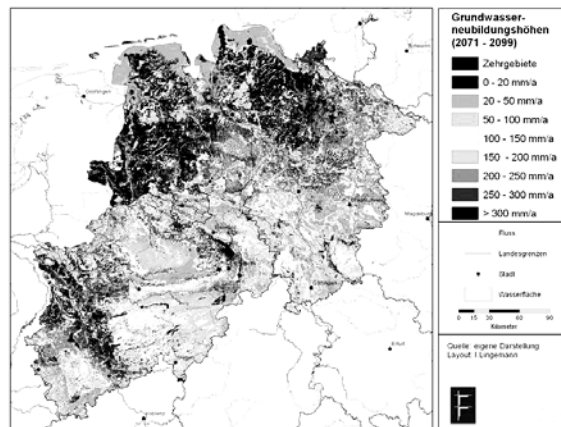


Figure 4 Groundwater recharge rates calculated for the time period 2071–2099 based on the MM5 data set as input

Compared to the mean long-term groundwater recharge levels calculated for the period 1961–1989 (see figure 2) it becomes obvious that the general spatial distribution patterns of groundwater recharge rates remain unchanged. In this way the plain unconsolidated rock areas in the North German Plain and the Lower Rhine Embayment at some distance from the water table displays the highest groundwater recharge rates, whereas in consolidated rock areas groundwater recharge is considerably higher. However, there seems to be the general tendency that groundwater recharge rates will get higher in all unconsolidated rock areas and decline in the consolidated rock areas.

Figure 5 shows the probable regional changes in the groundwater recharge rates in case the actual groundwater recharge rate 1961–1989 is compared to predicted groundwater recharge rates for the time period 2071–2099 using the MM5 data set as input.

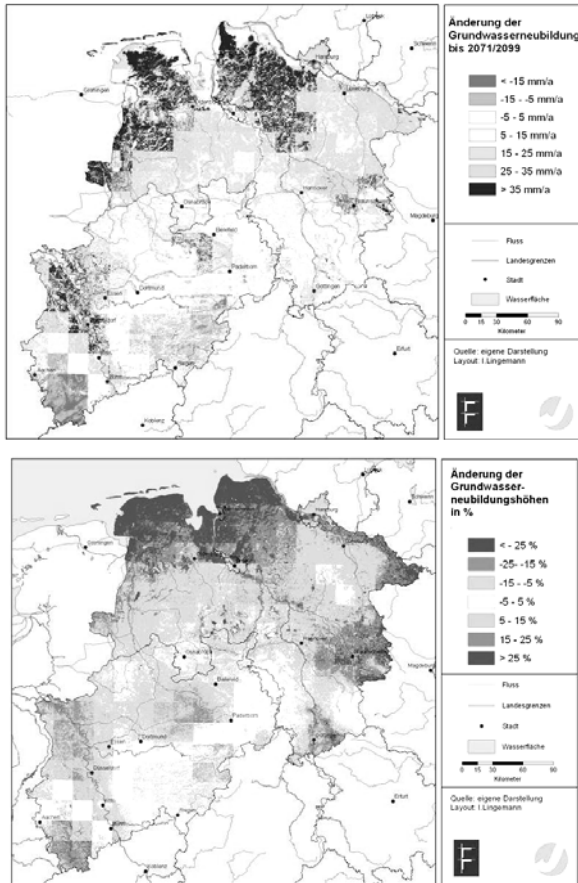


Figure 5
Predicted changes in groundwater recharge in case the actual groundwater recharge rate 1961–1990 is compared to groundwater recharge rates for the time period 2071–2099 based on the MM5 data set as input. The upper part shows the absolute changes, the lower part the relative changes

According to figure 5 (upper part) for large parts of the unconsolidated rock areas occurring in Lower Saxony and North Rhine-Westphalia an increase of the groundwater recharge rate by 15 mm/a to ca. 35 mm/a to 2100 is predicted. There the groundwater table might rise in the coming years. For large parts of the consolidated rock areas, a decline of up to ca. 15 % was calculated. Referring these values to the mean long-term change in the two Federal States this corresponds to an increase of groundwater recharge in Lower Saxony by 17 % and by less than 5 % in North Rhine-Westphalia. It has to be taken into account that these values are strongly influenced by the compensation of areas indicating a net increase with areas indicating a net decline. The fact that in North Rhine-Westphalia the portion of areas indicating a decline or an in-

crease of groundwater recharge values are almost equally shared indicates a relative low change “on average”.

The relative change (see figure 5, lower part) conveys an additional effect. Especially along the coast line of the North see, the increase of groundwater recharge corresponds to more than 25 % of the groundwater recharge rate calculated for the period 1960–1989. This might have some impacts on the regional groundwater management, e.g. the drainage discharge and ecological status of the related wetlands. In case the decrease by 25 % calculated for the southwestern part of North Rhine-Westphalia would come true, an impact on the drinking water dams of the Eifel region would be the consequence.

6.3 Predicted groundwater recharge rates for the period 2071–2099 in groundwater resources management related reference areas

According to annex V of EU WFD the „good quantitative status“ of groundwater is achieved in case the mean long-term groundwater extraction doesn't exceed the mean long-term groundwater recharge (sustainable use of groundwater). Whereas river basin districts provide the basis for the overall regional water resources management, groundwater bodies are the geographic units for regional groundwater resources management within the river basin districts according to EU WFD article 4, paragraph 1 b i and ii. For the Federal States of North Rhine-Westphalia and Lower Saxony 268 respectively 129 groundwater bodies have been delineated in the framework of the of river basin characterisation (2005) according to the groundwater flow conditions. As the EU WFD requires an integrated consideration of surface waters and surface near groundwater occurrences this delineation took the hydrological water sheds into account too.

Figure 6 shows the expected change in the mean long-term groundwater recharge for the period 1961–1990 compared to the groundwater recharge for the period 2071–2100 related to the 397 groundwater bodies delineated for the two Federal States.

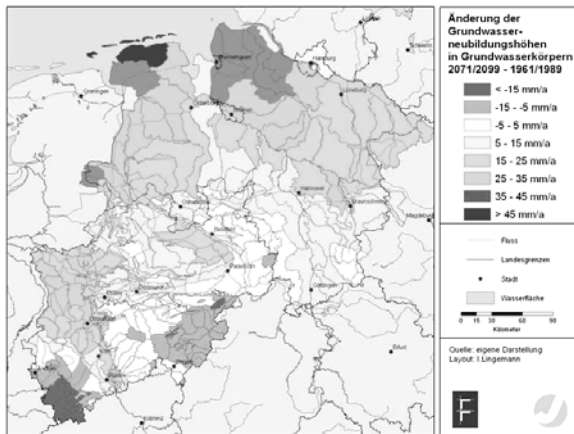


Figure 6
Expected change in the mean long-term groundwater recharge for the period 1961–1990 compared to the groundwater recharge for the period 2071–2100 related to groundwater bodies

As can be seen from figure 6, the conclusions about the expected changes in the mean long-term groundwater recharge for the period 1961–1989 compared to the groundwater recharge for the period 2071–2099 differ significantly in case groundwater bodies or river basin districts are used as the underlying geographical reference. The groundwater recharge rates in the groundwater bodies of the south-western part of North Rhine-Westphalia for example are predicted to decline by more than 15 mm/a. However, in case the expected changes are forecasted on the scale of the river basin district Rur, to which these groundwater bodies belong to, the expected changes for the whole Rur catchment are smoothed to values smaller than 5 mm/a. In the north-western part, groundwater recharge rates are predicted to increase by more than 45 mm/a for individual groundwater bodies. In case these values are generalized on the level of river basin districts, this increase is flattened to ca. 25 mm/a.

7 Summary and conclusion

An area differentiated modelling of mean long-term groundwater recharge rates for the hydrological period 1961–1989 was carried out based on the GROWA model for the Federal States of North Rhine-Westphalia, Lower Saxony, Hamburg and Bremen. The GROWA model conceptually combines distributed meteorological data (winter and summer precipitation and potential evapotranspiration) with distributed site parameters (land use, soil properties, slope gradient,

slope exposure, mean depth to groundwater) to facilitate the calculation of long-term annual averages of total runoff. In the GROWA model groundwater recharge is expressed as a constant proportion (baseflow indices) of the total runoff. This portion depends on certain characteristics of the investigated area, e.g. the slope gradient, soil and hydrogeological properties as well as the degree of surface sealing. The accuracy of the calculated groundwater recharge values for the period 1961–1989 was verified on the basis of measured MoMNQ – values from more than 300 gauged sub-basins. In general, the differences between modelled and measured runoff values were less than 15 %, indicating the reliability of the chosen procedure. For this reason the GROWA model is suitable for practical groundwater resources management issues like the prediction of the long term changes of groundwater recharge due to climate change. For this purpose the GROWA model was run with the output of the MM5 regional climate model (precipitation levels, potential evapotranspiration levels) for the time slices 1961–1989 and 2070–2099.

Due to different spatial resolution between the climate data sets – 250 m grids for the actual DWD-data set and 19.2 km grids for the MM5 climate scenario data sets – systematic differences in consequence of different representations of topographic effects occur. Hence, the identified differences might not have their origin in the climate change, so that the increase in precipitation rates from 1961–1989 to 2071–2099 by more than 25 % in the coastal region has to be handled with care, just like the predicted decrease by more than 25 % for the south-western region. Consequently, these regionally differences in the input data sets are reflected in the modelled groundwater recharge rates, so that the “hot spot” regions of an expected increase and an expected decrease of groundwater recharge are identical.

The over- and underestimation of values from the climate scenario imposes considerable restrictions on the information value of the determined changes in groundwater recharge rates until 2100. Hence, their use for the derivation of possible adaption strategies for the regional groundwater resources management can not be recommended yet.

For this purpose we would suggest a statistical downscaling of climate data from 19.2 km grids down to 250 m grids. Additionally the temporal resolution of the GROWA should be increased

from an annual to a monthly or even daily representation of groundwater recharge. In this way the seasonal influence of a changing climate on groundwater recharge can be considered. In this framework the implementation of an irrigation module into the GROWA model is recommended, as the portion of irrigated agricultural areas may rise.

Referring the grid-wise modelled groundwater recharge rates to groundwater bodies and river basin districts has proofed the significance of choosing an adequate management unit. In general the modelled changes in groundwater recharge rates are less significant on the level of river basin districts compared to the changes for individual groundwater bodies. In order to predict the impacts of climate change to guarantee a long-term sustainable use of groundwater resources, e.g. for irrigation or drinking water supply, the groundwater recharge rates should be compared to the groundwater withdrawals already realized today. For "hot spot areas", in which the long-term groundwater availability is endangered, this allows for the development of well directed groundwater resources management strategies adapted to the climate change.

All these points will contribute to the development of a coupled meteorological-hydrologic model system, which enables a scientifically based prognosis of the future's groundwater availability under climate change conditions. This innovative tool for the quantitative water resources management may help to implement the EU WFD, e.g. for the establishment of programs of measures under consideration of climate change effects.

References

- Bogena H, Kunkel R, Schöbel T, Schrey HP, Wendland F (2003) Die Grundwasserneubildung in Nordrhein-Westfalen. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, 37, FZ Jülich GmbH, Jülich, Germany, 148 S.
- Bogena H, Herbst M, Kunkel R, Vereecken H, Wendland F (2004) Skalenabhängige Modellierung des Wasserhaushalts im Flusseinzugsgebiet der Rur. in: Ludwig R, Reichert D, Mauser W (Ed.): 7. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie – Neue methodische Ansätze zur Modellierung der Wasser- und Stoffumsätze in großen Einzugsgebieten. Kassel University Press, Kassel, Germany, 87-97
- Bogena H, Kunkel R, Schöbel T, Schrey HP, Wendland F (2005) Distributed modelling of distributed groundwater recharge at the macroscale under special consideration of geology. *Ecological modelling* 187 (1), 15-26
- Bürger C, Chen Y (2005) Regression-based downscaling of spartial variability für hydrologic applications. *Journal of Hydrology*, 331: 299-317
- Climate Change (2007) The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Retrieved on 2007-02-02
- Dörhöfer G, Kunkel R, Tetzlaff B, Wendland F (2001) Der natürliche Grundwasserhaushalt von Niedersachsen. *Arbeitshefte Wasser*, Bd. 1/2001, Hannover
- Ebel M, Ludwig K, Richter KG (2000) Mesoskalige Modellierung des Wasserhaushalts im Rheineinzugsgebiet mit LARSIM. *HW* 44, 2000, H.6, 308-312
- EU (2000) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- Genesis – online (2005) Staatliches Informationssystem des Bundes und der Länder, <https://regionalstatistik.de>
- Grell GA, Dudhia J, Stauffer DR (1994) A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note 398+STR
- Hölting B, Haertlé T, Hohberger KH, Nachtigall KH, Villinger E, Weinzierl W, Wrobel JP (1995) Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. *Geologisches Jahrbuch Series C*, No. 63. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart
- Keuler K, Heimann D, Dittmann F, Berger C, Bernhofer D, Knoche HR, Jacob U, Böhm M, Kücken und Hauffe D (2006) DEKLIM - Abschlussbericht – Quantifizierung von Ungenauigkeiten regionaler Klima- und Klimaänderungssimulationen (QUIRCS). Cottbus, August 2006

- Kille K (1970) Das Verfahren MoMnQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse.- Z. dt. geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem: 89-95
- Kunkel R, Wendland F (2002) The GROWA98 model for water balance analysis in large river basins-the river Elbe case study.- Journal of Hydrology 259, 152-162
- Kunkel R, Wendland F (1998) Der Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe - Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen.- Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt, Bd. 12; Jülich
- Matulla C, Penlap EK, von Storch H (2002) Empirisches Downscaling – Überblick und zwei Beispiele. Klimastatusbericht 2002, 20-31, 2002
- Mittelstädt R (2005) Detaillierte hydraulische Nachweise nach BWK M3 für Gewässer der Niederungs- und Sandergebiete. HW 49. 2005, H. 6, 309-312
- Renger G, Wessolek G (1996) Berechnung der Verdunstungs-Jahressummen einzelner Jahre. In: DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 238: 47; Bonn
- Roeckner E, Arpe K, Bengtsson L, Christoph M, Gausson M, Dürnenil L, Esch M, Giorgetta M, Schtese U, Schulzweida U (1996) The atmospheric general circulation model ECHAM-4: Model description and simulation of present-day climate, Report Max-Planck-Institut für Meteorologie Nr. 218, Hamburg
- Schröder M (1983) Neue Werte zur Grundwasserneubildung unter Wald für das Münsterland.- Dtsch. gewässerkd. Mitt., 27 (4): 121-124
- Schulla J, Jasper C (1999) Modellbeschreibung WaSiM-ETH ETH-Zürich, 180 p.
- Tetzlaff B, Kunkel R, Taugs R, Dörhöfer G, Wendland F (2004) Grundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen in der Metropolregion Hamburg. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 46, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany, 87 S.
- Wendland F, Kunkel R, Tetzlaff B, Dörhöfer G (2003) GIS-based determination of the mean long-term groundwater recharge in Lower Saxony. Environmental Geology 45 (2), 273-278
- Wundt W (1958) Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen.- In: Graumann R: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung.- Forsch. Dtsch. Landeskunde, 104), 47-54, Remagen

Einfluss sich wandelnder ökonomischer Rahmenbedingungen auf die Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen in Deutschland

Jano Anter, Dr. Horst Gömann, Peter Kreins und Agnes Richmann¹

1 Einleitung

Die Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft haben sich in den vergangenen Jahren stark gewandelt. Trotz der derzeitigen Wirtschaftskrise wird langfristig von einem weltweiten Wirtschaftswachstum ausgegangen, infolgedessen die Nachfrage nach Agrarprodukten insbesondere in Indien und China steigt. Zusätzlich wird die Nachfrage nach Agrarrohstoffen durch die weltweite Förderung der Bioenergie erhöht, sodass langfristig ein deutlicher Anstieg der Agrarpreise, wie er sich vor der Wirtschaftskrise bereits abzeichnete, erwartet wird.

In Deutschland haben dieser bis Mitte 2008 andauernde Anstieg der Agrarpreise sowie die Förderung des Biomasseanbaus zur Energieerzeugung bereits zu einer spürbaren Erhöhung der Landnutzungsintensität geführt. Darüber hinaus wurde im Rahmen der Health Check-Beschlüsse das Auslaufen der obligatorischen Flächenstilllegung bestätigt, um der steigenden Landnutzungsintensität entgegenzuwirken. Insgesamt verlieren extensive Produktionsverfahren an Vorzüglichkeit, während intensive auf ein hohes Ertragsniveau ausgerichtete Produktionsverfahren an Wettbewerbskraft gewinnen.

In diesem Zusammenhang erweist sich Wasser zunehmend als begrenzender Produktionsfaktor; ein Trend, der nach den Klimaprognosen, in denen von einem Rückgang der Niederschläge in der Wachstumsperiode ausgegangen wird, zunimmt. Infolgedessen ist mit einem verstärkten Auftreten von Ertragsausfällen zu rechnen, die nicht zuletzt aufgrund steigender Produktionskosten eine Zunahme des Produktionsrisikos implizieren. Aus diesen Gründen wird u. a. die Bedeutung produktionstechnischer Lösungen zur Stabilisierung des Pflanzenertrags auf einem hohen Niveau zunehmen, sodass eine Ausdehnung der Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen als Anpassungsreaktion der Landwirtschaft an die veränderten Rahmenbedingungen erwartbar ist.

Im vorliegenden Beitrag werden die Entwicklungen wichtiger Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft in Deutschland dargestellt und ausgewählte Änderungen der landwirtschaftlichen Landnutzung und Produktion erläutert. Dieser Aufriss soll eine Grundlage bilden, um die zukünftig zu erwartende Rolle der Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen in Deutschland einzuschätzen. Da ein zunehmender Wasserbedarf der Landwirtschaft für die Berechnung die regional bereits bestehenden Wassernutzungskonflikte verstärken kann, besteht in diesem Bereich ein besonderer Bedarf an Informationen. Diese sollen im Rahmen einer regional differenzierten Analyse, deren Konzept im Ausblick vorgestellt wird, für die betroffenen Akteure wie Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Politik erarbeitet werden.

2 Entwicklung der Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft

Im Folgenden werden die Entwicklungen wichtiger Rahmenbedingungen für den deutschen Agrarsektor, vor allem der Agrar- und Energiepolitik, sowie die Entwicklungen auf den Weltagarmärkten dargestellt. Im Hinblick auf die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen gewinnt der erwartete Klimawandel an Bedeutung.

2.1 Politische Rahmenbedingungen

Die politischen Rahmenbedingungen der Landwirtschaft haben sich in den letzten Jahren vor allem durch die Weiterentwicklungen der EU-Agrarpolitik und der Energiepolitik gewandelt. Im Rahmen der Luxemburger Beschlüsse von 2003 wurde der Umbau der EU-Agrarpolitik vertieft mit dem Ziel, eine verstärkte Marktorientierung der landwirtschaftlichen Produktion unter Einhaltung von Produktionsstandards zu erreichen. Ferner werden die entkoppelten Direktzahlungen an landwirtschaftliche Betriebe gekürzt (so genannte

¹ Institut für Ländliche Räume, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, jano.anter@vti.bund.de.

Modulation), um mit diesen Mitteln Maßnahmen zur Entwicklung ländlicher Räume zu finanzieren.

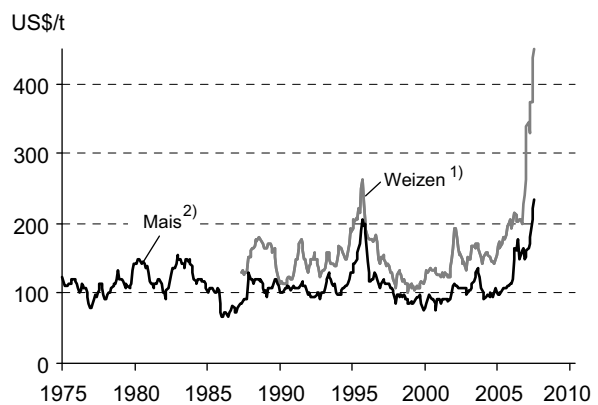
Neben der Agrar- und Agrarumweltpolitik nimmt die Energiepolitik zunehmend Einfluss auf die Landwirtschaft. So wurde in Deutschland durch die Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes im Jahr 2004 eine attraktive Förderung des Einsatzes von Energiepflanzen in Biogasanlagen eingeführt, was einen Boom beim Energiemaisanbau ausgelöst hat.

2.2 Markt- und Preisentwicklungen

Auf den Weltagarmärkten zeichnet sich ein deutlicher Anstieg der Agrarpreise ab (vgl. Abbildung 1), der im Wesentlichen auf nachstehenden Faktoren beruht. Erstens nimmt infolge des anhaltenden weltweiten Wirtschaftswachstums die Nachfrage nach Agrarprodukten zu. Zweitens werden in einigen im Bereich der Bioenergieproduktion sehr wettbewerbsfähigen Ländern, beispielsweise in Lateinamerika, nachwachsende Rohstoffe bereits bei einem Ölpreisniveau von rund 50 US\$ pro Barrel ohne Förderung angebaut und zu Biokraftstoffen verarbeitet. Auf diese Weise kommt es zu einer Koppelung der Agrarrohstoffproduktion bzw. des Nahrungsmittelangebots an den Ölpreis, wodurch das Weltagrarpreisniveau unmittelbar beeinflusst wird. Drittens wird der Anbau nachwachsender Rohstoffe in Ländern wie der EU, in denen die Biokraftstoff-

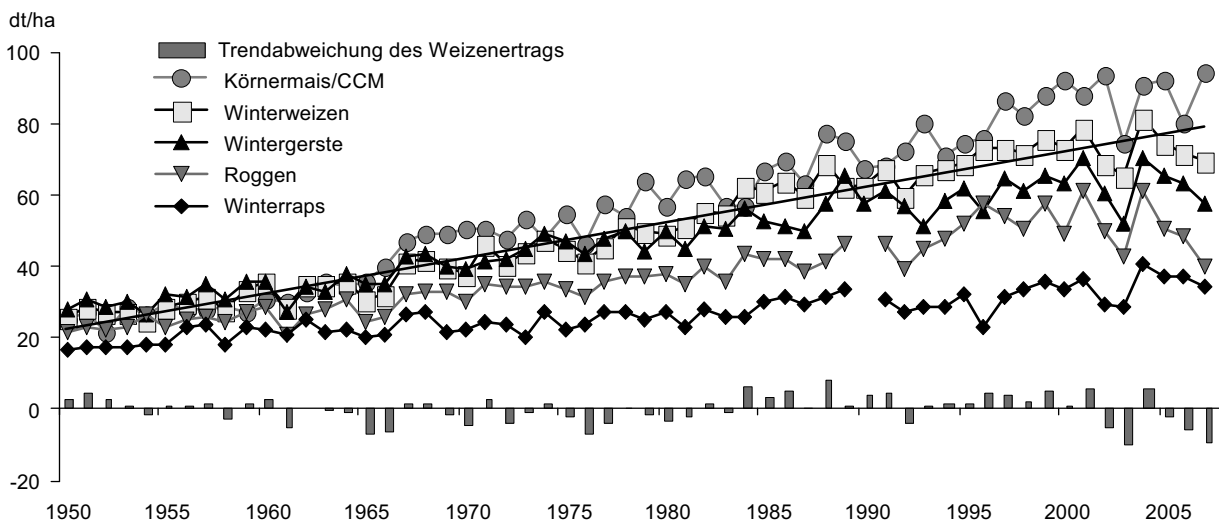
produktion derzeit nicht wettbewerbsfähig ist, unter dem Aspekt des Klimaschutzes gefördert.

Die Flächenproduktivität in der Landwirtschaft nimmt kontinuierlich zu. Beispielsweise wurde der durchschnittliche Weizenertrag, ausgehend von rund 25 dt/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) im Jahr 1950, auf rund 80 dt/ha LF mehr als verdreifacht (vgl. Abbildung 2). Die Ertragszuwächse fielen bei den Getreidearten unterschiedlich hoch aus. Während beim Körnermais höhere Zuwächse erzielt werden konnten als beim Weizen, waren sie bei Gerste und Roggen geringer.



1) Hard Red Winter No. 2 fob Gulf. - 2) Corn, No. 2, Yellow fob Gulf. Quelle: USDA (2008).

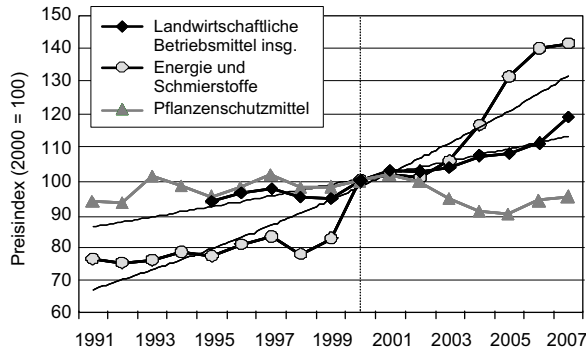
Abbildung 1
Entwicklung der Weltmarktpreise für Getreide



Quelle: BMELV, Statistisches Jahrbuch, versch. Jgg.; eigene Berechnungen.

Abbildung 2
Ertragsentwicklung ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturarten in Deutschland

Die durch züchterische Fortschritte erzielten Ertragszuwächse gingen einher mit einer Steigerung der Vorleistungs- und Kapitalintensität und einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität.



Quelle: BMELV, Statistisches Jahrbuch, versch. Jgg.; Berechnungen von Offermann (2008).

Abbildung 3
Entwicklung der Betriebsmittelpreise in Deutschland (Jahr 2000 = 100; 1991 bis 2007)

2.3 Änderungen des Klimas

Die wichtigsten Klimaparameter für die Landwirtschaft sind Temperatur, Wasserverfügbarkeit und CO₂-Konzentration. Die Entwicklungen dieser Klimaparameter in den vergangenen 100 Jahren machen deutlich, dass der Klimawandel in Deutschland bereits stattfindet. Die Jahresmitteltemperatur hat von 1900-2000 um ca. 0,8 bis 1° C zugenommen; allerdings nicht linear, sondern mit wechselhaften Perioden. Seit Ende der 1970er Jahre ist ein kontinuierlicher und rapider Temperaturanstieg in Deutschland zu beobachten, so dass, wie im weltweiten Durchschnitt, die 1990er Jahre das wärmste Jahrzehnt im 20. Jahrhundert waren (Zebisch et al., 2005). Regional variiert das Bild sehr stark, so ist der Temperaturanstieg in Westdeutschland insgesamt stärker ausgefallen als in Ostdeutschland. Aussagen zu der saisonalen Ausprägung des Temperaturanstiegs schwanken je nach Zeitraum und Methode. In den letzten 20 Jahren ist ein Trend zu einer stärkeren Erwärmung im Winter als im Sommer zu beobachten. So betrug in Deutschland die Erwärmung in der Periode von 1981 bis 2000 in den Wintermonaten 2,3° C, in den Sommermonaten nur 0,7° C (vgl. Tabelle 1). Aus dem Anstieg der Temperatur im Winter resultiert für die Landwirtschaft eine Verlängerung der Vegetationsperiode.

Tabelle 1
Übersicht der beobachteten Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland

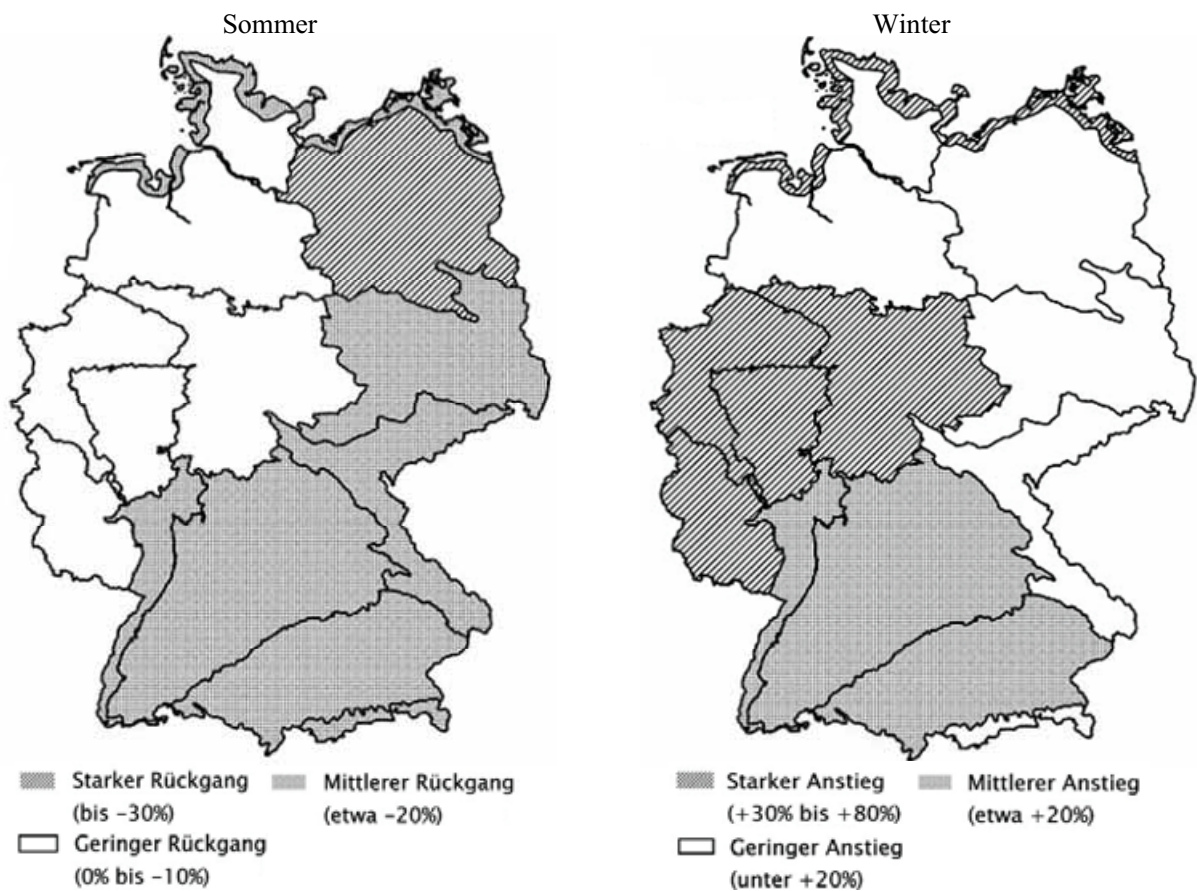
Klimaelement		Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Temperatur						
1901-2000	°C	+ 0,8	+ 1,0	+ 1,1	+ 0,8	+ 1,0
1981-2000	°C	+ 1,3	+ 0,7	- 0,1	+ 2,3	+ 1,1
Niederschlag						
1901-2000	%	+ 13	- 3	+ 9	+ 19	+ 9
1971-2000	%		+ 4	+ 14	+ 34	+ 16

Quelle: Schönwiese und Janoschitz, 2005 unter Verwendung von Daten von Rapp, 2000 und DWD.

Im Zeitraum von 1901 bis 2000 nahm der mittlere Niederschlag in Deutschland und insbesondere seit den 1970er Jahren zu (vgl. Tabelle 1), wobei Zebisch et al. (2005) weder in den Mittelwerten noch in der saisonalen oder regionalen Verteilung signifikante Trends feststellen konnten. Erst in den letzten 30 Jahren war eine deutliche Zunahme der Winterniederschläge zu verzeichnen, wohingegen sich die Sommerniederschläge nur wenig änderten bzw. im Osten Deutschlands sogar abnahmen. Räumlich haben die Winterniederschläge besonders im Süden und Westen zugenommen und weniger im Osten, sodass sich insgesamt für die Jahresniederschläge ein Anstieg im Westen und ein Rückgang im Osten ergibt. Im Hinblick auf eine ausreichende Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in der Hauptvegetationsperiode, die im Hinblick auf die Ertragsbildung eine zentrale Rolle spielt, wirken sich zwei beobachtete Trends der letzten 40 Jahre negativ aus. Dies ist zum einen die generelle Abnahme der (Früh-) Sommerniederschläge, die zum anderen häufiger als Starkregenereignisse auftreten und dadurch die Verfügbarkeit für die Pflanzen zusätzlich verschlechtern.

Die in Abbildung 4 dargestellten Ergebnisse der WETTREG-Klimasimulationen (UBA, 2007) für das SRES-Emissionsszenario A1B² zeigen, dass sich die in der Vergangenheit beobachteten Veränderungen der räumlichen und jahreszeitlichen Niederschlagshöhe und -verteilung verstärken können, sodass von einer Zunahme des Klimaeinflusses auf die Agrarproduktion ausgegangen werden muss.

² Special Report on Emission Scenarios (Nakićenović et al., 2000).



Quelle: UBA (2007)

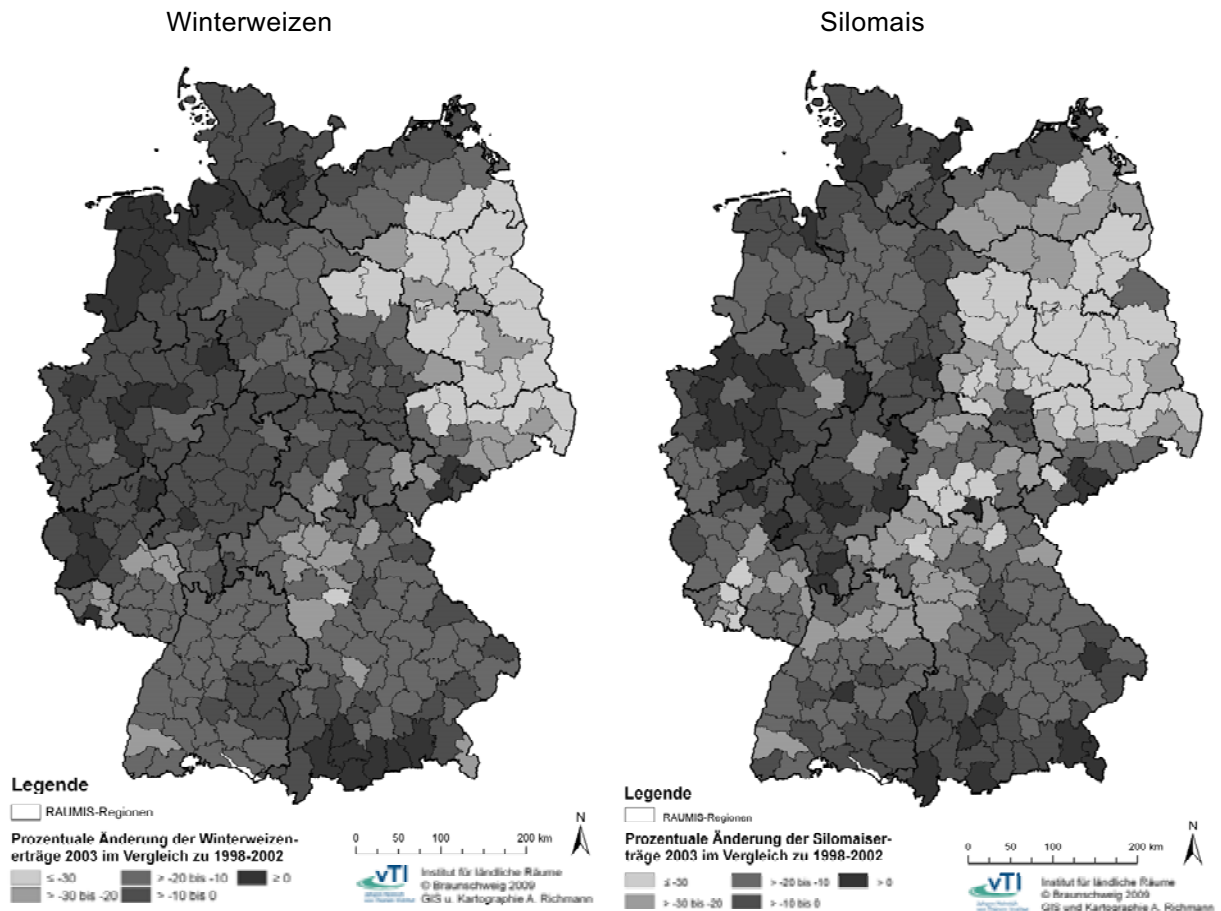
Abbildung 4

Prozentuale Änderung des Niederschlags zwischen dem Zeitraum 1961 bis 1990 und dem Zeitraum 2071 bis 2100 für das höhere Emissionsszenario A1B

Klimabedingte Ertragsveränderungen lassen sich derzeit jedoch nur mit einigen Unsicherheiten einschätzen. Die Unsicherheiten bestehen vor allem bei den Auswirkungen der Veränderung der Photosynthese- und Ertragsleistung der Pflanzen bei einem Temperaturanstieg oder der Veränderung des Atmungsverhaltens der Pflanzen bei einer den Klimawandel treibenden Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Luft. Der sogenannte CO₂-Düngeeffekt kann trockenstressbedingten Ertragsdepressionen in landwirtschaftlichen Kulturarten entgegen wirken (Manderscheid und Weigel, 2007) und die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Erträge möglicherweise kompensieren. Vor diesem Hintergrund stellt die Anpassung an einen prognostizierten Anstiegs der Klimavariabilität, der in einer Häufung von Extremereignissen wie Dürren und Hochwasserereignisse zum Ausdruck kommt, für die Land-

wirtschaft eine größere Herausforderung dar. So hat nach Schönwiese et al. (2004) die Wahrscheinlichkeit eines Hitzesommers wie im Jahr 2003 seit 1960/70 um mehr als das 20-fache zugenommen.

Das verstärkte Auftreten von Extremereignissen in den vergangenen 10 Jahren führte in Deutschland zu einer deutlichen Zunahme der mittelfristigen Ertragsschwankungen. Im Trockenjahr 2003 lag der sektorale Weizenertrag rund 10 dt/ha (13 %) unter dem erwarteten Trendertrag des Jahres. Die Ertragseinbußen fielen regional sehr unterschiedlich aus. Während die höchsten Ernteverluste in Brandenburg, Sachsen und Nordbayern zu verzeichnen waren, wurden in einigen Regionen Norddeutschlands sogar überdurchschnittliche Erträge erzielt (vgl. Abbildung 5). Dies gilt sowohl bei der Winterfrucht Weizen als auch bei der Sommerfrucht Silomais.



Quelle: Eigene Berechnungen.

Abbildung 5

Regionale Änderung der Weizen- und Maiserträge im Jahr 2003 gegenüber dem Durchschnitt des Zeitraums 1998 bis 2002 (in %)

Angesichts des hohen Intensitätsniveaus der landwirtschaftlichen Produktion in Deutschland nimmt bei den steigenden Agrarpreisen das Produktionsrisiko durch klimabedingte Ertragschwankungen zu. Sollte die klimabedingte Ertragsvariabilität zunehmen, steigt die Rentabilität von Investitionen in ertragstabilisierende Technologien wie der Beregnung und damit die Wassernachfrage der Landwirtschaft.

3 Anpassungen der landwirtschaftlichen Landnutzung in Deutschland

Angesichts nahezu gleich bleibender Produktpreisrelationen in diesem Zeitraum führte u. a. die höhere Wachstumsrate bei Weizen zu einer Ausdehnung der Weizenfläche zu Lasten des Anbaus von Gerste und Roggen (vgl. Abbildung 6).

Aufgrund der in der Ausgangssituation regional sehr unterschiedlichen Verteilung der Flächenstilllegung (vgl. Abbildung 7) fallen die erwartbaren Effekte der Wiederbewirtschaftung stillgelegter Flächen im Hinblick auf den Wasserbedarf sehr unterschiedlich aus. Grundsätzlich waren im Wirtschaftsjahr 1999/2000 10 % der Anbaufläche für Getreide, Ölsaaten und Eiweißpflanzen stillzulegen. Dabei wurde von der Möglichkeit nachwachsende Rohstoffe auf den Stilllegungsflächen anzubauen insbesondere in den Ackerbaugebieten Thüringens und Sachsens Gebrauch gemacht, so dass dort die tatsächlich stillgelegten Flächen wiederbewirtschaftet wurden.

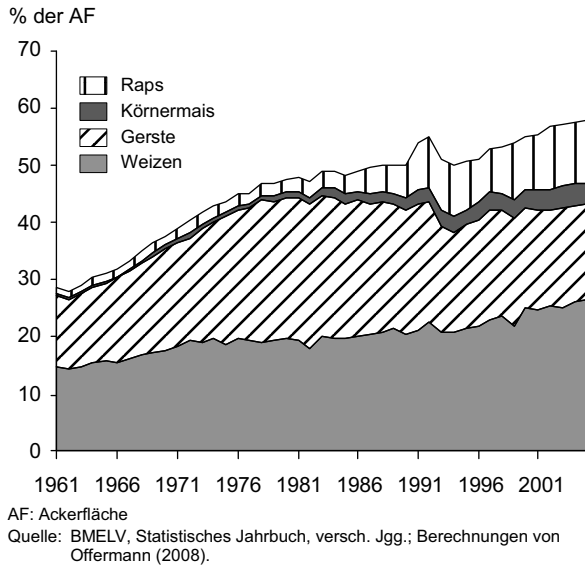
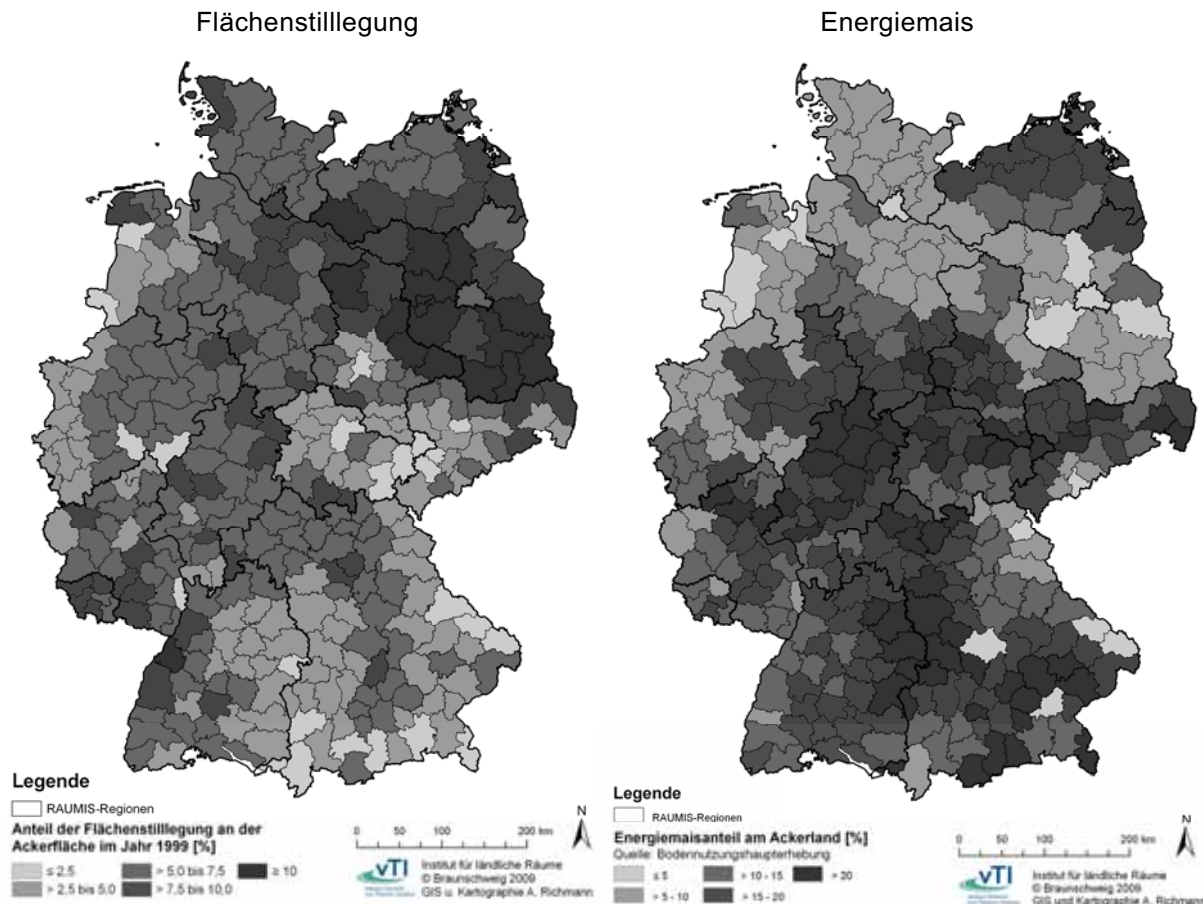


Abbildung 6
 Entwicklung der Ackerflächennutzung in Deutschland (% der AF; 1961 bis 2006)

Eine wesentliche Intensivierung der Landnutzung resultiert aus der Förderung des Biomasseanbaus („Energimais“) zur Biogaserzeugung. Wurden nachwachsende Rohstoffe (NaWaRos) bis zum Jahr 2007 noch überwiegend auf Stilllegungsflächen angebaut, so erfolgt ihr Anbau nach dem Aussetzen der obligatorischen Flächenstilllegung im Jahr 2007 aufgrund ihrer hohen Wettbewerbskraft in direkter Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelerzeugung. Nach eigenen Modellergebnissen (Kreins & Gömann, 2008) wird sich im Jahr 2015 der Anbau von Energimais auf knapp 1 Mio. ha belaufen, auf der etwa 59 Mio. t Biomasse erzeugt werden. Flächenstilllegungen finden somit nicht mehr statt. Auf der Basis der Biomasseerzeugung können rund 25 TWh elektrischer Strom erzeugt werden, was ca. 4 % des deutschen Stromverbrauchs entspricht, sowie etwa 750 Mio. Liter Heizöläquivalent.



Quelle: Eigene Berechnung.

Abbildung 7
 Flächenstilllegung 1999 und Biomasseanbau zur Energieerzeugung 2015 in Deutschland

4 Schlussfolgerungen

Die Folgen des Klimawandels können je nach regionaler Ausprägung sehr unterschiedlich sein. Analysen der klimatischen Entwicklung in der Vergangenheit sowie Simulationen bis 2100 weisen für Deutschland weniger Sommer- jedoch mehr Winterniederschläge auf. Sofern sich die regionale Jahresniederschlagsmenge nicht ändert, bedeutet diese Entwicklung eine Verschiebung des Wasserdargebots vom Sommer auf den Winter, in dem sich Hochwasserereignisse häufen. In Regionen, in denen eine Abnahme der Sommerniederschläge nicht durch eine Zunahme der Winterschläge kompensiert wird, werden sich Wasserknappheitssituationen verstärken. Der jahreszeitlichen Verschiebung des Wasserdargebots stehen Ansprüche an eine kontinuierliche Wasserversorgung der unterschiedlichen Sektoren gegenüber.

Der erwartete Klimawandel erfordert in der Landwirtschaft sowie in den vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereichen vielfältige Anpassungen, um einerseits die negativen Auswirkungen zu minimieren und andererseits mögliche Chancen zu nutzen. Konkrete Anpassungen in der Landwirtschaft bei sich häufenden sommerlichen Dürren reichen bspw. vom verstärkten Anbau trockenstressresistenterer Sorten bis hin zur Bewässerung. Eine Häufung von Sturzfluten oder sonstigen Schadereignissen wie Sturm oder Hagel erhöht die Erosions- und Hochwassergefahr und erfordert sowohl entsprechende ackerbauliche als auch betriebliche Anpassungen angesichts eines steigenden Produktionsrisikos. In Deutschland könnte durch eine klimawandelbedingte Verschiebung von Vegetationszonen der Anbau neuer (z.B. mediterraner) Kulturpflanzen möglich oder gar nötig werden. Es können neue Krankheiten und Schädlinge einwandern, die den Stress für Pflanzen und Tiere zusätzlich erhöhen. Umgekehrt kann sich der Schädlings- und Krankheitsdruck für einige Fruchtarten auch verringern. Angesichts der regional sehr unterschiedlichen Auswirkungen des Klimawandels und der spezifischen Anpassungsmöglichkeiten fallen die regionale und die einzelbetriebliche Betroffenheit der Landwirtschaft sehr unterschiedlich aus.

Durch die genannten veränderten landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und den erwarteten Anpassungen der Flächennutzungsstruktur ist eine Ausdehnung und Intensivierung der landwirtschaftlichen Beregnung für sensitive Fruchtfolgen bei mittelfristiger Wasserknappheit zu er-

warten. Vor dem Hintergrund der regional bereits bestehenden Wassernutzungskonflikte ist daher zu prüfen, welches Erweiterungspotenzial für Beregnungsflächen erstens grundsätzlich besteht und zweitens unter zukünftiger Klimaentwicklung entsteht. Im Rahmen der Forschungsarbeiten am vTI (Institut für Ländliche Räume) wird eine regional differenzierte Analyse der Beregnung in Deutschland als Anpassungsstrategie der Landwirtschaft an den Klimawandel erarbeitet, um die zukünftig zu erwartende Rolle der Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen einschätzen zu können. Das Vorhaben dieser Analyse ist es, unter Berücksichtigung ökonomischer Rahmenbedingungen sowie der betriebsspezifischen und hydrogeologischen Standortbedingungen, Aussagen über die potenzielle Entwicklung der Beregnung in Deutschland treffen zu können. Neben einer ausführlichen Beschreibung der rechtlichen Rahmenbedingungen, der Entwicklung und dem Ist-Zustand sowie der vorhandenen Technologien der landwirtschaftlichen Beregnung in Deutschland, befasst sich diese Analyse mit relevanten Parametern, um fundierte Aussagen machen zu können, wo die Beregnung unter sozioökonomischen Aspekten eine sinnvolle Anpassungsstrategie darstellt. Das erste Ziel ist es, die Beregnungsbedürftigkeit bundesweit auf Gemeindeebene abzugrenzen. Darüber hinaus wird der potenzielle standortbezogene Beregnungsbedarf für diese Gemeinden ermittelt, um mit Hilfe von betriebs- und standortspezifischen Parametern sowie verfahrensspezifischer Kosten unterschiedlicher Beregnungstechnologien die mittleren Beregnungskosten abzuschätzen. Mittelfristiges Ziel ist es, diese Daten in die agrarökonomische Modellierung einfließen zu lassen.

Literaturverzeichnis

- Europäische Kommission (2007) Vorbereitung auf den „GAP-Gesundheitscheck“. Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament. KOM(2007) 722 endgültig. Brüssel. 20.11.2007
- Europäisches Parlament und Rat (2003) Richtlinie 2003/30/EG vom 8. Mai 2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor. Amtsblatt der Europäischen Union L 123/42
- Eurostat (1989) Handbuch zur landwirtschaftlichen und forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung, Luxemburg

- Gerstengarbe FW, Werner PC (2003) Klimaänderungen zwischen 1901 und 2000. In: Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, S. 58-59
- Gömann H, Kreins P, Breuer Th (2007) Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas? In: Agrarwirtschaft 56 (5/6): S. 263-71
- Henrichsmeyer W, Cypris Ch, Löhe W, Meudt M, Sander R, Sothen F von, Isermeyer F, Schefski A, Schleef KH, Neander E, Fasterding F, Helmke B, Neumann M, Nieberg H, Manegold D, Meier Th (1996) Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021). Vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig. <http://www.faa-bonn.de>
- Howitt RE (1995) Positive Mathematical Programming. In: Amer J, Agr. Econ. 77 (2): p. 329-342
- Kreins P, Gömann H (2008) Modellgestützte Abschätzung regionaler landwirtschaftlicher Landnutzung und Produktion in Deutschland vor dem Hintergrund der „Gesundheitsüberprüfung“ der GAP. Agrarwirtschaft, Band 57, Heft 3-4, S. 195-206
- Manderscheid R, Weigel HJ (2007) Drought stress effects on wheat are mitigated by atmospheric CO₂ enrichment. Agron. Sustain. Dev. 27, p. 79-87
- Nakićenović N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Jung T.Y, Kram T, Emilio la Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger ME, Shukla PR, Smith S, Swart RJ, van Rooyen S, Victor N, Dadi Z (2000) Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge
- Schönwiese CD, Janoschitz R (2005) unter Verwendung von Daten von Rapp, 2000 und DWD: Übersicht der beobachteten bodennahen Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland
- Schönwiese CD, Staeger T, Trömel S (2004) The hot summer 2004 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. Meteorol. Z., 13, p. 323-327
- Umweltbundesamt UBA (2007) Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen. Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Dessau. Januar 2007
- USDA (2007) USDA Agricultural Projections to 2016. Long-term Projections Report OCE-2007-1. <http://www.ers.usda.gov/publications/oce071/oce20071.pdf>. Zugriff im Februar 2007
- Wechsung F, Becker A, Gräfe P (Hrsg.) (2005) Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet. Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Bd. 6, 416 Seiten
- Zebisch M, Grothmann T, Schröter D, Hasse C, Fritsch U, Cramer W (2005) Climate Change in Germany. Vulnerability and Adaptation of climate sensitive Sectors. UBA Reihe Climate Change, Heft 10/05, 205 Seiten

Bewässerungstechnik: Wasserverteilung mit Blick in die Zukunft, Freilandberegung

Dr. Heinz Sourell¹

1 Allgemein

In den vergangenen Jahrzehnten war es das Ziel der Forschung und der Industrie, Wasser mit der Beregnungstechnik so gleichmäßig wie möglich auf dem Feld zu verteilen. Mit heutigen Erkenntnissen bezüglich der Bodenheterogenität wird der Bedarf nach teilflächenspezifischer Beregnung (precision irrigation) offenkundig. Parallel dazu ist eine Weiterentwicklung im Beregnungsmaschinenmanagement zu verzeichnen. Hinzu kommen Anstrengungen, die Einsatzsteuerung der Beregnung (Beregnungsmanagement) zu verbessern. Diese Entwicklungen führen zu einer „intelligenteren“ Beregnung mit besseren Informationen für Entscheidungen des Gärtners.

2 Technische Weiterentwicklungen

Rohrberegnung

Nach wie vor ist die Rohrberegnung im Gartenbau das zentrale Beregnungsverfahren. Es wird individuell eingesetzt, sei es stationär oder mobil und sehr differenziert nach Kultur und Feldgröße. Generelle Verbesserungen in der Wasserverteilung sind kaum möglich. Ein Hinweis ist die Verkürzung der Regnerabstände auf der Rohrleitung von 18 auf 12 m. dadurch wird die Wasserverteilung etwas gleichmäßiger.

Düsenwagentechnik

Mobile Beregnungsmaschinen mit Großflächenregner werden nach wie vor eingesetzt. Die erhoffte Ablösung des Großflächenregners durch den Düsenwagen ist bisher nicht erfolgt. Trotz guter Wasserverteilung und erheblicher Energieeinsparung mit dem Düsenwagen wird die Düsenwagentechnik zu wenig eingesetzt. Handhabung und Reduzierung des Arbeitszeitbedarfes sind wesentlich verbessert worden (Abbildung 1). Mit mehr technischen Details am Düsenwagen wurde leider auch der Kapitalbedarf höher.



Abbildung 1
Düsenwagen in Verbindung mit einer mobilen Beregnungsmaschine zur besseren Wasserverteilung

Teilflächenspezifische Wasserverteilung

Überlegungen und Entwicklungen zu precision farming schließen inzwischen Beregnungstechnik und Beregnungsmanagement ein. Ziel der teilflächenspezifischen Beregnung ist es, durch Berücksichtigung der ortsspezifischen Heterogenität des Bodens und des Pflanzenbestandes den produktbezogenen Aufwand – hier Wasser und Energie – zu reduzieren und Umweltziele besser zu berücksichtigen.

Mit zunehmenden Schlaggrößen um die 20 ha, die von Kreisberegnungsmaschinen beregnet werden, wird eine teilflächenspezifische Beregnung notwendig. Um eine Strategie zur teilflächenspezifischen Beregnung aufzubauen, sind zunächst die Anfertigung und Bestimmung der Managementzonen auf dem Feld notwendig. Der Weg zur Applikationskarte geht z. B. über die Hofbodenkarte, der Messung der elektrischen Leitfähigkeit (EM 38) oder Luftbilddaufnahmen und die Entnahme von Bodenproben zur punktuellen Bestimmung der Bodenwasserspeicherfähigkeit.

¹ Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, heinz.sourell@vti.bund.de.

Die technische Umsetzung erfolgt zurzeit mit mobilen Beregnungsmaschinen und mit Kreisberegnungsmaschinen. Mobile Beregnungsmaschinen beregnen pro Aufstellung ca. zwei Hektar, Kreisberegnungsmaschinen ab 20 ha. Entsprechend sind unterschiedliche Lösungswege zu verfolgen. Für mobile Beregnungsmaschinen wird eine Variation der Einzugs geschwindigkeit über die zu beregnende Feldlänge durchgeführt. Bei konstantem Durchfluss ergibt sich daraus eine unterschiedliche Beregnungshöhe. Die differenzierte Einstellung der Geschwindigkeit pro Schlag kann an der Maschine gespeichert oder vom Betriebsleiter eingestellt werden. Viele Beregnungsfirmen bieten diese Geräte an.

Bei Kreisberegnungsmaschinen wird z. B. eine Ansteuerung jeder Düse im Abstand von 3 bis 4 m verfolgt. Grundlage für das Öffnen bzw. Schließen der einzelnen Düse ist die Applikationskarte (Abbildung 2). Die Fahrgeschwindigkeit der Maschine soll konstant sein. Variiert wird der Durchfluss und somit die Beregnungshöhe entlang der Traverse (Radius) der Kreisberegnungsmaschine.

Erste Betriebe planen die Ausrüstung ihrer Maschinen mit dieser teilflächenspezifischen Wasserverteilungstechnik. Konkrete Angaben zur Wasser- und Energieeinsparung können heute noch nicht gemacht werden. Die Versuche werden fortgesetzt.

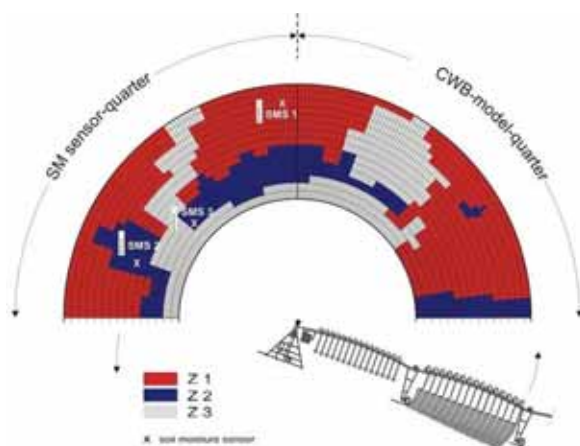


Abbildung 2
Aufbau einer teilflächenspezifischen Kreisbewässerung mit drei Managementzonen

Tropfbewässerung

Die Tropfbewässerung ist seit Jahrzehnten bekannt, wird aber noch zu wenig im Gartenbau eingesetzt. Die Vorteile einer guten Wasserverteilung, wobei die Pflanze trocken bleibt, und die erhebliche Energieeinsparung durch den geringen Betriebsdruck sind bekannt. Begrenzt wird der Einsatz durch den hohen Kapitalbedarf und den Arbeitszeitbedarf für die Auf- und Abbauarbeiten. In Dauerkulturen findet der Einsatz vermehrt statt.

Mehrere Entwicklungen zielen darauf ab, den zukünftigen Einsatz für den Landwirt oder den Gärtner interessanter zu machen, zwei Beispiele seien genannt:

Beim Einsatz der Tropfbewässerungsrohre zur Unterflurbewässerung treten verstärkt Probleme beim Einwachsen von Feinwurzeln in die Tropflochöffnungen auf. Das kann in kurzer Zeit dazu führen, dass die Tropflöcher zuwachsen und damit eine gleichmäßige Wasserausbringung verhindert wird. Eine neue Entwicklung, das System Rootgard, soll die Tropfer und die nähere Umgebung von Wurzeln freihalten.

Intensiv wird an biologisch abbaubaren Kunststoffen gearbeitet, aus denen Tropfrohren hergestellt werden können (Abbildung 3). Die Idee besteht darin, die Tropfrohren nur noch auszulegen. Vor der Ernte soll sich das Tropfrohr auf dem Feld auflösen. Somit würde der gesamte Arbeitszeitblock des Abbaus entfallen, aber auch die Logistik des Transportes vom Feld zum Hof und der Winterlagerung.



Abbildung 3
Stationärer Aufbau einer Tropfbewässerungsanlage in Kartoffeldämmen

Mobile Tropfbewässerung

Mit der mobilen Tropfbewässerung können Wasserverluste vermieden und der Betriebsdruck zur Wasserverteilung gesenkt werden, ebenso wie bei der stationären Tropfbewässerung. Der geringe flächenbezogene Kapitalbedarf und der sehr niedrige Arbeitszeitbedarf der Kreis- und Linearberegnungsmaschinen führten dazu, diese Technik als Träger- und Wasserzuführungssystem für die Tropfrohren zu verwenden (Abbildung 4). Anstelle von Regner oder Düsen werden an den Maschinen handelsübliche Tropfrohren angeschlossen. Das neu entwickelte Bewässerungsverfahren „die mobile Tropfbewässerung“ verbindet die genannten Vorteile der Kreis- oder Linearberegnung und die der Tropfbewässerung. Diese Technik ist bisher ab 20 ha Feldgröße nutzbar. Zurzeit wird die Ausrüstung der Düsenwagen mit mobiler Tropfbewässerung erprobt, damit diese Technik auch für kleinere und mittlere Betriebe zur Verfügung steht.



Abbildung 4
Linearberegnungsmaschine mit der Ausrüstung zur mobilen Tropfbewässerung

Beregnungsmaschinenmanagement

Die Überwachung und Steuerung von Maschinen über Fernwirkheiten und mobilen Telefonen nimmt zu. In Deutschland wird schon von fünf Firmen Kommunikationstechnik für Beregnungsanlagen angeboten. Die Schaltung von Pumpanlagen vom Mobil-Telefon gehört heute fast schon zum Standard. Für die Beregnungsmaschinen werden spezifische Firmenentwicklungen angeboten, die sich nach Funktion zusammenfassen lassen:

- Meldungen, wie z. B. Neuanlauf der Beregnung, Ende der Beregnung, Störung der Beregnung, Störung der Energieversorgung (Batterie),
- aktive Steuerungen, wie z. B. Pumpenschaltungen, Beregnungsventile öffnen oder schließen, Geschwindigkeitseinstellungen, Maschine starten/stoppen und
- Abruffunktionen, wie z. B. verbleibende Beregnungszeit, aktueller Durchfluss oder Druck, Wassermenge pro Feld, Niederschlag, Position der Maschine.

Ziele solcher Ausrüstungen sind die

- zeitnahe Information des Betriebsleiters,
- bessere Grundlage für Entscheidungen,
- gezieltere Beregnungssteuerung und
- bessere Beregnungsmaschinenauslastung.

Daraus ergibt sich eine höhere Flächenleistung der Maschinen, die zu niedrigeren Verfahrenskosten führt. Mit der mobilen und zeitnahen Kontrolle der Beregnungsabläufe kann der Gärtner schneller auf Störungen reagieren, die evtl. zu einer zu hohen oder zu niedriger Beregnung führen. Wassereinsparungen lassen sich daraus ableiten. Auch die Verbindung zum Beregnungsmanagement bietet sich an.

Regner

Eine selbsttätige Sektorumschaltung des Großflächenregners wurde entwickelt, damit eine manuelle Umstellung des Regnersektors nach dem Beginn der Beregnung entfallen kann. Das Problem bestand darin, dass ein Großflächenregner beim Aufbau an Straßen oder öffentlichen Wegen erst einmal feldeinwärts regnen muss, damit der Weg oder die Straße trocken bleibt. Zum Ende der Beregnung muss aber der Regnersektorwinkel genau in die andere Richtung verstellt sein, damit die am gegenüberliegenden Feldrand liegenden Wege oder Straßen ebenfalls trocken bleiben. Bislang musste man die Sektorverstellung manuell im nassen Feld und im Regnerbetrieb durchführen. Die Unfallgefahr durch schnellreckschlagende Regner im Sektorbetrieb ist nicht zu unterschätzen. Die angebotene Lösung der Firma Cordes löst dies rein mechanisch selbsttätig.

Der Regnerhersteller Komet löst dieses Problem mit einer „intelligenten Elektronik“ und dem Produkt „Vector Control“. Der Sektorwinkel des Regners kann für zwei Einstellungen frei wählbar

zwischen 0 und 360 Grad programmiert werden. Ein Stellmotor arbeitet nach diesem Programm. In Abhängigkeit von der programmierten Wurfweite des Regners und der Einzugs geschwindigkeit beginnt die Verstellung selbsttätig. Ein kleines Solarmodul und eine Batterie versorgen den Motor mit Energie.

Wassereinsparungen lassen sich in einer Größenordnung von ca. 2 % erzielen, weil Feldrandüberschreitungen des Wasserstrahls minimiert werden können.

3 Ausblick

Die Forschung und die Beregnungsindustrie arbeiten ständig an Neu- und Weiterentwicklungen, die dazu führen, dass die Anlagen einfacher zu handhaben sind und die Betriebssicherheit erhöht wird. Aber auch der Gedanke der Wasser und Energieeinsparung wird fortlaufend verfolgt.

Die Beregnungstechnik wird für Deutschland weiter vielfältig bleiben. Bei Gemüse- und Spezialkulturen werden bei weiter steigenden Energiekosten die Tropfbewässerungsverfahren vermehrt die Rohrverfahren ersetzen. Besonderheiten, wie das genannte Unterflurbewässerungssystem, sind eine beachtenswerte Weiterentwicklung, um das Wasser noch gezielter den Pflanzen zur Verfügung zu stellen. In der Landwirtschaft wird die Kreisberegnung mit der Wasserverteilung über Düsen und später über Tropfrohren an Bedeutung gewinnen. Die Düsenwagentechnik mit Tropfrohren muss weiter verfolgt werden.

Neben der Technik wird sich das Beregnungsmanagement stärker etablieren. War bisher teilweise der Druck zur gezielten Beregnung noch nicht vorhanden, so ist durch die Energiepreisentwicklung ein Zwang zur präzisen Beregnung entstanden. Eventuell ließe sich durch ein präzises Beregnungsmanagement der Beregnungsbeginn präzisieren und die eine oder andere Beregnungsgabe einsparen.

Freiland Tropfbewässerung im Gemüsebau und weiteren gärtnerischen Kulturen

Dr. Andreas Teichert ¹

Tropfbewässerungsverfahren gehören zu den Bewässerungsverfahren, die in allen Sparten des Gartenbaus, sowohl im geschützten Anbau, wie auch im Freilandanbau eingesetzt werden. Nach

DIN 19655 gehört die Tropfbewässerung neben den Sprühbewässerungsverfahren und den Kleinregnerverfahren zu den sogenannten Mikrobewässerungsverfahren (Abbildung 1).

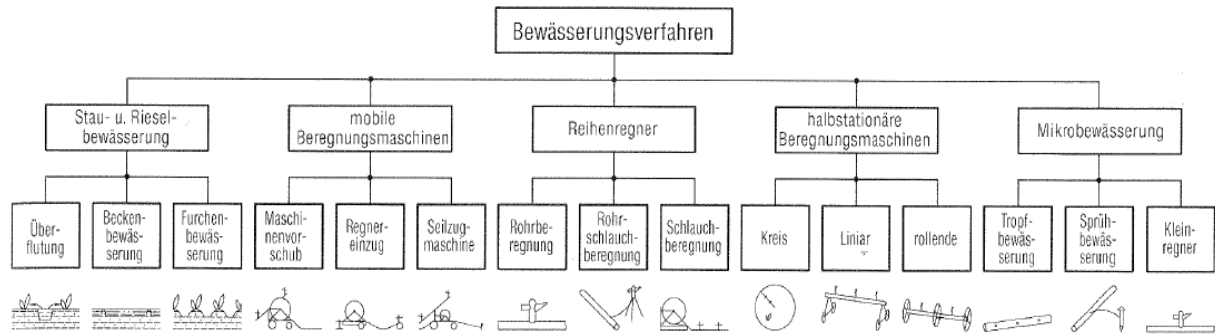


Abbildung 1
Bewässerungsverfahren im Freiland (DIN 19655)

Tropfbewässerungsverfahren zeichnen sich dadurch aus, dass bei geringem Betriebsüberdruck das Wasser in Form von Tropfen abgegeben wird mit dem Ziel, den Wassergehalt des Bodens nahe der Feldkapazität zu halten (Tabelle 1).

Tabelle 1
Richtwerte der Mikrobewässerung
(nach DIN 19655)

Verfahren	Durchfluß l/h	Druck bar	benetzte Fläche m ²
Tropfbewässerung	1 bis 4	0,2 bis 1,0	punktförmig
Sprühbewässerung	10 bis 160	über 1,0	0,75 bis 12,0
Kleinregner	über 150	über 1,0	12,0 bis 75,0

Gegenüber den häufig verwendeten Verfahren der Überkopfbewässerung mit Regnern oder Düsen ist für die Tropfbewässerung die wasser- und energieeffiziente Ausbringung und Verteilung kennzeichnend. So werden Wasserverluste

durch Verdunstung, Windabdrift und die damit verbundene schlechte Wasserverteilung unterbunden. Als nachteilig müssen jedoch grundsätzlich der hohe Investitionsbedarf und der hohe Arbeitskräftebedarf für Auf- und Abbau der Systeme betrachtet werden, welche einer größeren praktischen Verbreitung entgegenstehen. Schätzungen gehen davon aus, dass ca. 2 % der weltweit bewässerten Ackerfläche mit Tropfbewässerungssystemen bewässert wird (ICID, 2006, in LFL-Informationen 2008). In den USA betrug der Anteil im Jahr 2006 bereits 6,8 %.

Aufgrund der genannten ökonomischen und technischen Besonderheiten werden Tropfbewässerungssysteme insbesondere im Bereich der Sonderkulturen, bei hochwertigen Kulturen und solchen mit relativ langer Standzeit auf dem Feld eingesetzt. Dazu gehören im Gemüsebau Einlegegurken oder Spargel, im Obstbau Erdbeeren, Himbeeren, Heidelbeeren oder Johannisbeeren. In jüngster Zeit finden sich Tropfbewässerungsanlagen verstärkt im Wein- und Hopfenanbau.

¹ Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG Heidelberg), Diebsweg 2, 69123 Heidelberg
andreas.teichert@lv.g.bwl.de.

Tropfbewässerungsanlagen bestehen i. d. R. aus drei Systembestandteilen:

- (1) die Kopfeinheit beinhaltet Armaturen wie Steuerventil, Druckminderer, Filter, Wassermesser, Düngereinmischgeräte und die notwendigen Verbindungsstücke;
- (2) die Zuleitungen beinhalten Haupt- und Verteilerleitungen sowie die notwendigen Verbindungsstücke;
- (3) das Tropfsystem besteht aus Tropfrohren, Tropfschläuchen sowie den Anschluss- und notwendigen Verbindungsstücken.

Je nach Anlagentyp können diese Hauptbestandteile ergänzt oder reduziert werden. Abbildung 2 zeigt den schematischen Aufbau einer Tropfbewässerungsanlage für eine Flächengröße von 5 ha im Erdbeeranbau.

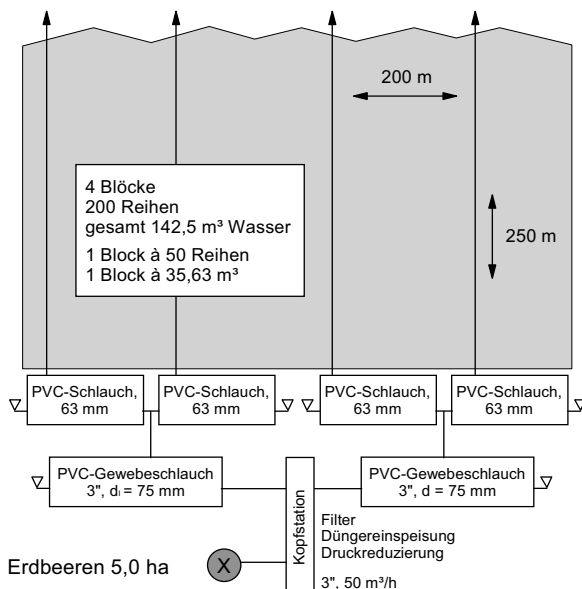


Abbildung 2
Schematische Darstellung einer Tropfbewässerungsanlage für Erdbeeren der Schlaggröße 5 ha

Für Projektierung und ordnungsgemäße Funktion einer Tropfbewässerungsanlage sind verschiedene Faktoren zu beachten. So beeinflusst die Steigung der Fläche die Wahl zwischen einem druck- bzw. nicht druckkompensierenden System sowie die mögliche Verlegelänge eines Tropfrohrs. Druckkompensierende Tropfer vermögen innerhalb eines bestimmten Druckbereiches nahezu konstante Wassermengen auszubringen. Die DLG-Prüfstelle in Groß-Umstadt führt auf Antrag Prüfstandsmessungen nach Norm ISO 9260/9261 durch. Hier können sich

Hersteller/Vertreiber von Tropfsystemen die Güte ihrer Produkte hinsichtlich Wasserdurchflussrate und Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung bestätigen lassen. Bei Einsatz von Tropfbewässerungssystemen bilden sich im Boden charakteristische Feuchtigkeitszonen, sogenannte „Bewässerungszwiebeln“, aus, die je nach Bodenart idealisiert eine runde bis länglich-ovale Form aufweisen. Diese bodenartabhängige Ausprägung bestimmt neben den Pflanzabständen die Anzahl Tropfstellen pro Quadratmeter (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2

Pflanzabstände, Tropferabstand und Wasserdurchfluss bei Gemüse und Sonderkulturen

Kultur	Pflanzabstand (in der Reihe) m	Tropfer- abstand m	Wasser- durchfluß l/h
Einlegegurken	0,3 - 0,4	0,2 - 0,3	0,5 - 1,0
Spargel	0,4	0,3	0,6 - 1,4
Erdbeeren	0,3	0,2 - 0,3	0,6 - 1,0
Reben	1,0	0,5	1,0 - 1,6
Hopfen	1,5	0,8	1,6

Bei Zusatzbewässerung mit Tropfbewässerungssystemen ist die Fertigation, d. h. die Applikation wasserlöslicher Dünger mit dem Bewässerungswasser, empfehlenswert. Entsprechende Bauteile zur Düngereinspeisung können relativ einfach im Bypass-Verfahren in die Anlagen integriert werden.

Die Minimierung der verwendeten Rohrdimensionen in der Anlage bzw. die Adaption an die verfügbare Wassermenge kann zur Aufteilung der Bewässerungsfläche in mehrere Bewässerungsblöcke führen (vgl. Abbildung 2). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Wasserqualität, die sich z. B. in der sich anschließenden Filtertechnik und dem Tropfertyp ausdrückt. Für die reibungslose Funktion ist eine effiziente und abgestimmte Filtertechnik unumgänglich. Problematische Wasserqualitäten verursacht durch z. B. sehr hohe Partikelfrachten führen zu einer entsprechend aufwendigen Filtertechnik, die sich in deutlich höheren Investitionskosten niederschlägt. Wesentliche Aspekte zu Planung, Installation, Betrieb und Wartung von Tropfbewässerungsanlagen sind zusammenfassend bei Mosler (1998) nachzulesen.

Fazit

Tropfbewässerungsverfahren stellen hinsichtlich der Forderung nach Energie- und Wassereinsparung sicherlich einen hohen Standard in der Bewässerungstechnologie dar (vgl. Beiträge in diesem Heft). Die Systeme sind ausgereift und in der Praxis erprobt. Die aufgezeigten Nachteile, insbesondere der vergleichsweise hohe Kapitalbedarf und der hohe Arbeitsbedarf für Installation und Deinstallation begrenzen den Einsatz jedoch in großflächigen gartenbaulichen und landwirtschaftlichen Kulturen. Zukunftsweisende Entwicklungen wie die mobile Tropfbewässerung (Sourell und Thörmann, 2008) verknüpfen die Vorteile der Tropfbewässerung mit denen von Linearberegnungsmaschinen und lassen eine verstärkte Nutzung dieser Technologie in der Zukunft erwarten.

Literaturverzeichnis

- DIN 4047 (1989) Landwirtschaftlicher Wasserbau - Begriffe Bewässerung. Teil 6. Beuth Verlag Berlin Wien Zürich
- DIN 19655 (1996) Bewässerung - Aufgaben, Grundlagen, Planung und Verfahren. Beuth Verlag Berlin Wien Zürich
- Mosler T (1998) Bewässerungstechnik Spezial - Tropfbewässerungsanlagen. Monatszeitschrift 01/1998 - 05/1998
- Sourell H, Thörmann HH (2008) Mobile Tropfbewässerung – ein neues Bewässerungsverfahren für den Gemüsebau? Monatsschrift, Band 2008, Seite 14-16, ISSN: 1435-5396 Sonderheft Bewässerung und Beregnung im Gartenbau. Monatszeit

Bewässerung in Gewächshäusern bei Bodenkulturen und in erdelosen Systemen

Dr. Heinz-Dieter Molitor¹

1 Einleitung

Umweltfreundliche Kulturverfahren waren in den 1980er und bis in die 1990er-Jahre hinein ein bedeutendes Thema in der Forschung und in der gärtnerischen Praxis. Zahlreiche Versuche sowie Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in Betrieben (Molitor, Wohanka, 1993 und 1995) haben dabei zu einer deutlichen Veränderung der Kulturweise insbesondere im geschützten Anbau von Gemüse und Zierpflanzen geführt. Die rasche Entwicklung hin zu erdelosen Kulturverfahren und geschlossenen Bewässerungsverfahren war dabei weniger dem anfänglichen Bestreben nach einer umweltschonenden Produktion, als den handfesten Vorteilen bei der Arbeitswirtschaft, der Vermeidung bodenbürtiger Krankheiten und dem verbesserten Kulturerfolg geschuldet. Parallel dazu wurde versucht auch die Kultur im Boden umweltfreundlicher zu gestalten und das Prinzip der „ariden Bodenkultur“ entwickelt (Kaminski und Hendriks, 1994)

Mit diesen Veränderungen wurden bereits entscheidende Weichen zu einer effizienteren Nutzung des Wassers gestellt. Aus diesem Grund sind die Produktionsbereiche im geschützten Anbau vergleichsweise gut auf die infolge der Klimaveränderung sich abzeichnende Verknappung des Produktionsfaktors Wasser vorbereitet.

In der vorliegenden Veröffentlichung sollen die wesentlichen Grundlagen der Bewässerung im geschützten Anbau dargelegt werden, ohne im Detail auf einzelne Verfahren einzugehen. Im Einzelnen sollen dabei folgende Fragen beantwortet werden:

- Durch welche Maßnahmen lässt sich eine effiziente Wassernutzung im geschützten Anbau erreichen.
- Hat die Kultur im Boden in diesem Zusammenhang eine Zukunft?
- Welche Bedeutung hat die Regenwassernutzung im Vergleich zur technischen Wasseraufbereitung?
- Welche Konsequenzen ergeben sich bei der Regenwassernutzung als Folge der Klimaveränderung?

2 Anforderungen an moderne Bewässerungssysteme

Moderne Bewässerungsverfahren müssen vor allem eine effiziente Nutzung des Gießwassers gewährleisten. Direkte Verluste durch Sicker- oder Dränwasser infolge Überschussbewässerung müssen sicher verhindert und indirekte Verluste durch Evaporation auf ein Minimum reduziert werden. Am besten wird dies durch ein **geschlossenes Bewässerungsverfahren** erreicht.

Eine weitere Forderung betrifft die bedarfsgerechte Wasserzufuhr. Besondere Schwierigkeiten ergeben sich dabei durch unterschiedliches Wachstum der Pflanzen sowie nicht einheitliche klimatische Bedingungen innerhalb eines Bestandes im Gewächshaus. Daraus resultieren deutliche Abweichungen von einem mittleren Wasserbedarf. In Verbindung mit einer geschlossenen Bewässerung lässt sich dieses Problem vergleichsweise einfach durch eine regelmäßige **Überschussbewässerung** lösen.

Einfache Konstruktion, zuverlässige Funktion und kostengünstige Installation sind weitere Anforderungen. Nicht unterschätzt werden darf in diesem Zusammenhang der jeweilige erzielbare Zusatznutzen. Dieser resultiert beispielsweise aus Verbesserungen beim vorbeugenden Pflanzenschutz oder auch durch arbeitswirtschaftliche Vorteile. Bei ganzheitlicher Betrachtung und unter Berücksichtigung der skizzierten Anforderungen an ein modernes Bewässerungssystem lässt sich dies am einfachsten mit **erdelosen Kulturverfahren** erreichen. Im Vergleich dazu gibt es bisher für die Kultur im Boden im geschützten Anbau keine überzeugende Lösung. Im Bemühen die Kultur im Boden zu erhalten, wurde das Konzept der so genannten „ariden Bodenkultur“ entwickelt. Dieser einseitige Lösungsansatz erwies sich sehr schnell als Irrweg. In Versuchen setzte bereits nach vergleichsweise kurzer Kulturzeit die zu erwartende Salzanreicherung im Boden ein (Richter, Steinke, 1998; Schrader, Scharpf, 1994). Der Mess- und Regelaufwand war hoch und das Vertrauen in die Funktionsweise wegen der offensichtlich nicht geschlossenen Bewässerung gering. Das Verfahren kam

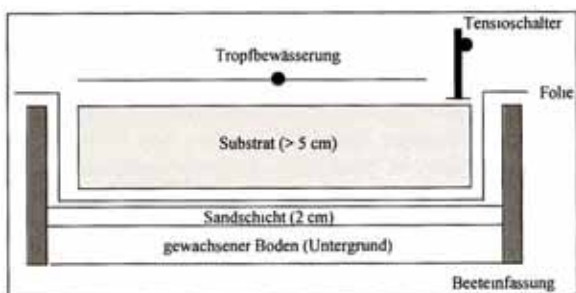
¹ Forschungsanstalt Geisenheim, Von Lade-Straße 1, 65366 Geisenheim, molitor@fa-gm.de.

deshalb über einzelne Versuchsanwendungen nicht hinaus und fand keinen Eingang in die gärtnerische Praxis.

3 Bewässerungssysteme bei erdelosen Kulturverfahren und Topfkulturen

Systeme ohne Überschussbewässerung

Im Vergleich zur Bodenkultur ist die über Feuchtefühler (Tensiometer) geregelte so genannte „streng bedarfsorientierte Bewässerung“ bei bestimmten erdelosen Verfahren ein durchaus praktikabler Lösungsansatz (LEINFELDER, RÖBER 1998). Auf diese Weise lassen sich nach unten abgedichtete Beete mit dünner Substratauflage (Dünnschichtkultur), in Reihe aufgeschüttete Substratdämme oder substratgefüllte Rinnen bewässern, ohne dass Dränwasser anfällt (Abb. 3.1). Das Sammeln und Aufbereiten von Dränwasser entfällt. Bedingung ist allerdings eine horizontale Ausrichtung der Grundfläche und eine zeitlich begrenzte Nutzung des Substrates.



Quelle: Leinfelder, Röber (1998).

Abbildung 3.1
Systemaufbau einer geschlossenen Dünnschichtkultur

Systeme mit Überschussbewässerung

Geschlossene erdelose Kulturverfahren ermöglichen es die Bewässerung, ohne den Nachteil von Wasser- und Nährstoffverlusten, im Überschuss durchzuführen. Auf diese Weise lässt sich unterschiedlicher Wasser- und Nährstoffverbrauch einzelner Partien oder Pflanzen bei jedem Bewässerungsvorgang korrigieren und die Ernährung zentral an einer Stelle messen und anpassen. Wegen dieser Vorteile haben sich diese Systeme in der Praxis durchgesetzt. Dabei kommen je nach Produktionsbereich unterschiedlich Verfahren in Betracht.

- Überkopfbewässerung mittels Düsen oder Gießwagen → Vermehrung und Jungpflanzenanzucht mit Dränwasserrecycling
- Tropfsysteme → Kultur von Schnittblumen und Gemüse in Beeten, einzelnen Einheiten oder als Einzelpflanzen in Containern mit Dränwasserrecycling
- Mattenbewässerung → Topfkulturen auf umgerüsteten vorhandenen Betontischen;
- Anstaubewässerung → Topfkulturen auf betoniertem Boden oder auf Ebbe/Flut-Tischen
- Fließrinnen → Topfkulturen, Mutterpflanzen in Steinwollwürfeln, NFT-Kultur von Fruchtgemüse

Die Wahl des Bewässerungssystems hängt im Einzelfall von mehreren Faktoren ab:

- Anforderungen des jeweiligen Kulturverfahrens
- Risikolage bei Krankheiten und der Krankheitsverbreitung
- Betriebliche Rahmenbedingungen
- Verfügbarkeit und Qualität des Gießwassers

So werden Gerbera wegen der Gefahr von Krankheiten vorzugsweise als Einzelpflanzen in Containern kultiviert und diese aus arbeitswirtschaftlichen Gründen in aufgeständerten Systemen platziert mit Tropfbewässerung. Alternativ kann die Kultur in kleinen Einheiten von wenigen Pflanzen erfolgen, beispielsweise in Steinwollstreifen.

Fruchtgemüsearten werden hingegen auch in größeren zusammenhängenden Einheiten oder in Rinnen im NFT-Verfahren kultiviert.

Topfkulturen werden wegen der hohen Flexibilität vorzugsweise auf Tischen mit Anstaubewässerung kultiviert. Anstaubewässerungssysteme lassen sich auch für die zeitweise Kultur von Schnittblumen in Multitopfplatten nutzen. Bei Kulturen mit hohem Risiko von Blattkrankheiten sind wegen der besseren Durchlüftung des Pflanzenbestandes eher Fließrinnensysteme geeignet.

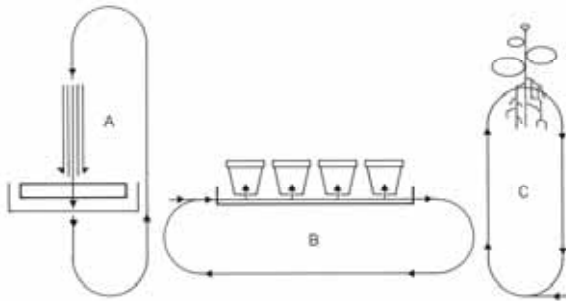
Die vor allem bei Topfkulturen praktizierte Mattenbewässerung auf umgerüsteten Betontischen trägt je nach Mattenstärke zu einer Erhöhung der Luftfeuchte bei, was teilweise erwünscht ist. Effizienter und zielgerichteter wäre allerdings eine von der Bewässerung unabhängige technische Lösung zur Beeinflussung der Luftfeuchte.

In der Praxis werden die skizzierten Bewässerungsverfahren teilweise aus unterschiedlichsten

Gründen abgewandelt. So werden Vliesmatten in Rinnen oder auf Ebbe/Fluttischen eingelegt um eine bessere Wasserverteilung, das Zurückhalten von Schmutzpartikeln oder eine Verlängerung des Bewässerungsintervalls zu erreichen. Daraus können sich im Einzelfall Nachteile, etwa im Hinblick auf das Risiko der Ausbreitung von Krankheiten, ergeben.

Richtung der Wasserbewegung

Abhängig von der Fließrichtung des Wassers (Abbildung 3.2) ergeben sich Konsequenzen im Hinblick auf das Risiko der Verbreitung von Krankheiten (Wohanka, 1998a) und auf die Pflanzenernährung (Molitor, 1998).



Quelle: Eigene Darstellung.

Abbildung 3.2
Wasserbewegung bei Systemen mit Überschussbewässerung

- Beispiel A gibt die Situation bei Tropfsystemen wieder, bei denen ein Teil des Gießwassers das Substrat und die Wurzeln der Pflanzen passiert und das anfallende Dränwasser wieder verwendet wird. Krankheitskeime können auf diese Weise in das Dränwasser gelangen und eine Entkeimung vor der Wiederverwendung notwendig machen (Wohanka, 1998b). Nährstoffe und Salze werden bei ausreichendem Durchfluss im Substrat nicht angereichert, so dass sich beides in der Umlauflösung leicht kontrollieren lässt. In nicht durchströmten Substratbereichen kann es allerdings zu einer partiellen Anreicherung und Ablagerung (Entsorgung) von Salzen kommen.
- Beispiel B stellt die Situation bei der Anstaubewässerung dar mit einseitig gerichteter Wasserbewegung in den Topf hinein. Bei begrenzter Anstaudauer ist die Gefahr, dass Krankheitskeime aus einem Topf in die umlaufende Nährlösung gelangen, als gering

einzustufen. Im Topf und hier insbesondere in der obersten Zone können sich Nährstoffe und Salze anreichern, während die umlaufende Nährlösung unverändert bleibt.

- Beispiel C zeigt die Situation bei der NFT-Kultur und anderen Verfahren bei denen das Wurzelsystem der Pflanzen unmittelbar mit der umlaufenden Nährlösung in Berührung kommt. Krankheitskeime können auf diese Weise rasch verbreitet werden.

4 Anforderungen an die Gießwasserqualität

Geschlossene Bewässerungssysteme erfordern salzarmes Gießwasser (MOLITOR 1994). Dies gilt insbesondere für Durchflusssysteme, substratfreie Verfahren und Kulturen mit mehrjähriger Kulturdauer. In diesen Fällen ist die Nutzung von Regenwasser unerlässlich, um einer Salzanreicherung vorzubeugen. In der gärtnerischen Praxis wird jedoch häufig noch eigenen Brunnen der Vorzug gegeben und eher in die technische Wasseraufbereitung investiert. Durch Regenwasser wird meist nur ein Teil des Bedarfs gedeckt, sodass im Sommerhalbjahr regelmäßig die gespeicherten Mengen zur Neige gehen und zu Brunnen- oder Leitungswasser gewechselt werden muss. Probleme bis hin zu Pflanzenschäden können dann entstehen, wenn der Wechsel plötzlich erfolgt und die Düngung nicht an die veränderte Situation angepasst wird. Dies lässt sich durch ein rechtzeitiges Verschneiden des Regenwassers mit Brunnenwasser vermeiden. Häufige Wechsel der Wasserqualität stellen hohe Anforderungen an den Kultivateur. Besser wäre es, stets mit einer konstanten Wasserqualität zu arbeiten, was ein gutes Wassermanagement erfordert. Dazu gehört auch, dass sensible Kulturbereiche, wie die Vermehrung, bevorzugt mit Regenwasser bedient werden.

Im Vergleich zur technischen Wasseraufbereitung erfordert das Sammeln von Regenwasser eine umfangreiche individuelle Planung und teils aufwändige Baumaßnahmen. Ein derartiges Projekt lässt sich nicht kurzfristig realisieren um ein akutes Wasserproblem zu beheben. Dies und der höhere Flächenbedarf trägt dazu bei, dass die Lösung vordergründig in der Verfahren der technischen Wasseraufbereitung gesucht wird. Auch diese erweisen sich nicht als problemlos, wenn das falsche Verfahren gewählt wird oder die Dimensionierung der Anlage nicht optimal ist. Die Betriebe sind bei diesen Entscheidungen

häufig überfordert und sehen sich nicht selten mit neuen Problemen konfrontiert. So kann beispielsweise die Behandlung mit Säure zu einem unerwünscht hohen Nitrat-N Eintrag in das Gießwasser führen.

5 Auswirkung der Klimaveränderung auf die Regenwassernutzung

Als Folge der sich abzeichnenden Klimaveränderung werden bei etwa gleich bleibender Jahresniederschlagsmenge längere Trockenperioden im Sommerhalbjahr und vermehrt Starkniederschläge erwartet. Dies hat Konsequenzen auf die Dimensionierung von Ableitungssystemen und auf das Speichervolumen V (m^3).

$$V = \frac{\text{Auffangfläche} \times \text{Niederschlagsmenge}}{\text{Speicherfaktor}}$$

Wurde bisher mit einem Speicherfaktor für eine Teilversorgung von etwa 8-10 und für eine Vollversorgung von 4-5 gerechnet, dürften in Zukunft niedrigere Werte in Ansatz gebracht werden. Ziel muss sein kurzfristig anfallende große Niederschlagsmengen zu speichern und nach Möglichkeit die gesamten Niederschläge im Winterhalbjahr zu erfassen. Für eine Vollversorgung kann es im Einzelfall auch sinnvoll sein Überschüsse aus niederschlagsreichen Jahren für das Folgejahr zu speichern.

Sofern zusätzlicher Bedarf an Regenwasser besteht, ist es sinnvoll weitere Auffangflächen anzuschließen, wobei unter Umständen auch Dachflächen von Nachbargrundstücken in Betracht kommen können. Vorsicht ist geboten bei befestigten Hof- und Wegeflächen, wenn diese in Kontakt mit Kulturflächen oder Kulturpflanzen stehen. In diesem Fall kann eine Kontamination mit Krankheitserregern nicht ausgeschlossen und eine Entkeimung des Wassers erforderlich werden.

Aus ökologischen Gründen und wegen der konstant hervorragenden Qualität erscheinen Investitionen in die Regenwassernutzung sinnvoller, als in die technische Wasseraufbereitung.

6 Fazit

Der Anbau von Gemüse und Zierpflanzen im geschützten Anbau ist vergleichsweise gut auf die Folgen der sich abzeichnenden Veränderung des Klimas vorbereitet. Geschlossene Bewässerungsverfahren in Verbindung mit der erdelosen Kultur haben in den vergangenen 20 Jahren zu einer deutlichen Steigerung der Effizienz der Wassernutzung beigetragen. Weitere Einsparungen sind dort möglich, wo noch nicht alle Produktionsbereiche mit geschlossenen Bewässerungssystemen versehen sind, sowie bei den Betrieben, die in dieser Richtung aus unterschiedlichen Gründen noch keine Anstrengungen unternommen haben. Eine gesetzliche Verpflichtung dazu besteht bisher nicht.

Für die Kultur im Boden zeichnet sich weiterhin keine durchgreifende Lösung ab, außer die der konsequenten Umstellung auf erdelose Kultur.

Entwicklungsbedarf im Unterglasbereich besteht in der Ausweitung der Regenwassernutzung. Unter dem Eindruck der sich abzeichnenden Klimaveränderung sind dabei eine Erweiterung der Auffangflächen und der Speichervolumen vorrangig, um eine weitgehende Vollversorgung auch in trockenen Jahren zu gewährleisten. Aus ökologischen Gründen sollte die Nutzung von natürlich anfallendem Regenwasser Vorrang vor der technischen Wasseraufbereitung haben. Die Regenwassernutzung macht zudem unabhängig von möglichen zukünftigen Kostensteigerungen bei Brunnen- und Leitungswasser, die sich möglicherweise aus der Umsetzung der neuen EU Wasserrahmenrichtlinie ergeben werden.

Literaturverzeichnis

- Kaminski R, Hendriks L (1994) Exaktes Bewässern schont Umwelt und sichert Ertrag. Deutscher Gartenbau 48(30). 1742-1744
- Leinfelder J, Röber R (1998) Geschlossene Systeme zur Bewässerung und Düngung bei Schnittblumen. In: Geschlossene Bewässerungsverfahren; Taspo Praxis Thalacker Medien Braunschweig. S. 23-40
- Molitor HD, Wohanka W (1993) Erfahrungen mit geschlossenen Bewässerungssystemen im Zierpflanzenbau. I. Rosen in Steinwolle. KTBL Arbeitsblatt 0672
- Molitor HD (1994) Je weniger Salz, desto besser. Deutscher Gartenbau 48(30); 1752-1755
- Molitor HD (1994) Geschlossene Bewässerungssysteme. – KTBL-Schrift 359; 99-111
Molitor HD, Wohanka W (1995) Erfahrungen mit geschlossenen Bewässerungssystemen im Zierpflanzenbau. III. Mutterpflanzen in Steinwollwürfeln mit Fließrinnenbewässerung. KTBL Arbeitsblatt 0679
- Molitor HD (1998) Konsequenzen geschlossener Bewässerung im Hinblick auf die Pflanzenernährung. In: Geschlossene Bewässerungsverfahren; Taspo Praxis Thalacker Medien Braunschweig; S. 100-111
- Richter M, Steinke W (1998) Aride Gerberakultur ohne Ertragseinbußen. Gärtnerbörse 98(4); Spezial: Dünger und Substrate. S. 21-23
- Schrader R, Scharpf HC (1994) Auf die Wasserqualität kommt es an. Deutscher Gartenbau 48(30); 1748-1751
- Wohanka W (1998a) Geschlossene Kulturverfahren im Zierpflanzenbau aus Sicht des Pflanzenschutzes. In: Geschlossene Bewässerungsverfahren; Taspo Praxis Thalacker Medien Braunschweig. S. 112-121
- Wohanka W (1998b) Wasserentkeimung. In: Geschlossene Bewässerungsverfahren; Taspo Praxis Thalacker Medien Braunschweig. S. 122-133

Bewässerungssteuerung bei Gemüse im Freiland

Prof. Dr. Peter-Jürgen Paschold, Jürgen Kleber, Norbert Mayer¹

1 Einleitung

Viele Gemüsearten reagieren wesentlich sensibler auf Fehler bei der Wasserversorgung als landwirtschaftliche Arten. Die Folge von Wasserstress kann ein Totalausfall der Ernte sein. Wassermangel in einer kurzen sensiblen Entwicklungsphase kann z. B. bei Kopfsalat zu Blattnekrosen oder vergilbten Blättern führen, die die gesamte Ware unverkäuflich machen. Bei Blumenkohl bildet sich ein zu kleiner Blattapparat, was mangelnde Blumengrößen und unzureichende Blumendeckung verursacht. Ertragsminderung gibt es bei allen Arten. Durch die Bewässerung können diese Probleme vermindert werden, doch werden beim Festlegen der Bewässerungstermine und Einzelgabenhöhen oft erhebliche Reserven verschenkt.

2 Anforderungen an die Bewässerungssteuerung

In Deutschland bewässern die Anbauer häufig dann, wenn es ihren Erfahrungen entspricht und so, wie es betriebswirtschaftlich am besten einzuordnen ist. Doch in Trockenzeiten reichen die Wassermengen teilweise nicht mehr aus, um alle Ansprüche zu erfüllen. Zudem wird im Rahmen der EU-Wasserrahmenrichtlinie die Forderung nach einem objektiv begründeten Wassereinsatz erhoben. Wird dieser vorgenommen, so wird auch der Schutz der Umwelt am besten gewährleistet.

Der sachgerechte Zusatzwassereinsatz erfordert die Berücksichtigung einer Vielzahl von Faktoren, die in ihrer Komplexität kaum manuell zu beherrschen sind.

Fehler der Bewässerungssteuerung werden nur sichtbar, wenn extrem falsch gehandelt wird. Darum wird für den Anbauer nicht direkt erkennbar, was an Erträgen und eventuell an Wasserressourcen verschenkt wird.

Die Chance, durch objektiv gesteuerte Bewässerung den Anbauerfolg zu vergrößern, ist größer als oft angenommen, wie zahlreiche Versuchsergebnisse belegen.

Somit stellt sich im Betrieb immer häufiger die Frage, wann es auf welchem Schlag am dringendsten ist, zu bewässern. Das wird zum einen in Abhängigkeit von betrieblichen Prioritäten entschieden, zum anderen sollte es auch pflanzenbaulich und ökologisch begründet sein.

Für jede Betriebsstruktur ist eine optimale Bewässerungssteuerung allerdings nicht immer machbar. In einen Betrieb mit vielen kleinen Schlägen und Anbausätzen ist der Aufwand zu hoch, jeden Satz optimal mit Wasser zu versorgen. Hier sind Kompromisse gefragt. Je größer die Schläge, desto sinnvoller ist eine optimale Wasserbemessung. Der Aufwand für das Wassermanagement wird je Hektar immer geringer, und die Einsparungen an Energie, Wasser und Dünger sowie die Ertrags- und Qualitätserhöhungen multiplizieren sich. Würde im deutschen Gemüsebau mehr gerechnet, so könnte das Wasser schon auf viel mehr Flächen nach objektiven Kriterien eingesetzt werden.

3 Bewässerungssteuerung

3.1 Ziele

Die Bewässerung zu steuern heißt, zu entscheiden, ab wann mit welcher Einzelgabenhöhe und in welchen Zeitintervallen nach objektiven Kriterien zu bewässern ist. Die Ziele der Bewässerungssteuerung sind ein hohes Ertragsniveau mit einem hohen Anteil der für den Markt erforderlichen Qualität, die Nährstoffverlagerung zu minimieren und ein entsprechendes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu erreichen. Das Wasser muss vorgegebene Qualitätsansprüche erfüllen und künftig entsprechend der EU-Wasserrahmenrichtlinie bilanziert werden.

Eine sachgerechte Bewässerung trägt insbesondere unter Witterungsbedingungen, unter denen zu niedrige Erträge realisiert werden, zur Ertragserhöhung bei. In einer solchen Situation, wenn bestimmte Produkte nur in kleinen Mengen angeboten werden, können durch sachgerechte Bewässerung besonders hohe Erlöse realisiert werden.

¹ Forschungsanstalt Geisenheim, Von-Lade-Straße 1, 65366 Geisenheim, paschold@fa-gm.de.

Sachgerechter Zusatzwassereinsatz erfordert, eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen, die in ihrer Komplexität kaum manuell zu beherrschen sind.

Fehler der Bewässerungssteuerung werden nur sichtbar, wenn extrem falsch gehandelt wird. Darum wird für den Anbauer nicht direkt erkennbar, was er an Erträgen und eventuell an Wasserressourcen verschenkt.

Methoden, Programme und internetbasierte Systeme nehmen dem Anbauer die Entscheidungsfindung zum Wassereinsatz nicht ab, jedoch sie unterstützen ihn, das Risiko von Fehlentscheidungen zu vermindern.

Die Chance, durch objektiv gesteuerte Bewässerung den Anbauerfolg zu vergrößern, ist größer

als oft angenommen, wie zahlreiche Versuchsergebnisse belegen.

3.2 Methoden der Bewässerungssteuerung

Zahlreiche Methoden wurden entwickelt, um die richtigen Entscheidungen hinsichtlich des Wassereinsatzes zu treffen (Abbildung 1).

Viele Methoden sind zu teuer, zu personalaufwändig oder die Steuerdaten sind nur für wenige Pflanzenarten verfügbar, da die wissenschaftlichen Basisdaten noch nicht entwickelt wurden.

Zahlreiche Modelle wurden für die Bewässerungssteuerung in Deutschland entwickelt (AM-BAV, Geisenheimer Steuerung, IRRIGAMA, ...).

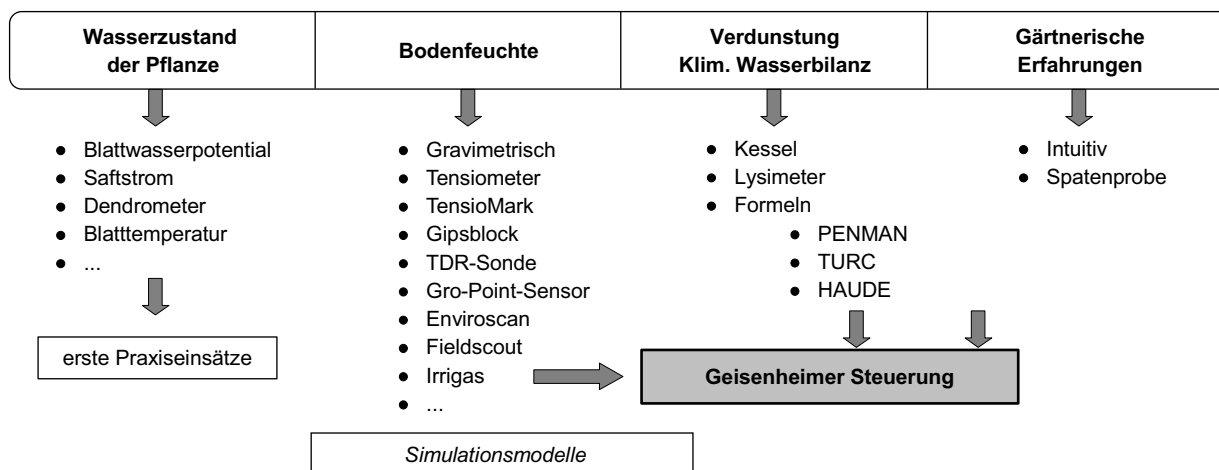


Abbildung 1
Überblick zu Methoden der Bewässerungssteuerung im Freiland

Anforderungen der Praxis für Lösungen zur Bewässerungssteuerung:

- geringer Arbeitsaufwand,
- kein zusätzliches Risiko von Ertrags- und Qualitätsminderungen,
- Eingangsdaten für zahlreiche Pflanzenarten sollten vorliegen – für aktuelle Sorten und das aktuelle Ertragsniveau,
- ausreichend genau unter Berücksichtigung der Feldgradienten, der Dauer der Bewässerung einer Fläche und der Unsicherheiten der Wetterprognose,
- kostengünstig.

Generell gibt es gegenwärtig drei praktikable Wege der Bewässerungssteuerung bzw. -regelung:

- in Abhängigkeit von klimatischen Wasserbilanzen,
- auf der Basis von der Bodenfeuchtemessung,
- Messungen des Wasserstatus direkt an bzw. in der Pflanze.

Gegenwärtig müssen sich die Anbauer zwischen den ersten zwei Methoden entscheiden. Zum dritten Komplex liegen nur wenige praxisreife Lösungen vor, für Gemüse im Freiland wird in Geisenheim an Spargel gearbeitet

Auch zwischen den oben genannten zwei Wegen fällt die Entscheidung nicht leicht, da sich

beide durch erhebliche Vor- und Nachteile unterscheiden (Tabelle 1).

*Tabelle 1
Vergleich der Bewässerungssteuerung auf der Basis von Bodenfeuchtesensoren und nach Geisenheimer Steuerung*

Methode	Vorteile	Nachteile
Messen der Bodenfeuchte	<ul style="list-style-type: none"> • Aktuelle Bodenfeuchte direkt ablesbar • Keine Niederschlagsmessung auf dem Schlag erforderlich • Schnelle Kontrolle der erfolgten Bewässerung • Tropfbewässerung automatisierbar • Bei Einsatz mehrerer Sensoren Störungen der Wasserverteilung erkennbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Repräsentativer Standort auf dem Schlag wegen der erheblichen Streuung schwer zu finden – viele Sensoren sind erforderlich • Für jeden Schlag und Anbausatz gesonderte Messungen notwendig • Kosten der Sensoren, Ein- und Ausbau erforderlich • Aufwand für Erfassen der Messwerte • Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Sensoren • Störungen und Behinderungen bei Feldarbeiten möglich
Geisenheimer Methode	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Sensoren auf dem Feld nötig, Material- und Wartungskosten entfallen • Basiswerte der Verdunstung gelten für alle Pflanzenarten und Anbausätze des Gebietes • Bewässerungsnotwendigkeit in niederschlagsfreien Perioden vorher gut kalkulierbar • Wetterprognosen können bei der Entscheidung über die Bewässerung berücksichtigt werden • Bewässerungsbedarf gut dokumentierbar als Nachweis einer sachgerechten Bewässerung 	<ul style="list-style-type: none"> • Startwert der Bodenfeuchte muss vor Beginn der Berechnung bestimmt werden • Niederschlagsmessung in Schlagnähe erforderlich • Wassernachlieferung an grundwassernahen Standorten muss geschätzt werden, um die Bewässerung entsprechend zu reduzieren. • Korrektur der kc-Werte für Tropfbewässerung erforderlich

Welche Methode auch immer der Anbauer nutzt, sein Ziel ist es, den Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser, ausgedrückt als nutzbare Feldkapazität (% nFK), in der durchwurzelten Bodenschicht innerhalb einer gewissen Spanne aufrecht zu erhalten (Abbildung 2). Je besser das gelingt, desto höher werden Ertrag und Qualität und zudem wird dabei die Umwelt geschont.

Wird das erreicht, so bildet sich ein "Sägeblatt der Bodenfeuchteverläufe", wo die einzelnen Zähne möglichst immer die gleiche Höhe aufweisen sollten. Unter unseren Witterungsbedingungen ist es jedoch unvermeidlich, dass durch unerwartete Niederschläge auch unerwünscht hohe Bodenfeuchtegehalte auftreten können (Abbildung 2). Indem die untere Bodenschicht nur auf 80 % der nFK aufgefüllt wird, wird eine Pufferzone geschaffen, die eine gewisse Menge an Wasser zusätzlich aufnehmen kann, wenn unerwartete Niederschläge auftreten. Bei Starkregen kann damit die Verlagerung jedoch nur vermindert, nicht aber verhindert werden.

3.2.1 Klimatische Wasserbilanzen

Die Ermittlung der klimatischen Wasserbilanzen, also des Defizits an Wasser, welches durch die Verdunstung von Boden und Pflanze (Evapotranspiration) entsteht, basiert auf Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) oder einer eigenen Wetterstation. Diese Verdunstungswerte für eine kurz geschorene optimal bewässerte Grasfläche werden durch Koeffizienten (kc) an den Bedarf der jeweiligen Gemüsearten angepasst.

Ein gewisses Wasserdefizit kann durch die Pflanze ohne wesentliche Ertragsminderungen überstanden werden (Abbildung 2). Wird das Defizit zu groß, kommt es zu Ertrags- und Qualitätsminderungen. Viele Pflanzenarten, die als Gemüse genutzt werden, weisen ähnliche Anforderungen auf.

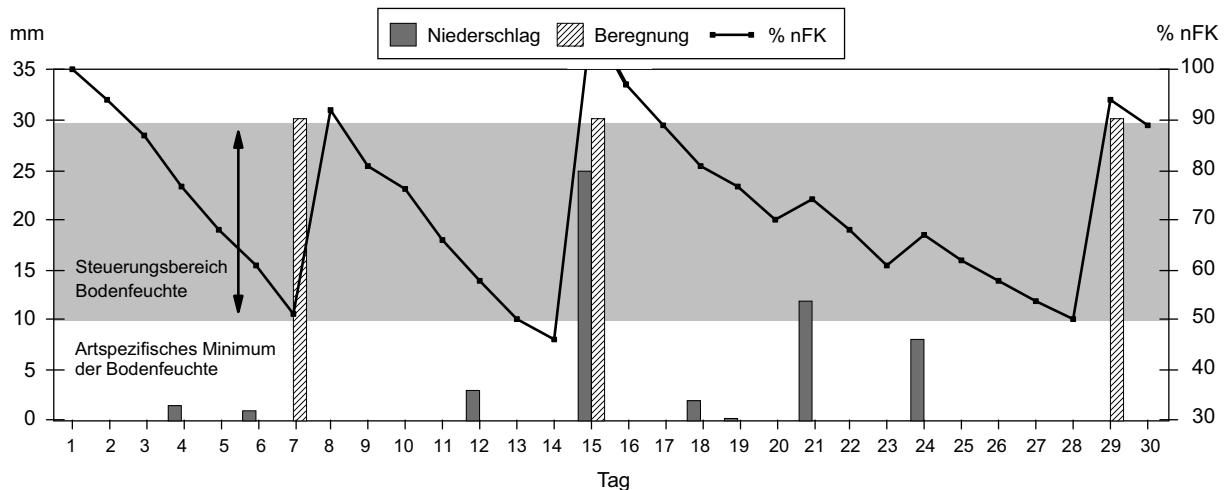


Abbildung 2

Beispiel des Verlaufs der Bodenfeuchte (% nFK) im Freiland bei gesteuerter Bewässerung mit Einzelgaben von 30 mm.

Die klimatischen Wasserbilanzen werden weltweit nach einer modifizierten PENMAN-Formel berechnet. In der Forschungsanstalt Geisenheim wurde diese Methode an die Witterungsverhältnisse in Deutschland angepasst und die k_c experimentell für zahlreiche Gemüsearten entwickelt. Dabei erfolgt immer wieder eine Aktualisierung für neue Sorten und das gegenwärtige Ertragsniveau. Zudem wurden die Entwicklungsstadien morphologisch definiert, damit sie durch die Anbauer einfach zu erkennen sind.

Als „Geisenheimer Methode“ angewandt, muss jedoch auch die Einzelgabenhöhe an die Entwicklung der Wurzeltiefe der Pflanzen angepasst werden, da sonst kein effizienter Wassereinsatz gewährleistet ist. Ohne diese Anpassung fehlt ein wesentliches Element der Methode.

Die Geisenheimer Methode wurde so weit vereinfacht, dass die Praxisanwendung einfach zu organisieren ist. Auch der DWD arbeitet damit. Kompliziertere Ansätze bieten nur eine scheinbar höhere Genauigkeit, die jedoch durch die Unterschiede des Bodens und die Ungleichmäßigkeit der Wasserverteilung der Regner nicht wirksam werden können, wie Vergleiche gezeigt haben.

Details zur Methode können unter <http://forschungsanstalt.campus-geisenheim.de/Geisenheimer-Steuerung.701.0.html> nachgelesen werden.

Die Steuerung der Bewässerung nach klimatischer Wasserbilanz wird vor allem beim Einsatz aller Typen von Kreisregnern und Düsenwagen

empfohlen. Bei Tropfbewässerung sind die Steuereffizienten (k_c) zu reduzieren, da die Verdunstung an der Bodenoberfläche, vor allem zu Beginn der vegetativen Entwicklung, stark vermindert wird. Da deutlich niedrigere Einzelgaben appliziert werden, ist die klimatische Wasserbilanz nicht so praktikabel wie bei flächigen Bewässerungsverfahren.

3.2.2 Einsatz von Bodenfeuchtesensoren

Der Einsatz von Bodenfeuchtesensoren hilft dem Anbauer, das Gefühl für Veränderungen der Bodenfeuchte zu entwickeln, vor allem für die Veränderungen unter der Bodenoberfläche. Denn keiner gräbt regelmäßig bis in die Hauptwurzeltiefe, um sich die Wasserverteilung anzusehen.

Das Hauptproblem ergibt sich aus der punktförmigen Bodenfeuchtemessung (Abbildung 3), die die Heterogenität durch Bodenunterschiede oder durch ungleichmäßige Wasserverteilung der Regner nicht widerspiegeln kann.

Das Beispiel zeigt, dass einige Tensiometer ein rasches Austrocknen signalisieren, andere relativ konstante Bodenfeuchte anzeigen. Andere Sensoren würden das in ähnlicher Weise widerspiegeln. Setzt der Anbauer nur wenige Sensoren ein, was üblicherweise der Fall ist, so bleibt unklar, inwieweit er repräsentative Werte ermittelt.

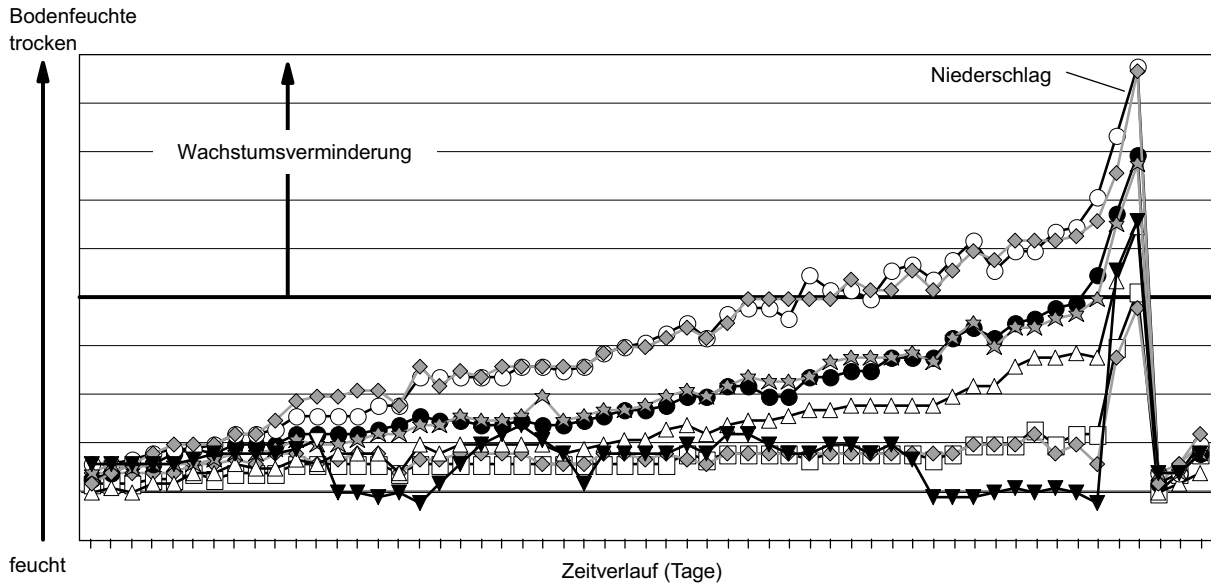


Abbildung 3

Streuung der Bodenfeuchte, nachgewiesen mit acht Tensiometern auf 0,75 m² Boden ohne Beregnung. Zunächst kommt es zum Austrocknen des Bodens, dann wird der Bodenvorrat durch Niederschlag wieder aufgefüllt.

Dem Anbauer geht es allgemein nicht darum, die absolute Bodenfeuchte zu bestimmen, sondern sich ein Bild davon zu machen, wie sich der pflanzenverfügbare Anteil an Wasser im Verlauf des Anbaus verändert. Dies interessiert im Bereich der Hauptwurzelzone, aber auch darunter, um zu erkennen, ob die Einzelwassergaben zu hoch oder zu niedrig waren.

Da bei Kreisregnern die Wasserverteilung sehr heterogen ist, entscheidet der Einbauort, wie die Beregnung erfolgen wird. Sitzt der Sensor im Randbereich des Regners, so kommt dort deutlich weniger Wasser an als im Zentrum. Allein schon wegen des schnelleren Ablesens der Sensoren werden diese immer wieder unweit des Feldrandes eingebaut. Werden diese Werte zur Steuerung verwendet, so erhält das Feldinnere deutlich zu viel Wasser. Das wirkt allerdings bei vielen Gemüsearten weniger ertragsmindernd als ein Wasserdefizit für erhebliche Teile des Bestandes.

Fazit

- Das Interesse an der Bewässerungssteuerung steigt deutlich mit der Erhöhung der Energiepreise.
- Das gleiche zeigt sich in Jahren mit erhöhtem Wasserbedarf und bei limitiertem Wasserangebot.
- Je größer die einzelne Fläche, die einheitlich mit Wasser zu versorgen ist, desto größer ist der erzielbare Nutzen.
- Der Aufwand zur Steuerung wird als zu hoch eingeschätzt, da der Nutzen teilweise noch zu wenig erkannt wird. Der Betriebsablauf muss dabei teils anders organisiert werden.
- Die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie vergrößert das Interesse am Thema Wasser.
- Für flächige Beregnungen werden Bodenfeuchtesensoren empfohlen, um den Startwert der klimatischen Wasserbilanz zu bestimmen. Die zeitlichen Veränderungen der Messwerte helfen, zu kontrollieren, ob das gewünschte Niveau der Bodenfeuchte erreicht wird. Unterhalb der Hauptwurzelzone dient sie als Maß, ob zu viel oder zu wenig bewässert wird. Zur Bewässerungssteuerung wird die klimatische Wasserbilanz empfohlen.

- Für die Tropfbewässerung sollten Bodenfeuchtesensoren das Signal für den Bewässerungsstart geben. Die Höhe des Wasserangebotes ist abhängig vom Startwert, der Einzelwassergabe und der Steuertiefe

Methoden, Programme, internetbasierte Systeme und der Einsatz von Bodenfeuchtesensoren nehmen dem Anbauer die Entscheidungsfindung zum Wassereinsatz nicht ab, aber sie unterstützen ihn, das Risiko von Fehlentscheidungen deutlich zu vermindern. Diese Reserve wird im deutschen Feldgemüsebau noch viel zu wenig genutzt.

Bewässerungswasserqualität – Hygienische und chemische Belange

Dr. Ingrid Pfeleger¹

1 Einführung

In Deutschland werden mehr als 550.000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche bewässert. Die Tendenz ist steigend (Fricke, 2008). Das Wasser steht in unterschiedlichen Herkünften zur Verfügung. Die Wasserentnahme für Bewässerungsmaßnahmen erfolgt länderspezifisch. In Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Bayern und Hessen wird das Bewässerungswasser zu 80 bis 90 % aus Grundwasservorkommen, dagegen in Thüringen, Sachsen und Mecklenburg zum analogen Anteil aus Oberflächengewässern (Speichern, Seen und Fließgewässern) verwendet.

Allgemein kann nach der Herkunft des Wassers eine Grobeinschätzung der Qualität vorgenommen werden (Tabelle 1). Das Grundwasser wird durch den Gesetzgeber unter besonderen Schutz gestellt und verfügt in der Regel über eine gute bis sehr gute Qualität. Wasser aus den stehenden Gewässern (Stauanlagen, Kiesgruben, Teiche) besitzt meist eine ausreichende Qualität für die Bewässerung von Gemüse, Obst, landwirtschaftliche Fruchtarten und Sonderkulturen. Im Vergleich dazu enthalten die Fließgewässer oft große Verunreinigungen und erfüllen insbesondere die bakteriologischen Güteanforderungen meist nicht.

Tabelle 1

Allgemeine Bewertung wichtiger Wasserherkünfte zur Bewässerung

Wasserherkunft	Qualitätsbewertung
Wasser aus Brunnen	Im allg. gute bis sehr gute Qualität
Wasser aus stehenden Gewässern (Stauanlagen, Kiesgruben, Teiche)	Im allg. ausreichende Qualität
Wasser aus Fließgewässern	Häufig Gefahr der Verunreinigung, große zeitliche Unterschiede in den chemischen und biologischen Kennwerten sowie zwischen den einzelnen Gewässern

2 Bedeutung der Wasserqualität für die Gemüseproduktion

Gemüse dient der menschlichen Ernährung. Die Inhaltsstoffe und anhaftende Substanzen sowie Mikroorganismen sind deshalb, insbesondere beim Rohverzehr von frischen Erzeugnissen, von großer Bedeutung. Eine Bewässerungsmaßnahme mit verschmutztem Wasser kann unter Umständen zu Kontaminationen der Pflanzen mit pathogenen Mikroorganismen führen. Der überwiegende Teil chemischer Inhaltsstoffe übt keine Schädigung aus. Hohe Konzentrationen können aber den Pflanzenwuchs beeinflussen oder im Boden sowie in Mensch und Tier akkumuliert werden (Blei, Cadmium und Quecksilber). Doch auch Inhaltsstoffe im Wasser, die für den Menschen unproblematisch sind, wie Kalzium und Eisen, können die Vermarktung in Frage stellen, wenn sie das Aussehen der Produkte negativ beeinflussen.

Im Rahmen der Produkthaftung ist der Erzeuger von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Kulturen verpflichtet, während des Produktionsprozesses keine gesundheitsschädigende Beeinflussung zuzulassen (Produkthaftungsgesetz, 1989). Bereits heute und zunehmend unter Berücksichtigung der klimatischen Veränderungen werden Bewässerungsmaßnahmen für einige Fruchtarten unentbehrlich und zu einem festen Bestandteil des Anbauverfahrens. Das Wasser als Wachstumsfaktor, einschließlich des Zusatzwassereinsatzes, dient vordergründig zur Stabilisierung der Erträge auf einem hohen wirtschaftlichen Niveau, aber auch der Qualitätssicherung der berechnungswürdigen Fruchtarten für eine markt- und umweltgerechte Produktion, insbesondere im Vertragsanbau. Bei der Produktion von frischem Gemüse und Obst sind unter dem Aspekt der Produkthaftung und Vorsorge für die Konsumenten durch den Betreiber von Bewässerungsanlagen die quantitativen und qualitativen Anforderungen an das verwendete Wasser zu erfüllen. Das Einhalten von Bewertungsmaßstäben aus Normen, Verordnungen und Gesetzen gibt den Produzenten eine hohe Sicherheit im Rahmen des Verbraucherschutzes.

¹ Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Naumburger Straße 98, 07743 Jena, ingrid.pfeleger@tll.thueringen.de.

3 Bewertung der Wasserqualität für die Bewässerung

Die Beurteilung der Beregnungswasserqualität setzt Bewertungsmaßstäbe voraus. Für eine Bewertung der Beregnungswasserqualität lagen bis Anfang 1999 keine bundeseinheitlichen Richtlinien und Kriterien vor. In der DIN 19650 „Bewässerung – Hygienische Belange von Bewässerungswasser“ (1978) war nur ein hygienisch unbedenkliches bzw. bedenkliches Wasser formuliert.

Die zweite Fassung der **DIN 19650 (1999)** gliedert die hygienisch-mikrobiologischen Parameter nach vier Eignungsklassen (EK) zur Anwendung von Bewässerungswasser für Gewächshaus- und Freilandkulturen.

Nach der in der DDR gültigen TGL 6466 (1986) erfolgte die Einstufung des Bewässerungswassers nach biologischen und chemischen Parametern in jeweils fünf Eignungsklassen. Aufgrund der Regierungserklärung vom Juli 1990 haben jedoch alle TGL nur noch den Status von Empfehlungen.

Im Ministerialblatt Nordrhein-Westfalen wurden Güteanforderungen an Beregnungswasser für Freilandkulturen als Entscheidungshilfe (1991) formuliert.

Der Arbeitsbehelf des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (2003) beinhaltet bei der Wasserbeschaffenheit qualitative und quantitative Aspekte und berücksichtigt chemisch-physikalische und mikrobielle Anforderungen.

Der unbefriedigende Zustand der Bewertung der Qualität von Bewässerungswasser war Anlass, in der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) Jena „Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung gärtnerischer und landwirtschaftlicher Fruchtarten in Thüringen“ (Albrecht und Pflieger, 1997) zu erarbeiten. Zur Qualitätsbeurteilung von Bewässerungswasser werden für die chemischen und sonstigen Parameter Toleranzbereiche und für die mikrobiologischen Kenngrößen Richtwerte in vier Eignungsklassen empfohlen. Sie haben analog zu den Richtwerten anderer Qualitätsbeurteilungen, wie in der Lebensmittelindustrie, prinzipiell keinen bindenden, sondern nur orientierenden Charakter. Die aktualisierten **Empfehlungen** (Albrecht und Pflieger, 2004) berücksichtigen auch die Anforderungen des Bodenschutzes an Bodenfunktionen und Nutzpflanzen nach dem

BBodSchG (1998) und der BBodSchVO (1999) sowie die bisherigen Untersuchungsergebnisse aus dem Beregnungswassermonitoring in Thüringen (Pflieger und Albrecht, 2003). Darüber hinaus beinhalten die Empfehlungen auch Hinweise zu den Wasserprobenahmen zu Untersuchungsprogrammen (Beprobungszeiten und -umfang) und Einsatzmöglichkeiten des qualitativ unterschiedlichen Bewässerungswassers.

Heute wird oft noch wegen mangelnder Kenntnisse über spezifische Bewertungsmethoden davon ausgegangen, dass die Wasserqualitätsanforderungen für Trinkwasser auch an das Beregnungswasser zu stellen sind. Eine Übernahme der Qualitätsparameter von Trink- und Badewasser auf das Bewässerungswasser erscheint jedoch nicht gerechtfertigt, da der direkte Kontakt von Wasser und Mensch beim Beregnen nicht oder nur in Ausnahmefällen gegeben ist.

3.1 Mikrobiologische Kriterien

Mit den bakteriologischen Parametern werden hygienische Aspekte charakterisiert. Im Allgemeinen ist Bewässerungswasser als hygienisch unbedenklich zu bezeichnen, wenn es Krankheitserreger oder Stoffe nicht oder nur in Konzentrationen enthält, die Mensch und Tier nicht schädigen.

Die mikrobiologisch-hygienische Wasseruntersuchung umfasst den Nachweis spezieller Keimarten als Verschmutzungsindikatoren. Zur Anwendung kommen Fäkalstreptokokken und *Escherichia coli* (*E. coli*). Sie sind als Indikatorbakterien selbst nicht pathogen, lassen aber aufgrund ihres Auftretens bei hohen Belastungen auf pathogene Keime schließen. Der Nachweis pathogener Keime dagegen ist aufwändig und eignet sich nicht für Routinekontrollen.

Salmonellen dürfen nicht im Beregnungswasser nachweisbar sein. Bei begründetem Verdacht auf Vorhandensein von potenziell infektiösen Stadien von Mensch- und Haustierparasiten im Beregnungswasser kann eine entsprechende Untersuchung angeordnet werden.

Für die Qualitätsbeurteilung von Bewässerungswasser sind die bakteriologischen Kriterien von ausschlaggebender Bedeutung. Diese werden in vier Eignungsklassen (EK) eingeteilt. Tabelle 2 beinhaltet die hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und die Anwendungsbedingungen von Bewässerungswasser für den Gartenbau.

Tabelle 2
Hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und Anwendungsbedingungen von Bewässerungswasser

Eignungstest (EK)	Anwendungsbereiche für Fruchtarten	Einschränkungen/Hinweise	Nichtanwendung	Biologische Kenngrößen		
				Fäkalstrep-tokokken je 100 ml	E. coli je 100 ml	Salmonellen ¹⁾ je 1.000 ml
1	Alle Gewächshaus- und Freilandkulturen			nicht nachweisbar		
2 ²⁾	Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr			≤ 100 ⁴⁾	≤ 200 ⁴⁾	nicht nachweisbar
3 ²⁾	Nicht zum Verzehr bestimmte Gewächshauskulturen		Für Gewächshauskulturen und Rohverzehr in den Karenzzeiten	100 bis 400	200 bis 2.000	nicht nachweisbar
	Freilandkulturen für den Rohverzehr (Gemüse und Obst)	Gemüse bis 2 Wochen vor Ernte, Obst bis Fruchtansatz				
	Gemüse und Obst zur Konservierung und Lagerung					
	Heil- und Gewürzpflanzen					
	Alle anderen Freilandkulturen					
4 ^{2) 3)} nach DIN 19650 (1999)	Kartoffeln, Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut	Bis 2 Wochen vor der Ernte	Gewächshauskulturen, Obst, Gemüse - in den Karenzzeiten	Abwasser, das mindestens eine biologische Reinigungsstufe durchlaufen hat		
	Wein- und Obstkulturen	Frostschutzberegnung				
4 ^{2) 3)} nach Empfehlung TLL (2004)	Heil- und Gewürzpflanzen	bis 2 Wochen vor der Ernte	Gewächshauskulturen, Obst, Gemüse - in den Karenzzeiten	> 400 ⁵⁾	> 2.000 ⁵⁾	nicht nachweisbar
	Kartoffeln, Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut					
	Wein- und Obstkulturen	Frostschutzberegnung				

- 1) Salmonellen und potenziell infektiöse Stadien von Mensch- und Haustierparasiten dürfen nicht im Bewässerungswasser in 1.000 ml nachweisbar sein.
- 2) Wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist, entfällt eine Einschränkung nach hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen.
- 3) Bei der Beregnung muss durch Schutzmaßnahmen sichergestellt werden, dass Personal und Öffentlichkeit keinen Schaden nehmen.
- 4) Richtwert, der analog der TrinkwV § 2 Abs. 3 [3] so weit unterschritten werden sollte, „wie dies nach dem Stand der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles möglich ist“.
- 5) Die 10-fache Menge sollte nicht überschritten werden.

Wasser der EK 1 verfügt über die beste Qualität und ist der von Trinkwasser gleichzusetzen. Es muss frei von Krankheitserregern sein. Fäkalstreptokokken und E. coli dürfen nicht nachweisbar sein.

Im Bewässerungswasser mit EK 2 sind geringe Besatzdichten an Indikatorbakterien erlaubt (Richtwert von ≤ 100 KBE/100 ml für Fäkalstreptokokken und ≤ 200 KBE/100 ml für E. coli – KBE = Kolonie Bildende Einheiten). Ungeachtet dessen kann das Wasser für alle Möglichkeiten der Bewässerung und bei allen Fruchtarten einschließlich Rohverzehr verwendet werden.

In EK 3 wird eine Differenzierung des Anwendungsbereiches zwischen Gewächshaus- und Freilandkulturen und bei Freilandkulturen für Gemüse und Obst zwischen Rohverzehr und zur Konservierung und Lagerung vorgenommen. Dieses Wasser kann für den Frischmarktanbau von Gemüse und Obst nur bei Einhalten einer Karenzzeit von zwei Wochen zwischen der letzten Wassergabe und der Ernte verwendet werden. Für Gemüse und Obst zur Konservierung und Lagerung bestehen jedoch in EK 3 keine Einschränkungen. Der Beregnungswassereinsatz mit dieser EK kann auch zu allen anderen

Freilandkulturen einschließlich Heil- und Gewürzpflanzen ohne Begrenzungen erfolgen.

Mit einer Wasserqualität von EK 4 darf Gemüse prinzipiell nicht bewässert werden. Bewässerungswasser dieser EK ist jedoch mit einer Karenzzeit von zwei Wochen für Heil- und Gewürzpflanzen, Kartoffeln sowie Nichtnahrungspflanzen zur industriellen Verarbeitung und Saatgut verwendbar. Die Frostschutzberechnung in Wein- und Obstkulturen ist ebenfalls möglich.

In der EK 4 ist darauf zu verweisen, dass in der DIN 19650 (1999) keine Kenngrößen für die Indikatorbakterien aufgeführt werden. Es wird verbal auf die Anwendung von Abwasser, das mindestens eine biologische Reinigungsstufe durchlaufen hat, hingewiesen. Nach den Empfehlungen der TLL (Albrecht und Pfleger, 2004) sind die Richtwerte für Indikatorbakterien nach oben offen. Der zehnfache Wert an Bakterienbesatzstärken der EK 3 sollte jedoch nicht überschritten werden.

Der Nachweis von Salmonellen im Bewässerungswasser ist nach der DIN 19650 (1999) zu erbringen. Dieser Untersuchungsaufwand wird erst bei Verdacht auf Abwassereinleitungen oder bei einer 5-fachen Besatzdichte der Indikatorbakterien der EK 3 für erforderlich gehalten (Pfleger und Albrecht, 2003).

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Einschränkungen nach den genannten hygienisch-mikrobiologischen Eignungsklassen entfallen, wenn durch das Bewässerungsverfahren eine Benetzung der zum Verzehr geeigneten Teile der Ernteprodukte ausgeschlossen ist.

3.2 Chemische Kriterien

Die chemische Beschaffenheit bestimmt ebenfalls die Eignung des Wassers zur Bewässerung, zur Gesunderhaltung des Bodens und zur Vermeidung von Grundwasserbelastungen. Die Untersuchung chemischer Parameter dient der allgemeinen Beurteilung des Wassers. Eine negative Einflussnahme bei hohen Konzentrationen einzelner Inhaltsstoffe (Salze, Schwermetalle) auf Pflanze, Boden, Mensch und Tier ist jedoch nicht auszuschließen.

Die Anforderungen an die Wasserqualität im Gartenbau und Landwirtschaft hängen von dem Anbauprogramm sowie den Kultur- und Bewässerungsverfahren ab. Äußere Merkmale wie Farbe und Geruch des Wassers geben zunächst noch keine Anhaltspunkte für die Eignung des Wassers.

Die Bedeutung des pH-Wertes eines Wassers wird häufig überbewertet. Bedenken gegen einen hohen pH-Wert bestehen nur bei hoher Karbonathärte.

Die Leitfähigkeit stellt das Maß für den Gesamtsalzgehalt dar. Unter Bezugnahme auf die pflanzenspezifische Salzverträglichkeit kann Wasser mit erhöhten Salzgehalten vorzugsweise für salztolerante Fruchtarten verwendet werden. Andererseits ist dieses salzhaltige Wasser mit Wasser geeigneter Wasserqualität zu verschneiden.

Ferner ist auf den Gehalt an Nitrat im Beregnungswasser hinzuweisen. Dieser muss bei der Düngungsempfehlung und somit bei der Stickstoffdüngung im Zusammenhang mit den Bewässerungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Höhere Nitratkonzentrationen haben eine düngende Wirkung. Sie stellen für das Düngungsregime sogar einen kostensparenden Effekt dar. Bei einem Zusatzwassereinsatz von 100 mm mit einem Nitratgehalt von 200 mg/l werden dem Boden und den Pflanzen etwa 45 kg N/ha zugeführt.

Die Aufwandmenge an Zusatzwasser und die Anzahl der jährlichen Bewässerungsgaben am gleichen Standort können Einfluss auf Anreicherungs Vorgänge chemischer Inhaltsstoffe insbesondere für Schwermetalle oder bei sehr salzhaltigem Wasser nehmen. Mit ihrer Begrenzung ist eine Kontamination des Bodens auszuschließen, die sonst über den Wirkungspfad Boden – Grundwasser – Nutzpflanze – Mensch wirksam werden könnte. Albrecht und Pfleger (2004) führen in den Empfehlungen für die chemischen Parameter einschließlich Schwermetalle und weitere Kennwerte Toleranzbereiche auf (Tabelle 3). Sie basieren auf den Anforderungen zur Vermeidung oder Verminderung von Stoffeinträgen gemäß BBodSchV (1999) und überschreiten nicht die zulässigen Frachten an Schadstoffen. Dabei ist eine jährliche Zusatzwassermenge von mindestens 200 mm auf der gleichen Fläche unterstellt.

Schnelltests während der Probenahme sind zur Vorprüfung der chemischen Wasserqualität geeignet. Einzelne Parameter, wie elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Nitrat- und Sulfatkonzentration lassen sich leicht vor Ort ermitteln. Diese Er-

gebnisse ermöglichen eine Sofortbewertung dieser Parameter und liefern Informationen für die anschließenden Wasseranalysen in anerkannten Labors.

Tabelle 3
Toleranzbereiche für chemische und sonstige Parameter im Bewässerungswasser

Chemische und weitere Kenngrößen			Schwermetalle		
	Toleranzbereiche	Maßeinheit		Toleranzbereiche	Maßeinheit
Kalium	# 200	mg/l	Blei	# 100	Φg/l
Natrium	# 100	mg/l	Cadmium	# 4	Φg/l
Chlorid	250/500 ¹⁾	mg/l	Chrom	# 100	Φg/l
Sulfat	# 1.200	mg/l	Eisen	# 1.500	Φg/l
Nitrat	# 300	mg/l	Kupfer	# 100	Φg/l
pH-Wert	5,0-9,5		Mangan	# 1.500	Φg/l
Wasserhärte	30/60	°dH	Nickel	# 40	Φg/l
Leitfähigkeit	2.000/3.000 ¹⁾	ΦS/cm	Quecksilber	# 0,5	Φg/l
			Zink	# 300	Φg/l

1) Salzempfindliche/salzunempfindliche Pflanzen.

4 Untersuchungsergebnisse zur Qualität Thüringer Gewässer

Das „Monitoring für Beregnungswasserqualität in Thüringen“ wurde 1998 als Arbeitsthema in das Projekt „Agrarmonitoring“ der TLL aufgenommen. Es umfasst insgesamt 40 Messstellen (Abbildung 1).

Nachfolgend werden langjährige bakteriologische und chemische Untersuchungsergebnisse ausgewählter Thüringer Gewässer vorgestellt und die Resultate der analysierten Fließgewässer, stehenden Gewässer und Grundwassermessstellen als Eignungsklassen (EK) zusammengefasst. Es ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Wasseranalysen um Stichproben handelt (in der Regel drei Proben pro Jahr) und die Untersuchungsergebnisse damit grundsätzlichen Aussagewert besitzen.

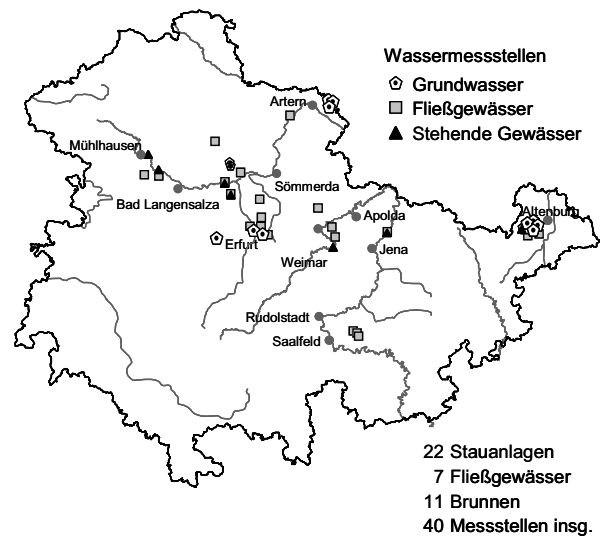


Abbildung 1
Messstellen des Monitoring für Beregnungswasserqualität in Thüringen

4.1 Mikrobiologische Untersuchungsergebnisse

Abbildung 2 zeigt die aus hygienischer Sicht oft nicht ausreichende Wasserqualität ausgewählter Thüringer Fließgewässer für den Beregnungswassereinsatz. Der Richtwert von Fäkalstreptokokken der EK 2 wird meist und der EK 3 sehr oft überschritten. Wasser mit EK 3 ist für den Einsatz zur Frischmarktproduktion von Gemüse und Obst nur in eingeschränkter Form unter Einhaltung von Karenzzeiten bis zwei Wochen, jedoch zur Konservierung und Lagerung geeignet.

Gegenüber den Fließgewässern verfügen die untersuchten stehenden Gewässer (Speicher, Kiesgruben und Teiche) über eine zur Beregnung von Freiland- und Gewächshauskulturen für den Rohverzehr meist geeignete Wasserqualität (Abbildung 3). Der Richtwert von Fäkalstreptokokken der EK 2 wird selten überschritten und die bakteriologische Belastung von EK 3 nicht erreicht.

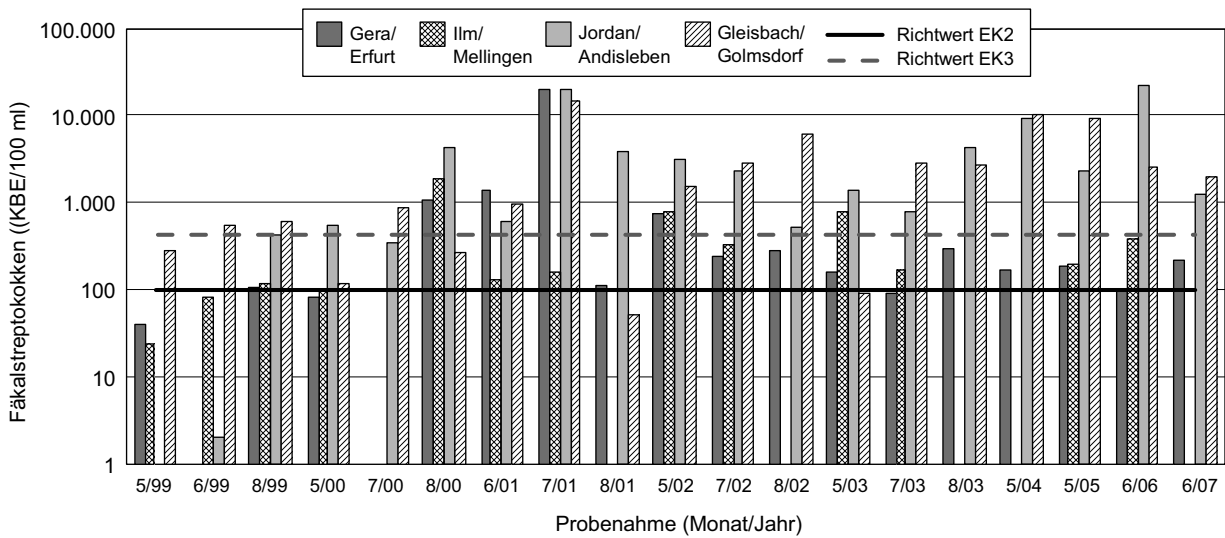


Abbildung 2
Besatzdichten an Fäkalstreptokokken in ausgewählten Thüringer Fließgewässern

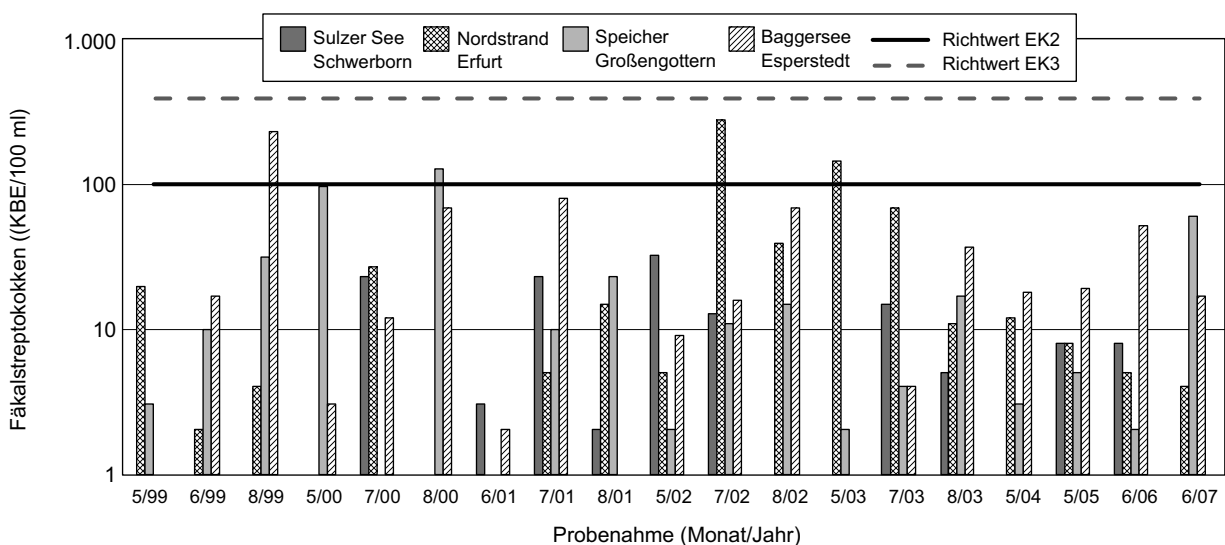


Abbildung 3
Besatzdichten an Fäkalstreptokokken in ausgewählten stehenden Gewässern

Das Brunnenwasser der Grundwassermessstellen ist nach den sehr geringen Bakteriendichten fäkaler Art und häufig „nicht nachweisbar“ mit EK 1 bis 2 für Beregnungsmaßnahmen zur Frisch-

vermarktung von allen Gewächshaus- und Freilandkulturen uneingeschränkt einsetzbar (Abbildung 4).

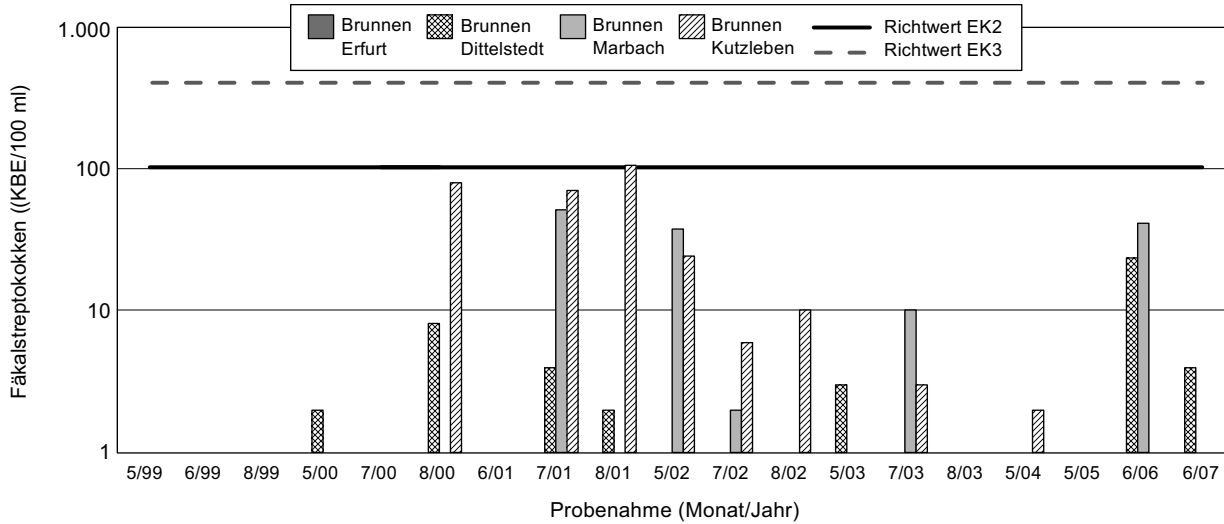


Abbildung 4
Besatzdichten an Fäkalstreptokokken in ausgewählten Grundwassermessstellen

Die langjährig zusammengefassten Untersuchungsergebnisse aller Messstellen in Tabelle 4 zeigen, dass die bakteriologische Wasserqualität der Thüringer Fließgewässer aufgrund zahlreicher Einflussgrößen nach wie vor stark variiert, in EK 3 bis 4 einzuordnen und somit für die Beregnung zur Frischmarktproduktion nicht und nur anteilig in eingeschränkter Form zur Konservierung und Lagerung geeignet ist. Die geprüften stehenden Gewässer einschließlich Zwischenspeicher verfügen über eine um etwa eine EK bessere Wasserqualität gegenüber der fließenden Welle und sind folglich in EK 2 für Beregnungsmaßnahmen aller Kulturen auch zum Rohverzehr verwendbar. Alle Grundwassermessstellen haben eine hohe Qualität mit unbegrenzten Einsatzmöglichkeiten.

Tabelle 4
Bewertung der bakteriologischen Wasserqualität der untersuchten Thüringer Gewässer nach DIN 19650 (1999) und Empfehlungen der TLL (2004) von 1994 bis 2007

Gewässerart	Gewässeranzahl (insgesamt)	Mittlere Eignungsklasse (EK)
Fließgewässer	n = 25	3,42
Stehende Gewässer	n = 28	2,39
Grundwasser	n = 24	1,69

4.2 Chemische Untersuchungsergebnisse

Nach den langjährigen Analysenergebnissen von 1994 bis 2007 wurden in allen beprobten Gewässern in Bezug zu den Empfehlungen der TLL (Albrecht und Pflieger, 2004) die Toleranzbereiche für die ausgewählten Kationen, Anionen und sonstigen Parameter oft weitgehend unterschritten – bis auf wenige Ausnahmen mit hohen Salzgehalten bei einzelnen Standgewässern und den Grundwassermessstellen (Tabelle 5). Wasser mit erhöhten Salzgehalten sollte für salzverträgliche Fruchtarten eingesetzt werden. Anderenfalls wird ein Verschneiden mit geeignetem Wasser für salzempfindliche Pflanzen empfohlen.

Eine Schwermetallbelastung konnte in den Thüringer Gewässern im Untersuchungszeitraum nicht nachgewiesen werden. Unter Berücksichtigung der Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte des BBodSchG (1998) wurden die in der BBodSchVO (1999) fixierten zulässigen jährli-

chen Frachten an Schadstoffen über alle Wirkungspfade nicht überschritten. In der Größenordnung entsprechen die gemessenen Schwermetallkonzentrationen nach dem Basismessnetz der TLUG der natürlichen Verbreitung.

Tabelle 5

Mittlere und maximale Gehalte an chemischen und sonstigen Parametern in den untersuchten Thüringer Gewässern von 1994 bis 2007 und Toleranzbereiche der Empfehlungen der TLL

Parameter	Maßeinheit	Mittlere/Maximale Gehalte an Inhaltsstoffen			Toleranzbereich ¹⁾	
		Fließgewässer Mittel / Max.		Standgewässer Mittel / Max.	Grundwasser Mittel / Max. (Empfehlung, 2004)	
Pflanzennährstoffe						
Kalium	mg/l	8 / 30	11 / 48	7 / 15	#	200
Natrium	mg/l	61 / 100	45 / 226	61 / 280	#	100
Salze						
Chlorid	mg/l	90 / 220	90 / 243	92 / 284	#	250 ²⁾ / 500
Nitrat	mg/l	24 / 56	15 / 106	52 / 211	#	300
Sulfat	mg/l	288 / 700	386 / 1.367	523 / 1.530	#	1.200
Weitere Kennwerte						
pH-Wert		8,1 / 8,7	7,8 / 9,4	7,6 / 8,4		5,0...9,5
Leitfähigkeit	(Φ S/cm)	1.195 / 2.000	1.251 / 3.140	1.555 / 3.310		2.000 ²⁾ / 3.000
Wasserhärte	°dH	29 / 53	34 / 86	45 / 106		30 / 60
Schwermetalle/Spurenelemente						
Blei	Φ g/l	0,8 / 7	1,3 / 12	0,5 / 5	#	100
Cadmium	Φ g/l	0,3 / 2	0,3 / 2	0,2 / 0,7	#	4
Chrom	Φ g/l	2,1 / 14	2,7 / 14	5,4 / 21	#	100
Eisen	Φ g/l	50 / 390	77 / 800	65 / 1.090	#	1.500
Kupfer	Φ g/l	3,5 / 21	3,2 / 25	2,8 / 29	#	100
Mangan	Φ g/l	38 / 100	92 / 1.000	91 / 652	#	1.500
Nickel	Φ g/l	2,4 / 19	2,2 / 29	2,5 / 22	#	40
Quecksilber	Φ g/l	0,04 / 0,07	0,04 / 0,2	0,02 / 0,1	#	0,5
Zink	Φ g/l	13 / 230	20 / 289	37 / 328	#	300

1) Bei 200 mm Zusatzwasser pro Jahr in Folge.

2) Als Orientierung für Fruchtarten mit geringer bis mittlerer Salzverträglichkeit.

5 Schlussfolgerungen

- Eine qualitäts- und umweltgerechte Produktion insbesondere zur Frischvermarktung von Gemüse, Obst u. a. berechnungswürdigen Kulturen erfordert eine pflanzenbedarfsgerechte Bewässerung und nach den Anforderungen des Produkthaftungsgesetzes und des Verbraucherschutzes einen Nachweis für den Einsatz von hygienisch und chemisch unbedenklichem Beregnungswasser.
- Die Qualität des Beregnungswassers muss den nationalen Anforderungen für Bewässe-

rungrwasser nach der DIN 19650 (1999) bzw. im Ausland analogen Vorschriften entsprechen. Dazu können Analysen, die im Rahmen von Trink-, Bade- oder Oberflächenwasserüberwachung vorliegen, verwendet werden.

- Die Analysenergebnisse der Thüringer Fließgewässer weisen langjährig zu hohe bakteriologische Belastungen aus und erfordern Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität wie Zwischenspeicherung, Boden- und Sandfilter, Pflanzenkläranlagen und das Verschneiden unterschiedlicher Wasserquellen mit geeigneter Qualität.

Literaturverzeichnis

- Albrecht M, Pflieger I (1997, 1999, 2004) Empfehlungen für die Untersuchung und Bewertung von Wasser zur Bewässerung von gärtnerischen und landwirtschaftlichen Fruchtarten in Thüringen. Thür. Landesanstalt für Landwirtsch. Jena, 1. bis 3. Auflage, Eigenverlag, 21 S.
- Fricke E (2008) Mit Berechnung das Ertragsrisiko senken. top agrar H. 12, S. 100-103
- Pflieger I, Albrecht M (2003) Monitoring für Beregnungswasserqualität in Thüringen. Arbeitsbericht, Thür. Landesanstalt für Landwirtsch. Jena, Eigenverlag, 80 S.
- Bundes-Bodenschutzgesetz (1998) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998, Teil I, Nr. 16, Bonn, 24. März 1998
- Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (1999) BBodSchV - Anhang 2: Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte. Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999, Teil I, Nr. 36, Bonn, 16. Juli 1999
- Deutsche Norm DIN 19650 (1999) Bewässerung – Hygienische Belange von Bewässerungswasser. Normenausschuss Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin, 4 S.
- Fachbereichsstandard TGL 6466/01 (1986) Meliorationen – Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen – Güteanforderungen an Bewässerungswasser. Verlag Standardisierung Leipzig, 8 S.
- Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte (1989) Produkthaftungsgesetz. Bundesgesetzblatt I, Bonn, 15. Dez. 1989, 2198-2200
- Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen (1991) Güteanforderungen an Beregnungswasser für Freilandkulturen. Nr. 42, S. 863-873
- ÖWAV-Arbeitsbehelf (2003) Empfehlungen für Bewässerungswasser. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband – Arbeitsbehelf Nr. 11, Wien, 43 S.

Stoffverlagerungen durch Bewässerung in Niedersachsen

Ekkehard Fricke¹

Entsprechend der „Leitlinien zur ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung“, herausgegeben von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, ist eine ordnungsgemäße Feldberegnung darauf ausgerichtet, Zusatzwassergaben so pflanzennutzbar zu verabreichen, dass Verdunstung, Abdrift und Versickerung auf ein Minimum reduziert werden.

Verdunstung und Abdrift lassen sich wirksam nur durch eine ausschließliche Nachtberegnung mit i. d. R. niedrigeren Temperaturen, fehlender Sonneneinstrahlung und wenig Wind in Verbindung mit einer bodennahen und gleichmäßigen Wasserverteilung minimieren. In der Praxis ist die alleinige Nachtberegnung aber aus Kapazitätsgründen der Beregnungsanlagen oft nicht möglich.

Der Versickerung lässt sich dadurch vorbeugen, dass die Beregnung frühestens bei einer nutzbaren Feldkapazität von 50 % einsetzt und ein Feuchtegehalt des Bodens von 80 % der nutzbaren Feldkapazität nicht überschritten wird. Ausschließen lässt sich eine Versickerung von Wasser und Nährstoffen während der Vegetationsperiode jedoch nicht vollständig, da das geringe Wasserspeichervermögen der beregnungsbedürftigen Sandstandorte grundsätzlich auch eine höhere Austragsgefährdung bedeutet.

Nährstoffausträge aus einem Boden sind abhängig von den jeweiligen Standortverhältnissen und den Bewirtschaftungsverhältnissen. Die Standortverhältnisse sind geprägt durch das Klima, den Grundwasserflurabstand, die Bodenart und den Bodentyp. Die Bodenart und der Bodentyp bedingen das Wasserspeichervermögen (ausgedrückt in Feldkapazität) und die Wasserleitfähigkeit eines Bodens. Sie sind entscheidend für die Wasserversorgung der Pflanze, die Nährstoffverfügbarkeit sowie für die Grundwasserneubildung.

Die Bewirtschaftungsverhältnisse werden geprägt durch die jeweilige Fruchtfolge. Diese ist abhängig von den natürlichen Boden- und Standortverhältnissen, den wirtschaftlichen Rahmen-

bedingungen und den Betriebsstrukturen einer Region.

In der Diskussion um Gewässerschutz wird häufig die Befürchtung geäußert, dass durch die Feldberegnung auch die Auswaschung von Nährstoffen, insbesondere von Stickstoff, erhöht wird. Unterstellt man die Faustregel, dass auf einem wassergesättigten Sandboden 1 mm Niederschlag eine Stickstoffverlagerung von 1 cm bewirken kann, so ist eine Nitratauswaschung sowohl mit natürlichen Niederschlägen – vorrangig im Winterhalbjahr, aber auch durch unvorhergesehene Gewitterniederschläge während der Vegetationsperiode – als auch mit zu hoch bemessenen Beregnungsgaben möglich.

Der richtigen Beregnungssteuerung kommt daher eine wichtige Bedeutung im Hinblick auf eine Vermeidung von Stoffverlagerungen zu.

Nährstoffversorgung

Bei guter Wasserversorgung wird sowohl das Nährstoffaneignungsvermögen der Pflanzen als auch die Nährstoffverfügbarkeit aus dem Boden verbessert (Ehlers, 1996). Durch einen ausreichend hohen Feuchtegehalt im Boden wird einerseits durch höhere Mineralisation mehr bodenbürtiger Stickstoff bereitgestellt, andererseits wird der gedüngte Stickstoff in höherer Rate von den Pflanzen aufgenommen, als bei Wasserknappheit.

Diese positive Auswirkung der Beregnung auf die Nährstoffversorgung kann an der Nährstoffaufnahmemenge durch die Pflanzen und an den Nmin-Werten im Boden auf beregneten und unberegneten Flächen gemessen werden. Die höhere Nährstoffaufnahme auf beregneten Flächen führt dazu, dass durch höhere Erträge auch größere Nährstoffmengen wieder entzogen werden. Damit ist die Nährstoffbilanz auf beregneten Flächen vor allem in Trockenjahren deutlich ausgeglichener.

Verschiedene Versuche, u. a. eine von der LWK Hannover durchgeführte zehnjährige Versuchs-

¹ Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Niedersachsen), Geschäftsbereich Landwirtschaft, 30159 Hannover, ekkehard.fricke@lwk-niedersachsen.de.

reihe (Berechnungs- und N-Düngungsversuche) belegen diese Tatsache deutlich. Die Versuche wurden auf einem Sandstandort mit ca. 26 Bodenpunkten, ca. 70 mm nFK in 60 cm Wurzelraum und ca. 610 mm durchschnittlichem Jahresniederschlag durchgeführt.

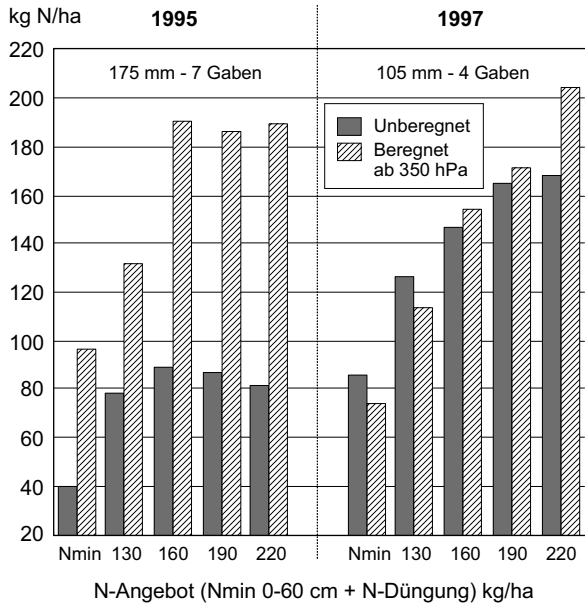


Abbildung 1
N-Abfuhr mit Kartoffelknollen bei unterschiedlichem N-Angebot und unterschiedlicher Berechnungsmenge

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Stickstoffentzüge von Kartoffeln bei unterschiedlichem N-Angebot und unterschiedlicher Berechnungsmenge aus dem Trockenjahr 1995 im Vergleich zum „Normaljahr“ 1997. Bei einem N-Angebot von 160 kg/ha wurden in den berechneten Varianten ungefähr 190 kg wieder entzogen, also mehr als zugeführt wurde. In der unberechneten Variante dagegen wurden von 160 kg/ha N-Angebot nur 90 kg entzogen. Es blieb also ein Überschuss von 70 kg N/ha im Boden zurück, der über Winter auswaschungsgefährdet war.

In Abbildung 2 sind die in der gleichen Versuchsvariante im 14-tägigen Abstand gemessenen Nmin-Werte dargestellt. Zur Ernte der Kartoffeln Anfang Oktober befanden sich in den berechneten Varianten noch knapp 20 kg Stickstoff im Boden, während es in der unberechneten ca. 50 kg waren. Nach der Ernte setzte in der unberechneten Variante eine Mineralisation des zum Teil ungenutzten Stickstoffs ein, sodass zu Beginn der Grundwasserneubildungsphase, Ende November, ca. 70 kg N/ha gemessen wurden. Die Differenz zwischen der berechneten und der unberechneten Variante lag bei knapp 40 kg N/ha. Im folgenden Frühjahr wurden auf derselben Fläche 26 kg Nmin gemessen.

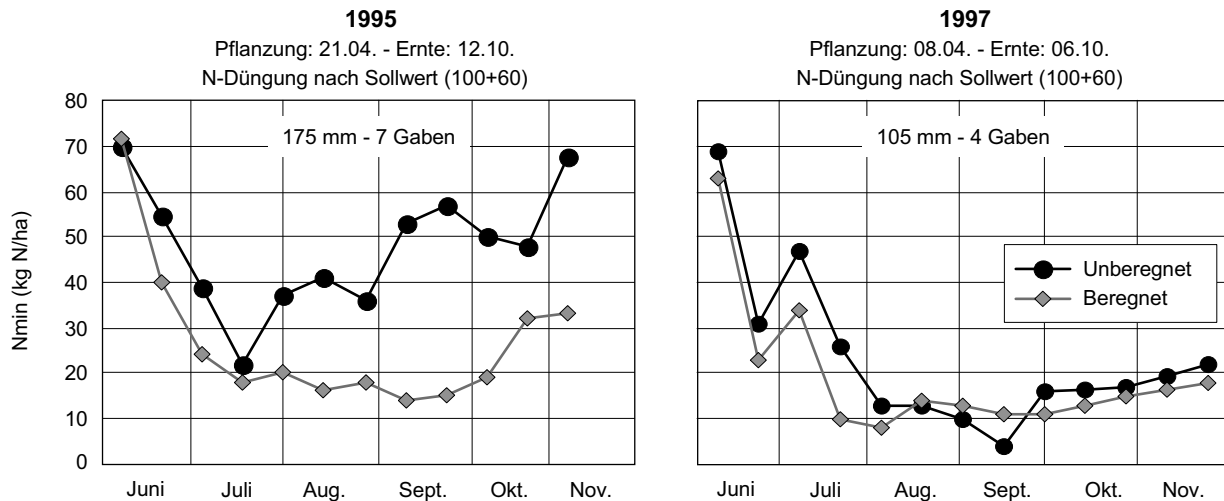


Abbildung 2
Nmin-Werte unter Kartoffeln

Die vier trockensten Jahre

Ähnliche Werte lassen sich auch in den anderen sehr trockenen Jahren finden. Abbildung 3 zeigt die Nmin-Restwerte nach Kartoffeln in den vier trockensten der zehn Versuchsjahre. Sie lagen in den berechneten Varianten zwischen 18 und 35 kg/ha (im Mittel der vier Jahre bei 28 kg), in den unberechneten zwischen 63 und 78 kg/ha (im Mittel bei 69 kg). Im folgenden Frühjahr wurden dann Werte zwischen 12 und 32 kg/ha gemessen (im Mittel der vier Jahre 20 kg). Das bedeutet, dass die Differenz zwischen im Mittel 69 kg und 20 kg in tiefere Bodenschichten verlagert worden ist und mit der Nmin-Probenahme bis 90 cm Bodentiefe nicht mehr erfasst werden konnte.

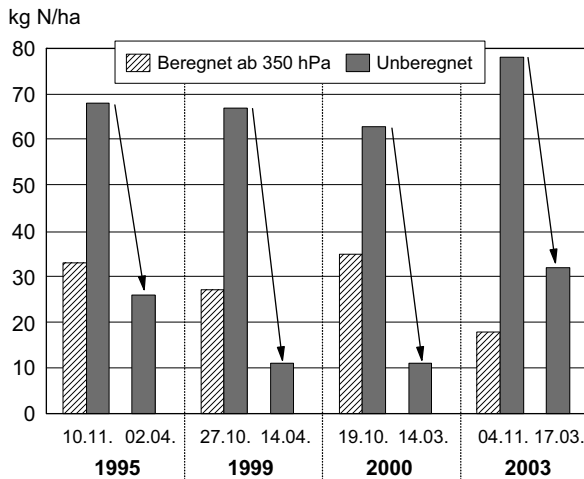


Abbildung 3
Nmin-Werte nach Kartoffeln zu Beginn der Grundwasserneubildungsphase (Standort: Nienwohlde, LK Uelzen)

Auch hier wird die große Bedeutung der Berechnung für eine Ausnutzung der gedüngten Nährstoffe sichtbar. Hohe N-Überschüsse im Herbst sind im Folgejahr für die Pflanzen nicht mehr nutzbar und befinden sich auf dem Weg in tiefere Bodenschichten und letztlich ins Grundwasser.

Nmin-Tiefenbohrungen

Diese Aussagen können durch die nach Abschluss der zehn Versuchsjahre durchgeführten Tiefenbohrungen belegt werden (siehe Abbildung 4). In Zusammenarbeit mit dem damaligen NLFb (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung) wurden jeweils vier Bohrungen auf

den langjährig unberechneten und vier Bohrungen auf den langjährig berechneten Parzellen bis in 12 m Tiefe vorgenommen. Im Mittel der vier Bohrungen befanden sich im gesamten Profil unter den unberechneten Parzellen 168 kg Nitrat, während es unter den berechneten nur 128 kg Nitrat waren.

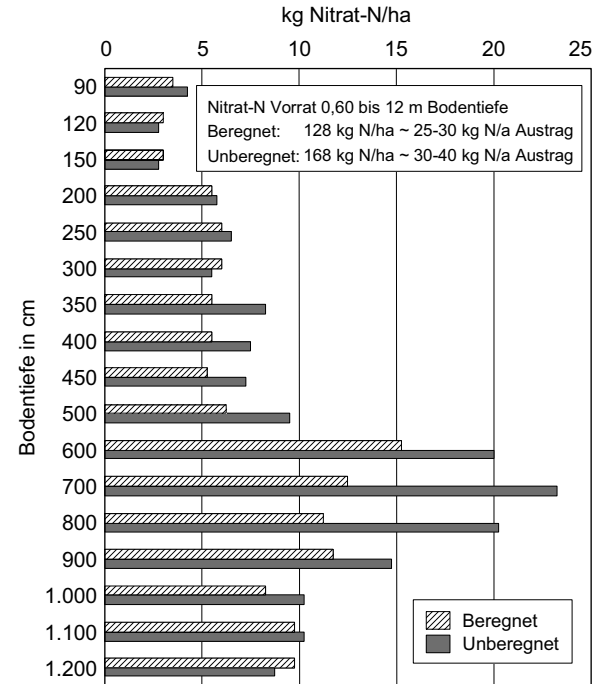


Abbildung 4
N-Mengen im Tiefenprofil nach zehnjährigem Berechnungsversuch (Mittelwert aus sechs Bohrungen bis 12 m Tiefe)

Bei einer angenommenen Sickerwasserbildung von ca. 150 bis 200 mm/Jahr ergibt sich auf dem beschriebenen Sandstandort eine jährliche Verlagerungstiefe von etwa 2 m. Mit der 12 m tiefen Bohrung dürfte damit etwa die Nitrat-Verlagerung der letzten sechs Jahre erfasst worden sein. Umgerechnet auf den jährlichen Nitrataustrag bedeutet dies:

Unter den unberechneten Flächen werden jährlich 30 bis 40 kg Nitrat ausgewaschen, während es unter berechneten Flächen nur 25 bis 30 kg waren.

Anhand der dargestellten Versuchsergebnisse wird deutlich, dass die Berechnung vor allem in Trockenjahren für den qualitativen Grundwasserschutz deutliche Vorteile bringt. Dies ist bedingt durch eine bessere Nährstoffverfügbarkeit während der Vegetationsperiode und damit ver-

bundenen höheren Nährstoffentzug durch die Pflanzen. Die potenzielle Gefahr von Nährstoffverlagerungen ist damit auf richtig berechneten Flächen geringer.

Literaturverzeichnis

Ehlers W (1996) Wasser in Boden und Pflanze.
Verlag Ulmer, Stuttgart

Analyse des Bewässerungsbedarfes und Bewässerungskontrolle im Gartenbau

Dr. Uwe Schindler und Dr. Gunnar Lischeid¹

1 Einleitung

Das Erreichen hoher und stabiler Erträge im Gartenbau erfordert die Sicherung des Wasser- und Nährstoffbedarfes der Pflanzen in allen Phasen der Ertragsbildung. Auch kurzfristige Defizite können zu Wachstumsstress und Ertrags- sowie Qualitätsminderung führen. Durch Bewässerung und Düngung kann der Wasser- und Nährstoffhaushalt so reguliert werden, dass die Pflanze durchweg optimal versorgt ist. Eine überhöhte Wasserzufuhr kann jedoch andererseits auch zu Wachstumsdepressionen infolge Wasserstau und Luftmangel sowie Verlusten von Wasser- und Nährstoffen durch Auswaschung führen. An eine effiziente und Ressourcen schonende Bewässerung sind deshalb folgende Anforderungen zu stellen:

1. Optimale Versorgung der Pflanzen mit Wasser- und Nährstoffen für eine maximale Ertragsbildung bei hoher Qualität des Ernteproduktes
2. Minimierung von Wasser- und Nährstoffverlusten durch Sickerwasseraustrag

Um diese Forderungen erfüllen zu können, sind neben geeigneter Bewässerungstechnik Informationen zum zeitlichen Bedarf von Wasser- und Nährstoffen erforderlich. Des Weiteren müssen Methoden verfügbar sein, die eine Kontrolle des Ressourcen schonenden Wassermanagements ermöglichen.

2 Grundlagen

2.1 Anforderungen an die Bewässerungssteuerung

2.1.1 Optimale Wasserversorgung von Gartenfrüchten

Gemüsekulturen und Zierpflanzen haben einen hohen Anspruch an die Wasser- und Nährstoffversorgung. Sie reagieren sehr sensitiv auf Wasserstress und besitzen im Vergleich zu Ackerkulturen einen kleineren Wurzelraum. Daraus resultieren ein geringerer Wasserspeicherpuffer in

Dürrephasen und entsprechend hohe Anforderungen an die Präzision der Bewässerung in Zeit und Menge. In Anlehnung an Taylor (1965) ist die Wasserversorgung von Gemüsekulturen und Obstgehölzen optimal für einen Maximalertrag, wenn die Saugspannung im Wurzelraum im Mittel 800 hPa nicht überschreitet. Der Anspruch einzelner Gemüsearten ist jedoch unterschiedlich (Abbildung 2.1). Bei Blattgemüse reicht die Spanne von 200 bis 800 hPa, wobei die meisten Gemüsearten in dieser Gruppe ihre Optimalbedingungen im Bereich zwischen 300 und 500 hPa haben. Wurzelgemüse ist mit einer Gesamtspanne von 300 bis 700 hPa sogar noch etwas anspruchsvoller hinsichtlich Präzision der Steuerung, während bei Obstgehölzen die Saugspannung auch mal die 1000 hPa-Grenze überschreiten darf.

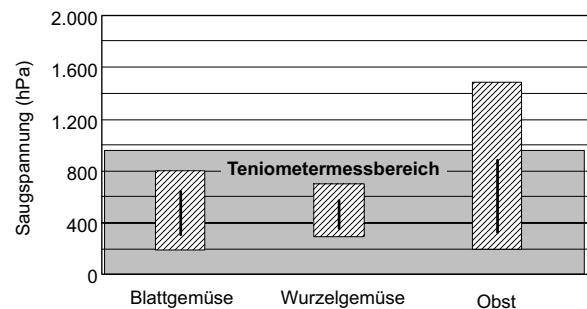


Abbildung 2.1
Saugspannungen für einen Maximalertrag

2.1.2 Bedeutung des Bodens

Die Saugspannung, die im Boden herrscht, kennzeichnet die Energie, die die Pflanze aufbringen muss, um dem Boden das Wasser zu entziehen. Sie ist unabhängig von der Bodenart. Der Wassergehalt, den der Boden bei der jeweiligen Saugspannung besitzt, ist jedoch stark vom Boden, seiner Textur, der Trockenrohdichte und dem Humusgehalt beeinflusst.

Die Abhängigkeit zwischen Saugspannung und Wassergehalt wird durch die Wasserretentionsfunktion gekennzeichnet (auch als pF-Kurve be-

¹ Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, uschindler@zalf.de.

zeichnet, wenn die Saugspannung in hPa als dekadischer Logarithmus dargestellt ist). Einige typische Wasserretentionsfunktionen für ausgewählte Bodenarten sind in Abbildung 2.2 dargestellt. Die Wasserretentionsfunktion ist die Grundlage zur Ermittlung der Wassermengen für die Beregnungssteuerung.

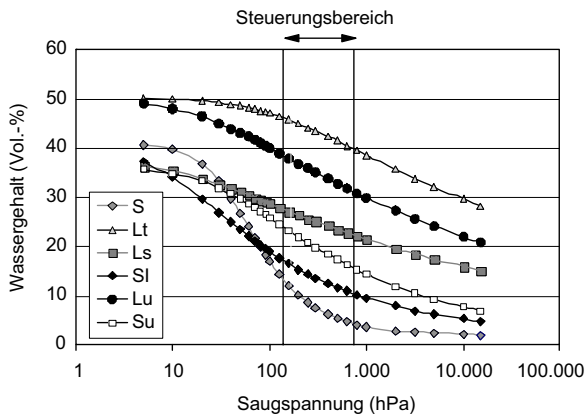


Abbildung 2.2
Typische Wasserretentionsfunktionen von Bodenarten (nach KA5, Bodenkundlicher Kartieranleitung, KA5, 2005)

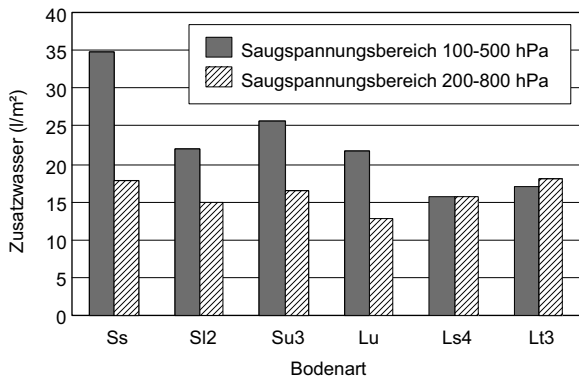


Abbildung 2.3
Zusatzwasser (l/m²) für die Änderung der Saugspannung in einer 30 cm Bodenschicht

Abbildung 2.3 gibt beispielhaft einen Überblick, wie viel Wasser bei den jeweiligen Bodenarten auszubringen ist, um die Saugspannung in einer gewissen Spannbreite für eine definierte Bodenschicht (Wurzelzone) zu verändern. Die Unterschiede sind teilweise erheblich. Für eine konkrete Bewässerungssteuerung sollte deshalb die Wasserretentionsfunktion von dem jeweiligen Boden vorher gemessen werden. Die Verwen-

dung mittlerer pF-Kurven kann nur eine erste Orientierung liefern.

3 Methoden

3.1 Messung hydraulische Kennfunktionen von Bodenproben

Die hydraulischen Kennfunktionen (Wasserretentionsfunktion, hydraulische Leitfähigkeitsfunktion) können sehr effektiv mit dem Verdunstungsverfahren (Schindler und Müller, 2006) gemessen werden. Diese Verfahrenslösung stellt eine vereinfachte und hinlänglich geprüfte (Wendroth, 1993; Peters und Durner, 2008) Modifikation des Verdunstungsverfahrens nach Wind (1966) dar und wird heute weltweit in vielen bodenphysikalischen Laboratorien angewendet.

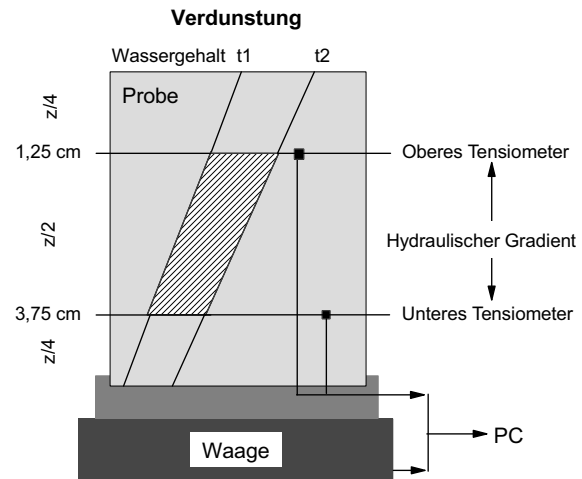


Abbildung 3.1
Prinzipdarstellung des vereinfachten Verdunstungsverfahrens

Eine Bodenprobe (250 cm³, Höhe 5 cm) wird wassergesättigt. In die Probe werden zwei Tensiometer in 1,25 cm und 3,75 cm unter Stechzylinderoberkante eingebaut. Die Probe wird basal verschlossen, auf eine Waage gestellt und die Probenoberfläche der Verdunstung ausgesetzt. Im Zeitintervall werden die Saugspannungen vom oberen und unteren Tensiometer und die Probenmasse gemessen. Aus den Saugspannungen wird der hydraulische Gradient berechnet. Die Masseänderung der Probe bildet die Grundlage für die Ermittlung des Fluxes durch die Probe. Diese Werte reichen aus, um die Wasserretentionsfunktion und die hydraulische Leitfähigkeitsfunktion zu berechnen. Die Funktionen sind über den gesamten Messbereich mit einer Viel-

zahl von Messwerten belegt. Durch die Verwendung neuartiger T5-Tensiometer (UMS GmbH München) ist es heute möglich, die Funktionen

bis weit über die 100 kPa-Grenze hinaus zu messen (Abbildung 3.2).

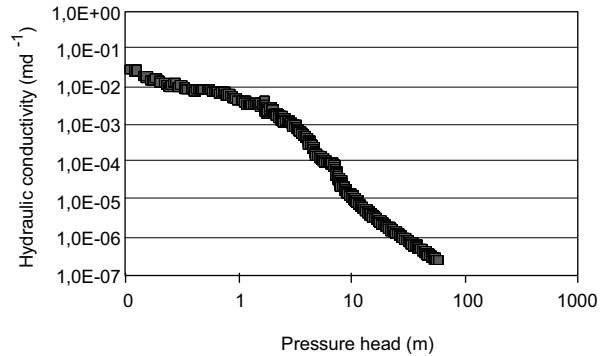
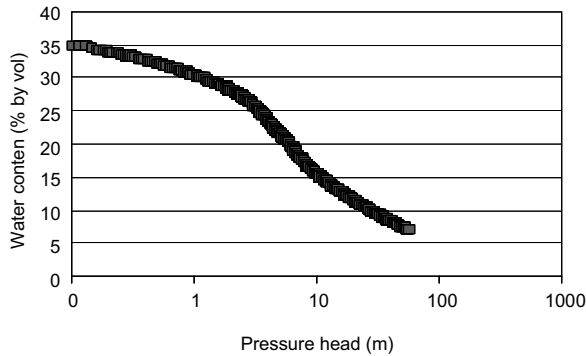


Abbildung 3.2

Wasserretentionsfunktion (links), hydraulische Leitfähigkeitsfunktion (rechts). Ap 10-15 cm, lehmiger Schluff, Luacheng, China

Das Messsystem HYPROP (UMS GmbH) München ermöglicht die vollautomatische Analyse der hydraulischen Kennfunktionen (Abbildung 3.3). Es ist eine Parallelmessung von mehr als 10 Proben möglich. Die Messzeit beträgt je nach Boden und Verdunstungsrate zwischen zwei (Tonböden) und zehn Tagen (Torf und Sandböden).

3.2 Quantifizierung der Tiefensickerung und des Stoffaustrages aus der Wurzelzone

Die Quantifizierung der Tiefensickerung und des Stoffaustrages ist erforderlich für die Kontrolle der Bewässerungsgüte hinsichtlich Ressourcenschonung und Umweltverträglichkeit.

In Abhängigkeit von den Niederschlags- und Verdunstungsbedingungen ist ein ständiger Wechsel von Infiltration, Sickerwasserfluss, kapillarem Wasseraufstieg und Pflanzenwasserentzug vorhanden. Mit zunehmender Bodentiefe laufen diese Prozesse langsamer und gedämpft ab (Voigt, 1980; Kutilek und Nielsen, 1994).

Die Grundidee für die Abschätzung der Sickerwasserdynamik aus bodenhydrologischen Messungen bestand deshalb darin, in Bodentiefen zu messen, wo keine Pflanzenwasserentnahme, direkt oder aus kapillarem Wasseraufstieg, mehr erfolgt und damit Messwertänderungen (Saugspannung und Wassergehalt) ausschließlich auf Veränderungen des Sickerwasserflusses zurückzuführen sind (Schindler und Müller, 1998). Diese Bedingungen sind unterhalb der hydraulischen Scheide (Renger et al., 1970) erfüllt. Auf den meisten Acker- und Grasstandorten befindet sich die hydraulische Scheide gewöhnlich dauerhaft oberhalb 3 m, auf Waldstandorten oberhalb 5 m Tiefe (Schindler et al., 2008). Im Gartenbau wird eine Messtiefe von 1,5 m als ausreichend angenommen. Eine konkrete Prüfung kann

v- Flux (Tiefensickerung), w- Wassergehalt, i- hydraulischer Gradient, k-hydraulische Leitfähigkeit, TDR- Time Domain Relectrometry

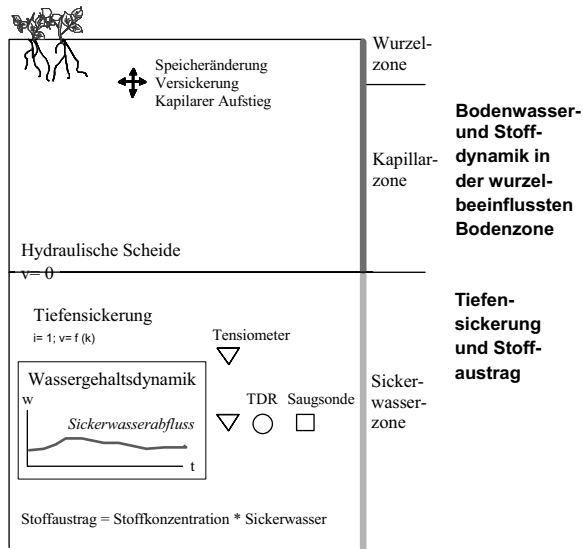


Abbildung 3.3

Schematischer Aufbau bodenhydrologischer Messplätze zur Quantifizierung der Sickerwasserdynamik und des Stoffaustrages

über den hydraulischen Gradienten in der Messtiefe abgeleitet werden (Abbildung 3.4).

Vorgehensweise (Schindler und Müller, 1998):

Wassergehalt (Θ) und Druckhöhe (h) werden unterhalb der hydraulischen Scheide kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. Auf Acker- und Grasstandorten wird gewöhnlich in 3 m Tiefe und auf Waldstandorten in 5 m Tiefe gemessen. Im Gartenbau wird eine Messtiefe von 1,5 m als ausreichend angenommen. Die Tensiometer sind in den Tiefen frostsicher. Aufgrund der langsamen und kontinuierlichen Änderung der Messwerte sind Messintervalle in Tagesintervallen ausreichend (Schindler et al., 2008). Die zusätzliche Messung der Druckhöhe in geringer Höhenentfernung von der Messtiefe (10 oder 20 cm) ermöglicht die Berechnung des hydraulischen Gradienten (i) und erlaubt den konkreten Nachweis, ob sich die Messtiefe zu dem jeweiligen Zeitpunkt unterhalb der hydraulischen Scheide befunden hat. Die hydraulische Scheide grenzt die Bodenzone mit Pflanzenwasserentnahme (oberhalb) von der Sickerwasserzone (unterhalb) ab. An der hydraulischen Scheide ist der hydraulische Gradient $i = 0$, darunter ist $i < 0$, darüber $i > 0$. Gegebenenfalls können so Perioden mit aufwärts gerichteter Wasserbewegung und Pflanzenwasserentnahme ausgegrenzt werden.

Die Wasserretentionsfunktion – Beziehung zwischen Druckhöhe und Bodenwassergehalt – wird angepasst und die relative hydraulische Leitfähigkeitsfunktion wird berechnet. Aus der relativen K-Funktion und dem Wassergehaltsverlauf werden relative Sickerwasserraten für Tagesintervalle berechnet. Auf Grundlage einer Kalibrierung an der Wasserbilanz werden diese relativen Sickerwasserraten in ein reales Niveau transformiert. Als Kalibrierungsperiode wird vorzugsweise ein frostfreier Zeitraum im Winter/Frühjahr genutzt. Ist das System kalibriert, werden für die weitere Sickerwasserberechnung außer den Wassergehaltsmessungen keine weiteren Informationen benötigt wie Niederschlag, Bodenkennwerte u. a.

3.3 Prüfung der Methode zur Sickerwasserabschätzung an Lysimeterergebnissen

Die Prüfung der Methodik zur Sickerwasserabschätzung aus bodenhydrologischen Messungen erfolgte im Vergleich mit Lysimetermessungen der Station Dedelow (Uckermark).

Von den 32 Lysimetern (geschüttet, Gravitationsabfluss, Grundfläche 1*1 m, Tiefe 2 m) wurde ein Lysimeter (Sandbraunerde) für die Vergleichsuntersuchungen ausgewählt (Schindler et al., 2003). Die Messung der Bodenfeuchte erfolgte mit einer TDR-Sonde in 1,85 m Tiefe. Die Druckhöhe wurde mit Tensiometern in 1,6 und 1,85 m Tiefe erfasst. Der Abfluss wurde täglich gemessen. Bei geringen Abflüssen erfolgte die Messung zweimal wöchentlich. Kalibrierungsperiode war der Zeitraum vom 1. November 2001 bis 15. Februar 2002. Die Validierung erfolgte vom 16. Februar 2001 bis 7. Mai 2008.

Für den Vergleich der gemessenen mit den aus Bodenwassergehaltswerten berechneten Sickerwasserraten wurde der Willmott Index of Agreement (Legates and McCabe, 1999) herangezogen. Der Index d variiert zwischen 0 (schlechte Übereinstimmung) und 1 (perfekte Übereinstimmung)

$$d = 1 - \frac{\sum(O_i - P_i)^2}{\sum(|P_i - O_m| + |O_i - O_m|)^2}$$

O_i – gemessene Werte, P_i – berechnete Werte, O_m – Mittelwert gemessen

Der Vergleich der gemessenen mit den berechneten Sickerwasserabflüssen (Abbildung 3.5) zeigte eine gute Übereinstimmung ($d = 0,97$) sowohl bei den Tageswerten als auch bei der Summenkurve. Damit wird bestätigt, dass diese sehr einfache und kostengünstige Methode durchaus Potential hat für eine Sickerwasserabschätzung in situ.

Die Methode zur Abschätzung der Sickerwasserdynamik und des Stoffaustuges wird seit mehr als 15 Jahren erfolgreich auf Acker, Gras und Waldstandorten angewendet. Die Ergebnisse sind in Schindler und Müller (2008) zusammengestellt.

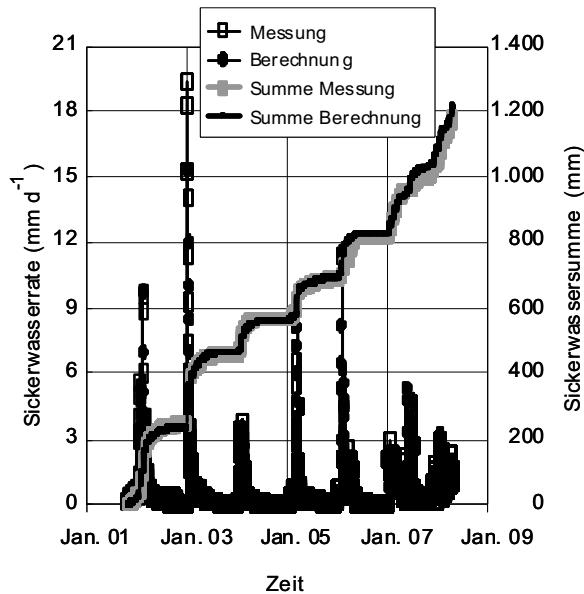


Abbildung 5
Vergleich der Sickerwasserraten aus bodenhydrologischen Messungen mit Lysimeterergebnissen, Lysimeter der Anlage Dedelow (Uckermark)

4 Schlussfolgerungen

Eine effektive und Ressourcen schonende Bewässerungssteuerung im Gartenbau erfordert die Einstellung optimaler Bodenfeuchteverhältnisse in der Wurzelzone und die Minimierung von Wasser- und Stoffaustrag infolge Bewässerung.

Die Kenntnis hydraulischer Kennfunktionen des Gartenbodens ist Voraussetzung für die präzise Anpassung der Bewässerungsgaben.

Mit dem Verdunstungsverfahren können die hydraulischen Kennfunktionen effektiv und in hoher Güte quantifiziert werden.

Die Kontrolle der Bewässerungsgüte hinsichtlich Sickerwasserverlust und Stoffaustrag kann durch einfache und kostengünstige bodenhydrologische Messungen erfolgen.

Der Vergleich mit Lysimeterergebnissen bestätigte die Eignung der Methodik

Die Methodik wurde in den letzten 15 Jahren erfolgreich auf ackerbaulich genutzten Standorten in Versuchen und auf Praxisflächen angewendet.

Literaturverzeichnis

- Bodenkundliche Kartieranleitung; KA5, (2005) 5. verbesserte Auflage. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 438 Seiten
- Kutilek M, Nielsen DR (1994) Soil hydrology. GeoEcology textbook. Cremlingen-Destedt: Catena Verlag. pp 370
- Legates DR, McCabe GJ (1999) Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*. 35(1). 233-242
- Peters A, Durner W (2008) Simplified evaporation method for determining soil hydraulic properties. *Journal of Hydrology*. 356, 147–162.
- Renger M, Giesel W, Strebel O, Lorch S (1970) Erste Ergebnisse zur quantitativen Erfassung der Wasserhaushaltskomponenten in der ungesättigten Zone. *Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenk.*, 126(1), 15-33
- Schindler U, Müller L (1998) Calculating deep seepage from water content and tension measurements in the vadose zone at sandy and loamy soils in north-east Germany. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 43. 233-243
- Schindler U, Wolff M, Kühn G (2001) Lysimeterstudie zum Einfluss von Düngung und Bewirtschaftung auf die Ertragsbildung, den Wasserhaushalt und die Nährstoffauswaschung im Trockengebiet der Uckermark. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, (164) 697-703
- Schindler U, Müller L (2006) Simplifying the evaporation method for quantifying soil hydraulic properties. *J. of Plant Nutrition and Soil Science*. 169 (5). 169.623-629
- Schindler U, Müller L, Eulenstein F, Dannowski R (2008) A long-term hydrological soil study on the effects of soil and land use on deep seepage dynamics in northeast Germany. - *Archives of Agronomy and Soil Science*. 54 (5): 451-463
- Taylor A (1965) Managing irrigation water on the farm. *Transactions of Amer. Soc. of Agri. Engineers*
- UMS GmbH (2008) HYPROP Bedienungsanleitung: www.ums-muc.de/fileadmin/produkt_downloads/Bodenlabor/Hyprop_Anleitung.pdf

Voigt HJ (1999) Hydrogeochemie. Springer Verlag. Berlin, pp. 310

Wendroth O, Ehlers W, Hopmans JW, Klage H, Halbertsma J, Woesten JHM (1993) Re-evaluation of the evaporation method for determining hydraulic functions in unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1436–1443

Wind GP (1966) Capillary conductivity data estimated by a simple method. In: *Proc. UNESCO/IASH Symp. Water in the unsaturated zone. Wageningen. The Netherlands.* 181-191

Investitionen und Verfahrenskosten für die Feldbewässerung – Ergebnisse der KTBL-Arbeitsgruppe „Feldbewässerung“

Till Belau, Dr. Norbert Fröba¹

1 Einleitung

In trockenen Jahren ist die Feldberegung von existenzieller Bedeutung für den Gartenbau. Aber auch im Mittel der Jahre leistet sie einen positiven Beitrag zur Ertragssicherung. Die KTBL-Arbeitsgemeinschaft „Technik in der Pflanzenproduktion“ richtete die Arbeitsgruppe „Feldbewässerung“ ein, um den Stand des Wissens zu dokumentieren und aktuelle Kalkulationsdaten zur Bewässerungstechnik und -steuerung zur Verfügung zu stellen.

Die Arbeitsgruppe begleitete Datenerhebungsprojekte zu den Kosten von Beregnungsmaschinen mit Weitstrahlregnern, Beregnungsmaschinen mit Düsenwagen, Großflächenregnern, Regnerleitungen (Rohrberegnungen), Tropfbewässerungsanlagen und der Wasserbereitstellung. Neue Daten zum Arbeitszeitbedarf werden in diesem Jahr erhoben.

2 Bewässerungsverfahren

Rohrberegnung, Beregnungsmaschine und Tropfbewässerung sind die häufigsten Bewässerungsverfahren im Gartenbau. Im Folgenden werden für diese drei Verfahren an Hand von Modellannahmen die Investitionen, die Arbeitsverfahren und die Verfahrenskosten vorgestellt.

2.1 Rohrberegnung

2.1.1 Annahmen

Für die Ermittlung des Investitionsbedarfs sind Beregnungsflächen von 1, 2 und 5 ha zugrunde gelegt. Der Aufstellungsverband beträgt 12 m x 24 m. Das bedeutet, dass alle 24 m eine Regnerleitung installiert wird, auf der im Abstand von 12 m Kreisregner montiert sind. In diesem Beispiel werden Bandstahlrohre mit 70 mm Innendurchmesser verwendet. Die Wasserversorgung erfolgt durch Hydranten, die einen Druck von 3 bis 5 bar an der Einspeisestelle bereitstellen und somit ein für eine ausreichend gute Wasserverteilung notwendiger Druck von min. 2,5 bar an den Regnern zur Verfügung steht.

2.1.2 Investitionen

Die Kosten der modellierten Rohrberegnungsanlagen sind in Tabelle 1 dargestellt.

*Tabelle 1
Investitionen für eine Rohrberegnung bei Anlagen-
größen von 1, 2 und 5 ha*

Beregnungs- fläche	Preis €	Nutzungsumfang		Fixe Kosten €/a	Variable Kosten €/h
		Zeit a	Leistung h		
1 ha	5.700	15	375	494	2,3
2 ha	11.200	15	375	971	4,5
5 ha	26.800	15	375	2.323	10,8

2.1.3 Arbeitsverfahren

Zum Betrieb der beschriebenen Rohrberegnungsanlagen fallen drei Arten von Arbeiten an: Aufbau, Beregnung und Abbau.

Der „Aufbau“ erfolgt mit zwei Personen. Er beinhaltet den Transport der Anlage vom Hof zum Feld und den eigentlichen Aufbau. In diesem Arbeitsgang werden ein Standardtraktor mit Allradantrieb, 45 kW (1 ha) bzw. 67 kW (> 1 ha) und ein Anhänger, 40 km/h, 9 t Nutzlast eingesetzt.

Das „Beregnen“ (im Beispiel 20 mm) beinhaltet die Fahrt einer Person zum Feld und zurück (Pickup, 120 kW), das Einschalten der Anlage sowie eine Kontrolle am Feld.

Der „Abbau“ erfolgt wieder mit zwei Personen. Er beinhaltet den Abbau am Feld und den Transport der Anlage vom Feld zum Hof. Es werden die gleichen Maschinen wie beim Aufbau eingesetzt.

2.1.4 Verfahrenskosten

In diesem Beispiel werden 100 mm im Jahr mit fünf Gaben à 20 mm beregnet. Das Wasser kostet 0,21 €/m³ und die Lohnkosten werden mit 15 €/Akh kalkuliert. Einen Vergleich der Verfah-

¹ Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt, t.belau@ktbl.de.

renskosten für Feldgrößen von 1, 2 und 5 ha zeigt Abbildung 1.

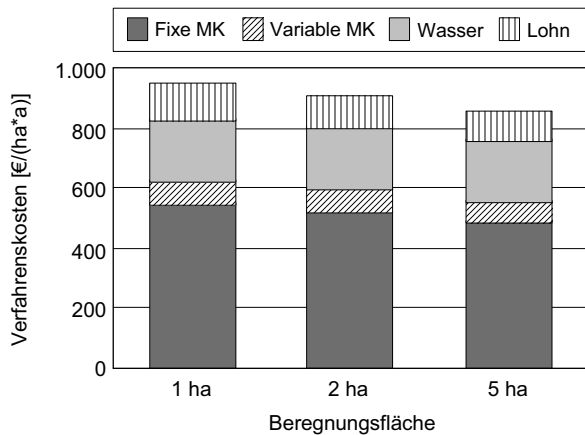


Abbildung 1

Vergleich der spezifischen Kosten pro ha für die Rohrberegnung bei 5 Gaben à 20 mm. (MK: Maschinenkosten)

Mehr als die Hälfte der Verfahrenskosten entfallen auf die fixen Maschinenkosten, während auf die variablen Maschinenkosten und den Lohn zusammen nur etwa 20 % entfallen. Werden eigene Pumpen zur Wasserbereitstellung eingesetzt, sinken die Wasserkosten zulasten der variablen Maschinenkosten.

2.2 Beregnungsmaschine

2.2.1 Annahmen

Die Wasserverteilung erfolgt mit einem Einzelregner (Schlauchlänge 500 m, Durchsatz 60 m³/h). Die Wasserversorgung erfolgt hier durch Hydranten, die einen Druck von 7 bis 10 bar an der Einspeisestelle bereitstellen um für eine ausreichend gute Wasserverteilung am Einzelregner einen Druck von 3 bis 4,5 bar zu gewährleisten.

2.2.2 Investitionen

Tabelle 2 zeigt die Kosten für Beregnungsmaschinen mit Schlauchlängen von 200 bis 600 m und nutzbaren Beregnungsbreiten von 44 bis 80 m.

Tabelle 2

Investitionen von Beregnungsmaschinen bei unterschiedlicher Schlauchlänge und Nennfördermenge

Schlauchlänge; Nennfördermenge	Preis €	Nutzungsumfang		Fixe Kosten €/a	Variable Kosten €/h
		Zeit a	Leistung h		
	€	a	h	€/a	€/h
200 m; 16 - 25 m ³ /h	7.500	12	480	775	3,80
350 m; 26 - 35 m ³ /h	11.500	12	700	1.188	4,00
400 m; 36 - 50 m ³ /h	13.500	12	1.100	1.395	3,00
500 m; 51 - 70 m ³ /h	24.000	12	1.400	2.480	4,10
500 m; 71 - 85 m ³ /h	29.000	12	1.700	2.997	4,10
600 m; 86 - 105 m ³ /h	33.500	12	2.000	3.462	4,00

2.2.3 Arbeitsverfahren

Für Bewässerung mit der Beregnungsmaschine fallen in diesem Beispiel die drei Arbeitsgänge Transport, Beregnen und Umsetzen an, die jeweils von einer Person erledigt werden.

Der „Transport“ beinhaltet den Weg zwischen Hof-Feld und Feld-Hof sowie ein erstes Betriebsbereitmachen der Beregnungsmaschine auf dem Feld. Der Transport erfolgt mit einem Standardtraktor mit Allradantrieb (67 kW).

Das „Beregnen“ (20 mm) beinhaltet die Fahrt zum Feld und zurück (Standardtraktor mit Allradantrieb, 67 kW) und das Einschalten sowie eine Kontrolle am Feld.

Das „Umsetzen“ beinhaltet den Transport zum nächsten Aufstellungspunkt und das Betriebsbereitmachen. Bei der 10 ha-Variante bedarf es eines zweimaligen Umsetzens der Beregnungsmaschine.

2.2.4 Verfahrenskosten

In diesem Beispiel werden ebenfalls 100 mm im Jahr mit fünf Gaben à 20 mm berechnet. Das Wasser kostet 0,21 €/m³, und die Lohnkosten werden mit 15 €/Akh kalkuliert.

Einen Vergleich der Verfahrenskosten für Feldgrößen von 5 und 10 ha zeigt Abbildung 2.

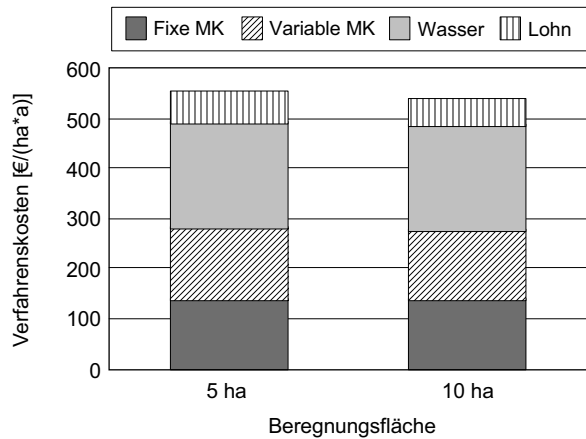


Abbildung 2
Vergleich der spezifischen Kosten pro ha für die Beregnungsmaschine mit 500 m Schlauchlänge und einem Durchsatz von 60 m³/h bei fünf Gaben à 20 mm. (MK: Maschinenkosten)

Während die Lohnkosten auch hier einen relativ kleinen Anteil haben, beanspruchen die fixen und die variablen Maschinenkosten jeweils etwa 25 % und die Kosten für das Wasser etwa 40 %.

2.3 Tropfbewässerung

2.3.1 Annahmen

Die dargestellte Tropfbewässerungsanlage eignet sich für den Einsatz bei Erdbeeren auf Dämmen. Die Investitionen beziehen sich auf Anlagengrößen von 0,5, 1, 2 und 5 ha. Der Tropfrohrabstand beträgt 1 m. Die Tropfer sind im Abstand von 0,3 m auf dem Tropfrohr angebracht und haben eine Wasserdurchflussrate von 0,6 l/h. Die Wasserversorgung erfolgt durch Hydranten, die einen Druck von 3 bis 5 bar an der Einspeisestelle bereitstellen.

2.3.2 Investitionen

Tabelle 3 zeigt die Kosten für nicht druckkompensierte Tropfbewässerungsanlagen für Beregnungsflächen von 0,5 bis 5 ha und einem Tropfrohrabstand von 1 m zum Einsatz in Dämmen.

Tabelle 3
Investitionen für nicht druckkompensierte Tropfbewässerungsanlagen bei Anlagengrößen von 0,5, 1, 2 und 5 ha und einem Tropfrohrabstand von 1 m

Beregnungsfläche	Preis	Nutzungsumfang		Fixe Kosten	Variable Kosten
		Zeit	Leistung		
	€	a	h	€/a	€/h
0,5 ha	2.700	3	110	954	2,20
1,0 ha	3.400	3	110	1.201	2,80
2,0 ha	5.100	3	220	1.802	2,10
5,0 ha	9.600	3	440	3.392	2,00

2.3.3 Arbeitsverfahren

Beim Einsatz der Tropfbewässerung sind in diesem Beispiel drei Arten von Arbeiten zu erledigen: Aufbau, Bewässerung und Abbau.

Der „Aufbau“ beinhaltet den Transport der Anlage vom Hof zum Feld und den eigentlichen Aufbau der Anlage (Anschließen der Tropfrohre an die Verteilleitung). Der Prozess des Verlegens erfolgt in einem Arbeitsgang mit der Pflanzung, sodass nur die zusätzliche Arbeitszeit und die zusätzlichen Maschinenkosten für die Schlauchverlegung (Handling der Schlauchtrommeln auf der Pflanzmaschine u. Ä.) in die Kalkulation mit einfließen.

Das „Bewässern“ (14 mm) beinhaltet die Fahrt zum Feld und zurück, das Einschalten der Anlage sowie eine Kontrolle am Feld. Im Beispiel wird eine Wassereinsparung um 30 % zugrunde gelegt, sodass die einzelne Gabe nicht 20 mm, sondern 14 mm beträgt. Für die Fahrten wird ein Pkw Pickup (120 kW) eingesetzt.

Der „Abbau“ beinhaltet den Rückbau der Anlage und den Transport der Anlage vom Feld zum Hof. In diesem Arbeitsgang wird ein Standardtraktor mit Allradantrieb (67 kW), ein Wickelgerät und ab der 5 ha-Variante ein Zweiachsanhänger eingesetzt.

2.3.4 Verfahrenskosten

In diesem Beispiel verbleibt die Anlage für drei Jahre (Frigo Erdbeerkultur) auf dem Feld, und es werden 70 mm (fünf Gaben à 14 mm) pro Jahr bewässert. Das Wasser kostet 0,21 €/m³ und die Lohnkosten werden mit 15 €/Akh kalkuliert.

Die Verfahrenskosten für 1, 2 und 5 ha große Felder sind in Abbildung 3 dargestellt.

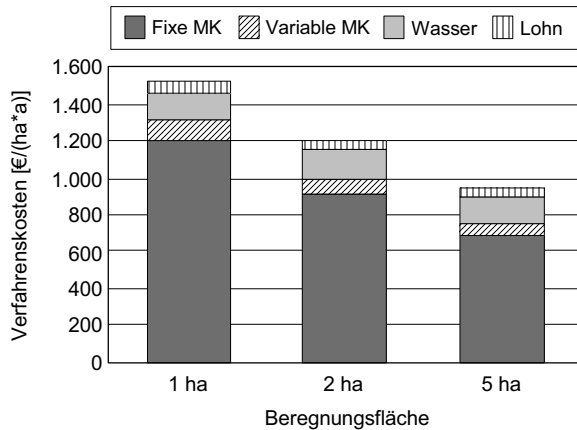


Abbildung 3

Vergleich der spezifischen Kosten pro ha für eine Tropfbewässerungsanlage in Erdbeeren auf Dämmen bei fünf Gaben à 14 mm über drei Jahre. (MK: Maschinenkosten).

Die Lohnkosten sind bei diesem Verfahren relativ niedrig, während die fixen Maschinenkosten alles dominieren. Die mit steigender Feldgröße sinkenden Verfahrenskosten sind den Kosten für die Kopfstation und die Querleitung geschuldet, die nicht im Verhältnis der Feldgröße ansteigen.

Ökonomik der Bewässerung im Gartenbau

Dr. Walter Dirksmeyer¹

1 Einleitung

Gartenbauliche Produkte reagieren sehr sensibel auf Wassermangel während der Produktionszeit. Vor dem Hintergrund hoher Qualitätsstandards ist dies der Grund dafür, dass eine gartenbauliche Produktion ohne Beregnung nicht möglich ist. Das Beregnungswasser für die Produktion im Freiland wird überwiegend dem Grundwasser entnommen. Für den Anbau unter Glas wird i. d. R. Regenwasser genutzt und nur der darüber hinaus gehende Bedarf wird mit Grundwasser gedeckt. Bei einer starken regionalen Konzentration beispielsweise des Gemüsebaus und entsprechenden hydrologischen Bedingungen kann dies temporär oder dauerhaft zu einer deutlichen Absenkung des Grundwasserspiegels führen. Ein Beispiel für eine solche Situation liefert das Knoblauchland, wo der Grundwasserspiegel im Sommer regelmäßig stark abgesunken ist, bevor die Beregnung im Jahr 2005 weitestgehend auf Uferfiltrat aus dem Regnitztal umgestellt wurde. Solche Effekte wie auch die Bestimmungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasserressourcen (EU-KOM, 2000) induzieren politische Aktivitäten, welche die Wasserverfügbarkeit auf Gartenbaubetrieben einschränken können. Daraus leitet sich die Frage ab, ob eine über die bestehenden Beschränkungen hinaus gehende Einschränkung der Wasserentnahmemöglichkeiten für den Gartenbau problematisch werden kann. Da auf der Ebene der gartenbaulichen Produktionsbetriebe über den Einsatz von Beregnungswasser entschieden wird, muss auch hier nach einer Antwort auf diese Frage gesucht werden.

Auf der politischen Ebene gibt es verschiedenen Möglichkeiten, die Nutzung von Grundwasser für die Bewässerung einzuschränken. Zu nennen sind:

- Die Verteuerung der Grundwassernutzung durch Abgaben oder Steuern,
- eine Regulierung der Entnahmemengen für Grundwasser oder
- zeitliche Nutzungsbeschränkungen.

Natürlich sind auch Kombinationen der genannten Maßnahmen denkbar. Unter dem Strich führen jedoch alle Ansätze dazu, dass das Angebot an Grundwasser knapper und damit seine Nutzung für die Betriebe teurer wird.

Vor dem Hintergrund einer möglichen Verknappung von Beregnungswasser resultieren auf Betriebsebene folgende Fragen:

- Ist die Produktion mit Bewässerung rentabel?
- Welche Beregnungstechnologien sind effizient?
- Für welche Kulturen sollte begrenzt verfügbares Beregnungswasser genutzt werden?
- Wann ist der optimale Bewässerungszeitpunkt?
- Wie viel Wasser sollte zu diesen Zeitpunkten gegeben werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen stehen verschiedene ökonomische Ansätze zur Verfügung, die im Folgenden vorgestellt und theoretisch diskutiert werden sollen.

2 Theoretischer Hintergrund

Die Rentabilität der Bewässerung und die effiziente Bewässerungstechnologie können mittels einer Investitionsanalyse bestimmt werden (Brandes und Odening, 1992). Das Entscheidungskriterium bei einer Investitionsanalyse ist der Gegenwartswert bzw. Kapitalwert einer Investition, der für eine rentable Investition positiv sein muss. Bei alternativen Investitionen ist diejenige mit dem höchsten Gegenwartswert effizient.

¹ Institut für Betriebswirtschaft, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, walter.dirksmeyer@vti.bund.de.

Der große Vorteil der dynamischen Investitionsanalyse gegenüber der statischen Rechnung² ist, dass der zeitliche Anfall der relevanten Zahlungsströme bei der dynamischen Investitionsanalyse berücksichtigt wird. Dies kann einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Analyse haben. Dadurch wird dem Aspekt Rechnung getragen, dass bei Investitionen zunächst die Investitionskosten anfallen, die Erträge der Investitionen jedoch erst zeitverzögert zurückfließen.

Zur Identifizierung der Kulturen, in denen knapp verfügbares Beregnungswasser eingesetzt werden sollte, können Simulationsmodelle zur Anbauplanung eingesetzt werden, welche die Verfügbarkeit knapper Produktionsfaktoren berücksichtigen. Das ökonomische Optimum für eine Anbauplanung liefert jedoch die Lineare Programmierung (Hazell und Norton, 1986).

Der optimale Beregnungszeitpunkt und die optimale Bewässerungsmenge können über bioökonomische Simulationsmodelle bestimmt werden. Ein vereinfachtes Beispiel solcher Modelle ist die Geisenheimer Bewässerungssteuerung, die auf Basis klimatischer und pflanzenbaulicher Parameter den optimalen Zeitpunkt für die Bewässerung bestimmt (Paschold et al., 2007). Den theoretischen Hintergrund für die Ermittlung der ökonomisch optimalen Beregnungsmenge bildet die Produktionsfunktionsanalyse, die zur optimalen speziellen Nutzungsintensität von variablen Produktionsfaktoren führt (Steinhauser et al., 1992).

Bei allen Analysen ist die Berücksichtigung von Risiko besonders wichtig (Hardaker et al., 1997), da mit den genannten Methoden jeweils in die Zukunft blickend Berechnungen angestellt werden, so dass Annahmen für die künftige Entwicklung bedeutender Parameter, wie beispielsweise für Produkt- und Faktorpreise oder für Erntemengen und -termine, getroffen werden müssen.

3 Rentabilität der Bewässerung im Freilandgemüsebau

Exemplarisch soll die Rentabilität von drei verschiedenen Bewässerungstechnologien für vier Freilandgemüsekulturen analysiert werden. Dafür werden die drei Technologien Beregnungsmaschine mit Großflächenregner, Rohrberegnung und Tropfberegnung miteinander verglichen. Für die beregnungsspezifischen Parameter wird auf die Daten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) zurückgegriffen, die in dem Beitrag von Belau und Fröba in diesem Tagungsband präsentiert werden. Die Kulturdaten stammen aus einer Datensammlung des Instituts für Gemüse- und Obstbau der Universität Hannover und des Arbeitskreises Betriebswirtschaft im Gartenbau e. V.³ (Fricke und Mandau, 2002). Für die exemplarische Analyse wurden mit Brokkoli und Eissalat zwei Kulturen ausgesucht, von denen zwei Sätze nacheinander angebaut werden können. Außerdem wurden Kohlrabi und Kopfsalat gewählt, von denen drei Sätze nacheinander produziert werden können.

Folgende Annahmen liegen der Analyse zu Grunde:

- Als Beregnungsmaschine wird eine kleinere Anlage mit 200 m Rohrlänge unterstellt, die bei 12 ha voll ausgelastet ist.
- Die Höhe der Beregnungsgaben beträgt jeweils 10 mm für die Tropf- und die Rohrberegnung und 20 mm für die Beregnungsmaschine.
- Die Flächengröße beträgt 1 ha. Die Kosten für die Beregnungsmaschine mit Großflächenregner werden anteilig berücksichtigt.
- Der Analysezeitraum leitet sich aus der Nutzungsdauer der untersuchten Technologien ab und beträgt 15 Jahre.
- Die Kosten für das Beregnungswasser ab Feld werden bei einem für alle drei Technologien ausreichenden Druck von etwa 5 bar mit 0,21 Euro/m³ angenommen.
- Die Kosten für Saisonarbeitskräfte betragen 7,50 Euro/h.
- Entsorgungs- und Abrisskosten werden nicht berücksichtigt.

² Die statischen Investitionsrechnungen sind in der betrieblichen Praxis und bei der Betriebsberatung weit verbreitet. Sie berücksichtigen durchschnittliche Kosten und Erträge, um zu einer Beurteilung der Rentabilität einer Investition zu gelangen.

³ Heute Zentrum für Betriebswirtschaft im Gartenbau e. V.

- Gegenüber der Beregnungsmaschine mit Großflächenregner wird ein Mehrertrag von 5 % bei der Rohrbewässerung und von 10 % bei der Tropfbewässerung unterstellt.⁴
- Der Diskontierungszins beträgt 4 %.

Ausgehend von den KTBL-Daten betragen die Investitionssummen 625 Euro/ha für die Beregnungsmaschine, 5.700 Euro/ha für die Rohrberegnung und 5.600 Euro/ha für die Tropfberegnung. Die Tropfberegnung hat eine Nutzungsdauer von nur drei Jahren, so dass in einem Zeitraum von 15 Jahren vier Mal reinvestiert werden muss. Für die Rohrberegnung und die Beregnungsmaschine wird eine Nutzungsdauer von 15 Jahren angenommen.

Für den Vergleich der Bewässerungstechnologien wird der Deckungsbeitrag der Gemüsekulturen herangezogen, der um die Beregnungskosten bereinigt wird. Es ist zu berücksichtigen, dass der derart ermittelte Nutzen der Bewässerung die anteiligen Gemeinkosten der Kulturen noch zu decken hat.

Tabelle 1 zeigt durch die positiven Kapitalwerte, dass der Einsatz aller drei Bewässerungstechnologien in den untersuchten Kulturen rentabel ist. Bei den Kulturen, von denen nur zwei Sätze im Jahr hintereinander angebaut werden können (Brokkoli und Eissalat), ist die Rohrberegnung effizient. Im Gegensatz dazu ist die Tropfberegnung effizient, wenn drei Sätze nacheinander produziert werden können (Kohlrabi und Kopfsalat).

Tabelle 1
Kapitalwerte bei Investitionen in Beregnungstechnologien (Euro)

Kultur	Brokkoli	Eissalat	Kohlrabi	Kopfsalat
Rohrberegnung	46.207	78.965	69.934	74.083
Bewässerungswagen	41.123	72.526	55.684	54.986
Tropfberegnung	39.589	74.044	72.867	82.034

Für die Tropfbewässerung wurde ein Mehrertrag von 10 % angenommen. Die genaue Höhe des Mehrertrages kann jedoch nicht aus Untersuchungen abgeleitet werden. Aus diesem Grund

wird der Mehrertrag im Rahmen einer Risikoanalyse sukzessive verringert, um die Auswirkungen einer möglichen Überschätzung des Mehrertrages auf die Rentabilität der Tropfbewässerung ermitteln zu können (Abbildung 1). Die Ergebnisse zeigen, dass die Tropfbewässerung auch ohne Mehrertrag rentabel ist. Allerdings verändert sich bei sinkenden Annahmen für den Mehrertrag die relative Vorteilhaftigkeit der Kulturen zueinander.

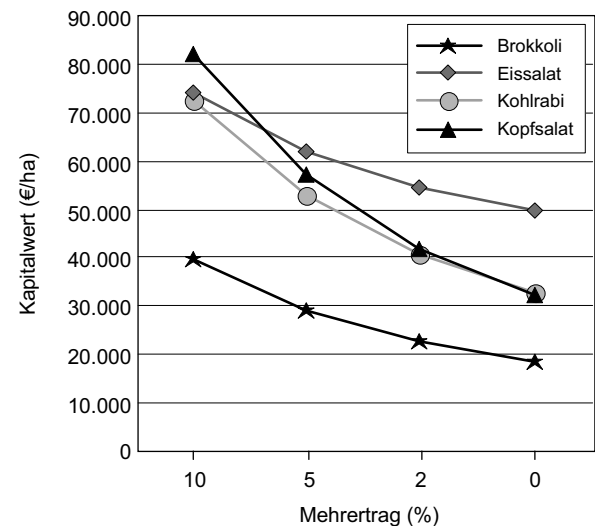


Abbildung 1
Risikoanalyse für den Mehrertrag bei der Tropfberegnung

Unter der Prämisse, dass mit der Tropfberegnung ein Mehrertrag von höchstens 10 % und mit der Rohrberegnung von maximal 5 % erzielt werden kann, wird untersucht, welchen Einfluss verschiedene Niveaus des Mehrertrages auf die Effizienz der betrachteten Bewässerungstechnologien hat. Die Analyse wurde für die Stufen 0, 2 und 5 % Mehrertrag bei der Tropf- und der Rohrbewässerung sowie bei der Tropfberegnung auch für 10 % Mehrertrag durchgeführt. Das Ergebnis dieser Berechnungen ist, dass bei Brokkoli und Eissalat erst ein Mehrertrag von 5 % dazu führt, dass die Rohrberegnung effizient ist. Bei den niedrigeren Stufen für den Mehrertrag ist im Gegensatz dazu die Beregnungsmaschine mit Großflächenregner vorteilhaft. Bei Kohlrabi und Kopfsalat ist ebenfalls die Beregnungsmaschine effizient, wenn durch die beiden anderen Technologien kein Mehrertrag zu erzielen ist. Bei Mehrerträgen von 2 und 5 % ist in diesen beiden Kulturen jedoch die Rohrberegnung von Vorteil und erst bei 10 % Mehrertrag die Tropfberegnung

⁴ Dies scheint aufgrund der gleichmäßigeren Wasserverteilung beider Technologien gerechtfertigt zu sein. Für die Tropfberegnung kommt als weiterer ertragssteigernder Effekt hinzu, dass die Pflanzenbestände bei der Beregnung trocken bleiben, was phytosanitäre Vorteile hat.

nung. Aus diesen Ergebnissen ist erkennbar, dass die Vorteilhaftigkeit der technischen Alternativen zur Beregnungsmaschine mit Großflächenregner erheblich davon abhängt, ob und in welcher Höhe der Einsatz solcher Technologien zu Mehrerträgen führt. In diesem Bereich besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Für die Kultur Brokkoli, d. h. für diejenige der untersuchten Kulturen mit dem geringsten Nutzen aus der Beregnung, zeigt Abbildung 2 eine Risikoanalyse für den Wasserpreis in allen drei Bewässerungstechnologien. Das Ergebnis ist, dass selbst eine Verzehnfachung des Wasserpreises die betrachteten Investitionen nicht unrentabel werden lässt. Vor dem Hintergrund, dass selbst der zunächst angenommene Wasserpreis als vergleichsweise hoch eingestuft werden kann, zeigt diese Analyse, dass der Einfluss des Wasserpreises auf die Rentabilität der untersuchten Bewässerungstechnologien in weiten Grenzen als unkritisch einzustufen ist.

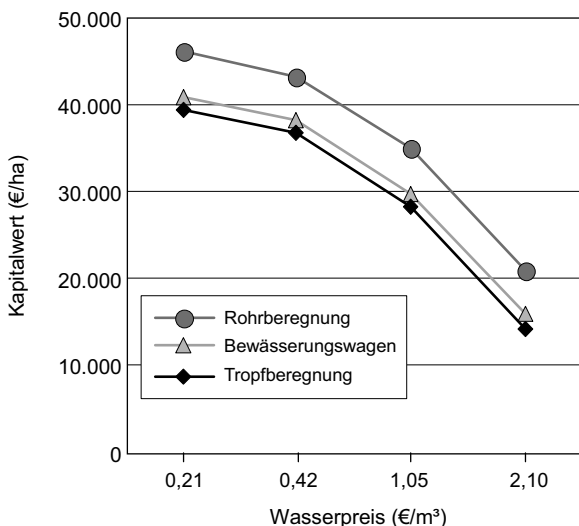


Abbildung 2
Risikoanalyse für den Preis von Beregnungswasser in Brokkoli

Die Risikoanalyse für den Diskontierungszins verdeutlicht, dass die Kapitalkosten bis weit über das langjährige Mittel und damit auch über das aktuelle Niveau hinaus auch unkritisch für die Rentabilität der Beregnungstechnologien sind.

Die Investitionsanalyse zeigt, dass Investitionen in die untersuchten Beregnungstechnologien für die betrachteten Kulturen des Freilandgemüsebaus rentabel sind. Bei Kulturen mit mittlerer Kulturdauer scheint die Rohrbewässerung vorteilhaft

zu sein. Im Gegensatz dazu ist die Tropfbewässerung in Kulturen mit kurzen Kulturperioden effizient. Entscheidend für dieses Ergebnis ist jedoch der angenommene Mehrertrag, der für die Tropfbewässerung in Höhe von 10 % und für die Rohrbewässerung in Höhe von 5 % angenommen wurde. Bei niedrigeren Mehrerträgen sind die Rohrbewässerung oder die Beregnungsmaschine mit Großflächenregner effizient. Bezüglich der Quantifizierung dieser durch alternative Technologien zu erzielenden Mehrerträge besteht erheblicher Forschungsbedarf.

Die Investitionen sind relativ unempfindlich gegenüber Wasserpreisschwankungen. Das zeigt, dass politische Maßnahmen, die auf eine Verteuerung des aus Grundwasser stammenden Beregnungswassers zielen, im Gartenbau keine oder nur geringe ökologische Lenkungswirkungen entfalten. Auch ein deutlicher Anstieg der Preise für Beregnungswasser wird die Einsatzintensität der Beregnung allenfalls geringfügig ändern.

4 Anbauplanung bei begrenzt verfügbarem Beregnungswasser

Bei der Anbauplanung ist der Ausgangspunkt ein anderer als bei der Investitionsanalyse. Es wird davon ausgegangen, dass bereits eine bestimmte Beregnungstechnologie in einem Betrieb vorhanden ist. Der mittlere Wasserbedarf der Kulturen ist bekannt. Außerdem stehen der Preis und auch die Menge des Beregnungswassers fest, das eingesetzt werden kann. Die Verfügbarkeit von anderen Produktionsfaktoren und auch die Ansprüche der verschiedenen Kulturen daran sind bekannt. Mit Hilfe der Anbauplanung soll nun ermittelt werden, in welchem Umfang verschiedene Kulturen einer definierten Auswahl angebaut werden sollten, um den Deckungsbeitrag auf Betriebsebene zu erhöhen und bestenfalls zu maximieren. Weitere Begrenzungen, beispielsweise marktseitig abgeleitete Ober- und Untergrenzen für den Produktionsumfang von verschiedenen Kulturen, können berücksichtigt werden.

Das einfachste und in der Praxis sicherlich auch noch am weitesten verbreitete „Modell“ zur Lösung des skizzierten Planungsproblems ist das Bauchgefühl, d. h. die Erfahrung des Gärtners. Besser geeignet sind jedoch EDV-gestützte Simulationsmodelle, wie beispielsweise ComPro

oder GartPlan⁵, da sie die Ansprüche der verschiedenen Kulturen an die Produktionsfaktoren und deren Verfügbarkeit bei der Planung berücksichtigen, so dass eine Übernutzung vorhandener Faktoren ausgeschlossen ist. Bei der Planung ist es auch möglich, den Zukauf von Produktionsfaktoren wie Beregnungswasser zu berücksichtigen. Ferner können für eine Kultur verschiedene Produktionsverfahren formuliert werden, die sich beispielsweise in ihrem Wasserbedarf unterscheiden. Der Grund für solche Unterschiede kann in verschiedenen Aussaatterminen oder dem Einsatz unterschiedlicher Beregnungstechnologien liegen. Bei solchen Simulationsmodellen kann ein Betriebsleiter einen Anbauplan eingeben und schrittweise verändern. Die Folgen der Planung für den Deckungsbeitrag auf Betriebsebene werden automatisch berechnet.

Noch einen Schritt weiter geht die Lineare Programmierung, die aus den verfügbaren Produktionsfaktoren und den Ansprüchen der Kulturen daran sowie unter Berücksichtigung definierter Begrenzungen automatisch den Anbauplan ermittelt, der zum maximal möglichen Deckungsbeitrag auf Betriebsebene führt. Darüber hinaus werden die Nutzungskosten der Produktionsfaktoren ermittelt, was deren innerbetrieblichen Werten entspricht. Dies gibt Hinweise darauf, zu welchen Preisen Produktionsfaktoren, beispielsweise Beregnungswasser, zugekauft werden können.

Problematisch bei solchen Planungen ist die Unsicherheit der zukunftsbezogenen Annahmen. Aus diesem Grund sollte in einer Risikoanalyse die Stabilität des Ergebnisses überprüft werden, indem für wichtige Parameter, z. B. das Ertragsniveau oder Produkt- und Faktorpreise, alternative Szenarien mit Abweichungen von den ursprünglichen Annahmen durchgerechnet werden.

Simulationsmodelle und die Lineare Programmierung können auch für überbetriebliche Planungsprobleme eingesetzt werden. So ist vorstellbar, dass eine flächenbezogene Obergrenze beim Einsatz von Beregnungswasser dadurch kompensiert werden soll, dass ein Gärtner und ein Landwirt eine Kooperation eingehen. Hintergrund dieses Ansatzes ist, dass der Wasserbedarf landwirtschaftlicher Kulturen normalerweise

erheblich geringer ist als beispielsweise der von Gemüse. Bei solchen Kooperationen kann die Lineare Programmierung dabei helfen, einen überbetrieblichen Anbauplan zu erstellen und gleichzeitig die Höhe der Kompensationszahlungen zu ermitteln, die ein Gärtner dem Landwirt für die Übertragung von Wassernutzungsrechten bezahlen kann.

5 Produktionsfunktionsanalyse

Nachdem Investitionen in die Beregnungstechnologie gemacht und der Anbauplan entworfen worden ist, bleibt noch die Frage nach dem optimalen Zeitpunkt der Beregnung und der optimalen Höhe der Bewässerungsgabe. Der mathematische Zusammenhang zwischen der Einsatzintensität eines Produktionsfaktors, wie beispielsweise Wasser, und dem Ertrag einer Kultur wird durch die Produktionsfunktion hergestellt. Sie bildet in diesem Beispiel die Ertragsentwicklung einer Kultur bei steigendem Wasserangebot ab. Der Ertrag der Kultur kann physisch oder auch monetär gemessen werden. Für ökonomische Analysen wird der Naturalertrag mit dem Produktpreis bewertet, um Analysen mit dem monetären Ertrag durchführen zu können (Steinhauser et al., 1992).

Mit Hilfe der Produktionsfunktionsanalyse kann das betriebswirtschaftlich optimale Einsatzniveau von Produktionsfaktoren bestimmt werden (Abbildung 3).

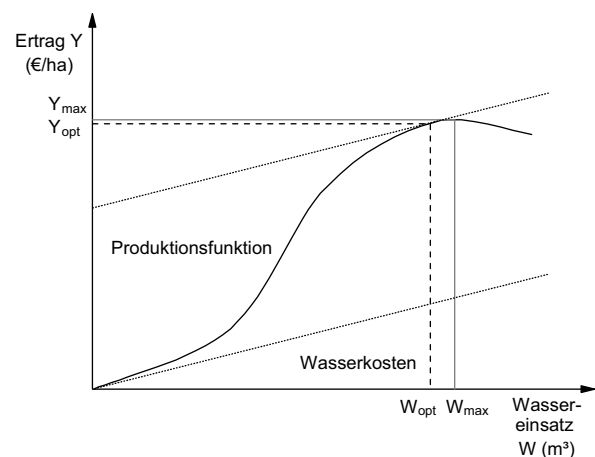


Abbildung 3
Optimale spezielle Intensität eines variablen Produktionsfaktors am Beispiel des Wassereinsatzes

⁵ Beide genannten Programme können auch zur Identifizierung eines optimalen Anbauplans über die Lineare Programmierung eingesetzt werden.

Beim Beispiel Berechnung ist die sogenannte optimale spezielle Intensität (W_{opt}) erreicht, wenn die Grenzkosten des Wassereinsatzes dem durch den zusätzlichen Wassereinsatz zu erzielenden Grenzertrag entspricht. Die optimale Wassermenge W_{opt} führt zu dem betriebswirtschaftlich optimalen Ertrag Y_{opt} , der immer geringer ist als der technisch realisierbare Maximalertrag Y_{max} .

Die Analyse von Produktionsfunktionen hat wenig Relevanz in der gärtnerischen Praxis. Allerdings fließen diese Zusammenhänge, die für jede Kultur aus Versuchen ermittelt werden müssen, in bioökonomische Simulationsmodelle ein, die auf Grundlage von Wetterdaten und –prognosen sowie pflanzenbaulicher Parameter und Funktionen Empfehlungen für den optimalen Berechnungszeitpunkt und die optimale Berechnungsmenge errechnen. Beispiele solcher Simulationsmodelle beschreiben Hemming et al. in diesem Tagungsband unter dem Stichwort „Integrierte Modelle.“⁶

6 Schlussfolgerungen

Auf Ebene der gärtnerischen Betriebe sind zu verschiedenen Fragestellungen ökonomische Kalküle gefragt, um eine betriebswirtschaftlich sinnvolle Entscheidung über den Einsatz von Berechnungstechnologien und Berechnungswasser zu erzielen. Zur Identifizierung der effizienten Bewässerungstechnologie ist eine Investitionsanalyse sinnvoll. Die exemplarische Untersuchung einiger Technologien für ausgewählte Kulturen des Freilandgemüsebaus hat gezeigt, dass die Rohrberechnung bei Kulturen mit mittlerer Kulturdauer und die Tropfberechnung bei Kurzkulturen effizient sind. Bei der Analyse wurde jedoch unterstellt, dass, im Vergleich zu einer Berechnungsmaschine mit Großflächenregner, ein Mehrertrag von 5 % durch die Rohrberechnung und von 10 % durch die Tropfberechnung erzielt werden kann.

Die Anbauplanung mittels Simulationsmodellen oder der Linearen Programmierung führt zu einem optimierten bzw. maximierten Deckungsbeitrag auf Betriebsebene. Bei der Planung werden die Verfügbarkeit von Produktionsfaktoren wie Berechnungswasser und die Ansprüche der Kulturen daran berücksichtigt. Die Anbauplanung

kann auch über mehrere Betriebe erfolgen, was immer dann sinnvoll ist, wenn Mengenbeschränkungen für Berechnungswasser auf Betriebsebene ausgesprochen werden. Kooperationen zwischen Gärtnern mit bewässerungsintensiven Kulturen und Landwirten mit Kulturen, die einen vergleichsweise geringen Wasserbedarf haben, können helfen, die Wassernutzungseffizienz insgesamt zu steigern. Die Ergebnisse der Anbauplanung geben zudem Hinweise darauf, wie viel ein Gärtner im Rahmen solcher Kooperationen für die Übertragung von Wassernutzungsrechten bezahlen kann.

Über den richtigen Bewässerungszeitpunkt geben vergleichsweise einfache Modelle wie die Geisenheimer Steuerung Auskunft. Komplexere bioökonomische Simulationsmodelle, die pflanzenbauliche und ökonomische Modelle integrieren, dienen dazu, eine optimale Regelung bzw. Steuerung ausgewählter Wachstumsparameter abzuleiten und den zu erwartenden Ertrag zu ermitteln. Sie optimieren damit die Steuerung und Regelung der Kulturführung und liefern die Planungsgrundlage für Absatzaktivitäten.

Zu Beginn dieses Beitrages wurde auf die verschiedenen politischen Möglichkeiten hingewiesen, die ergriffen werden können, um den Einsatz von Berechnungswasser in Gartenbau und Landwirtschaft zu begrenzen. Diese Maßnahmen führen hauptsächlich zu einer Verknappung und damit zu einer Verteuerung des Angebots an Berechnungswasser. Die im Rahmen der Investitionsanalyse durchgeführte Risikoanalyse zeigte jedoch, dass die betrachteten Kulturen und Technologien relativ unempfindlich auf Wasserpreissteigerungen reagieren.⁷ Damit kann im Gartenbau durch eine politisch induzierte Verknappung des Wasserangebotes nur eine geringe ökologische Lenkungswirkung für eine nachhaltigere Nutzung von Grundwasser erzielt werden. Anders zu bewerten sind jedoch unterjährige zeitliche Begrenzungen oder Verbote der Grundwasserentnahme, die, zu Zeiten des höchsten Wasserbedarfs ausgesprochen, gärtnerische Betriebe massiv treffen können, wenn es keine Möglichkeiten zur Substitution, beispielsweise durch Oberflächenwasser, gibt.

⁶ Integrierte Modelle werden in Kapitel 3.4 des Beitrages von Hemming et al. beschrieben.

⁷ Dies dürfte bei Kulturen, die mit denen ein erheblich geringerer Deckungsbeitrag je Flächeneinheit zu erzielen ist, deutlich anders sein. Zu solchen Kulturen zählen insbesondere die landwirtschaftlichen Feldkulturen.

Literaturverzeichnis

- Brandes W, Odening M (1992) Investition, Finanzierung und Wachstum in der Landwirtschaft. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 303 S.
- EU-KOM, Europäische Kommission (2000) Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Kommission, Brüssel, 83 S. <http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wasserrichtlinie.pdf>
- Fricke A, Mandau U (2002) Datensammlung für die Betriebsplanung im Intensivgemüsebau. Institut für Gemüse- und Obstbau der Universität Hannover und Arbeitskreis für Betriebswirtschaft im Gartenbau e.V., 8. Auflage, Hannover, 116 S.
- Hardaker JB, Huirne RBM, Anderson JR (1997) Coping with Risk in Agriculture. CAB International, Oxon, New York, 274 S.
- Hazell PBR, Norton RD (1986) Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. Biological Resource Management. Macmillan Publishing Company, New York, London, 400 S.
- Paschold PJ, Kleber J, Mayer N (2007) Geisenheimer Bewässerungssteuerung, 7 S. http://www.campus-geiseheim.de/uploads/media/Geisenheimer_Steuerung.pdf
- Steinhauser H, Langbehn C, Peters U (1992) Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre – Band 1: Allgemeiner Teil. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 339 S.

Intelligent bewässern im Gartenbau: Forschungstrends in den Niederlanden

Dr. Jochen Hemming, Erik van Os, Jos Balendonck¹

1 Einleitung

Wageningen University & Research Centre (WUR) ist ein Zusammenschluss aus der Universität Wageningen, mehreren Forschungsinstituten (zu denen auch WUR Greenhouse Horticulture zählt) und Lehr- und Versuchsanstalten. Der Aspekt „Bewässerung im Gartenbau“ ist sehr aktuell, und WUR Greenhouse Horticulture führt zahlreiche Forschungsprojekte zu diesem Thema aus.

Die Niederlande ist ein Land, in dem Wasser im täglichen Leben eine zentrale Rolle spielt. Viel Land ist erst im Laufe der letzten Jahrhunderte künstlich geschaffen worden und ein großer Teil des Landes liegt unter dem Meeresspiegel hinter Deichen und Dünen. Außerdem ist die Niederlande das Deltagebiet vieler großer Flüsse, wie z. B. dem Rhein, der Maas und der Schelde. Der Boden ist fruchtbar und wird sehr intensiv bewirtschaftet.

2 Zahlen und Fakten

Die Niederlande gehören mit etwa 484 Einwohnern pro Quadratkilometer Landfläche zu den am dichtesten besiedelten Flächenstaaten der Welt (zum Vergleich: Deutschland 231). In den Niederlanden werden rund 2 Millionen ha Fläche landwirtschaftlich bewirtschaftet. Hiervon sind etwa 53 % Grünland, 41 % Ackerland und 5 % Freilandgemüse. Auf etwa 0,5 % (oder 10.000 ha) der Fläche wird in Gewächshäusern produziert. Hier ist der Anbau sehr intensiv, allein dieser Sektor produziert 20 % des agrarischen Exportwertes. Große Betriebe mit Flächen von mehreren Hektaren (10 ha sind keine Seltenheit) dominieren das Bild. Auf etwa der Hälfte der Fläche des geschützten Anbaus wird erdelos kultiviert (z. B. auf Steinwolle). Bei ca. 90 % dieser Systeme handelt es sich bereits um geschlossene Systeme. Demgegenüber beträgt die Fläche des geschützten Anbaus in Deutschland nur ca. 3.700 ha.

2 Problemstellung

2.1 Die internationale Dimension

Die Weltbevölkerung hat sich in den letzten 100 Jahren verdreifacht (aktuell 6,8 Milliarden). 2,4 bis 3,3 Milliarden Menschen werden bis zum Jahr 2025 unter Wassermangel leiden. Mehr als 70 % des weltweiten Wasserverbrauchs geht auf das Konto der Landwirtschaft. Es kommt zunehmend zu Konflikten durch konkurrierende Ansprüche (z. B. Agrar versus Industrie). In den (semi) ariden Gebieten (auch Südeuropa) sind die Wasserressourcen durch den sinkenden Grundwasserstand knapp und durch die in den Küstengebieten steigenden Meeresspiegel von schlechter Qualität (Versalzung). Hinzu kommt die niedrige technologische Ausstattung der dortigen Betriebe: Wasser wird ineffizient genutzt.

2.2 Die Wassernutzungseffizienz

Nur ein sehr geringer Teil des zum Pflanzenanbau notwendigen Wassers kommt letztendlich in dem produzierten Nahrungsmittel an (Abbildung 2.1). Die notwendige Menge Wasser pro kg produzierter Trockensubstanz oder Frischmasse wird mit dem Begriff „Water Use Efficiency“ (WUE), der Wassernutzungseffizienz, charakterisiert. Bei steigender Kontrolle der Produktionsfaktoren erhöht sich die WUE deutlich. Während beim Freiland Tomatenanbau in Israel oder Spanien nur etwa 18 kg Tomaten pro m³ Wasser produziert werden, können in Holland im traditionellen geschützten Anbau ca. 45 kg Tomaten pro m³ Wasser erzeugt werden. In geschlossenen Systemen mit Rezirkulation können selbst bis zu 70 kg mit der gleichen Menge Wasser produziert werden (Abbildung 2.2).

¹ Wageningen University & Research Centre (WUR), Greenhouse Horticulture, P.O. Box 16, 6700 AA Wageningen, Niederlande, jochen.hemming@wur.nl.

Wassereffizienz: Efficiency of Water Use (EWU)

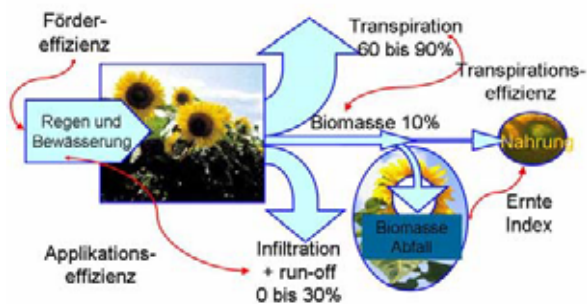


Abbildung 2.1 Wassernutzungseffizienz

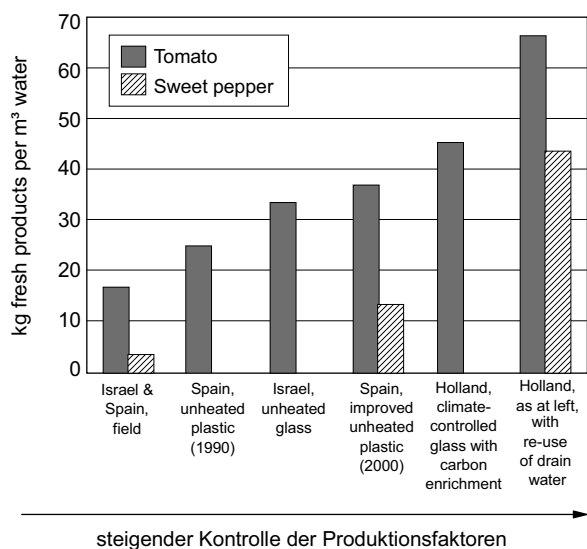


Abbildung 2.2 Kilogramm Tomate und Paprika per m³ Wasser bei verschiedenen Kultursystemen

2.3 Wasserquantität und -qualität

Bei großen Wasservorräten (in den Niederlanden häufig anzutreffen), neigen Gärtner und Landwirte zur übermäßigen Bewässerung und Bewässerungsdüngung, wodurch unnötige Kosten entstehen und es zu einem vermehrten Austrag von Nährstoffen in Grund- und Oberflächenwasser kommen kann. Bei Wassermangel hingegen kommt es zu Qualitätsverlust und Ernteeinbußen. Wasser von minderer Qualität führt zu Pflanzenstress, und auch hier sind neben Pflanzenschäden Ertragseinbußen die Folge. Wichtigstes Problem bei der Gießwasserqualität ist hier die Versalzung (Natriumchlorid) und die Verunreinigung des Wassers mit Pathogenen.

2.4 Richtlinien

Sowohl nationale als auch internationale Richtlinien zwingen Gärtner und Landwirte, aber auch die Politik, zum Handeln. So hat die EU im Jahre 2001 die sog. Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) veröffentlicht, die folgende Ziele hat:

- (1) Schutz und Verbesserung der aquatischen Ökosysteme und des Grundwassers
- (2) Förderung einer nachhaltigen Nutzung der Wasserressourcen
- (3) Schrittweise Reduzierung prioritärer gefährlicher Stoffe
- (4) Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers
- (5) Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren

Ende 2006 mussten Überwachungsprogramme zur Einhaltung dieser Ziele und 2009 die Bewirtschaftungspläne für die Flusseinzugsgebiete einsatzreif sein. Es wird angestrebt, 2015 alle Gewässer in einem „guten quantitativen Zustand“ zu haben. Allerdings werden bereits heute die Ausweichtermine 2021 und 2027 genannt.

Neben europäischen Richtlinien sind in jedem Land auch lokale Richtlinien und Verordnungen in Kraft. In Holland gibt es beispielsweise Emissionsnormen für die Einleitung von Stickstoff und Phosphor in die Kanalisation und in die Oberflächengewässer. Es ist jedoch gesetzlich erlaubt, Nährlösung aus dem Betrieb abzuführen, wenn der Natriumgehalt einen kulturabhängigen Grenzwert überschreitet (6, 8 oder 10 mmol/l). Selbst bei 100 %iger Regenwasserverwendung kann es bei geschlossenem System durch Rezirkulation zu einer Akkumulation von Salzen kommen, die von Zeit zu Zeit eine Reinigung der Tanks erfordert. Nur mit Umkehrosmose gereinigtes Wasser ist natriumfrei, allerdings fällt bei der Osmose Spülwasser an, welches einen extrem hohen Salzgehalt aufweist.

Für jede Gewächshauskultur gibt es einen eigenen Plan, in dem die schrittweise Verringerung der Emissionen beschrieben ist. 2027 sollen alle Betriebe die Null-Emission realisiert haben.

3 Forschungstrends und Projektbeispiele

Wageningen UR führt seit Jahrzehnten auf allen Gebieten der Wasser- und Bewässerungsproblematik zahlreiche Studien und Forschungsprojekte aus. Nur wenige können im Rahmen dieses Artikels exemplarisch etwas näher betrachtet werden.

3.1 Sensoren und Messtechnik

Auf dem Sensorgebiet entwickelte Wageningen UR den WET-Sensor, mit dem gleichzeitig der Wassergehalt, die Leitfähigkeit und die Temperatur eines Substrates gemessen werden kann (Balendonck et al., 2001 und 2005). Momentan wird im Rahmen des europäischen Projektes Flow-aid (www.flow-aid.eu) ein dielektrisches Tensiometer mit einem größeren dynamischen Bereich entwickelt. Hierdurch kann auch unter sehr trockenen Bedingungen (in semi-ariden Gebieten) zuverlässig der Feuchtegehalt gemessen werden. Die Problematik einer abreißenen Wassersäule einer wassergefüllten Tensiometer wird so umgangen.



Abbildung 3.1
Drahtloses Sensornetzwerk in der Versuchsanstalt *Ce.spe.vi* für Baumschule in der Toskana, Italien

Ein weiteres aktuelles Thema sind drahtlose Sensornetzwerke. Für die Installation solcher Sensoren müssen keine Kabel verlegt werden, was Kosten und Aufwand spart. Die Sensoren werden lokal mit sog. Nodes (Knotenpunkten) verbunden, welche die Messdaten in einem robusten Funknetzwerk weitergeben (Mesh-network, Hopping data). Durch Installation mehrerer Nodes kann eine Sensorkette aufgebaut werden, wodurch die Datenübertragung auch über größere Abstände (mehrere Kilometer) realisiert werden kann. Selbst die Spannungsversorgung dieser „Nodes“ erfolgt bei manchen Systemen mit Solarzellen. Mit einem solchen System ist es möglich, engmaschig regelmäßige Messungen durchzuführen. Viele Systeme erlauben das Auslesen der Daten von anderen Standorten und Fernwartung (mit GSM- oder GPRS-Datenverbindungen oder über das Internet). Abbildung 3.1 zeigt einen Node (gelbes Objekt) mit angeschlossenen Sensoren für Bodenfeuchte und Bodentemperatur der Firma Crossbow (www.xbow.com), mit dem Wageningen UR Greenhouse Horticulture im Rahmen des Flow-aid-Projektes Versuche durchführt (Balendonck et al., 2008).

3.2 Automatische Regelung

Viele Projekte beschäftigen sich mit dem Thema automatische und optimale Bewässerungs- und Düngerregelung, sowohl bei offenen als auch geschlossenen Systemen. Eines der ersten Projekte auf diesem Gebiet war Waterman (1996 bis 2000). Ziel dieses Projektes war es, die Sickerwassermenge bei Freilandkulturen zu minimieren. Hierzu wurde in verschiedenen Tiefen (in und unter der Wurzelzone) Bodenfeuchte und Leitfähigkeit gemessen. Zusammen mit Modellen für Evapotranspiration (ET) und für die Nährstoffaufnahme konnte somit ein virtuell geschlossenes System realisiert werden (siehe z. B. Balendonck et al., 1998; Meron et al., 2001).

Im geschützten Anbau wurde im Rahmen des Hydron-line Projektes ein Online-Mess- und -Regelungssystem für Nährstofflösungen in geschlossenen Anbausystemen entwickelt (Abbildung 3.2). In diesem Project wurde die Möglichkeit untersucht, individuelle Nährstoffionen im Wasser zu messen und entsprechend bedarfsorientiert und selektiv zu düngen. Die Regeltechnik konnte erfolgreich demonstriert werden. Die selektiven Ionensensoren sind jedoch sowohl ökonomisch als auch funktionell noch nicht praxisreif (Gielsing et al., 2005).

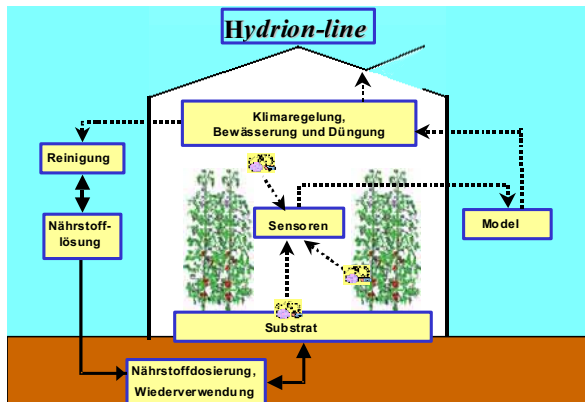


Abbildung 3.2
Prinzip der geschlossenen Anbausysteme im Projekt Hydrion-line.

3.3 Schadstoffe

Der Trend zu geschlossenen Systemen bringt es mit sich, dass viele Forschungsprojekte sich mit dem Thema Wasseraufbereitung und Wasserreinigung beschäftigen müssen. Beispiele sind „Optimieren mit sub-optimalen Wasser“ (HortiMED), „Verhindern von Wurzelkrankheiten mit Langsamfiltern“ (MioProdis, Garibaldi et al., 2001), Wasserreinigung bei Rosen, der Einsatz von Bio-Reaktor Technologien, selektive Oxidation.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Reduzierung von Pflanzenschutzmittelrückständen im Restwasser. Gesetzlich vorgeschrieben in Holland ist z. B. auch das Auffangen von Kondenswasser im Gewächshaus. Dieses kann z. T. erheblich kontaminiert sein. Die Menge des verwendeten Mittels kann bis über 80 % reduziert werden, wenn man direkt am Beginn der Prozesskette durch z. B. frühzeitiges Erkennen von Krankheiten, durch ausschließlich lokale, gezielte Behandlung nur die betroffenen Pflanzen behandelt (u. a. Projekte Precispray, Isafruit, Sensispray). Durch Anwendung neuer Spritztechnik kann die Tropfengröße, Geschwindigkeit und Richtung des ausgebrachten Mittels optimiert werden. Tunnel-spritzen und ähnliche Systeme ermöglichen ein Auffangen und Recyceln der Mittel. Zunehmend größere Systeme werden in der Praxis zur Wasseraufbereitung verwendet, auch auf überbetrieblichem Niveau. Ein Beispiel ist z. B. die Wasserentsalzungsanlage in Carboneras (Spanien), die ein Drittel des benötigten Gießwassers für den Gartenbau in der Region Almeria aufbereitet.

3.4 Integrierte Vorgehensweise

Der größte Forschungstrend in den letzten Jahren beschäftigt sich mit der integrierten Vorgehensweise. Hierbei geht es nicht mehr allein um die Betrachtung von Wasserkreisläufen und Einzelbetrieben, sondern um eine breitere Sichtweise.

Wie Tabelle 3.1 zeigt, sind die Einsparpotenziale, vor allen Dingen für Nährstoffe, bei geschlossenen im Vergleich zu offenen Gewächshaus-systemen enorm. Zunehmend wird untersucht, ob Kulturen, die traditionell noch im gewachsenen Boden angebaut werden, zukünftig auch auf Substrat kultiviert werden können.

Tabelle 3.1
Einsparpotenziale geschlossener Systeme

	Wasser	Nährstoffe
Gurken	21 %	80 %
Rosen	28 %	42 %
Chrysanthenen	15 %	64 %

Quelle: van Os et al. (1991).

Neben Projekten im geschützten Anbau (z. B. Chrysanthenen auf Rinnen, Rosen auf Substrat) zählen hierzu auch Projekte im Freiland (Berenobst, geschlossene Flächen in Baumschulen). Selbst im Freilandgemüsebau wird mit geschlossenen Systemen und erdelosen Systemen experimentiert, z. B. erdelose Kultur von Porree (siehe Abbildung 3.3).

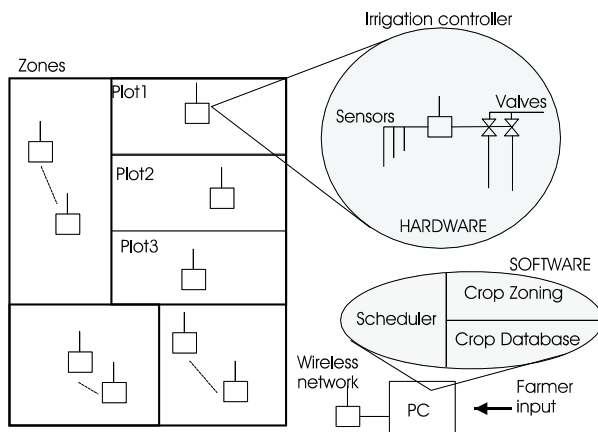


Abbildung 3.3
Versuchsanordnung für den erdelosen Anbau von Porree im Freiland

Durch die Kombination verschiedenster Informationsquellen können automatisiert Entscheidungshilfen für die Bewässerung generiert werden (Decision support systems, DSS). Im EU-Projekt Flow-aid werden beispielsweise Informationen aus folgenden Quellen integriert:

- (1) Wettervorhersage
- (2) Wasserbevorratung
- (3) Klimadaten (Temperatur, Strahlung, Wind, usw.)
- (4) Bodensensoren (Feuchte, EC, Temperatur)
- (5) Pflanzenmodelle (Wachstum, Verdunstung, Salztoleranz)
- (6) Expertenwissen
- (7) Ökonomische Betriebsdaten

Durch eine hohe lokale Sensordichte ist es möglich, für jede Bewässerungseinheit einer Bewässerungsempfehlung zu berechnen (siehe auch Abbildung 3.4).



Quelle: Balendonck et al. (2008)

Abbildung 3.4 Wassermanagementsystem „Farm level irrigation under deficit irrigation“ (FLOW-AID).

In diesem Projekt geht es primär nicht um die absolute Ertragssteigerung, sondern um das Erreichen der höchsten Wassereffizienz, also um die Frage: Mit welcher Bewässerungsstrategie kann man mit einer limitierten Menge Wasser den höchsten ökonomischen Ertrag erzielen. Erste Ergebnisse aus den Feldversuchen in der Türkei zeigen, dass man mit einem Defizitregiem die Wassereffizienz steigern kann (Tabelle 3.2).

DSS-Systeme werden auch zur Minderung von Emissionen und zur optimalen Dosierung von Nährstoffen entwickelt. Die Bewässerung kann

so unter Berücksichtigung von Wachstumsmodellen, Bodentranspiration und Klimadaten optimal auf die Bedürfnisse der Pflanzen abgestimmt werden. Vor allen Dingen im biologischen Anbau von Gemüse im Gewächshaus, der im gewachsenen Boden stattfinden muss, sind solche Entscheidungshilfen von großem Nutzen (siehe z. B. Voogt et al., 2006).

Tabelle 3.2 Wassereffizienz bei verschiedenen Defizitbehandlungen im Rahmen des Flow-aid-Projektes (Izmir, Türkei)

Behandlung	Gießwasser (mm)	Ertrag (kg/m ²)	Wassereffizienz (kg/m ³)
Vollständige Bewässerung	692	27,8 a	46,2
Defizit 1	396	20,3 b	51,9
Defizit 2	451	22,8 b	51,8
Gärtner	656	23,6 ab	43,8

Quelle: Tuzel et al. (2008)

Auf überbetrieblichem Niveau werden Konzepte zur gemeinsamen Wasseraufbereitung und zum Wasserrecycling ausgearbeitet. Das Projekt AquaReuse beispielsweise (www.aquareuse.nl) untersucht, inwieweit es möglich ist, Abwasser von einem ganzen Gärtnergebiet zu sammeln und mit speziellen Filtertechniken zu reinigen. Neben dem problematisch hohen Salzgehalt muss vor allen Dingen sichergestellt werden, dass durch die Reinigung Pflanzenpathogene unschädlich gemacht werden, sodass sich bei der Wiederverwendung des Wassers Krankheitserreger nicht zwischen den Betrieben ausbreiten.

Noch umfassender werden die Stoffkreisläufe bei anderen Projekten analysiert: z. B. Zonneterp, KasZA, Greenport). Hier werden nicht nur Wasserkreisläufe, sondern auch Energiekreisläufe geschlossen. Im Greenport-Konzept wird Wärme, Strom und CO₂ für die Gewächshäuser mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugt. Überschüssige Wärme wird an ein nahegelegenes Wohngebiet und Schwimmbad abgegeben. Überschüssiger Strom wird an das öffentliche Stromnetz verkauft. Die Gewächshäuser werden soweit wie möglich geschlossen gehalten. Wärme und Kälte können in unterirdischen Becken und Aquifers zwischengespeichert werden. Ideen über multifunktionelle Gewächshäuser und der

kombinierten Produktion von Pflanzen und Tieren (z. B. Fischzucht) sind sehr aktuell und haben bereits in der Praxis Einzug gehalten.

Die integrierte Vorgehensweise bringt für den Gärtner etliche Vorteile mit sich. Wasser, Nährstoffe und Energie können eingespart werden. Durch geschlossene Systeme werden weniger Krankheiten von außen eingeschleppt. Es muss eine geringere Speichermenge für Wasser vorgehalten werden. Auch für die öffentliche Hand bietet diese Vorgehensweise Vorteile. Die notwendige Kapazität für den Wassertransport und das Leitungsnetz wird kleiner. Emissionsnormen (Richtlinien) können eingehalten werden.

3.5 Pflanzenzüchtung

Auch die Pflanzenzüchtung kann zur Wassereinsparung beitragen. Durch das Züchten von trockenresistenten, salztoleranten und pathogentoleranten Pflanzen mit den Mitteln der klassischen Züchtung oder mit modernster Gentechnik kann die Wassereffizienz gesteigert werden. Als Beispiel kann hier das Projekt von Kempenaer et al. (2007) über salztolerante Kulturen genannt werden.

4 Schlussfolgerungen

Der weltweite Wasserbedarf steigt rapide, Wasserressourcen nehmen ab, die Qualität wird schlechter. Es besteht dringender Handlungsbedarf. Für Situationen mit Wassermangel müssen Defizit-Bewässerungsstrategien entwickelt werden. Auch in Situationen ohne Wassermangel muss Wasser optimal und sparsam eingesetzt werden, nur so werden Emissionen minimiert. Getreu dem Motto „More crop per drop“ ist die Steigerung der Wassereffizienz zur Nahrungsmittelproduktion das übergeordnete Ziel. Wie anhand zahlreicher Forschungsbeispiele gezeigt, ist dies durch den Einsatz modernster Mess-, Regel- und Applikationstechnik möglich.

Der größte Forschungstrend in den letzten Jahren beschäftigt sich mit der integrierten Vorgehensweise. Es geht hierbei nicht nur um das Analysieren und Schließen von Wasserkreisläufen auf Betriebsniveau, sondern vor allen Dingen auch auf überbetrieblichem, regionalem wenn nicht sogar globalem Niveau.

Literaturverzeichnis

- Balendonck J, Kuyper MC, Hilhorst, MA (1998) Waterman, a water management method for non closed crop production. Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering. Oslo, 24-28 August, 8 pp
- Balendonck J, Hilhorst MA (2001) WET-sensor application note. IMAG report P2001-07, Wageningen UR. ISBN 90-5406-193-6
- Balendonck J, Bruins, MA, Wattimena MR, Voogt W, Huys A (2005) WET-sensor pore water EC calibration for three horticultural soils Acta Horticulturae 691:789-796
- Balendonck J, Hemming J, Tuijl BAJ van, Incrocci L, Pardossi A, Marzioletti P (2008) Sensors and wireless sensor networks for irrigation management under deficit conditions (FLOW-AID) In: Conference Proceedings CD of the International Conference on Agricultural Engineering/Agricultural & Biosystems Engineering for a Sustainable World. EurAgEng (European Society of Agricultural Engineers)
- Garibaldi A, Minuto A, Grasso V, Gullino ML (2002) Phytopathological problems and possible solutions for soilless floricultural crops. Convegno SiPaV 1-2/10/02, Roma
- Gieling TH, Corver FJM, Janssen HJJ, Straten G van, Ooteghem RJC van, Dijk GJ van (2005) Hydrion-line, towards a closed system for water and nutrients : feedback control of water and nutrients in the drain Acta Horticulturae 691:259-266
- Meron M, Hallel R, Bravdo B, Wallach R. (2001) Tensiometer actuated automatic micro irrigation of apples. Acta Horticulturae 562:63-69
- Kempenaer JG de, Brandenburg WA, Hoof LJW van het (2007) Zout en de pap. Een verkenning bij marktexperts naar langeretermijnmogelijkheden voor zilte landbouw. Rapport InnovatieNetwerk. <http://www.agro.nl/innovatienetwerk>. ISBN: 978 – 9059 – 330 – 4, Rapportnr. 07.2.154, Utrecht
- Os EA van, Ruijs MNA, Weel PA van (1991) Closed business systems for less pollution from greenhouses. Acta Horticulturae 294:49-57

- Tuzel İH, Tuzel Y, Meriç K, Öztekin G, Whalley R, Lock G (2008): Response of cucumber to deficit irrigation. Proceedings of the ISHS Symposium on Protected Cultivation for Mild Winter Climates, Izmir, 4/6/2008
- Voogt W, Winkel A van, Steinbuch F (2006) Evaluation of the 'Fertigation model' a decision support system for water and nutrient supply for soil grown greenhouse crops. Acta Horticulturae 718:531-538

Ergebnisse des Statusseminars „Wasser im Gartenbau“

9. und 10. Februar 2009 in Braunschweig am vTI

Dr. Walter Dirksmeyer¹, Dr. Heinz Sourell², Dr. Eiko Lübbe³

Am 9. und 10. Februar 2009 wurde am Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) das Statusseminar „Wasser im Gartenbau“ durchgeführt. Die Initiative dazu ging vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) aus. Durch das Statusseminar sollte geklärt werden, ob und ggf. in welchem Ausmaß der viel diskutierte Klimawandel jetzt oder in der Zukunft einen Einfluss auf Wasserangebot, -bedarf und -einsatz im Gartenbau hat. Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene Fragen erörtert, die mit Impulsreferaten eröffnet und dann ausführlich diskutiert wurden. Die Fragen im Einzelnen:

1. Können die Auswirkungen des Klimawandels auf die Beregnungsbedürftigkeit gartenbaulicher Kulturen quantifiziert werden?
2. Ist genügend Bewässerungswasser vorhanden?
3. Reichen die rechtlichen Rahmenbedingungen (auch für die Wasserqualität)?
4. Welche Wasser sparenden Technologien können wir nutzen?
5. Welche technologischen Entwicklungen sind für die Zukunft zu erwarten?
6. Sind ökologische Probleme durch vermehrte Bewässerung zu erwarten?
7. Welche Aufgaben kann die Forschung zukünftig lösen?
8. Reicht die heutige Beratung für den Beregnungseinsatz aus?
9. Wie lauten die ökonomischen Rahmenbedingungen für die Bewässerung?
10. Ist die Förderung als Anreiz für Investitionen in sinnvolle Bewässerungstechnologie ausreichend?

Im Folgenden werden diese zehn Fragen kurz beantwortet. Wo es sinnvoll ist, werden Handlungsbedarf abgeleitet und Empfehlungen gegeben.

1 Klimawandel

Der Klimawandel kann zwar nicht quantifiziert werden, findet aber zweifelsfrei statt. Alle Modelle können eher für die Analyse des Klimas auf globaler oder kontinentaler Ebene eingesetzt, als für eine regionale Betrachtung genutzt werden. Je nach Klimamodell werden unterschiedliche Aussagen abgeleitet. Daher ist es sehr schwierig, eine klare Aussage zu dem künftigen Wasserbedarf im Gartenbau in Deutschland zu geben. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass die Sommerniederschläge abnehmen, Starkregenereignisse häufiger werden, sich die Vegetationszeiten verlängern, sich der CO₂-Gehalt der Luft erhöht, die Jahresdurchschnittstemperatur ansteigt (insbesondere wegen steigender Wintertemperaturen) und sich die Verdunstungsrate erhöht. Als Konsequenz wird der Wasserbedarf für alle Feldfrüchte steigen. Dies gilt insbesondere im Gartenbau mit seinen kurzen Kulturzeiten und hohen Qualitätsanforderungen an die Produkte. Der künftige Wasserbedarf lässt sich aber nicht quantifizieren. Der Klimawandel wird aber zu einer zunehmenden Bewässerung in Gartenbau und Landwirtschaft führen.

Letztendlich muss auch daran gedacht werden, dass der Gartenbau durch den Energieeinsatz und die Stickstoffdüngung nicht nur als Betroffener sondern auch als (Mit-) Verursacher des Klimawandels gelten kann. Einzellösungen, wie die Abwärme- oder die CO₂-Nutzung von Kraftwerken in Gewächshäusern sind bekannt, sind aber häufig unrentabel.

¹ Institut für Betriebswirtschaft, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, walter.dirksmeyer@vti.bund.de.

² Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, heinz.sourell@vti.bund.de.

³ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Referat 524, Rochusstr. 1, 53123 Bonn, eiko.luebbe@bmelv.bund.de.

2 Wasservorräte

Die Höhe der Grundwasservorräte hängt von der Rate der Grundwasserneubildung ab. Die hydrologischen Bedingungen entscheiden über die Höhe der Neubildung und damit über die möglichen Höchstmengen der Wasserentnahme. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es verschiedene Nutzungsansprüche an das Grundwasser gibt, da es neben der Bewässerung beispielsweise auch zur Trinkwassergewinnung herangezogen wird.

Aus Klimamodellen wurde der zukünftig zu erwartende Niederschlag abgeleitet und festgestellt, dass davon ausgegangen werden kann, dass auch zukünftig ausreichend Niederschläge fallen werden, um das Grundwasser jährlich aufzufüllen. Einschränkend in diesem Zusammenhang wirken Starkniederschläge, die oft zu einem großen Teil nicht in den Boden infiltrieren. Außerdem können regional deutliche Unterschiede auftreten, die eine Grundwassernutzung zur Bewässerung begrenzen können. Grundsätzlich spricht in Deutschland jedoch nichts gegen eine Entnahme von Grundwasser für Bewässerungszwecke. Vom gesamten Wasserdargebot entnimmt die Landwirtschaft in Deutschland nur 0,4 %. In wärmeren Ländern können es hingegen bis zu 80 % sein.

3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Den bundesweiten Rahmen für die Bewirtschaftung von Oberflächen- und Grundwasser setzt das Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Die darin definierten wasserwirtschaftlichen Grundsätze sind zu beachten. Weitere Vorschriften sind auf Landesebene festgelegt. Oft sind dort die Umweltministerien zuständig. In den Bundesländern ist die Erlaubnis/Bewilligung für Wasserentnahmen auf Bezirks- oder Landkreisebene organisiert. Die Kompetenz der Unteren Wasserbehörden bei den Landkreisen fällt jedoch unterschiedlich aus. Für Grundwasser gibt es heute schon vielfach Begrenzungen für die Entnahmemenge. Aktuell und auch zukünftig müssen Gärtner begründen, wofür und wie viel Wasser sie benötigen und was entnommen werden soll.

Bei Schwierigkeiten mit der Genehmigung von Wasserentnahmerechten sollte sich ein Gärtner von Ingenieurbüros oder Fachkräften der Landwirtschaftskammern beraten lassen. Eine Wasserentnahmegebühr existiert in zehn Bundesländern („Wasserpennig“). Ein darüber hinaus gehendes Wasserentgelt sollte jedoch nicht einge-

führt werden, da das Beregnungswasser ab Feldrand, bei dem notwendigem Betriebsdruck, bedingt durch die eingesetzte Technik, schon heute zwischen 0,30 und 0,50 €/m³ kostet.

Aus hygienischer Sicht werden die Anforderungen an die Bewässerungswasserqualität über die DIN 19650 geregelt. Darüber hinaus gibt es weitreichende Empfehlungen der Thüringischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Jena. Hier werden auch chemische Belange angesprochen. Die Aussagen zur Wasservorbereitung sind unterschiedlich. Hier besteht noch Klärungsbedarf.

4 Wasser sparende Technologien

In der Freilandproduktion im Gartenbau kommen überwiegend die Rohrberegnung oder mobile Beregnungsmaschinen zum Einsatz. Ihr entscheidender Vorteil ist die vergleichsweise hohe Einsatzflexibilität. Nachteilig ist die ungleiche Wasserverteilung, die bei Wind insbesondere für Beregnungsmaschinen mit Großflächenregnern gravierend ist. Ein weiterer Grund für die weite Verbreitung dieser unter dem Gesichtspunkt der Wassernutzungseffizienz nachteiligen Technologien ist die Pfadabhängigkeit, die immer dann gegeben ist, wenn in Betrieben bereits mit einer bestimmten Technologie beregnet wird. In diesem Fall sind Investitionen zur Erweiterung der Anlage normalerweise deutlich niedriger als die komplette Umstellung der vorhandenen Technik.

Es ist allerdings auch eine Reihe von Wasser sparenden Bewässerungstechniken bekannt, die jedoch in der gärtnerischen Praxis bislang nicht in größerem Umfang eingesetzt werden. Besonders intensiv wurde in diesem Zusammenhang die Tropfbewässerung diskutiert, die aus heutiger Sicht vielfach noch zu arbeits- und kapitalintensiv für die Betriebe ist. Vorteilhaft an der Tropfbewässerung sind neben der Wassereinsparung noch die gleichmäßige Wasserausbringung und der vergleichsweise geringe Wasserdruck, der sich positiv auf den Energiebedarf dieser Bewässerungstechnologie auswirkt. Damit wirkt die Tropfbewässerung über den geringeren Wasserverbrauch und einen niedrigeren Energieeinsatz dem Klimawandel entgegen. Die Tropfbewässerung wird von einem sehr geringen Niveau ausgehend zunehmend in der Freilandproduktion im Gartenbau eingesetzt. Vorteile in Bezug auf den Arbeitsbedarf bietet die mobile Tropfbewässerung. Diese Technik ist aber erst ab 20 ha Feldgröße wirtschaftlich sinnvoll nutz-

bar. Die Verbindung der mobilen Tropfbewässerung mit der teilflächenspezifischen Beregnung beschränkt sich bisher noch auf Großbetriebe.

Als entscheidenden Faktor bei der Auswahl einer sinnvollen Beregnungstechnologie für das Freiland wurde neben der Rentabilität auch der Arbeitsbedarf zu den Arbeitsspitzen bei Aussaat, Pflanzung und Ernte identifiziert.

Die Bewässerungssteuerung wie die Geisenheimer Steuerung trägt dazu bei, den Bewässerungszeitpunkt und die –menge zu optimieren. Dadurch kann die Wassernutzungseffizienz beachtlich gesteigert werden. Vor diesem Hintergrund wurde kontrovers diskutiert, ob der Bodenwasserhaushalt der Kulturflächen in der Praxis besser durch die Messung der Saugspannung mittels mehrerer Tensiometer oder vereinfacht auf Basis der klimatischen Wasserbilanz ermittelt werden sollte.

Im Gewächshaus sind geschlossene Kultursysteme bekannt und werden auch breit eingesetzt. Durch das Recycling von Überschusswasser sind solche Systeme Wasser sparend. Durch eine Verhinderung von Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelaustrag sind sie außerdem besonders umweltschonend. Damit sind sie fast ein ideales Produktionsverfahren. Allerdings erfordert ihre Anwendung ein hohes produktionstechnisches Know-how. Über Probleme bei der Akzeptanz von erdelosen Kulturverfahren im Untergrasanbau und die sehr hohe Sensibilität dieser Verfahren wurde auch gesprochen.

Regenwasser kann dazu eingesetzt werden, Qualitätsmängel im Bewässerungswasser durch Verschneidung abzumildern und ist damit insbesondere in erdelosen Kulturverfahren eine wertvolle Ressource. Außerdem kann die Sammlung von Regenwasser allgemein dazu dienen, die Nutzung von Beregnungswasser aus anderen Quellen zu minimieren. Die Regenwassernutzung wird aber in vielen Betrieben noch nicht optimal genutzt.

5 Technologische Entwicklungen in der Zukunft

Grundsätzlich ist die Technologie für einen effizienten Einsatz von Beregnungswasser im Gartenbau seit Jahren bekannt. Mit der Tropfbewässerung wurde ein System entwickelt, das bei einer gleichmäßigen Verteilung des Bewässerungswassers eine exakt dosierbare Wassermenge pflanzenverfügbar applizieren lässt. Die

Verdunstungsraten sind im Vergleich zu anderen Technologien gering. Eine Herausforderung für die Zukunft ist die Entwicklung von biologisch abbaubaren Tropfschläuchen, was den Arbeitsbedarf dieser Technologie erheblich verringern würde.

Außerdem wäre es erstrebenswert, ein in der Handhabung einfaches und zerstörungsfreies Gerät zu entwickeln, das es erlaubt, den Wasserzustand von Pflanzen zu messen. Damit könnte durch ein einfaches Messverfahren in der gartenbaulichen Praxis ermittelt werden, ob eine Beregnung notwendig ist.

Neuere Forschungsarbeiten in den Niederlanden integrieren Module computergesteuerter Entscheidungsunterstützungssysteme für die Bereiche Düngung, Pflanzenschutz, Bewässerung und Belichtung in der Produktion unter Glas. Solche Systeme sollen dabei helfen, die Komplexität der Kulturführung zu reduzieren und sie langfristig zu automatisieren.

6 Ökologische Probleme

Hier sind in erster Linie Stoffverlagerungen zu nennen, die durch einen falschen Beregnungseinsatz auftreten können. Im landwirtschaftlichen Bereich wurden Austräge mit und ohne Beregnung gemessen. Mit Beregnung wurde weniger Nitrat in die Tiefe verlagert, weil die Bewässerung zu einer verbesserten Pflanzen- und Wurzelentwicklung führte, so dass gelöste Nährstoffe verstärkt von der Pflanze aufgenommen werden konnten. Für den Gartenbau wurden hierzu jedoch keine Untersuchungen durchgeführt. Aus anderen Quellen sind aber hohe Stickstoffausträge ins Grundwasser bekannt. Der Einfluss der Beregnung auf Pflanzenschutzmittelausträge wurde nicht beraten.

Andere ökologische Probleme wie beispielsweise die Erosion durch oberirdischen Abfluss waren nicht Gegenstand des Statusseminars.

7 Aufgaben der Forschung

Die verfügbaren Wasser sparenden Technologien werden in der Praxis nicht in ausreichendem Maße eingesetzt. Oft sind es arbeitswirtschaftliche Gründe oder ein zu hoher Kapitalbedarf, die deren Einsatz behindern. Für eine weitere Verbreitung solcher Technologien müssen sie in der Anwendung vereinfacht und anwendungsfreundlich weiterentwickelt werden. Die

Idee, dass die Pflanzen beim Bewässern trocken bleiben, muss insbesondere aus phytosanitären Gründen weiter verfolgt werden. Der Einsatz von biologisch abbaubaren Kunststoffen sollte auch im Bereich der Bewässerung forciert werden. Die Anwendung von Systemen zur Bewässerungssteuerung sollte deutlich vereinfacht werden.

Ökonomische Forschung kann Bewässerungstechnologien identifizieren, die ein hohes Potenzial für einen breiten Einsatz in der gärtnerischen Praxis haben. Betriebswirtschaftliche Module können in Systeme zur Steuerung der Beregnung integriert werden, um einen weiteren Schritt in Richtung betriebswirtschaftlich und ökologisch optimaler Bewässerung zu erzielen.

Der Aufbau eines Entscheidungsrahmens für die Auswahl und den Betrieb von Bewässerungsverfahren mit Wasser-, Energie- und Umweltrelevanz, sollte erstellt werden (Benchmarking, Decision support systems).

8 Beratung

Die Bewässerungsberatung ist vielfach unzureichend. Der Bund ist nicht zuständig und die Länder haben kontinuierlich Beratungskapazitäten abgebaut. Dies ist problematisch, da der Einsatz von Wasser sparenden Technologien sehr komplex ist. Dadurch werden in gärtnerischen Betrieben nicht selten nach einer Umstellung der Beregnungstechnologie schlechte Erfahrungen gemacht, die zwar auf Fehlanwendungen beruhen, jedoch der Technik zu geschrieben werden, die damit als schlecht oder nicht kompatibel abqualifiziert wird. Eine qualitativ und quantitativ gut aufgestellte Beratung könnte, ähnlich der Energieberatung, dazu beitragen, dass Wasser sparende Technologien auf Betriebsebene sinnvoll zum Einsatz kommen und damit die Wassernutzungseffizienz steigt.

9 Ökonomische Rahmenbedingungen

Aufgrund der Empfindlichkeit gartenbaulicher Kulturen und der hohen Qualitätsanforderungen an gärtnerische Produkte kann auf eine Beregnung im Gartenbau nur in den seltensten Fällen verzichtet werden. Die betriebswirtschaftlichen Analysen zeigen anhand der gewählten Beispiele aus dem Gemüsebau, dass die Bewässerung in vielen Kulturen rentabel ist. Dabei spielt das Wasserpreisniveau für den Gärtner im Vergleich zur Landwirtschaft eine eher untergeordnete Rolle. Die lenkende Wirkung des Wasserpreises

zur Steuerung der Beregnungswassereinsatzmengen ist dadurch im Gartenbau deutlich geringer als in der Landwirtschaft.

10 Förderung

Es gibt Programme zur Förderung von Investitionen in Bewässerungstechnologien. Sie werden häufig auf Ebene der Bundesländer umgesetzt, sind bisweilen jedoch von Bund und EU kofinanziert. Die Diskussion der Vor- und Nachteile der investiven Förderung erbrachte

kein eindeutiges Ergebnis. Eine gezielte Förderung der Beratung könnte dazu beitragen, die Wassernutzungseffizienz zu steigern, beispielsweise indem der Eingang fortschrittlicher Bewässerungstechnologien und neuer Forschungsergebnisse in der betrieblichen Praxis begleitet wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Folgen des Klimawandels auf die Beregnung im Gartenbau handhabbar sein werden. Technologien für eine Effiziente Nutzung von Beregnungswasser, wie beispielsweise die (mobile) Tropfbewässerung, sind vorhanden, wenn auch in der gärtnerischen Praxis noch nicht weit verbreitet. Knapper werdendes Beregnungswasser und steigende Wasserpreise werden diese Technologien in Zukunft rentabler machen, was deren Verbreitung fördern wird. Die Einführung eines Programms zur Förderung der Bewässerungsberatung im Gartenbau wird empfohlen, um die Wassernutzungseffizienz zu steigern.

Anhang

Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik
Institut für Betriebswirtschaft



Statusseminar

Wasser im Gartenbau

Programm

**im Forum des vTI in Braunschweig
am 9. und 10. Februar 2009**

Organisiert im Auftrag des BMELV durch:

Dr. Heinz Sourell, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik,
Tel.: 0531 596-4484, heinz.sourell@vti.bund.de

Dr. Walter Dirksmeyer, Institut für Betriebswirtschaft,
Tel.: 0531 596-5136, walter.dirksmeyer@vti.bund.de

Montag 9. Februar 2009

Ab 11:00 h Anmeldung

Ab 11:30 h Mittag in der Kantine des vTI

12:30 h Begrüßung durch Prof. Dr. Vorlop, vTI, Braunschweig

12:45 h Begrüßung durch Dr. Stürmer, BMELV

Diskussionsleitung: Prof. Dr. Vorlop, vTI, Braunschweig

Hintergrund:

13:00 h Wasser im Gartenbau (Dr. Stürmer, BMELV)

13:30 h Gartenbau und Klimawandel
(Dr. Fink, Dr. Kläring, Prof. Dr. George, IGZ, Großbeeren)

14:00 h Rahmenbedingungen der Beregnung für die Landwirtschaft und den Gartenbau in Deutschland:

I Regional differenzierte hydrologische Bedingungen
(Dr. Wendland, FZ Jülich)

II Einfluss sich wandelnder ökonomischer Rahmenbedingungen auf die Beregnung in der Landwirtschaft
(Dipl. Ing. (FH) Anter, vTI, Braunschweig)

14:45 h Wasserentnahme: Rechtsgrundlagen, Hinweise zum Antragsverfahren
(Rechtsanwalt Tiet, Justitiar des Bauernverbandes Brandenburg)

15:15 h Diskussion

15:30 h Kaffee

Bewässerungstechnik: Wasserverteilung mit Blick in die Zukunft

16:00 h Freilandberegnung
(Dr. Sourell vTI, Braunschweig)

16:30 h Freiland Tropfbewässerung im Gemüsebau und weiteren gärtnerischen Kulturen (Dr. Teichert, LVG Heidelberg)

17:00 h Bewässerung in Gewächshäusern im Boden und in erdelosen Systemen
(Dr. Molitor, FA Geisenheim)

17:30 h Bewässerungsmanagement/-steuerung
(Prof. Dr. Paschold, FA Geisenheim)

18:00 h Diskussion

18:15 h bis ca. 19:00 h Tageszusammenfassung und Abschlussdiskussion

19:15 h Gemeinsames Abendessen in der Cafeteria des vTI (im Forum)

Die Rückfahrt in die Stadthotels ist organisiert.

Dienstag 10. Februar 2009

Diskussionsleitung: Prof. Dr. Weingarten, vTI Braunschweig

Wasserqualität – Stoffverlagerung

- 8:30 h Bewässerungswasserqualität–Hygienische und chemische Belange
(Frau Dr. Pfleger – TLL Jena)
- 8:50 h Stoffverlagerungen durch Bewässerung in Niedersachsen
(Dipl. Ing. agr. Fricke, LWK Niedersachsen)
- 9:10 h Einfluss der Bewässerung auf die Sickerwassermenge und -qualität
(Dr. Schindler und Dr. Lischeid, ZALF, Müncheberg)
- 9:30 h Diskussion
- 9:45 h Kaffeepause

Ökonomik der Bewässerung:

- 10:15 h Ergebnisse der KTBL Arbeitsgruppe Kalkulationsunterlagen Feldbewässerung
(Dipl. Ing. agr. (FH) Belau, KTBL, Darmstadt)
- 10:45 h Ökonomik der Bewässerung im Gartenbau
(Dr. Dirksmeyer, vTI, Braunschweig)
- 11:15 h Intelligent bewässern im Gartenbau: Forschungstrends in den Niederlanden
(Dr. Hemming, van Os, Balendonck, WUR, Wageningen, Niederlande)
- 12:00 h Zusammenfassung des Tages und des Workshops
(Dr. Lübbe, BMELV)
- Diskussion zum zukünftigen Handlungsbedarf
- Kommt der Klimawandel?
 - Haben wir genug Wasser für die Bewässerung?
 - Ist Schutz vor Starkregenereignissen notwendig?
 - Bleibt die Wasserqualität gut für die Gemüsebewässerung?
 - Sind Wasser sparende Anbautechniken aus der Landwirtschaft auf den Gartenbau übertragbar?
 - Muss sich die Bewässerungstechnik weiterentwickeln?
 - Welche Bewässerungsberatung ist in der Zukunft notwendig, Computer oder mehr Mensch?
 - Gartenbau und Grundwasserschutz, ein Widerspruch?
 - usw.
- Ab 12:45 h Gemeinsames Mittagessen in der Kantine des vTI und Abreise

Teilnehmerliste

Jano Anter, Institut für Ländliche Räume, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, jano.anter@vti.bund.de, 0531 596-5245

Till Belau, Gartenbau, Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft (KTBL), Bartningstr. 49, 64289 Darmstadt, t.belau@ktbl.de, 06151 7001-141

Milan Cachovan, Bewässerungstechnik, Friesecke, 31303 Burgdorf, info@friesecke-bewässerungstechnik.de, 05136894546

Dr. Walter Dirksmeyer, Institut für Betriebswirtschaft, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, walter.dirksmeyer@vti.bund.de, 0531 596-5136

Dr. Matthias Fink, Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren, fink@igzev.de, 033701 78-355

Ekkehard Fricke, Geschäftsbereich Landwirtschaft, Bewässerungsberater, LWK-Niedersachsen, Johannsenstr.10, 30159 Hannover, ekkehard.fricke@lwk.niedersachsen.de

Dr. Norbert Fröba, Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft (KTBL), 64289 Darmstadt, n.froeba@ktbl.de, 06151 7001

Mathias Funk, Kuratorium für Technik in der Landwirtschaft (KTBL), 64289 Darmstadt, 06151 7001-167

Ulrich Groos, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Pfüzenstraße 67, 64347 Griesheim, ulrich.groos@llh.hessen.de, 06155 79800-14

Herr Grossmann, Bewässerungstechnik, LGR, 29559 Wrestedt, info@lgrain.de

Florian Hageneder, Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), Amt für Landwirtschaft und Forsten, Jahnstraße 7, 90763 Fürth/Bayern (Knoblauchl.), florian.hageneder@alf-fu.bayern.de, 0911 99715410

Dr. Jochen Hemming, Greenhouse Horticulture, Wageningen UR, Bornsesteeg, 65 NL-6708 PD, Wageningen, Niederlande, jochen.hemming@wur.nl, +31 17-486471

Erich Klug, Geschäftsbereich Gartenbau, Berater Gemüsebau, LWK Niedersachsen, Heisterbergallee 12, 30453 Hannover, erich.klug@lwk-niedersachsen.de, 0511 4005-2304

Dr. Franz-Josef Löpmeier, Deutscher Wetterdienst (DWD), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, franz-josef.loepmeier@dwd.de, 0531 2520520

Dr. Eiko Lübbe, Ref. 524, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Rochusstraße 1, 53123 Bonn, eiko.luebbe@bmelv.bund.de, 0228 99529-3683

Marc Marx, Institut für Agrarökologie, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, marc.marx@lfl.bayern.de

Dr. Rickmann Michel, Beregnungsberatung, Ing. Büro Boden und Bodenwasser, 16259 Bad Freienwalde, rjmichel@t-online.de, 03344 300898

Dr. Heinz-Dieter Molitor, Fachgebiet Zierpflanzenbau, Forschungsanstalt Geisenheim, Von-Lade-Straße 1, 65366 Geisenheim, molitor@fa-gm.de, 06722 502-0

Harby Mostafa, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, harby.mostafa@vti.bund.de

Dr. Martin R. Müller, Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising, martin.r.mueller@lfl.bayern.de, 08161 713798

Friedrich Nüßlein, LTZ Augustenberg, Rheinstetten-Forchheim, friedrich.nuesslein@ltz.bwl.de, 0721 9518-211

Prof. Dr. Peter-Jürgen Paschold, Fachgebiet Gemüsebau, Forschungsanstalt Geisenheim, Von-Lade-Strasse 1, 65366 Geisenheim, paschold@fa-gm.de, 06722 502-512

Dr. Ingrid Pflieger, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 07743 Jena, i.pflieger@jena.tll.de, 03641 683-404

Dr. Karin Rather, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Diebsweg 2, 69123 Heidelberg, karin.rather@lvg.bwl.de

Dr. Martin Schäfer, CALRES DV-Software, Hannover, martin.schaefer@CalRes.de

Dr. Jana Schaller, Fachgebiet Gemüsebau, Forschungsanstalt Geisenheim, Von-Lade-Strasse 1, 65366 Geisenheim, j.schaller@fa-gm.de, 06722 502-521

Dr. Uwe Schindler, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg, uschindler@zalf.de, 033432 82353

Dr. Karl Schockert, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland, Breitenweg 71, 67435 Neustadt a. d. Weinstraße, karl.schockert@dlr.rlp.de, 06321 671-235

Martin Schulz, Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (LWG), Sachgebiet Gemüsebau, Galgenfuhr 21, 96050 Bamberg, martin.schulz@lwg.bayern.de, 0951 91726-128

Arndt Segatz-Gosewisch, Tropfbewässerung, Netafim, Im Fuchsloch 7, 0437 Frankfurt, info@netafim.de, 06101 50510

Dr. Heinz Sourell, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, heinz.sourell@vti.bund.de, 0531 596-4484

Dr. Hermann Stürmer, Ref. 515, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Rochusstraße 1, 53123 Bonn, hermann.stuermer@bmelv.bund.de, 0228529-4180

Dr. Andreas Teichert, Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Diebsweg 2, 69123 Heidelberg, andreas.teichert@lvg.bwl.de, 06221 748418

Hans-Heinrich Thörmann, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, hans.thoermann@vti.bund.de

Uwe Tiet, Justitiar des Bauernverbandes Brandenburg, Bauernverband Brandenburg, 14531 Ruhlsdorf, info@lbv-brandenburg.de, 03328 319201

Franz-Josef Viehweg, Technikberatung Gartenbau, GBZ, Stralen/Köln-Auweiler, Landwirtschaftskammer NRW, Gartenstraße 11, 50765 Köln-Auweiler, franz-josef.viehweg@lwk.nrw.de

Prof. Dr. Klaus-Dieter Vorlop, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, klaus-dieter.vorlop@vti.bund.de, 0531 596-4101

Prof. Dr. Peter Weingarten, Institut für Ländliche Räume, Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, peter.weingarten@vti.bund.de, 0531 596-5501

Dr. Frank Wendland, Forschungszentrum Jülich (FZJ), Jülich, f.wendland@fz-juelich.de, 02461 61-3165

Jochen Winkhoff, Geschäftsführung Bundesfachgruppe Gemüsebau, Bundesausschuss Obst und Gemüse (BOG), Zentralverband Gartenbau (ZVG), Claire-Waldoff-Straße 7, 10117 Berlin, zvg.winkhoff@g-net.de, 030 200065-26

Dieter Witzel, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, 34117 Kassel, dieter.witzel@llh.hessen.de

Arne Wylkop, Ref. 515, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Rochusstraße 1, 53123 Bonn, arne.wylkop@bmelv.bund.de, 0228 529-4188

Lieferbare Sonderhefte / Special issues available

296	Wilfried Brade und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2006) Schweinezucht und Schweinefleischerzeugung – Empfehlungen für die Praxis	12,00 €
297	Hazem Abdelnabby (2006) Investigations on possibilities to improve the antiphytopathogenic potential of soils against the cyst nematode <i>Heterodera schachtii</i> and the citrus nematode <i>Tylenchulus semipenetrans</i>	8,00 €
298	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2006) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2006	9,00 €
299	Franz-Josef Bockisch und Klaus-Dieter Vorlop (Hrsg.) (2006) Aktuelles zur Milcherzeugung	8,00 €
300	Analyse politischer Handlungsoptionen für den Milchmarkt (2006)	12,00 €
301	Hartmut Ramm (2006) Einfluß bodenchemischer Standortfaktoren auf Wachstum und pharmazeutische Qualität von Eichenmisteln (<i>Viscum album</i> auf <i>Quercus robur</i> und <i>petraea</i>)	11,00 €
302	Ute Knierim, Lars Schrader und Andreas Steiger (Hrsg.) (2006) Alternative Legehennenhaltung in der Praxis: Erfahrungen, Probleme, Lösungsansätze	12,00 €
303	Claus Mayer, Tanja Thio, Heike Schulze Westerath, Pete Ossent, Lorenz Gyga, Beat Wechsler und Katharina Friedli (2007) Vergleich von Betonspaltenböden, gummimodifizierten Spaltenböden und Buchten mit Einstreu in der Bullenmast unter dem Gesichtspunkt der Tiergerechtigkeit	8,00 €
304	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2007) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2007 for 2005	16,00 €
[304]	Introduction, Methods and Data (GAS-EM)	
[304A]	Tables Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2007 für 2005	
[304]	Einführung, Methoden und Daten (GAS-EM)	
[304A]	Tabellen	
305	Joachim Brunotte (2007) Konservierende Bodenbearbeitung als Beitrag zur Minderung von Bodenschadverdichtungen, Bodenerosion, Run off und Mykotoxinbildung im Getreide	14,00 €
306	Uwe Petersen, Sabine Kruse, Sven Dänicke und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Meilensteine für die Futtermittelsicherheit	10,00 €
307	Bernhard Osterburg und Tania Runge (Hrsg.) (2007) Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie	15,00 €
308	Torsten Hinz and Karin Tamoschat-Depolt (eds.) (2007) Particulate Matter in and from Agriculture	12,00 €
309	Hans Marten Paulsen und Martin Schochow (Hrsg.) (2007) Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten	9,00 €
310	Hans-Joachim Weigel und Stefan Schrader (Hrsg.) (2007) Forschungsarbeiten zum Thema Biodiversität aus den Forschungseinrichtungen des BMELV	13,00 €
311	Mamdoh Sattouf (2007) Identifying the Origin of Rock Phosphates and Phosphorus Fertilisers Using Isotope Ratio Techniques and Heavy Metal Patterns	12,00 €

312	Fahmia Aljmlí (2007) Classification of oilseed rape visiting insects in relation to the sulphur supply	15,00 €
313	Wilfried Brade und Gerhard Flachowsky (Hrsg.) (2007) Rinderzucht und Rindfleischerzeugung – Empfehlungen für die Praxis	10,00 €
314	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2007) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau, Schwerpunkt: Pflanze	12,00 €
315	Andreas Tietz (Hrsg.) (2007) Ländliche Entwicklungsprogramme 2007 bis 2013 in Deutschland im Vergleich – Finanzen, Schwerpunkte, Maßnahmen	12,00 €
316	Michaela Schaller und Hans-Joachim Weigel (2007) Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung	16,00 €
317	Jan-Gerd Krentler (2008) Vermeidung von Boden- und Grundwasserbelastungen beim Bau von Güllelagern Prevention of soil and groundwater contamination from animal waste storage facilities	12,00 €
318	Yelto Zimmer, Stefan Berenz, Helmut Döhler, Folkhard Isermeyer, Ludwig Leible, Norbert Schmitz, Jörg Schweinle, Thore Toews, Ulrich Tuch, Armin Vetter, Thomas de Witte (2008) Klima- und energiepolitische Analyse ausgewählter Bioenergie-Linien	14,00 €
319	Ludger Grünhage and Hans-Dieter Haenel (2008) Detailed documentation of the PLATIN (PLant-ATmosphere Interaction) model	10,00 €
320	Gerold Rahmann und Ulrich Schumacher (Hrsg.) (2008) Praxis trifft Forschung — Neues aus der Ökologischen Tierhaltung 2008	14,00 €
321	Bernd Degen (Editor) (2008) Proceedings of the international workshop “Fingerprinting methods for the identification of timber origins”, Bonn, October 8-9 2007	18,00 €
322	Wilfried Brade, Gerhard Flachowsky, Lars Schrader (Hrsg.) (2008) Legehuhnproduktion und Eierzeugung - Empfehlungen für die Praxis	12,00 €
323	Christian Dominik Ebmeyer (2008) Crop portfolio composition under shifting output price relations – Analyzed for selected locations in Canada and Germany –	14,00 €
324	Ulrich Dämmgen (Hrsg.) (2009) Calculations of Emissions from German Agriculture – National Emission Inventory Report (NIR) 2009 for 2007 Berechnungen der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft – Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2009 für 2007	8,00 €
324A	Tables Tabellen	8,00 €
325	Frank Offermann, Martina Brockmeier, Horst Gömann, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Petra Salamon (2009) vTI-Baseline 2008	8,00 €
326	Gerold Rahmann (Hrsg.) (2009) Ressortforschung für den Ökologischen Landbau 2008	8,00 €
327	Björn Seintsch, Matthias Dieter (Hrsg.) (2009) Waldstrategie 2020 Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.-11. Dez. 2008, Berlin	18,00 €
328	Walter Dirksmeyer, Heinz Sourell (Hrsg.) (2009) Wasser im Gartenbau Tagungsband zum Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 im Forum des vTI in Braunschweig. Organisiert im Auftrag des BMELV	8,00 €



Landbauforschung
*vTI Agriculture and
Forestry Research*

Sonderheft 328
Special Issue

Preis / Price 8 €

ISBN 978-3-86676-053-1

