

Effiziente Wassernutzung im Ackerbau Nord-Ost-Niedersachsens:
Möglichkeiten zur Anpassung an den prognostizierten Klimawandel

- Literaturübersicht -

bearbeitet von

Jürgen Grocholl

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Diese Übersicht wurde im Rahmen des vom
Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes *Klimzug-Nord*
in enger Kooperation mit dem von der EU im Rahmen des
Interreg IVB North Sea Region Programme geförderten Projektes *Aquarius* erstellt.



The Interreg IVB North Sea
Region Programme



Investing in the future by working together for a sustainable
and competitive region



Impressum:

© Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen
Wilhelm-Seedorf-Str. 1/3
D-29525 Uelzen
Autor:
Dr. Jürgen Grocholl
juergen.grocholl@lwk-niedersachsen.de

Februar 2011

Inhalt

Zusammenfassung		1
1	Problemstellung	2
1.1	Projektregion	2
1.2	Klimawandel	5
2	Begriffe und Zielgrößen	7
3	Maßnahmen zur effizienten Wassernutzung	9
3.1	Verminderung von Wasserverlusten	9
3.1.1	Evaporation	9
3.1.2	Abfluss	11
3.1.3	Sickerung	11
3.1.4	Transpiration Nicht-Kulturpflanzen	13
3.2	Verbesserung der Wasserausnutzung durch den Pflanzenbestand	14
3.2.1	Wasseraufnahme	14
3.2.2	Wassernutzung durch die Pflanze	16
3.2.3	Zeitliche Verfügbarkeit	18
4	Bewertung der Maßnahmen	20
5	Literatur	24

Zusammenfassung

In der erfassten Literatur wird eine Vielzahl von Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz der Wassernutzung aufgeführt. Diese betreffen schwerpunktmäßig die Bereiche Bodenbedeckung, Bodenbearbeitung, Humusgehalt, intensive und tiefe Durchwurzelung, Sortenwahl/Züchtung sowie Nährstoffversorgung und Anpassung des zeitlichen Wasserbedarfs der Pflanzen an die Niederschläge. Vielfach wird darauf hingewiesen, dass die Effizienz der Wassernutzung in erster Linie vom erzielten Ertrag abhängt. Somit sind alle ertragssteigernden Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie beispielsweise Düngung und Pflanzenschutz, auch hierfür von entscheidender Bedeutung.

Die Wirkung der beschriebenen Maßnahmen auf die Effizienz der Wassernutzung wird bewertet. Die sandigen Böden Nord-Ost-Niedersachsens haben nur ein sehr geringes Wasserspeichervermögen, das für den Pflanzenbedarf nicht ausreicht. Zur Versorgung der Pflanzen sind daher -selbst bei Vermeidung aller Verlustgrößen- regelmäßige Niederschläge oder eine Zusatzbewässerung in der Vegetationsperiode erforderlich

1 Problemstellung

Die für die kommenden Jahre prognostizierten Änderungen des Klimas haben weitreichende Auswirkungen auf die Lebens- und Wirtschaftsumwelt in allen Regionen. Neben dringend erforderlichen gemeinsamen Maßnahmen zur Begrenzung des anthropogen bedingten Klimawandels müssen rechtzeitig Techniken und Methoden zur Minderung der inzwischen unabwendbaren Klimafolgen entwickelt werden. Eine rechtzeitige Anpassung von Gesellschaft und Ökonomie an die erhöhten Risiken durch den Klimawandel kann so erfolgen.

Bei den Anpassungsmaßnahmen sind die Interessen der urbanen Metropolregionen einerseits und der ländlich geprägten Räume andererseits zu berücksichtigen und in Einklang zu bringen. In dieser Hinsicht stellt die Metropolregion Hamburg, mit der Stadt Hamburg und dem umliegenden ländlichen Regionen ein Musterbeispiel dar. Hier gibt es eine Vielfalt landschaftlicher Strukturen, von den historisch geprägten Heidelandschaften bis zu den an moderne Bewirtschaftungsverfahren angepassten Agrarlandschaften.

Im BMFT-geförderten Projekt KLIMZUG-NORD sollen Anpassungsstrategien, Szenarien, Techniken, Methoden und Planungsverfahren entwickelt werden, die diesen Raum unter sich ändernden Klimabedingungen als Kulturlandschaft schützen, pflegen und als Lebens-, Wirtschafts- und Erholungsraum dauerhaft umweltgerecht weiterentwickeln. Eine enge Zusammenarbeit besteht dabei mit dem von der EU im Rahmen des Interreg IVb-Northsea Region Programm geförderten Projekt „Aquarius“.

Für den in dieser Region bedeutenden Wirtschaftsfaktor „Landwirtschaft“ stellt dabei insbesondere die Sicherstellung einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit einen wesentlichen Punkt dar. Wasser ist schon unter den derzeitigen Klimabedingungen für die ackerbaulich geprägten landwirtschaftlichen Betriebe ein limitierender Faktor, dies Problem wird sich in Zukunft verstärken und räumlich nach Westen und Norden ausdehnen.

1.1 Projektregion

Im Teilprojekt 3 „Zukunftsfähige Kulturlandschaften“ sollen u.a. „Strategien für eine klimaangepasste Landnutzung in Kulturlandschaften der Metropolregion HH am Beispiel der Region Ostheide“ untersucht werden. Die im Projekt betrachtete Region geht dabei über das üblicherweise als Ostheide bezeichnete Gebiet hinaus und umfasst die im Nord-Osten Niedersachsens gelegenen Landkreise Harburg, Soltau-Fallingb., Lüneburg, Uelzen, Lüchow-Dannenberg und den südlichen Landkreis Rotenburg. Naturräumlich gehört auch der Landkreis Celle in diese Region. Im Vergleich zu gesamt Deutschland oder Niedersachsen ist diese Region dünn besiedelt (Tab. 1). Der Anteil der Landwirtschaft an der Bruttowertschöpfung ist überdurchschnittlich. Die Landwirtschaft ist überwiegend ackerbaulich geprägt, mit Ausnahme des Landkreises Rotenburg-Wümme ist die Viehdichte unterdurchschnittlich.

**Tab. 1: Statistische Kennzahlen der Landkreise im Projektgebiet KLIMZUG-NORD
(LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2008)**

Region	2006			Landw. Betriebe	2007 landw. gen. Fläche (LF)	Viehichte GV / ha LF
	Fläche km ²	Einwohner je km ² Anzahl	Anteil der Landw. an der Brutto- wertschöpfung %			
Deutschland	357.114,22	231	0,85	374.514	16.954.330	0,79
Niedersachsen	47.641,10	168	1,58	49.917	2.618.465	1,14
Projektregion	10.730,98	98	2,39	7.696	503836	0,75
Celle	1.545,05	118	1,72	797	52.015	0,61
Harburg	1.244,68	195	1,85	1.136	55.861	0,72
Lüchow-Dannenberg	1.220,45	42	5,39	759	61.444	0,42
Lüneburg	1.323,35	133	1,48	747	64.452	0,47
Rotenburg-Wümme	2.070,08	80	3,34	2.218	125.686	1,41
Soltau-Fallingb.ostel	1.873,49	76	2,00	1.180	70.758	0,73
Uelzen	1.453,88	66	3,90	859	73.620	0,31

Die Böden der Region gehören überwiegend zur Bodengroßlandschaft der „Geestplatten und Endmoränen“, kleinere Regionen am Rand des Projektgebietes zu den „Talsandniederungen und Urstromtäler“, geringe Anteile Auen und Niederterrassen bzw. Marschen.

Es überwiegen sandige Böden, teilweise mit geringen Lehmanteilen. Diese weisen in der Regel eine geringe Wasserhaltefähigkeit auf, die nutzbare Feldkapazität (nFK) ist gering. Die Wassermenge, die im Boden gespeichert werden kann reicht für den Pflanzenbedarf bei weitem nicht aus. Zudem ist die Durchwurzelungstiefe bodenbedingt begrenzt. Eine regelmäßige Wasserzufuhr ist daher für die Entwicklung der Pflanzen notwendig. Nur sehr kleinräumig tritt im Landkreis Uelzen Sandlöss mit einer höheren nutzbaren Feldkapazität auf.

Das derzeitige Klima ist gekennzeichnet durch gemäßigte Temperaturen, im Jahresmittel zwischen 7,8 und 8,9 °C. Die mittlere Niederschlagsmenge beträgt im Westen bis ca. 810 mm/Jahr und nimmt nach Osten bis auf 545 mm/Jahr ab (Tab. 2). Für die Landwirtschaft ist die klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode entscheidend (Abb. 1). Die geringe Niederschlagsmenge bzw. das hohe Defizit in der klimatischen Wasserbilanz in Verbindung mit den sandigen Böden mit geringer nutzbarer Feldkapazität (nFK) sind schon bei aktuellen Klimabedingungen für einen wirtschaftlichen Ackerbau nicht ausreichend. Durch eine intensive Beregnung wird dieser Standortnachteil ausgeglichen.

Tab. 2: Mittlere Temperaturen und Niederschlagssummen im langjährigen Mittel (1961-1990) einiger Orte der Projektregion (Datengrundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST, 2010)

Ort / Landkreis		Winter (Okt.-März)	Hauptvegetationsperiode Getreide (April-Juni) Hackfrucht (Juli-Sept.)		Vegetations- periode (April-Sept.)	Jahr (Jan.-Dez.)
mittl. Temperatur		[°C]				
Rotenburg (Wümme)	ROW	3,6	11,9	15,6	13,8	8,7
Soltau	SFA	3,3	11,7	15,4	13,6	8,4
Buhholz i. d. Nordheide	WL	2,9	10,8	14,6	12,7	7,8
Celle-Wietzenbruch	CE	3,7	12,3	16,1	14,2	8,9
Unterlüß	CE	3,0	11,5	15,2	13,3	8,1
Lüneburg	LG	3,7	12,1	15,9	14,0	8,9
Uelzen	UE	3,3	11,8	15,5	13,7	8,5
Lüchow	DAN	3,2	12,1	15,9	14,0	8,6
Niederschlagssumme		[mm]				
Rotenburg (Wümme)	ROW	379,7	196,5	219,6	416,1	795,6
Soltau	SFA	397,1	196,9	217,2	414,1	811,2
Buhholz i. d. Nordheide	WL	433,2	194,6	222,1	416,7	850,0
Celle-Wietzenbruch	CE	292,5	181,4	182,2	363,6	656,2
Unterlüß	CE	390,9	199,0	210,6	409,6	800,5
Lüneburg	LG	269,7	161,9	180,2	342,1	611,8
Uelzen	UE	273,7	163,5	185,3	348,8	622,4
Lüchow	DAN	232,2	150,9	162,0	312,9	545,2

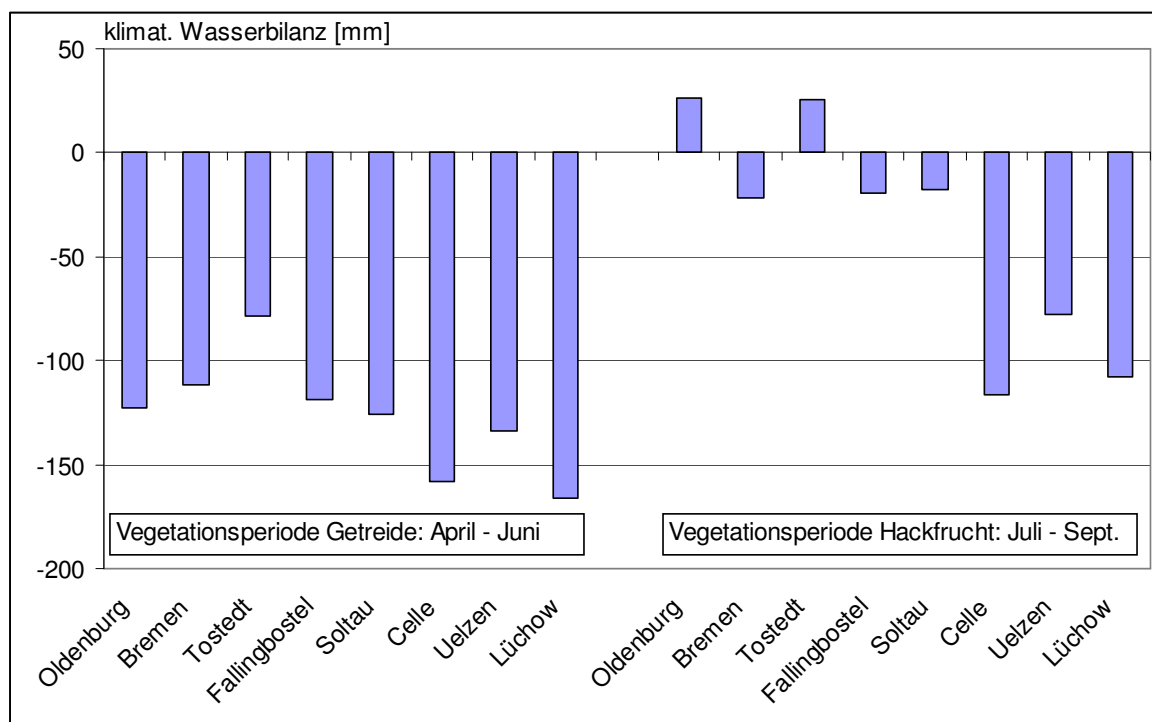


Abb. 1: Klimatische Wasserbilanz im Mittel der Jahre 2005 – 2009 für ausgewählte Orte Niedersachsens (Datengrundlage: FACHVERBAND FELDBERECHNUNG, 2005 – 2009)

1.2 Klimawandel

Die für das Jahr 2050 prognostizierten Veränderungen des Klimas im Vergleich zum derzeitigen (Tab. 3) lassen sich in folgenden Trends zusammenfassen:

- Steigende Durchschnittstemperaturen zu allen Jahreszeiten
- Höhere Anzahl an Sommertagen und heißen Tagen
- Geringere Anzahl Frost- und Eistage im Frühjahr, Herbst und Winter
- Weniger Schnee im Frühjahr, Herbst und Winter
- Zunehmende Niederschlagsmengen und Regentage im Frühjahr, Herbst und Winter
- Geringere Niederschlagsmengen und Regentage im Sommer
- Zunahme der Windgeschwindigkeit im Frühjahr und Herbst

Tab. 3: Prognostizierte Klimaänderung bis 2050 für die Metropolregion Hamburg, Veränderung gegenüber dem Mittelwert 1961-1990 (NORDDEUTSCHER KLIMAATLAS, 2010)

	Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter
Temperatur				
Durchschn. Temperatur (°C)	1,0	1,7	1,9	1,8
Sommertage (Tage)	0,5	5,8	1,1	0,0
Heiße Tage (Tage)	0,1	1,6	0,1	0,0
Tropische Nächte (Tage)	0,0	1,1	0,1	0,0
Frosttage (Tage)	- 4,2	0,0	- 3,7	- 16,5
Eistage (Tage)	- 1,1	0,0	- 0,7	- 8,8
Niederschlag				
Regen (%)	8,0	- 5,0	10,0	17,0
Regentage (Tage)	1,2	- 3,2	0,5	1,4
Schnee (%)	- 52,0	0,0	- 45,0	- 69,0
Schneetage (Tage)	- 0,3	0,0	- 0,1	- 1,2
Luftfeuchte				
Relative Luftfeuchte (%)	1,0	unklar	0,0	unklar
Wasserdampf (%)	8,0	11,0	14,0	13,0
Wind				
Mittl. Windgeschw. (%)	2,0	unklar	2,0	1,0

Für die Landwirtschaft in Nord-Ost-Niedersachsen ergeben sich daraus unterschiedliche Folgen. Einerseits können höhere Temperaturen und geringere Frosttage im Winter zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode führen und damit den Anbau neuer Kulturarten bzw. einen Zweitfruchtanbau ermöglichen. Mildere Winter führen aber auch zu einer höheren N-Mineralisation außerhalb der Vegetationsperiode. In Verbindung mit den prognostizierten höheren Winter-Niederschlägen besteht damit eine höhere Stickstoff-Auswaschungsgefahr. Vermehrtes Auftreten von heißen Tagen ist ungünstig für die z.Z. wichtige Kultur Kartoffeln, wärmere Herbsttage erschweren die Belüftung im Lager und vermindern damit die Lagerstabilität.

Entscheidender wird aber die veränderte Niederschlagsverteilung sein (vgl. Abb. 2). Weniger Niederschläge in der Vegetationsperiode insb. in Verbindung mit steigenden Temperaturen erhöhen das jetzt schon bestehende hohe Wasserbilanzdefizit und begrenzen ohne entsprechende Gegenmaßnahmen das Ertragsniveau und damit die Wirtschaftlichkeit in erheblichem Ausmaß. Zudem wird die Zunahme der Windgeschwindigkeit in Verbindung mit Trockenheit im Frühjahr die Winderosionsgefahr erhöhen. Die im Winter zunehmenden Niederschläge dagegen die Gefahr der Wassererosion.

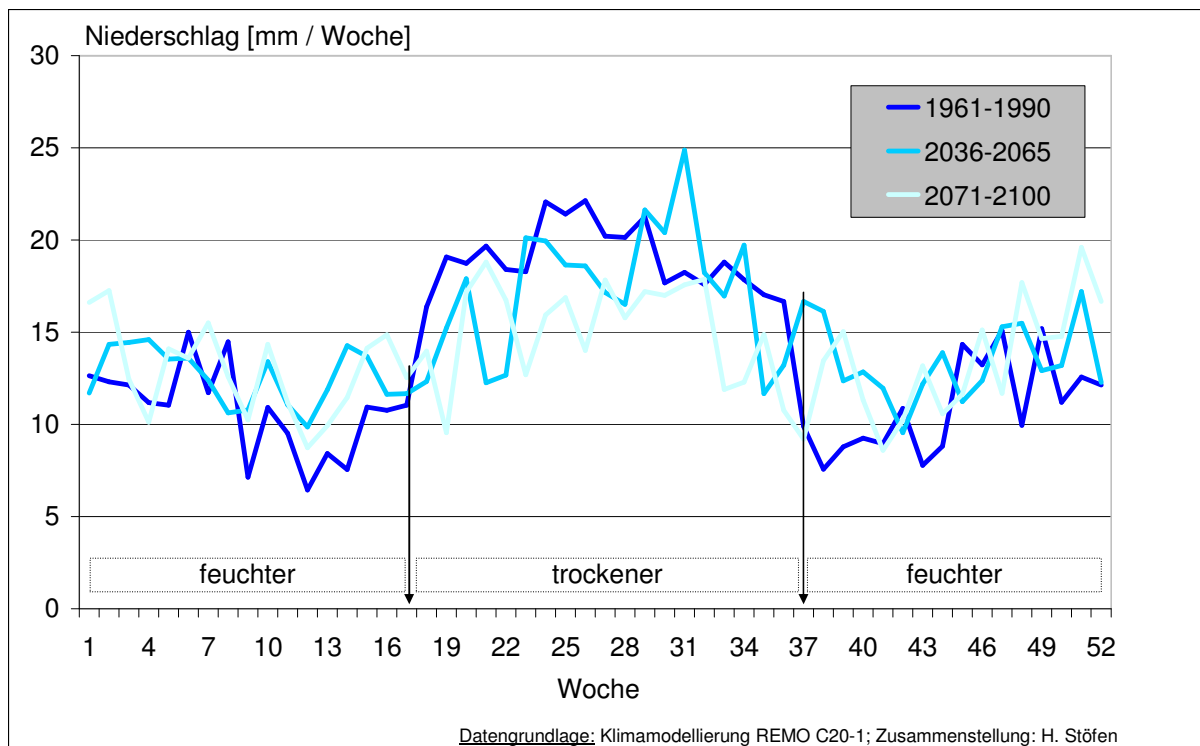


Abb. 2: Veränderung der Niederschlagsverteilung bis zum Jahr 2100 in Folge des Klimawandels am Beispiel Hamerstorf, Landkreis Uelzen
(Datengrundlage: 1. Realisierung des regionalen Klimamodells REMO, Szenario A1B, Mittelwert von 3x3 Gitterboxen; Zusammenstellung der Daten: H. STÖFEN, 2010)

2 Begriffe und Zielgrößen

Jede Pflanze und jeder Pflanzenbestand benötigt zum Wachstum Wasser. Steht dieses nicht in ausreichender Menge zur Verfügung, ist das Wachstum begrenzt. Generell ist zu unterscheiden zwischen der Wasserproduktivität, also der von der Pflanze pro Einheit Wasser gebildeten Pflanzenmasse bzw. Ertrag und der Trockenresistenz, also der Fähigkeit der Pflanze, Trockenperioden zu überstehen (MORISON et al. 2008). Letztere kann durchaus bei geringer Massebildung gegeben sein. In vielen Fällen ist Trockenresistenz auf Trockenheitsvermeidung zurückzuführen, der Verlagerung der Wachstumsphasen in Zeiten ohne Trockenheit

Zur Bewertung der Ausnutzung des Wassers durch eine Pflanze, einen Pflanzenbestand oder allgemein der pflanzlichen Produktion in der Landwirtschaft werden verschiedene Kennwerte genutzt.

Bekannt ist der *Transpirationskoeffizient* (*transpiration ratio*, TR), der angibt, wie viel Transpirationswasser eine Pflanze zur Produktion von einer Einheit (i.d.R. 1 kg) Trockenmasse benötigt. Werte für verschiedene Pflanzenarten finden sich beispielsweise bei GEISLER (1980). In vielen Fällen wird der reziproke Wert, die *Transpirationseffizienz* (*transpiration efficiency*, TE), oder -auf Grund der Schwierigkeiten der Messung der Transpiration- die *Evapotranspirationseffizienz* angegeben. Für diese Größen hat sich in der Literatur der Begriff *Wassernutzungseffizienz* (*water use efficiency*, WUE) etabliert. Sie gibt in den meisten Fällen den pro Einheit Evapotranspiration erzielten Ertrag an. Der Ertrag kann die gesamte Trockenmasseproduktion oder auch nur die Ernteprodukte umfassen (TANNER, 1981). SCHITTENHELM (2009) definiert Wassernutzungseffizienz als Trockenmasseertrag pro Einheit Wasserverbrauch. Wobei Wasserverbrauch die Summe aus Niederschlag, Bewässerung, Oberflächenabfluss, Sickerung und der Veränderung des Bodenwassergehaltes ist. Einige Forscher verwenden auch die *Niederschlagsnutzungseffizienz* (*precipitation use efficiency*, *rainfall-use efficiency*) als Maßstab. Diese ist nur dann mit der Wassernutzungseffizienz gleichzusetzen, wenn der gesamte Niederschlag für die Evapotranspiration genutzt wird und keine Veränderung des Bodenwassergehaltes eintritt (HATFIELD et al. 2001).

Kritik an der Wassernutzungseffizienz als Maßstab für die Züchtung auf wassersparende Genotypen äußert BLUM (2009). Er weist darauf hin, dass eine höhere Wassernutzungseffizienz nicht mit Trockenheitsresistenz oder hohen Erträgen unter Trockenstress gleichzusetzen ist. Diese werden auch durch andere Maßnahmen des Bodenmanagements beeinflusst. Eine verbesserte Biomasseproduktion bei Trockenstress erfordert vor allem eine maximierte Wasseraufnahme aus dem Boden für die Transpiration durch die Stomata. Hierfür führt er den Begriff „*effective use of water* (EUW)“ ein.

Generell ist ohne Wasser keine Biomassebildung möglich. Zwischen Ertrag und Transpiration besteht eine lineare Beziehung (BEN-GAL, 2003).

Hohe Erträge erfordern demnach immer auch eine möglichst hohe Wasseraufnahme durch die Kulturpflanze. Bei limitiertem Wasserangebot ist es entscheidend, einen möglichst hohen Anteil des verfügbaren Wassers für die Transpiration des Pflanzenbestandes zu nutzen und Verluste möglichst gering zu halten (TURNER, 2004). Eine Übersicht über Wasserbilanzgrößen aus Sicht der Pflanzenproduktion gibt Abbildung 3. Wobei auch die

Verlustgrößen durchaus Einfluss auf das Pflanzenwachstum haben können, beispielsweise durch Beeinflussung des Kleinklimas im Bestand oder durch Kühleffekte.

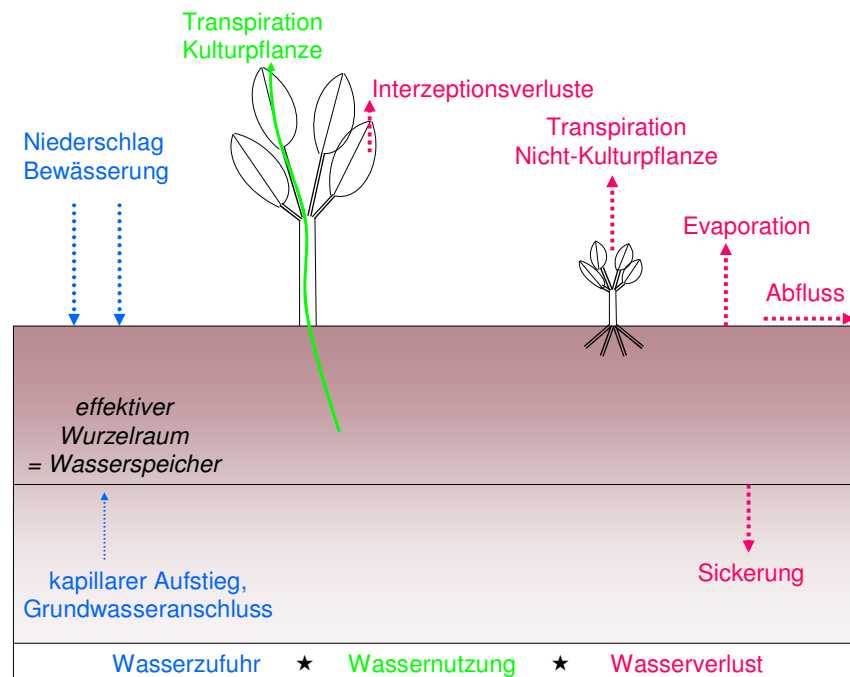


Abb. 3: Wasserbilanzgrößen aus Sicht der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion

Aus Sicht der Landwirtschaft ist entscheidend, mit der gegebenen Wasserzufuhr (Niederschlag) und ggf. einem möglichst geringen Anteil zusätzlicher Bewässerung einen möglichst hohen Ertrag (Rohware, vermarktungsfähige Ware oder Erlös) zu erzielen („more crop per drop“). Für dieses Ziel wird hier der Begriff „Effiziente Wassernutzung“ verwendet. Ist die Wasserzufuhr kein limitierender Faktor, hängt die *Effizienz der Wassernutzung* von allen anderen, den Ertrag beeinflussenden Faktoren, wie beispielsweise der Nährstoffversorgung oder dem Auftreten von Schädlingen und Krankheiten ab. Reicht die Wasserzufuhr dagegen nicht aus, sind zusätzlich die Verlustgrößen zu berücksichtigen.

Neben der insgesamt zur Verfügung stehenden Menge an Wasser ist auch die zeitliche Verteilung der Niederschläge von entscheidender Bedeutung. Mit der gleichen verfügbaren Wassermenge sind je nach zeitlicher Verfügbarkeit sehr unterschiedliche Erträge zu erzielen. Dieser Zusammenhang bleibt jedoch in den oben dargestellten Kennwerten in der Regel unberücksichtigt.

Zum Vergleich verschiedener anbautechnischer Maßnahmen (incl. Arten- und Sortenwahl) kann als Maßstab für die *Effizienz der Wassernutzung* das Verhältnis von Ertrag zu Wasserzufuhr dienen, solange zu Zeiten nicht limitierender Wasserversorgung in allen Varianten die Wasserzufuhr gleich ist. Je nach betrachtetem Zeitraum kann die Effizienz der Wassernutzung auf eine Kultur (Vegetationsperiode oder Aussaat bis Ernte), ein Fruchtfolgeglied ggf. incl. Zwischenfrucht oder längere Zeitspannen wie eine Fruchtfolge bezogen werden.

3 Maßnahmen zur effizienten Wassernutzung

Eine Vielzahl von Untersuchungen hat sich mit landwirtschaftlicher Pflanzenproduktion im Hinblick auf eine effiziente Wassernutzung beschäftigt. Umfangreiche Literaturlauswertungen finden sich beispielsweise bei HATFIELD et al. (2001), MORISON et al. (2008), PASSIOURA (2004) und TURNER (2004). In vielen Fällen wurden die Untersuchungen in ariden oder semiariden Gebieten durchgeführt und sind daher nicht direkt auf die Bedingungen im Projektgebiet übertragbar.

Die beschriebenen Maßnahmen werden im Hinblick auf die Anwendung unter den besonderen Bedingungen Nord-Ost-Niedersachsens betrachtet. Ziel ist die Entwicklung von wassersparenden Anbauverfahren für Nord-Ost-Niedersachsen.

Grundsätzlich stellt die Höhe des Ertrages die entscheidende Einflussgröße für die Wassernutzungseffizienz dar. Diese unterliegt auch unter wasserlimitierten Bedingungen einer Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren wie beispielsweise Saattermin, Nährstoffversorgung und dem Auftreten von Krankheiten und Schädlingen. Auch HATFIELD et al. (2001) und TURNER (2004) zeigen diesen Sachverhalt in ihren umfangreichen Literaturlauswertungen auf.

Unter wasserlimitierten Bedingungen spielt die Verminderung von Wasserverlusten eine große Rolle (vgl. Abb. 3). Auf der anderen Seite muss der Pflanzenbestand einen möglichst großen Teil des Wassers aufnehmen und effizient in Trockenmasse umsetzen können.

3.1 Verminderung von Wasserverlusten

3.1.1 Evaporation

Wasserverluste durch Evaporation treten insbesondere auf freien, nicht bedeckten Bodenoberflächen auf. Eine möglichst andauernde und ausreichende Bedeckung des Bodens sollte somit zu deren Verminderung beitragen. Bodenbedeckung wird insbesondere auch durch den Pflanzenbestand geschaffen, im Ackerbau im speziellen durch die angebauten Kulturpflanzen. Eine unzureichende Bodenbedeckung ist vor allem in der Jugendentwicklung der Pflanzenbestände zu erwarten. TURNER (2004) berichtet von mehreren Untersuchungen, die eine verbesserte Niederschlagsnutzungseffizienz bei früheren Saatzeitpunkten zeigen. Insbesondere geht zu Beginn der Vegetationsperiode bei gleich bleibender Evapotranspiration die Evaporation zurück, der Anteil der Verluste sinkt also. Andererseits weist er auf Probleme, die bei frühen Saatterminen entstehen können, hin (höheres Risiko von Frostschäden, Krankheiten, frühere Trockenschäden). Dies betrifft in Niedersachsen vor allem den Anbau von Sommerungen. Insbesondere bei spät gesäten Kulturen sind bei unbedecktem Boden Evaporationsverluste zu erwarten. Bei Wintergetreide dagegen wird der Bodenwasserspeicher bis zum Frühjahr regelmäßig wieder aufgefüllt. Auch eine ausreichende Düngung mit Stickstoff und/oder Phosphor verbesserte die Pflanzenentwicklung vor der Getreideblüte in mehreren Untersuchungen und führte zu höheren Anteilen der Transpiration an der gesamten Evapotranspiration (TURNER 2004).

Ein vergleichbarer Effekt kann auch durch eine möglichst hohe Bestandesdichte erzielt werden. Höhere Bestandesdichten führen zu einer früheren Bodenbedeckung, dies soll zur Zeit der Jugendentwicklung der Pflanze den Anteil des Wasserverbrauches durch

Evaporation vermindern und ggf. den für die Ertragsbildung wichtigen Anteil der Transpiration erhöhen. Entsprechende Ergebnisse liegen von TOMPKINS et al. (1991) aus Kanada vor, der im Weizenanbau je 2 Saatstärken (140 und 35 kg/ha) und Reihenweiten (9 und 36 cm) verglich. Insgesamt stieg der Wasserverbrauch mit zunehmender Bestandesdichte zwar an, aber der Ertrag stieg überproportional. Auch mehrere von TURNER (2004) betrachtete Untersuchungen zeigen bei höheren Bestandesdichten eine geringere Evaporation und höhere Transpiration, allerdings waren die Erträge und damit die Niederschlagsnutzungseffizienz auf Grund des Kompensationsvermögens der Pflanzen kaum unterschiedlich. Auf der anderen Seite weist er auf die verbreitete Nutzung geringer Bestandesdichten in Regionen hin, in denen die Pflanzen auf das im Boden gespeicherte Wasser angewiesen sind. Er schließt, dass geringe Bestandesdichten in mediterranen Klimaten abträglich sind. In Regionen, in denen die Pflanzen auf das gespeicherte Bodenwasser angewiesen sind oder in denen während der Wachstumssaison wenig oder keine Niederschlag fällt und die Evaporation aus dem trockenen Boden gering ist, sind geringe Bestandesdichten dagegen vorteilhaft. Auch SCHÖNBERGER (2009) empfiehlt „nicht zu dichte“ Bestände, da mit steigender Blattfläche (= Bestandesdichte) die zur Erzeugung einer bestimmten Menge Korn erforderliche Wassermenge ansteigt. Andererseits sind zur Erzielung hoher Erträge, ggf. sortenabhängig, bestimmte Bestandesdichten erforderlich. Für Standorte mit Frühjahrstrockenheit empfiehlt er daher Einzelährentypen, die eine geringere Bestandesdichte ermöglichen sollen.

Neben den wachsenden Pflanzenbeständen können auch Erntereste zu einer stärkeren Bodenbedeckung führen. So vermindert die bei pflugloser Bearbeitung auf dem Boden verbleibende Mulchdecke die Evaporation (HATFIELD et al. 2001). Auch TURNER (2004) berichtet von einigen Untersuchungen, die bei konservierender Bodenbearbeitung eine verminderte Evaporation und höhere Erträge ergaben. Im mediterranen Klima des pazifischen Nord-Westens der USA stellten MACHADO et al. (2008) auf einem schluffigen Lehm unter Weizen mit Vorfrucht Grünerbse (kein Mulchmaterial, Bodenverdichtungen) eine geringere, unter Grünerbsen nach Weizen (Stoppelmulch) dagegen eine höhere Wasserspeicherung im Boden nach Minimalbearbeitung (Direktsaat bzw. Scheibenegge) im Vergleich zum Pflügen fest. Die Erträge waren allerdings in beiden Fällen in den gepflügten Varianten höher (Unkrautdruck, Jugendwachstum), dadurch war die Wassernutzungseffizienz bei Minimalbearbeitung geringer. Beim Anbau von Winterweizen nach Körnermais auf einem sandigen Lehm in Brandenburg stellten VERCH et al. (2004) keinen Einfluss einer unterschiedlichen Bodenbearbeitung (Vergleich von Pflugbearbeitung zu Mulchsaat) auf die Wassernutzung der Pflanzen aus dem Boden fest. Unterschiedliche Ertragsreaktionen ließen sich im Einzelfall durch spezifische Witterungseinflüsse erklären. Vereinzelt werden auch künstliche Materialien als „Mulch“ genutzt. So wird in China auf großen Flächen Anbau unter Folie („plastic mulch“) betrieben, im Vordergrund steht zwar die schnellere Erwärmung, aber auch die Eingrenzung der Evaporation spielt eine Rolle (KOOHAFKAN und STEWART, 2008).

Generell erhöht die Bearbeitung der Bodenoberfläche die Evaporation nach jedem Bearbeitungsgang (HATFIELD et al. 2001). So zeigten Versuche auf den lehmig-tonigen Böden des Ihinger Hofes auf Parzellen, auf denen im Herbst vor der Weizensaat eine Stoppelbearbeitung stattfand, im Herbst und Frühjahr niedrigere Bodenwassergehalte als solche ohne Stoppelbearbeitung vor der Grundbodenbearbeitung. Besonders ausgeprägt

war dies, wenn zusätzlich eine Strohmulchdecke vorhanden war (PEKRUN und CLAUPEIN, 2004). Eine Möglichkeit, die Bodenbearbeitung gegenüber der Mulchsaat noch weiter einzuschränken ohne vollständig auf eine Lockerung zu verzichten bietet das „Strip-Till“-Verfahren, bei dem GPS-gesteuert nur der Saatstreifen bearbeitet wird. Erfahrungen dazu liegen für Mais und Zuckerrüben vor (HERMANN und CLAUPEIN, 2008; GUSTMANN et al. 2008). Für Rüben wurde in Nord-Ost-Niedersachsen eine „Schlitzdrille“ entwickelt, die nur einen sehr schmalen Streifen direkt unter der Saatreihe lockert (SANDER 2009). Inzwischen testen einige Landwirte dieses Gerät auch zur Maissaat.

Insgesamt konstatieren HATFIELD et al. (2001), dass keine enge Beziehung zwischen der Art der Bodenbearbeitung und der Wassernutzungseffizienz festgestellt werden kann. Die Bodenbearbeitung beeinflusst allerdings viele Faktoren, so dass eine klare Zuordnung von Ursache und Wirkung schwierig ist. Wesentlich sind die Effekte der Mulchdecke, aber auch die Bodentemperatur wird beeinflusst. In mehreren Untersuchungen wurde festgestellt, dass mulchbedeckte Böden kühler sind als bearbeitete, dies führt zu einer langsameren Pflanzenentwicklung im Frühjahr (HATFIELD et al. 2001), eine Tatsache die der Förderung des Anteils der Transpiration an der Evapotranspiration zuwider läuft.

Letztendlich wird die Evaporation relativ zur Transpiration auch verringert, wenn keine anderen Faktoren neben Wasser das Pflanzenwachstum begrenzen, wie beispielsweise Nährstoffe oder Krankheiten. Hier spielt auch die Auswahl resistenter Sorten eine Rolle. Auch der Anbau zu Zeiten mit einem geringen Wassersättigungsdefizit in der Atmosphäre wirkt in diese Richtung (CONNOR 2005).

3.1.2 Abfluss

Oberflächlicher Abfluss von Wasser tritt dann auf, wenn die Niederschläge nicht in den Boden eindringen können. Als Gegenmaßnahme ist vorrangig die Infiltration zu verbessern.

In vielen Untersuchungen konnte nach reduzierter Bodenbearbeitung mit Mulchbedeckung an der Bodenoberfläche eine deutlich verbesserte Infiltration im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung festgestellt werden (HATFIELD et al. 2001). So ergaben Messungen auf einem tonigen Schluff bei einer Hangneigung von 7% über die Versuchszeit von 5 Jahren bei natürlichem Niederschlag bei gepflügtem Boden einen Bodenabtrag von annähernd 3 t/ha, bei Mulchsaat von ca. 0,3 t/ha und bei Direktsaat waren weder Oberflächenabfluss noch Bodenabtrag feststellbar (ERLACH et al. 2003). Die Verminderung der oberflächlich abfließenden Wassermenge in den Wintermonaten wirkt udem erosionsmindernd. Eine Erhöhung der für die Pflanzen verfügbaren Wassermenge über eine höhere Speicherung im Boden ist aber auf den Sandböden Nord-Ost-Niedersachsens nicht zu erwarten, da diese regelmäßig schon durch einen Teil der winterlichen Niederschläge wassergesättigt sind.

3.1.3 Sickerung

In niederschlagsfreien Zeiten muss die Pflanze sich aus dem im Boden gespeicherten Wasser versorgen. Eine möglichst große Menge an, im verfügbaren Wurzelraum gespeicherten, Wasser ist daher vorteilhaft. Das aus dem Wurzelraum versickernde Wasser

steht den Pflanzen in aller Regel nicht mehr zur Verfügung, ist allerdings für die Grundwasserneubildung wichtig.

Die Wasserspeicherkapazität im Boden hängt in erster Linie vom Volumenanteil an wasserführenden Mittelporen ab, der wiederum vor allem von der Bodenart beeinflusst wird. Die Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Düngung usw.) hat demgegenüber einen geringen Einfluss. Für die Bodenbearbeitung zeigen dies Ergebnisse von SCHRADER et al. (2004). Auf 3 niedersächsischen Standorten (Su, S, T) konnten sie keinen Einfluss der differenzierten Bodenbearbeitung (Direktsaat, verschiedene Mulchvarianten, Pflug) feststellen. Allerdings wurden die Standorte zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht langfristig unterschiedlich bearbeitet.

Dagegen hat der Humusgehalt einen großen Einfluss. HUDSON (1994) stellte eine hoch signifikante positive Korrelation zwischen dem Gehalt an organischer Masse und der nutzbaren Feldkapazität sowohl bei Sandböden als bei schluffigen Lehmen und Tonen fest (Anstieg OM von 0,5% auf 3% → nFK verdoppelt). Allerdings sind Veränderungen im Humusgehalt auf einem gegebenen Standort nur in geringem Ausmaß zu erzielen. Wesentliche Einflussgröße ist die langfristige Bewirtschaftung und die Zufuhr organischer Masse. In einem Dauerversuch mit unterschiedlicher mineralisch-organischer Stickstoffdüngung in einer 5-gliedrigen Fruchtfolge (Hackfruchtanteil 2/5) auf schluffig-lehmigem Sand wurde nach 35-jähriger Laufzeit mit steigendem Anteil organischer Stickstoffdüngung (0 – 100 – 150 kg/ha N als Stallmist) eine Zunahme des Corg-Gehaltes von 0,88% auf 1,46% sowohl in der Ober- als auch in der Mittelkrume gemessen. Die nutzbare Feldkapazität stieg geringfügig um rund 1%-Punkt an (ULRICH et al. 2004). Entsprechend nahmen die mikrobiologische Aktivität und die Anzahl der Lumbriciden zu (ULRICH et al. 2004a). Durch langjährige Düngung mit Biokomposten konnte der Humusgehalt und in Folge die nutzbare Feldkapazität auf Sandböden in der Region Uelzen und der Wildeshauser Geest um ca. 2 - 6 Vol.% erhöht werden (HARTMANN 2002, URBAN et al. 2008). Auch die Ernterückstände leisten einen Beitrag zur Humusversorgung. Die ausreichende Ernährung der Kulturen mit Stickstoff führt zu einer höheren Biomassebildung, damit zu einer größeren Menge auf dem Feld verbleibender Ernterückstände und zu einer stärkeren Humusanreicherung, wie HALVORSON et al. (1999) bei Untersuchungen in den Great Plains (Direktsaat) nachweisen konnten. Andererseits benötigt eine höhere Biomasseproduktion sicherlich auch mehr Wasser.

Auch durch die Bodenbearbeitung wird der Humusgehalt beeinflusst. Nach Umstellung auf pfluglose Bearbeitung werden oft geringfügig höhere Gehalte festgestellt, insbesondere in der obersten Bodenschicht. Beispielsweise ermittelte GROCHOLL (1991) auf einem Lößboden nach 7 – 9 jähriger pflugloser Bearbeitung eine Zunahme der Gehalte an organischem Kohlenstoff in der Ackerkrume von 1,43% (Pflug) auf bis zu 1,48% (Schwergrubber), auf einem schluffigen Sand von 0,62% (Pflug) auf bis zu 0,66 % (Direktsaat). Dabei nahmen die Gehalte in den oberen 10 cm der Krume deutlich zu, in der unteren Krumenschicht dagegen geringfügig ab. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich in einem seit ca. 35 Jahren differenziert bearbeiteten Dauerversuch auf einem schluffig-lehmigen Sand. In der Ackerkrume stieg der Humusgehalt bei der nicht-wendenden Grubberbearbeitung um 9% gegenüber der Pflugvariante, wiederum insbesondere in der obersten Krumenschicht (HOFMANN et al. 2003). Dagegen fanden RÜCKNAGEL et al. (2003) auf gleichem Standort nach 16 Jahren differenzierter Bearbeitung in der gesamten Krumenschicht nach flacher Grubberbearbeitung

einen geringfügig niedrigeren Humusgehalt als nach Pflugbearbeitung, der sich auch in einer leicht erniedrigten nutzbaren Feldkapazität widerspiegelte. Auch hier trat eine starke Schichtung zwischen Ober- und Unterkrume auf.

Insgesamt sind die mit bewirtschaftungsbedingten Veränderungen im Humusgehalt zu erzielenden Verbesserungen in der nutzbaren Feldkapazität damit relativ gering können jedoch insbesondere auf sandigen Böden einen Beitrag zu Erhöhung der Wasserkapazität leisten.

Ausgehend von Beobachtungen der „Terra preta“ in tropischen Regionen wird die Nutzung von Biokohle („biochar“), d. h. Kohlenstoffverbindungen, die durch Pyrolyse von Biomasse unter Sauerstoffausschluss entstanden sind, zur Bodenverbesserung vorgeschlagen. Damit sollen die Kationenaustauschkapazität erhöht, Pflanzennährstoffe zugeführt, feste Böden aufgelockert und auf Sandböden das Wasser- und Nährstoffrückhaltevermögen verbessert werden (LAIRD, 2008). Gleichzeitig soll damit Kohlenstoff langfristiger im Boden gebunden werden als bei Zufuhr nicht pyrolysiertes organischer Masse und damit eine effektive CO₂-Senke geschaffen werden (WOOLF 2008, GLASER 2010). Zur langfristigen Stabilität der Biokohle im Boden liegen jedoch unterschiedliche Angaben vor (WOOLF 2008). Eine umfangreiche Literaturschau zur Auswirkung von Biokohle auf den Boden erstellten VERHEIJEN et al. (2009) für die EU. Zu einer Vielzahl betrachteter Faktoren liegen oftmals widersprüchliche Ergebnisse vor. Insgesamt kommen die Autoren zu dem Schluss, dass es sowohl positive als auch negative Wirkungen gibt. Die Auswirkung einer Biokohleausbringung auf die Steigerung des Wasserrückhaltevermögens des Bodens stufen sie insgesamt als „unbekannt“ ein. In aktuellen Versuchen werden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Biokohle-Produkte geprüft. In der Jugendentwicklung der Pflanzen stellten GRAEFF-HÖNNINGER et al. (2010) nach Einsatz von Buchenholzkoks eine geringfügig verbesserte Jugendentwicklung von Mais fest. Ergebnisse von GAJIC und KOCH (2010) bestätigen diese Ergebnisse bei Einsatz von „HTC-Biokohle“ auf einem Lössboden, die Jugendentwicklung von Zuckerrüben wurde nicht negativ beeinflusst. Dagegen traten auf einem Sandboden deutliche Schädigungen auf.

Die unproduktive Versickerung aus dem Wurzelraum wird letztendlich auch durch eine Vergrößerung des Wurzelraumes und eine tiefere Durchwurzelung, vermindert (siehe Kap. 3.2.1).

3.1.4 Transpiration Nicht-Kulturpflanzen

Neben dem erwünschten Wasserverbrauch durch die Transpiration des Kulturpflanzenbestandes benötigen auch die Nicht-Kulturpflanzen Wasser. Die Ausnutzung des verfügbaren Wassers durch den Kulturpflanzenbestand nimmt demgemäß zu, wenn die darum konkurrierenden Unkräuter beseitigt werden (CONNOR 2005). Alle Maßnahmen zur Verminderung des Unkrautbesatzes bewirken somit eine Verbesserung der Effizienz der Wassernutzung. TURNER (2004) schlägt in diesem Zusammenhang insbesondere die Nutzung von Fruchtfolgeeffekten zur Unkrautbekämpfung vor.

Als problematisch könnte sich die verstärkte Nutzung von Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung erweisen. Nach langjährigem Einsatz wird vielfach von zunehmenden Schwierigkeiten bei der Unkrautbekämpfung berichtet (RÖBLER 2009).

In ariden und semiariden Gebieten ist die Nutzung von Brachen zur Wasserspeicherung ein übliches Verfahren (KOOHAFKAN und STEWART 2008) und hat zur Ertragserhöhung geführt (TURNER 2004). Das in der Brachezeit im Boden gespeicherte Wasser steht der nachfolgenden Kultur zur Verfügung. Dies ist jedoch nur sinnvoll bei Böden mit hohem Wasserspeichervermögen, bei denen die winterlichen Niederschläge nicht zur vollständigen Sättigung führen. Im Projektgebiet spielt dieses Verfahren auf Grund der geringen Wasserspeicherkapazität der Böden und der im Winterhalbjahr ausreichend fallenden Niederschläge keine Rolle.

3.2 Verbesserung der Wasserausnutzung durch den Pflanzenbestand

3.2.1 Wasseraufnahme

Eine wichtige Methode zur Erschließung größerer Wasservorräte für die Pflanze ist die Vergrößerung der Durchwurzelungstiefe. Hierzu müssen die Durchwurzelung behindernde Faktoren (Verdichtungen, Schadstoffe, unangepasster pH-Wert in tieferen Bodenhorizonten) vermieden werden. Entsprechende Maßnahmen erwiesen sich in mehreren Untersuchungen als positiv. Voraussetzung ist aber, dass Boden und Niederschläge eine entsprechend tiefe Durchfeuchtung des Bodens zulassen (TURNER 2004). Selbst auf Löß-Lehm mit einem sehr hohen Wasserspeichervermögen kann die Wasserverfügbarkeit durch die Bildung einer Pflugsohle beeinträchtigt werden. Grubberbearbeitung oder Direktsaat weist diesbezüglich Vorteile auf und kann dadurch zu einer höheren Wassernutzungseffizienz führen (DAMM et al. 2009).

Neben mechanischen Maßnahmen können auch tief wurzelnde Pflanzen zu einer Aufbrechung von Verdichtungsschichten beitragen. Sie hinterlassen Bioporen, die nachfolgenden Kulturen eine tiefe Durchwurzelung ermöglichen (TURNER 2004). Für den Zwischenfruchtanbau hat sich hier insbesondere Ölrettich bewährt, der auch in Untersuchungen von CHEN und WEIL (2010) seine gute Fähigkeit, tief in den Boden einzudringen (hier im Vergleich zu Raps und Roggen) bewiesen hat. Allerdings weisen BINGHAM und MCCABE (2004) darauf hin, dass die „Bündelung“ von Wurzeln in Rissen und Kanälen in schlecht strukturierten Böden die effektive Wurzellänge und die Erschließung des Bodens verringern. Zur vollständigen Ausnutzung des verfügbaren Wassers in einer Bodenschicht ist nach Modellberechnungen von KING et al. (2003) eine Mindestwurzellänge von 1,5 – 2,5 cm/cm³ Boden erforderlich. Auf den im Projektgebiet verbreiteten Sandböden mit sandigen Substraten im Untergrund begrenzt jedoch vielfach die hohe Lagerungsdichte des Sandes, die in größeren Bodentiefen kaum nachhaltig zu ändern ist, die Durchwurzelungstiefe (SCHÄFER 2010).

Ein Ansatz zur Verbesserung der Wasseraufnahme der Pflanzen können auch Sorten mit einem größeren Wurzelsystem sein. Bei Gerste ergaben Untersuchungen von BINGHAM und MCCABE (2004) keine Hinweise auf eine generell geringere Wurzellängendichte bei Halbzweig-Typen (mit „sdw1-Gen“) im Vergleich zu normal hohen Sorten. Allerdings gab es sehr wohl Unterschiede in der Wurzellängendichte über die gesamte durchwurzelte Bodenschicht zwischen verschiedenen Sorten, die relative Verteilung der Wurzelmasse in verschiedenen Bodenschichten war davon nicht betroffen. In weiteren Untersuchungen wurden diese Sorten auf ihre Fähigkeit, Wasser aus tieferen Bodenschichten zu nutzen,

geprüft. Hierbei zeigten sich jedoch keine relevanten Unterschiede. Die Autoren schließen, dass es bei den heutigen Gerstensorten im Hinblick auf Trockenheitsresistenz kaum nutzbare Variationen in der Wurzelbildung gibt. Dagegen berichten STREDA et al. (2008) von Untersuchungen der Wurzelsystemgröße verschiedener Winterweizen- und Sommergerstensorten in einem Trockenjahr. Bei beiden Kulturarten erzielten Sortengruppen mit größerer Wurzelsystemgröße höhere Erträge als solche mit geringerer. HERZOG et al. (2008) stellten bei Prüfung von 4 Weizen-Genotypen im Gefäßversuch fest, dass einer von ihnen bei 3-wöchiger Trockenheit nach EC 59 nicht mit Ertragsdepression reagierte. Es handelte sich um einen der beiden geprüften Typen aus gemäßigttem Klima, die beiden Genotypen aus mediterranem Klima wiesen bei Trockenheit keine Vorteile auf. Auch bei Winterraps stellten BECKER et al. (2006) zwischen einer Liniensorte, einer MSL-Hybride und einer Halbzwerghybride im Frühjahr keine relevanten Unterschiede in der Durchwurzelungstiefe fest. In Abhängigkeit von Auflaufbedingungen und Saatzeit traten dagegen zu Beginn des Wachstums im Herbst Sortenunterschiede auf, die sich aber bis zum Frühjahr nivellierten. Bei Mais hingegen konnten PA-IN et al. (2006) im Modellversuch nachweisen, dass eine speziell für Trockenbedingungen gezüchtete Sorte im Vergleich zu einer weniger angepassten Sorte unterhalb von 20 cm Bodentiefe eine höhere Wurzellänge aufwies. Dies war insbesondere auf Hauptwurzeln zurückzuführen, dagegen war die Durchwurzelung in den oberen 20 cm bei der weniger angepassten Sorte stärker ausgeprägt (Nebenwurzeln). Die an Trockenheit angepasste Sorte wies eine höhere Wasseraufnahme auf.

Wechselwirkungen bestehen auch zwischen Bodenbearbeitung und Durchwurzelung. QIN et al. (2004) stellten auf einem lehmigen Schluff und einem sandigen Lehm in der Schweiz über die gesamte untersuchte Bodentiefe von 50 cm bei Winterweizen zur Erntezeit nach Direktsaat eine geringfügig geringere Wurzellängendichte fest als nach Pflugbearbeitung. In der obersten Bodenschicht (0 - 5 cm) war die Wurzellängendichte nach Direktsaat signifikant höher, von 5 – 10 cm gleich und von 10 – 30 cm niedriger. In tieferen Bodenschichten zeigten sich keine Unterschiede. Auch auf 3 niedersächsischen Standorten (Su, S, T) stellten SCHRADER et al. (2004) einen Einfluss der Bodenbearbeitung auf das Wurzelwachstum nur in der bearbeiteten Krumenschicht (untersucht: 10-20 cm) fest. Die Effekte waren nicht einheitlich, tendenziell nahm die Wurzellängendichte jedoch mit reduzierter Bodenbearbeitung ab. Auch Untersuchungen in Winterraps zeigten keinen großen Einfluss der Bearbeitung auf die Durchwurzelung (GEIER et al. 2006). Auf einem Lößlehm zeigten sich bei Drillsaat nach Pflug- und Grubberbearbeitung von Beginn der Pflanzenentwicklung an gleiche Durchwurzelungstiefen. Bei Einzelkornsaat (nur in Verbindung mit Grubberbearbeitung geprüft) verlief die Durchwurzelung dagegen im Herbst deutlich schneller als nach Drillsaat, im weiteren Vegetationsverlauf glich sich dies jedoch wieder aus. In der Jugendentwicklung auftretende Trockenphasen könnten so besser überstanden werden.

Auch der Einsatz von Wachstumsregulatoren könnte Einfluss auf das Wurzelwachstum haben. Bei dem Wachstumsregulator *Moddus* (Trinexapac-ethyl) und dem Wachstumsförderer *Route* (De Sangosse Ltd., Cambridge, EU-Düngemittel) wurde bei Wintergerste in England im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle allerdings weder ein deutlicher Einfluss auf die Wurzellängendichte und die Wasseraufnahme aus dem Boden noch auf die Trockenheitsresistenz festgestellt (BINGHAM und MCCABE, 2004). Dagegen

berichten SCHUBERT und REEB (2006) von einer Erhöhung der Wurzellänge bei Weizen nach Einsatz von *CCC* (Chlorcholinchlorid) oder *Moddus* in Weizen. Da die Wurzelmasse gleich blieb, ist von einem feineren Wurzelwerk auszugehen. Dennoch führte die *CCC*-Behandlung bei Varianten mit geringer Wasserversorgung zu starken Ertragseinbußen. Die *Moddus*-Behandlung dagegen führte auch bei „Dürre“ auf Grund hoher Tausendkorngewichte zu relativ hohen Erträgen. Dies führen die Autoren auf eine Verbesserung der Sinkkapazität über eine Stimulation der Zellteilung/Zellstreckung zurück. Versuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zeigten nach Einsatz von *CCC* und *Moddus* in Weizen auf leichten Böden einen negativen Ertragseffekt, bei Lehm Böden mit gesicherter Wasserversorgung trat dieser nicht auf (WOLBER 2010). Generell wird der Einsatz von Wachstumsreglern, insbesondere *CCC*, auf leichten Böden mit Wasserstress daher vielfach kritisch gesehen.

GILBERT et al. (2009) diskutierten eine Inokulation mit Rhizobien oder Mykorrhiza zur Anpassung an die mit dem Klimawandel veränderte Niederschlagsverteilung. Untersuchungen mit Gerste zeigten unter trockenen Bedingungen bei Arbuskulärer Mykorrhiza eine geringere Verminderung des Wachstums als ohne. Sproß- und Wurzelwachstum waren in den Mykorrhiza-Gefäßen 50% bzw. 17% größer als in den Mykorrhizafreien. Die Mykorrhiza trug nachweisbar zur Wasserversorgung der Gerste bei (KHALVATI et al. 2005).

3.2.2 Wassernutzung durch die Pflanze

Neben der Verbesserung der Wasseraufnahme durch die Pflanzen ist auch die interne Nutzung des Wassers für die Massebildung entscheidend. Generell haben C4-Pflanzen eine höhere Transpirationseffizienz als C3-Pflanzen. Sie können daher mit dem vorhandenen Wasser mehr Trockenmasse bilden und ihr Einsatz erhöht daher die Niederschlagsnutzungseffizienz (TURNER 2004). Auch innerhalb der Gruppe der C4-Pflanzen bestehen Unterschiede zwischen den Arten. So berichten SCHITTENHELM et al. (2010), dass die Energiepflanze Mais bei ausreichender Wasserversorgung den Alternativen Futterhirse oder Sudangrashybride ertraglich überlegen ist, mit zunehmendem Wassermangel jedoch steigt die Vorzüglichkeit insbesondere der Futterhirse.

Die Verbesserung der Wassernutzung durch die Pflanze ist auch Ziel der Züchtung. RICHARDS (2004) identifizierte aus Literaturbeispielen u.a. folgende erfolgversprechende Züchtungsansätze bei Getreide, Mais und Hirse:

- In Australien sind Weizensorten mit einem höheren Transpirationskoeffizienten gezüchtet worden (Sorten Drysdale, Rees),
- Osmoregulation (aktives Schließen der Stomata bei Trockenheit) kann die Wasserverhältnisse verbessern,
- eine kürzere Zeitspanne zwischen Erscheinen der Fahne und der Narbenfäden am Kolben bei Mais (ASI = anthesis-silking-interval) verbessert die Befruchtung bei Trockenheit,
- stay-green-Typen bei Sojabohnen und Sorghum könnten durch ein anhaltenderes Wurzelwachstum, eine insgesamt längere Wachstumsperiode und damit bessere

Kornfüllungsphase zu einer höheren Wassernutzung und dadurch gesteigerte Erträge führen.

Er weist darauf hin, dass viele verschiedene Mechanismen zu höheren Erträgen bei Trockenheit führen können. Dies führt er auf die unterschiedlichen Zeiten und Intensitäten der auftretenden Trockenheit und die unterschiedliche Biologie der Arten zurück. Je nach Standort und Kultur sind demnach unterschiedliche Lösungsansätze zur Sicherung oder Erhöhung der Erträge erforderlich.

Bei der Prüfung von 3 Maissorten fanden WIENFORTH et al. (2008) allerdings keine klaren und deutliche Unterschiede. Sie berechneten aus Versuchsdaten von 3 Maissorten unterschiedlicher Reifegruppen die Transpirations- und Wassernutzungseffizienz, auch bei limitiertem Wasserangebot erzielten die Sorten ähnliche Erträge.

Hinweise zur Züchtung für trockene Bedingungen gibt es auch für Kartoffeln. SCHITTENHELM et al. (2004) verglichen einen Blatt- und einen Stängeltyp in einem dreijährigen Experiment mit und ohne zusätzlicher Bewässerung. Dabei zeigte sich, dass Trockenheit den Knollenertrag über eine verringerte Lichtinterzeption des Bestandes bei dem Blatttyp deutlich stärker beeinträchtigt als bei dem Stängeltyp. Das genetische Potential von Stängeltypen zur Ausbildung einer großen Krautmasse ist deshalb eine Art Versicherung gegen unzureichenden Niederschlag. Bei ausreichendem Wasserangebot jedoch führte das große Krautwachstum zu einem niedrigeren Knollenertrag. Auch BALKO (2008) fand bei verschiedenen Kartoffelgenotypen Unterschiede in der Ertragssicherheit und der Wassernutzungseffizienz unter Trockenstressbedingungen.

Bei den heutigen mitteleuropäischen Zuckerrübensorten bestehen dagegen kaum relevante Unterschiede bei der Trockentoleranz. Eine Prüfung von 4 unterschiedlichen Genotypen ergab in allen Fällen eine starke Ertragsabnahme bei Trockenstress. Eine Wechselwirkung zwischen Beregnung (Wasserversorgung) und Sorte bestand nicht. Dies gilt auch für Qualitätsparameter wie Zuckergehalt und Melassebildner (BLOCH und HOFFMANN, 2004). Generell ist die Qualität und Lagereignung von unter Trockenstress gewachsenen Rüben geringer als bei ausreichender Wasserversorgung (KENTER und HOFFMANN, 2004).

Neben der Züchtung könnten auch andere Maßnahmen die Wassernutzung in der Pflanze beeinflussen. Für verschiedene Gräser belegen diverse Untersuchungen eine verbesserte Stresstoleranz (Trockenstress, ungünstige Standortbedingungen) wenn sie mit endophytischen Pilzen der Gattung *Neotyphodium* spp., die ohne Schäden zu verursachen in oberirdischen Pflanzenteilen leben, infiziert sind (MALINOWSKI und BELESKY, 2000). Auch bei deutschem Weidelgras konnten entsprechende Zusammenhänge nachgewiesen werden, wobei eine enge Wechselwirkung zwischen Weidelgras- und Endophyt-Genotypen zu bestehen scheint (HAHN et al. 2004). Endophyt-infizierte Gräser sollen Trockenheit auf Grund einer reduzierten Transpiration besser überstehen als nicht infizierte. Dies würde ein besseres Überleben der Trockenphase bedeuten, aber nicht notwendigerweise ein gutes Wachstum während dieser Zeit (MALINOWSKI und BELESKY 2000).

Eine gute Ausnutzung des Wassers durch den Pflanzenbestand erfordert -wie schon ausgeführt- auch eine ausreichende Versorgung mit Nährstoffen. Die Verfügbarkeit der Düngemittel ist in der Regel nur gegeben, wenn Wasser vorhanden ist. So zeigten Untersuchungen der Landwirtschaftskammer in der Projektregion, dass bei ausreichender

Wasserversorgung eine geteilte N-Gabe bei Kartoffeln vorteilhaft ist, bei unsicherer Wasserversorgung jedoch eine einmalige Gabe nach dem Legen (GROCHOLL 2008). Bei Trockenheit kann verminderte Anlieferung der Nährstoffe an die Wurzel zur Mangelversorgung führen. Die Verabreichung der Nährstoffe über eine Blattdüngung könnte hier, sofern die Trockenheit nur vorübergehend auftritt, zu einer verbesserten Versorgung und damit besseren Wasserausnutzung beitragen (GOLDBACH 2004). Allerdings konnten Versuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in der Projektregion diese Aussage bisher nicht belegen. Der auf Grund der prognostizierten Frühjahrstrockenheit zu erwartenden Gefahr von Phosphor- und Schwefelmangel könnte nach GILBERT et al. (2009) mit einer Züchtung auf P-effektive Sorten bzw. Kulturarten begegnet werden. Doch auch der Wasserbedarf der Pflanze wird durch die Düngung beeinflusst. So steigt mit steigender N-Düngung bei Winterroggen der Wasserbedarf, wie Messungen des Blattwasserpotentials bei Düngung von 0 – 60 -120 kg/N/ha auf einem schluffigen Sand zeigten (ELLMER et al. 2009).

Die dem Klimawandel zugrunde liegenden höheren CO₂-Konzentrationen in der Luft beeinflussen wiederum selbst die Wassernutzung durch die Pflanzen. In Freilandexperimenten in Braunschweig (FACE) zeigte sich bei einer auf 550 ppm erhöhten CO₂-Konzentration bedingt durch eine verringerte Evaporation bei Weizen eine um 30%, bei Zuckerrüben eine um 50% höhere Wassernutzungseffizienz als bei normalem CO₂-Gehalt (BURKART et al. 2004). Die Evaporation wird jedoch nicht linear über die gesamte Vegetationszeit vermindert, sondern vor allem in der Hauptwachstumsphase, in der Jugendentwicklung und nach dem Ährenschieben ist der Effekt gering (BURKART et al. 2003). Generell ist bei C₃-Pflanzen von einer Steigerung der Photosynthese, einer Abnahme der Transpiration und einer Ertragsverbesserung bei steigenden CO₂-Gehalten auszugehen (MANDERSCHIED et al. 2009). Bei C₄-Pflanzen (hier: Mais) hingegen beeinflusst ein höherer CO₂-Gehalt der Luft das Pflanzenwachstum bei ausreichender Wasserversorgung nicht. Bei Trockenstress hingegen führt ein höherer CO₂-Gehalt zu einer Zunahme der Biomasse und des Kornertrages und letztendlich einer Verbesserung der Wassernutzungseffizienz (MANDERSCHIED et al. 2009).

3.2.3 Zeitliche Verfügbarkeit

Neben der insgesamt im Jahr oder der Vegetationsperiode zur Verfügung stehenden Wassermenge ist die zeitliche Verfügbarkeit von entscheidender Bedeutung. Zu Zeiten des höchsten Wasserbedarfs der Pflanzenbestände muss entsprechend genügend Wasser zur Verfügung stehen. Dies kann entweder durch die Verminderung von Verlusten (vgl. Abb. 3), Zusatzberegnung oder der Anpassung des Wachstumsrhythmus der Pflanzen an die Wasserverfügbarkeit geschehen.

Die Zeiten des höchsten Wasserbedarfs bzw. der größten Empfindlichkeit gegenüber Trockenheit sind je nach Kulturart unterschiedlich. In der Literatur liegen nur relativ wenig konkrete Angaben dazu vor (Tab. 4).

Tab. 4: Entwicklungsstadien höchsten Wasserbedarfs verschiedener Kulturpflanzen

Pflanzenart	Entwicklungsstadium	Autor
Getreide	Bestockung, Schossen, (Kornfüllungsphase) Blüte	EHLERS 1996 PASSIOURA 2004
Mais	Blüte, insb. zum Schieben der Nabenfäden Blüte	EHLERS 1996 PASSIOURA 2004
Kartoffel	Blühende – Beginn Krautabreife Blühbeginn – Reife	ROTH 1987 KUNZE 2010
Raps	Blüte	TESFAMARIAM 2010

EHLERS (1996) weist darauf hin, dass Pflanzen mit einem nicht-determinierten Wachstum (z.B. viele Körnerleguminosen) von vorübergehenden Trockenphasen oft weniger geschädigt werden als solche mit determiniertem Wachstum (z.B. Getreidearten). Erstere können nach Ende der Trockenheit neue Triebe, Blütenanlagen etc. bilden und damit flexibel auf die Wasserversorgung reagieren, letztere hingegen nicht.

Die Entwicklung der Pflanzen soll an das Wasserangebot angepasst sein, Wasser muss insbesondere für das Wachstum der ertragsrelevanten Pflanzenteile zur Verfügung stehen. Mehrere von PASSIOURA (2004) zusammengefasste Untersuchungen in Getreide zeigen, dass das vegetative Wachstum begrenzt sein sollte, um zum Zeitpunkt der Kornfüllung noch genügend Wasser verfügbar zu haben. So kann ein überhöhtes N-Angebot zu einem überhöhten vegetativen Wachstum führen und damit den Ertrag begrenzen. Auf der anderen Seite muss früh genügend Biomasse gebildet werden, um eine gute Kornanlage und später Kornfüllung zu erzielen. Vor der Blütezeit muss genügend Zeit für die vegetative Entwicklung sein, nach der Blüte aber noch genügend Zeit und verfügbares Wasser zur Kornfüllung verbleiben. Besonders empfindlich reagieren Mais und Reis auf Trockenheit in der Blütezeit. Entsprechend sollten möglichst Pflanzen mit einem ausgewogenen Verhältnis von vegetativem und generativem Wachstum gewählt werden und die Anbaumaßnahmen (Saatzeit und -dichte, Düngung u.a.) zu einer entsprechend ausgewogenen Entwicklung beitragen (CONNOR 2005). Die Transpirationseffizienz kann auch durch Verlagerung relevanter Wachstumsperioden der Pflanze in Zeiten mit geringem Sättigungsdefizit verbessert werden. Dies trifft beispielsweise auf Wintersaaten zu (TURNER 2004). Auch eine frühere Saat kann zu einer längeren Wachstumszeit, größerer Wasseraufnahme und damit höherem Ertrag führen. Hierfür muss die Züchtung geeignete Sorten, beispielsweise mit Frostresistenz, bereitstellen (RICHARDS 2004).

4 Bewertung der Maßnahmen

In der gesichteten Literatur wird eine Vielzahl von Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz der Wassernutzung aufgeführt. Diese betreffen schwerpunktmäßig die Bereiche Bodenbedeckung, Bodenbearbeitung, Humusgehalt, intensive und tiefe Durchwurzelung, Sortenwahl/Züchtung sowie Nährstoffversorgung und Anpassung des zeitlichen Wasserbedarfs der Pflanzen an die Niederschläge (Tab. 5, 6). Vielfach wird darauf hingewiesen, dass die Effizienz der Wassernutzung in erster Linie vom erzielten Ertrag abhängt. Somit sind alle ertragssteigernden Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie beispielsweise Düngung und Pflanzenschutz, auch hierfür von entscheidender Bedeutung. Umgekehrt führen alle Faktoren, die den Ertrag begrenzen zu einer verminderten Effizienz der Wassernutzung. So können mit dem Ziel der Effizienzsteigerung durchgeführte Maßnahmen die Effizienz der Wassernutzung vermindern, wenn sie auf Grund anderer Zusammenhänge den Ertrag vermindern. Das von RICHARDS (2004) angeführte Beispiel des Zusammenhanges von Saatzeit und Frostresistenz verdeutlicht dies (vgl. Kap. 3.2.3).

Tab. 5: Übersicht über Maßnahmen zur effizienten Wassernutzung: Verminderung von Verlustgrößen

Verminderung von ...	Einflussgröße bzw. Maßnahme		
Evaporation	Bodenbedeckung	Mulch	Erntereste
			„künstlicher Mulch“
		Pflanzenbestand	Saatzeit
			Düngung
	Bodenbearbeitung	Anzahl Bearbeitungsgänge	
		Intensität	Pflug
„strip till“			
Abfluss	Bodenbedeckung	Mulch	
Sickerung	Bodenbearbeitung	Lockerung	
		Humusgehalt	
	Humusgehalt	Langfristige Bewirtschaftung	
		Zufuhr org. Substanz	Org. Düngung
			Erntereste
Biokohle			
Tiefe Durchwurzelung			
Transpiration Nicht-Kulturpflanzen	Unkrautbesatz		
	Brache		

Tab. 6: Übersicht über Maßnahmen zur effizienten Wassernutzung:
Verbesserung der Wasserausnutzung

Verbesserung der ...	Einflussgröße bzw. Maßnahme	
Wasseraufnahme	Intensive, tiefe Durchwurzelung	Verdichtungen
		pH-Wert (Unterboden)
		Bodenbearbeitung
		Tief wurzelnde Zwischenfrucht
		Sorten
		Wachstumsregulatoren
		Mykorrhiza
Wassernutzung	Art	C3-/C4-Pflanzen
	Sorte	Transpirationskoeffizient, Osmoregulation
		Entwicklungszyklus
	Endophytische Pilze	
	Nährstoffversorgung	Düngezeitpunkt
		Blattdüngung
Nährstoffeffiziente Sorten		
zeitlichen Verfügbarkeit des Wassers	Entwicklungszyklus	Düngung
		Saatzeitpunkt

Bei der Bewertung der aufgeführten Maßnahmen für die Projektregion müssen die besonderen Bedingungen Nord-Ost-Niedersachsens berücksichtigt werden. Schon unter den derzeitigen Klimabedingungen ist die klimatische Wasserbilanz in der Hauptvegetationsperiode des Getreides deutlich negativ (vgl. Kap. 1.1, Abb. 1). Die natürlichen Niederschläge sind für den Pflanzenbedarf nicht ausreichend. In Folge des Klimawandels wird sich dies noch verstärken, für den Zeitraum von der 16. bis 37. Woche (Anfang 3. Aprildekade – Mitte September) werden im Vergleich zum derzeitigen langjährigen Mittel niedrigere Niederschläge prognostiziert (vgl. Kap. 1.2, Abb. 2). Dieser Zeitraum umfasst die Hauptvegetationszeit aller wichtigen Kulturen im Ackerbau. Ein zweiter wichtiger Faktor sind die überwiegend sandigen Böden im Projektgebiet. Diese haben ein sehr geringes Wasserspeichervermögen, das für den Pflanzenbedarf bei weitem nicht ausreicht (Tab. 7). Die geringe Wasserspeicherfähigkeit der sandigen Böden ist bodenartbedingt und lässt sich durch Bewirtschaftungsmaßnahmen nur in geringem Umfang steigern. In der Vegetationsperiode ist ein Pflanzenbestand daher auf regelmäßige Niederschläge angewiesen.

Tab. 7: Nutzbare Wassermenge im Boden bei Feldkapazität in Abhängigkeit von der Bodenart (berechnet nach: AG BODENKUNDE, 1982)

	Sandboden	Schluffiger Lehm
Durchwurzelungstiefe	7,5 dm	10, 5 dm
Nutzbare Wassermenge (nFK)	18 mm / dm	24 mm / dm
Verfügbares Wasser im durchwurzelbaren Boden	135 mm	252 mm

Viele der in der Literatur beschriebenen Maßnahmen lassen daher unter den Bedingungen des Projektgebietes nur einen geringen Effekt erwarten. Eine Bewertung der einzelnen Maßnahmen im Hinblick auf ihren Einfluss auf die Effizienz der Wassernutzung zeigt Tabelle 8.

Selbst bei Vermeidung aller unproduktiven Wasserverluste und bei vollständiger und hocheffizienter Nutzung des verfügbaren Wassers für die Ertragsbildung des Pflanzenbestandes ist zur Erzielung stabiler und wirtschaftlich ausreichender Erträge eine zusätzliche Wasserzufuhr erforderlich. Die Vermeidung aller unproduktiven Wasserverluste in Zusammenspiel mit einer optimierten Steuerung der Zusatzbewässerung kann die erforderliche Zusatzwassermenge in begrenztem Maße vermindern. Die nach Niederschlägen oder Zusatzbewässerung im Boden gespeicherte Wassermenge reicht im optimalen Fall einige wenige Tage länger für die Versorgung des Pflanzenbestandes aus. Jeder zusätzliche Tag, an dem ein Pflanzenbestand aus dem Bodenvorrat ausreichend versorgt wird, ist für die in der Projektregion schon derzeit mit intensiver Beregnung wirtschaftenden Betrieben aus arbeitswirtschaftlicher Sicht vorteilhaft. Insbesondere in Trockenphasen mit hohem Beregnungsbedarf ist er ein Faktor zu Steigerung der Ertragsicherheit. Neben dem Ziel des sparsamen Umgangs mit der Ressource Wasser darf dieser Faktor nicht unterschätzt werden.

Tab. 8: Bewertung der beschriebenen Maßnahmen im Hinblick auf ihre Wirkung auf Parameter der Wassernutzung eines Pflanzenbestandes in NO-Niedersachsen

Maßnahme	Verminderung von ...				Verbesserung der ...			Gesamtbewertung „Effiziente Wassernutzung“
	Evaporation	Abfluss	Sickerung	Transpiration Nicht-Kulturpflanzen	Wasseraufnahme	Wassernutzung	Zeitlichen Verfügbarkeit	
Mulch	++	++					-	+
ausreichend hohe Düngung	+	+	(+)	-	(+)	+ / -	+ / -	+ / -
Blattdüngung						+		?
frühe Saat (im Frühjahr)	+						+	+
Winterung (Saat im Herbst)	+						+	+
hohe Bestandesdichte	+					-	-	-
Niedrige Bestandesdichte	-					+	?	+
intensive Bodenbearbeitung	-							-
konservierende Bodenbearbeitung	+	+		-	+ / -		(-)	?
Streifenbearbeitung „strip till“	+	+		-			?	?
org. Düngung (Humusmehrung)			++					++
Biochar	?		?					?
Unkrautbekämpfung				+				+
Fruchtfolge				+				+
tief wurzelnde Zwischenfrucht					+			+
Sorten/Züchtung (allgemein)					+	+	+	+
Wachstumsregler					+ / -	+		?
Mykorrhiza					(+)			?
Endophytische Pilze						(+)		?

+: Verbesserung, -: Verminderung, ?: unbekannt, leer: kein Einfluss

5 Literatur

- AG Bodenkunde (1982):** Bodenkundliche Kartieranleitung, 3. Aufl., Hannover 1982
- Balko, C. (2008):** Trockentolerante Kartoffeln für den Klimawandel, *Kartoffelbau*, **59**, 92-95.
- Becker, N., S. Ulrich, B. Hofmann und O. Christen (2006):** Wirkung der Saatzeit auf Durchwurzelungsverhalten und Pflanzenentwicklung bei verschiedenen Winterrapsgenotypen (*Brassica napus* L.), in Herrmann, A. und W. Taube (eds.): *49. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nachwachsende Rohstoffe im Pflanzenbau*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 18 Verlag Schmidt & Klaunig KG, Kiel, pp. 44-45.
- Ben-Gal, A., L. , P.-E. Jansson und U. Shani (2003):** Temporal robustness of linear relationships between production und transpiration, *Plant and Soil*, **251**, 211-218.
- Bingham, I.J. und V.B. McCabe (2004):** Maximising production potential through understanding crop root systems, RandD Conference 2004: "Managing soil and roots for profitable production", http://www.hgca.com/document.aspx?fn=load&media_id=564&publicationId=251 (Abruf am 13.10.2010)
- Bloch, D. und C. Hoffmann (2004):** Wachstum von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Genotyp und Wasserversorgung, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart.
- Blum, A. (2009):** Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress, *Field Crops Research*, **112**, 119-123.
- Burkart, S., R. Mandersched und H. Weigel (2004)** Steigende CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre: Rückkopplungen mit dem Wasserhaushalt von Pflanzenbeständen, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 95-96.
- Burkart, S., R. Manderscheid und H.-J. Weigel (2003):** Wirkung von erhöhter atmosphärischer CO₂-Konzentration auf die Bestandesevapotranspiration: Kompensatorische Effekte des Blattflächenindex?, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *46. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Kurzfassungen der Vorträge und Poster*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 15, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 152-155.
- Chen und R. Weil (2010):** Penetration of cover crop roots through compacted soils, *Plant and Soil*, Online, DOI 10.1007/s11104-009-0223-7
- Damm, S., J. Bischoff, B. Hofmann und O. Christen (2009):** Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Bodenwasserhaushalt und die Pflanzenentwicklung bei Winterweizen im mitteldeutschen Trockengebiet., in Märländer, B., O. Christen, C. Kenter und A. Düker (eds.): *52. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Systembezug und Modellierung*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 21, Verlag Liddy Halm, Göttingen, pp. 171-172.
- Deutscher Wetterdienst (2010):** Mittelwerte der Temperatur für den Zeitraum 1961-1990: http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&pageLabel=dwdwww_suche_trefferliste (Abruf am 14.05.2010);
Mittelwerte des Niederschlags für den Zeitraum 1961-1990:
http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&pageLabel=dwdwww_suche_trefferliste (Abruf am 14.05.2010)

- Ehlers, W. (1996):** Wasser in Boden und Pflanze: Dynamik des Wasserhaushaltes als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag, Ulmer, Stuttgart 1996
- Ellmer, F., H. Vogel und M. Baumecker (2009):** Boden- und Pflanzenwasserhaushalt bei Winterroggen in verschiedenen Anbausystemen, in Märländer, B., O. Christen, C. Kenter und A. Düker (eds.): *52. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Systembezug und Modellierung*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 21, Verlag Liddy Halm, Göttingen, pp. 181-182.
- Erlach, F., F.F. Gröblichhoff und N. Lütke Entrup (2003):** Pfluglose Bestelltechniken im Ackerbau - Strategie zur Minderung diffuser Herbizid- und Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *46. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Kurzfassungen der Vorträge und Poster*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 15, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 284-285.
- Fachverband Feldberegnung (2005 – 2009):** Hinweise für den Einsatz der Feldberegnung, 2005 - 2009; Fachverband Feldberegnung e.V. Hannover (FVF), Johannssenstr. 10, 30159 Hannover
- Gajić, A. und H.-J. Koch (2010):** Effect of HTC-biochar on crop growth, in Märländer, B., O. Christen, S. v. Tiedemann, C. Kenter und A. Düker (eds.): *Koexistenz Grüne Gentechnik, 53. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. vom 28. bis 30. September 2010 in Hohenheim*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 22, Verlag Liddy Halm, Göttingen, pp. 237-238.
- Geier, J., J. Bischoff, B. Hofmann und O. Christen (2006):** Wirkung von Bodenbearbeitung und Saatverfahren auf Durchwurzelung und Pflanzenentwicklung bei Winterraps (*Brassica napus* L.), in Herrmann, A. und W. Taube (eds.): *49. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nachwachsende Rohstoffe im Pflanzenbau*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 18, Verlag Schmidt & Klaunig KG, Kiel, pp. 46-47.
- Geisler, G. (1980):** Pflanzenbau, Paul Parey, Berlin und Hamburg 1980
- Gilbert, K., P. Probst, J. Bachinger, R. Bloch, S. Kühne und W. Vogt-Kaute (2009):** Klimawandel und Ökolandbau – Anpassungsmaßnahmen für die Praxis (Workshop), 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Zürich, 11.-13. Februar 2009.
http://orgprints.org/14712/1/WS03_Klima_14712.pdf (Abruf am 29.10.2009)
- Glaser, B. (2010):** Die Indianerschwarzerde (Terra Preta) Amazoniens – Kohlenstoffsенke und Modell für eine nachhaltige Landnutzung?, Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften.
http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Presse/PI_2010/Prof.Dr.Glaser_TerraPreta_geschuetzt.pdf (Abruf am 08.11.2010)
- Goldbach, H. (2004):** Wann lohnen Blattdünger?, *DLG-Mitteilungen 12/2004*, Beilage Düngermagazin, 8-11
- Graeff-Hönninger, S., Schönherr, J., Rosengrün, L und Claupein, W. (2010):** Einsatz von Buchenholzkoks auf landwirtschaftlichen Flächen, in Märländer, B., O. Christen, S. v. Tiedemann, C. Kenter und A. Düker (eds.): *Koexistenz Grüne Gentechnik, 53. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. vom 28. bis 30. September 2010 in Hohenheim*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 22, Verlag Liddy Halm, Göttingen, pp. 235-236.
- Grocholl, J. (1991):** Der Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungssysteme auf den mikrobiologischen Status von Böden verschiedener Standorte unter besonderer Berücksichtigung der C-Umsetzungen, Dissertation, Universität Gießen, Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns 1991

- Grocholl, J. (2008):** Geteilte N-Gabe bei ausreichender Wasserversorgung vorteilhaft, *Kartoffelbau*, **59**, 34-37.
- Gustmann, K., M. Schneider, P. Wagner, B. Hofmann und O. Christen (2008):** Erste Ergebnisse zur Streifenbearbeitung bei Mais unter verschiedenen Standortdingungen im mitteldeutschen Trockengebiet., in Hoffmann, S., A. Herrmann und F. Taube (eds.): *Biodiversität in der Pflanzenproduktion: gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften und der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung (GPZ) am 01. und 02. Oktober 2008 sowie 51. Jahrestagung der GPW und Friedrich-Körnicker-Symposium der GPZ am 30. September 2008 in Göttingen*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 20, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, pp. 29-30.
- Hahn, H., M. McManus und D. Scott (2004):** Können endophytische Pilze die Trockenstress-Toleranz von Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.) verbessern?, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 23-24.
- Halvorson, A.D., A.R. Curtis und R.F. Follett (1999):** Nitrogen Fertilization Effects on Soil Carbon and Nitrogen in a Dryland Cropping System, *Soil Science Society of America Journal*, **63**, 912-917.
- Hartmann, R. (2002):** Studien zur standortgerechten Kompostanwendung auf drei pedologisch unterschiedlichen, landwirtschaftlich genutzten Flächen der Wildeshäuser Geest, Niedersachsen; Dissertation, Universität Bremen
- Hatfield, J.L., T.J. Sauer und J.H. Prueger (2001):** Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency: A Review, *Agron. J.*, **93**, 271-280.
- Hermann, W. und W. Claupein (2008):** Strip-Till bei Zuckerrüben - Neue Möglichkeiten mit automatischen Lenksystemen, in Hoffmann, S., A. Herrmann und F. Taube (eds.): *Biodiversität in der Pflanzenproduktion: gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften und der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung (GPZ) am 01. und 02. Oktober 2008 sowie 51. Jahrestagung der GPW und Friedrich-Körnicker-Symposium der GPZ am 30. September 2008 in Göttingen*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 20, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, pp. 59-60.
- Herzog, H., M. Grabe und K.P. Götz (2008):** Wirkung von Wasserangebot und N-Spät-Düngung auf die Wassernutzungseffizienz und den Ertrag von Weizengenotypen, in Hoffmann, S., A. Herrmann und F. Taube (eds.): *Biodiversität in der Pflanzenproduktion: gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften und der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung (GPZ) am 01. und 02. Oktober 2008 sowie 51. Jahrestagung der GPW und Friedrich-Körnicker-Symposium der GPZ am 30. September 2008 in Göttingen*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 20, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, pp. 45-46.
- Hofmann, B., S. Tischer und O. Christen (2003):** Einfluss langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Humusgehalt und biologische Bodeneigenschaften, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *46. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Kurzfassungen der Vorträge und Poster*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 15, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 288-289.
- Kenter, C. und C. Hoffmann (2004):** Einfluss von Trockenstress auf Qualitätsveränderungen bei der Lagerung von Zuckerrüben, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 37-38.

- King, J., A. Gay, R. Sylvester-Bradley, I. Bingham, J. Foulkes, P. Gregory und D. Robinson (2003):** Modelling Cereal Root Systems for Water and Nitrogen Capture: Towards an Economic Optimum, *Ann Bot*, **91**, 383-390.
- Koohafkan, P. und B. Stewart (2008):** *Water and Cereals in Drylands*, The Food and Agriculture Organization of the United Nations and Earthscan.
<http://www.fao.org/docrep/012/i0372e/i0372e.pdf> (Abruf am 05.07.2010)
- Kunze, T. (2010):** Beziehungen zwischen Witterung und Kartoffelertrag, *Kartoffelbau*, **61**, 475-479.
- Laird, D.A. (2008):** The Charcoal Vision: A Win–Win–Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality, *Agron J*, **100**, 178-181.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2008):** Struktur der niedersächsischen Landwirtschaft in Zahlen, Agrarstatistisches Kompendium 2008, Eigenverlag der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2008
- Machado, S., S. Petrie, K. Rhinhart und R.E. Ramig (2008):** Tillage Effects on Water Use and Grain Yield of Winter Wheat and Green Pea in Rotation, *Agronomy Journal*, **100**, 154-162.
- Malinowski, D.P. und D.P. Belesky (2000):** Adaptations of Endophyte-Infected Cool-Season Grasses to Environmental Stresses, *crop science*, **40**, 923-940.
- Manderscheid, R., M. Erbs, E. Nozinski und H.-J. Weigel (2009):** Wechselwirkungen zukünftiger atmosphärischer CO₂-Konzentrationen und unterschiedlicher Wasserversorgung auf das Wachstum eines Maisbestandes: Effekte auf Wasser- und Strahlungseffizienz, in Märländer, B., O. Christen, C. Kenter und A. Düker (eds.): *52. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Systembezug und Modellierung*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 21, Verlag Liddy Halm, Göttingen, pp. 53-54.
- Morison, J., N. Baker, P. Mullineaux und W. Davies (2008):** Improving water use in crop production, *Phil. Trans. R. Soc. B*, **363**, 639-658.
- Norddeutscher Klimaatlas (2010):** Modellrechnung für die Metropolregion Hamburg, Mittelwerte aus 12 Klimarechnungen für die Periode 2036-2065, <http://www.norddeutscher-klimaatlas.de> (Abruf am 16.03.2010).
- Pa-In, N., M. Liedgens, P. Stamp und A. Hund (2006):** Root morphology of maize genotypes, *Zea mays* (L.), differing in drought tolerance, in Herrmann, A. und W. Taube (eds.): *49. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nachwachsende Rohstoffe im Pflanzenbau*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 18, Verlag Schmidt & Klaunig KG, Kiel, pp. 50-51.
- Passioura, J. (2004):** Increasing Crop Productivity When Water is Scarce – From Breeding to Field Management, in *Fischer T. et al. (2004): New directions for a diverse planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 26 September – 1 October 2004*, The Regional Institute Ltd.
http://www.cropscience.org.au/icsc2004/plenary/1/1018_passiourai.htm#TopOfPage (Abruf am 07.04.2010)
- Pekrun, C. und W. Claupein (2004):** Wird durch Stoppelbearbeitung die unproduktive Verdunstung gesenkt?, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 163-164.
- Qin, R., P. Peter Stamp und R. Walter (2004):** Impact of Tillage on Root Systems of Winter Wheat, *Agron. J.*, **96**, 1523-1530.

- Richards, R.A. (2004):** Physiological traits used in the breeding of new cultivars for water-scarce environments., in *Fischer T. et al. (2004): New directions for a diverse planet: Proceedings for the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia, 26 September – 1 October 2004*, The Regional Institute Ltd.
http://www.cropscience.org.au/icsc2004/symposia/1/3/1470_richardsr.htm (Abruf am 08.07.2010)
- Roth, D., R. Roth und K. Kachel (1987):** Untersuchungen zum Einfluss differenzierter Wasserversorgung auf den Verlauf der Ertragsbildung und den Ertrag von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) sowie Schlussfolgerungen für den effizienten Beregnungseinsatz, *Potato Research*, **30**, 625-636.
- Rößler, I. (2009):** Wechselwirkung zwischen Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Düngung - Ergebnisse aus Praxiserhebungen in Sachsen, LfULG, Referat Pflanzenschutz, Fachgespräch „Konservierende Bodenbearbeitung/Direktsaat 3. November 2009 in Leipzig-Möckern“.
http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Lpz_Roessler_03_11_09.pdf (Abruf am 04.01.2010)
- Sander, G. (2009):** Schlitzsaat in Zuckerrüben entwickelt sich zu einem alternativen Bestellverfahren, *Zuckerrübe*, **58**, 92-95
- Schittenhelm, S. (2009):** Wassernutzungseffizienz von Energiepflanzen, Symposium "Energiepflanzen 2009" in Berlin, 17.11.2009. http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/Energiepflanzen2009/Schittenhelm_frei_gegeben.pdf (Abruf am 08.04.2010)
- Schittenhelm, S., S. Schroetter und T. Neumann (2010):** Vergleich der Trockentoleranz von Sorghumhirsen und Mais, in Märländer, B., O. Christen, S. v. Tiedemann, C. Kenter und A. Düker (eds.): *Koexistenz Grüne Gentechnik, 53. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V. vom 28. bis 30. September 2010 in Hohenheim*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 22, Verlag Liddy Halm, Göttingen, pp. 267-268.
- Schäfer, W. (2010):** persönliche Mitteilung
- Schittenhelm, S., H. Sourell und F.-J. Löpmeier (2004):** Wie viel Kraut braucht die Kartoffel?, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupen und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16 Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 19-20.
- Schrader, S., R. Anlauf und S. Fründ (2004):** *Auswirkungen konservierender Bodenbearbeitung auf Bodeneigenschaften und Nitratausträge*, Fachhochschule Osnabrück, Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur. [online nicht mehr verfügbar](#) (Abruf am 05.09.2005)
- Schubert, S. und D. Reeb (2006):** Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Ertragsleistung im Weizenanbau unter Trockenbedingungen, in Herrmann, A. und W. Taube (eds.): *49. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Nachwachsende Rohstoffe im Pflanzenbau*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 18, Verlag Schmidt & Klaunig KG, Kiel, pp. 148-149.
- Streda, T., V. Dostal, P. Hrstkova, V. Horakova und O. Chloupek (2008):** Höhere Erträge mit höherem Stärkegehalt in dem sehr trockenen Jahr 2007 bei Weizen- und Gerstensorten mit größerer Wurzelsystemgröße, in Hoffmann, S., A. Herrmann und F. Taube (eds.): *Biodiversität in der Pflanzenproduktion: gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften und der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung (GPZ) am 01. und 02. Oktober 2008 sowie 51. Jahrestagung der GPW und Friedrich-Körnicker-Symposium der GPZ am 30. September 2008 in Göttingen*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 20, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, pp. 53-54.

- Stöfen, H. (2010):** persönliche Mitteilung
- Tanner, C. (1981):** Transpiration Efficiency of Potato, *Agron J*, **73**, 59-64.
- Tesfamariam, E.H., J.G. Annandale und J.M. Steyn (2010):** Water Stress Effects on Winter Canola Growth and Yield, *Agronomy Journal*, **102**, 658-666.
- Turner, N.C. (2004):** Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems, *Journal of Experimental Botany*, **55**, 2413-2425.
- Ulrich, S., B. Benkstein, B. Hofmann und O. Christen (2004):** Auswirkungen langjährig differenzierter mineralisch-organischer Düngung auf die physikalischen Bodeneigenschaften, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 79-80.
- Ulrich, S., S. Tischer, B. Hofmann und O. Christen (2004):** Auswirkungen langjährig differenzierter mineralisch-organischer Düngung auf die biologischen Bodeneigenschaften, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 81-82.
- Urban, B., M. Shaban und J. Grocholl (2008):** Verwendung von Kompost zur Erhöhung der Wasserhaltefähigkeit von Böden in Nordost-Niedersachsen, in: *No Regret – Genug Wasser für die Landwirtschaft?! Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen*, pp. 200 - 213.
- Verch, G., K. Werner und M. Müller (2004):** Effekte einer Minimalbodenbearbeitung auf Ertrag, Wasserhaushalt und Mykotoxinbelastung unter den Bedingungen des kontinental geprägten Klimas Nordost-Brandenburgs, in Kauter, D., A. Kämpf, W. Claupein und W. Diepenbrock (eds.): *47. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 16, Verlag Günter Heimbach, Stuttgart, pp. 167-168.
- Verheijen, F., S. Jeffery, A. Bastos, M. van der Velde und I. Diafas (2009):** *iochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions.*, EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp., European Commission, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability.
- Wienforth, B., S. Schittenhelm, S. Wulkau, U. Böttcher, A. Herrmann, K. Sieling, F. Taube und H. Kage (2008):** Standortgerechte Wahl von Energiepflanzen für die Biogasproduktion - Modellgestützte Analyse von Trockenstresseinfluss auf Ertragspotenziale von Silomais, in Hoffmann, S., A. Herrmann und F. Taube (eds.): *Biodiversität in der Pflanzenproduktion: gemeinsame Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften und der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung (GPZ) am 01. und 02. Oktober 2008 sowie 51. Jahrestagung der GPW und Friedrich-Körnicker-Symposium der GPZ am 30. September 2008 in Göttingen*, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Vol. 20, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, pp. 67-68.
- Wolber, D. (2010):** persönliche Mitteilung
- Woolf, D. (2008):** Biochar as a Soil Amendment: A Review of the Environmental Implications. <http://www.orgprints.org/13268> (Abruf am 09.09.2009)