

# Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung

*Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in  
der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel*



## Teil 4 Wasser sparen im Ackerbau

*J. Grocholl, J. Anter, R. Asendorf, D. Feistkorn, A. Mensching-Buhr, K. Nolting,  
A. Riedel, R. Schossow, H.-H. Thörmann, B. Urban*



**KLIMZUG-NORD**

Strategische Anpassungsansätze  
zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg

## Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung

- Teil 1** Grocholl, J. & Mersch, I. (2014): **Einleitung und Zusammenfassung**, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel, Teil 1, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.
- Teil 2** Weber, R.W.S. (2014): **Anpassung des Obstbaus der Niederelbe an den Klimawandel**, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel, Teil 2, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.
- Teil 3** Eiben, E., Mersch, I. & von Haaren, J. (2014): **Anpassung der landwirtschaftlichen Nutzung der Elbtalauen an den Klimawandel**, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel, Teil 3, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.
- Teil 4** Grocholl, J., Anter, J., Asendorf, R., Feistkorn, D., Mensching-Buhr, A., Nolting, K., Riedel, A., Schossow, R., Thörmann, H.-H., Urban, B. (2014): **Wasser sparen im Ackerbau**, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel, Teil 4, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.
- Teil 5** Mersch, I. & von Haaren, M. (2014): **Zukunftsfähige Kulturlandschaften**, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel, Teil 5, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.
- Teil 6** Schulz, E. (2014): **Strategien zur Grundwasseranreicherung**, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel, Teil 5, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.

Alle Berichte stehen unter <http://www.lwk-niedersachsen.de>, Webcode: 01025353, zum Download zur Verfügung.

## Impressum

### Herausgeberin

Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Bezirksstelle Uelzen  
Wilhelm-Seedorf-Straße 3  
29525 Uelzen

Landwirtschaftskammer  
**Niedersachsen**

### Redaktion

Dipl.-Geogr. Imke Mersch  
Dr. Jürgen Grocholl

© Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Juni 2014



Gefördert durch das



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde im Rahmen von KLIMZUG-NORD mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01LR0805M, die Beiträge der LEUPHANA Universität Lüneburg unter dem Förderkennzeichen 01LR0805G gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.



## Autoren

Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Bezirksstelle Uelzen  
Wilhelm-Seedorf-Straße 3  
29525 Uelzen



Dr. Jürgen Grocholl  
Dipl.-Ing. agr. Regina Asendorf  
Dipl.-Ing. hort. (FH) Dominik Feistkorn

Dipl.-Ing. agr. Alix Mensching-Buhr  
Dipl.-Ing. agr. Angela Riedel  
Dipl.-Geogr. Robert Schossow

Die Autoren danken den Kollegen der Versuchsstation Hamerstorf, Eckhard Späth, Rainer Wegmeyer, Dennis Bockelmann, Torben Dehning sowie Silke Wegmeyer für ihre engagierte Betreuung der Feldversuche.

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



s.g.L. Hans-Heinrich Thörmann  
M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Jano Anter  
Dipl.-Ing. Klaus Nolting

Leuphana Universität Lüneburg  
Fakultät Nachhaltigkeit, Institut für Ökologie  
Scharnhorststraße 1  
21335 Lüneburg



Prof. Dr. Brigitte Urban und Arbeitsgruppe

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsstandort und Versuchsanlage</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Wassereffizienz verschiedener Arten und Sorten</b> .....	<b>7</b>
3.1	<i>Einleitung und Literaturübersicht</i> .....	7
3.2	<i>Versuchsanlage</i> .....	8
3.3	<i>Ergebnisse und Diskussion</i> .....	9
3.4	<i>Fazit und Ausblick</i> .....	21
<b>4</b>	<b>Alternative Kulturpflanzen: Teff, der schwierige Weg einer Kulturpflanze nach Europa</b> .....	<b>23</b>
4.1	<i>Veranlassung</i> .....	23
4.2	<i>Versuchsanlage</i> .....	24
4.3	<i>Ergebnisse</i> .....	25
4.4	<i>Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen</i> .....	29
4.5	<i>Diskussion</i> .....	29
4.6	<i>Rechtliche Fragen</i> .....	30
<b>5</b>	<b>Saatstärke</b> .....	<b>32</b>
5.1	<i>Literaturübersicht</i> .....	32
5.2	<i>Versuchsanlage</i> .....	32
5.3	<i>Ergebnisse und Diskussion</i> .....	33
<b>6</b>	<b>Stickstoffdüngung</b> .....	<b>37</b>
6.1	<i>Versuchsanlass und Praxiserfahrungen</i> .....	37
6.2	<i>Versuchsanlage</i> .....	40
6.3	<i>Ergebnisse</i> .....	42
6.4	<i>Diskussion und Ausblick</i> .....	46
<b>7</b>	<b>Humusanreicherung</b> .....	<b>49</b>
7.1	<i>Literaturübersicht</i> .....	49
7.2	<i>Feldversuche</i> .....	51
7.3	<i>Bodenökologische Untersuchungen</i> .....	60
<b>8</b>	<b>Bodenbearbeitung</b> .....	<b>76</b>
8.1	<i>Literaturübersicht</i> .....	76
8.2	<i>Versuchsanlagen</i> .....	77
8.3	<i>Ergebnisse und Diskussion</i> .....	79
<b>9</b>	<b>Beregnungssteuerung</b> .....	<b>86</b>
9.1	<i>Literaturübersicht</i> .....	86

9.2	<i>Versuchsanlage</i> .....	89
9.3	<i>Ergebnisse</i> .....	92
9.4	<i>Diskussion</i> .....	99
<b>10</b>	<b>Teilflächenspezifische Berechnung</b> .....	<b>101</b>
10.1	<i>Optimierung der Berechnungstechnik durch teilflächenspezifische Berechnung (Precision Irrigation) auf betrieblicher Ebene</i> .....	101
10.2	<i>Pflanzenbauliche Aspekte teilflächenspezifischer Berechnung</i> .....	117
<b>11</b>	<b>Schlussbetrachtung und Zusammenfassung</b> .....	<b>120</b>
<b>12</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>123</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Versuchsstation Hamerstorf, Beregnungsversuchsfeld .....	2
Abb. 2-2:	Niederschlag, Verdunstung und klimatische Wasserbilanz für den Standort Hamerstorf in den Jahren 2010-2013 .....	3
Abb. 2-3:	Beregnung mit dem Düsenwagen .....	4
Abb. 2-4:	Übersicht über einige Versuchsanlagen in Hamerstorf 2010 .....	5
Abb. 3-1:	Lageplan der Beregnungsversuche 2013 .....	8
Abb. 3-2:	Anordnung der Sorten am Beispiel von Winterweizen, 2013 .....	9
Abb. 3-3:	Erträge Wintergerstensorten, Jahresmittel 2011-2013 (H = Hybridsorte, mz = mehrzeilig, zz = zweizeilig) .....	11
Abb. 3-4:	Erträge Winterweizensorten, Jahresmittel 2011-2013 .....	14
Abb. 3-5:	Erträge Speisekartoffelsorten mit Markt- und Speisewarenanteilen, Jahresmittel 2011-2013 .....	17
Abb. 3-6:	Erträge Silomaisorten mit Stärkegehalten, Jahresmittel 2011-2013 .....	20
Abb. 3-7:	Leistungen verschiedener Kulturen mit Beregnung im Mittel der Jahre 2006-2013 .....	22
Abb. 4-1:	Rispe und Korn von <i>Eragrostis tef</i> .....	23
Abb. 5-1:	Ertragsverluste bei verminderter Wasserversorgung (reduzierte oder unterlassene Beregnung) bei Winterweizen in Abhängigkeit von der Saatstärke in den Jahren 2010 und 2011 (Mittelwert der Sorten Jenga und JB Asano) .....	35
Abb. 6-1:	Sternrad mit „Spokes“ zur punktförmigen Injektion der Ammoniumlösung in den Boden .....	39
Abb. 6-2:	oben ammoniumernährte Pflanze (CULTAN), unten nitraternährte Pflanze .....	39
Abb. 6-3:	Übersicht der Versuchsanlagen in Hamerstorf .....	41
Abb. 6-4:	Passiv-Sickerwassersammler, Einbau der Sammler und Auffangbehälter in 80 cm Bodentiefe, Verlegung der Absaugschläuche bis zum Feldrand .....	42
Abb. 6-5:	Anordnung der Wiederholungen mit Sickerwassersammlern .....	42
Abb. 6-6:	Erträge 2010 bis 2013 mit zwei Düngungsverfahren und drei Beregnungsstufen .....	43
Abb. 6-7:	Stickstoffentzug relativ zum Versuchsmittel .....	44
Abb. 6-8:	Nitrat- bzw. Ammonium-N-Menge im Sickerwasser März 2010 bis Februar 2014 (kg N/ha) .....	46
Abb. 6-9:	Mehrjähriger Düngerapplikationsvergleich in Winterweizen (2009-2012) .....	47
Abb. 7-1:	Ausbringung von Biokompost und Palaterra® (links) sowie HTC-Biokohle (rechts) .....	52
Abb. 7-2:	Sentec Easy AG Messsonde 50 cm (links) und Datenspeicher (rechts) .....	54
Abb. 7-3:	Kornertrag (Relativertrag, 100 % = jährl. Versuchsmittel) in Abhängigkeit des Einsatzes verschiedener Stoffe zur Bodenverbesserung (2012 – Sommergerste und 2013 – Wintertriticale, Mittelwert der drei Beregnungsstufen) .....	55
Abb. 7-4:	Relative Mindererträge bei suboptimaler Wasserversorgung (100 % = optimal beregnete Variante bei jeder Behandlung) nach Einsatz verschiedener Stoffe zur Bodenverbesserung (2012, Sommergerste) .....	56
Abb. 7-5:	Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) in der optimal beregneten Variante (2012 Sommergerste) .....	58

Abb. 7-6:	Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) in der unberechneten Variante (2012 Sommergerste).....	58
Abb. 7-7:	Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) in der reduziert berechneten Variante (2013 Wintertriticale).....	59
Abb. 7-8:	Lysimeterentnahme .....	62
Abb. 7-9:	Bepflanzte Lysimeter mit jeweils einem Saugspannungsnehmer (Tensiometer) und Temperaturfühler pro Variante .....	63
Abb. 7-10:	Keimversuche mit Sommergerste und Oberboden-HTC-Mischungen, 12 Tage nach Einsaat mit deutlichen Wachstumsunterschieden in Abhängigkeit von der Substratmischung. V.l.n.r.: 0 % HTC, 25 % HTC, 50 % HTC, 100 % HTC .....	66
Abb. 7-11:	Links Wurzelbildung, bzw. -länge und Aufwuchs von Gerste in 100 % HTC-Biokohle, rechts in 25 % HTC-Biokohle im Kurzzeittopfversuch.....	66
Abb. 7-12:	Mittlere Pflanzenhöhe der Gerstenkeimlinge im Topfversuch mit und ohne HTC-Biokohle Beschickung eines Sandbodens und in 100 % Biokohle im Kurzzeitversuch (Fehlerbalken entsprechen dem 95 %igen Konfidenzintervall) .....	67
Abb. 7-13:	Mittleres Trockengewicht der Gerstenkeimlinge im Topfversuch mit und ohne HTC-Biokohle Beschickung eines Sandbodens und in 100 % Biokohle im Kurzzeitversuch (Fehlerbalken entsprechen dem 95 %igen Konfidenzintervall) .....	67
Abb. 7-14:	Sickerwassergesamt volumina der Lysimetervarianten 0 % HTC, 50 % HTC (10t/ha) und 100 % HTC (20t/ha) über den Beprobungszeitraum (Juni-August 2011, n = 9) .....	68
Abb. 7-15:	Mittlere NO <sub>3</sub> -Stoffkonzentration im Sickerwasser der Lysimetervarianten 0 % HTC, 50 % HTC (10t/ha) und 100 % HTC (20t/ha) über den Beprobungszeitraum (Juni-August 2011, n = 9) .....	68
Abb. 7-16:	Mittlere DOC-Stoffkonzentration der Lysimetervarianten 0 % HTC, 50 % HTC (10t/ha) und 100 % HTC (20t/ha) über den Beprobungszeitraum (Juni-August 2011, n = 9) .....	69
Abb. 7-17:	Messtermine und Brutto CO <sub>2</sub> -Emissionen der Humusanreicherungsvarianten und der unbehandelten (Kontrolle) Parzelle .....	73
Abb. 7-18:	Kumulative Netto-Emissionswerte der Bodenauftragsflächen und Bodentemperaturverlauf in 5 cm Tiefe .....	74
Abb. 8-1:	Schlitzaat von Zuckerrüben (Maschinenvorführung auf dem norddt. Rübentag 2013) .....	77
Abb. 8-2:	Ertrag in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung im Mittel der Versuchsjahre (Relativertrag, 100 % = Pflug/optimale Beregnung; Kartoffel = Mittelwert 2010-2011, Marktwareertrag ohne Untergrößen; Weizen = Mittel 2011-2012) .....	81
Abb. 8-3:	Zuckerertrag (relativ) nach Mulch- und Schlitzaat in Abhängigkeit von der Wasserversorgung (Versuchsjahre 2011 – 2013; Relativertrag, 100 % = Mulch/optimale Beregnung in jedem Versuchsjahr) .....	84
Abb. 8-4:	Zuckerrüben nach Mulchsaat (oben) und Schlitzaat (unten) im Versuchsjahr 2013.....	84
Abb. 8-5:	Bereinigter Zuckerertrag (relativ) in zwei Versuchen im Jahr 2012 (ausgeprägtes Wasserdefizit im Mai, negative klimat. Wasserbilanz ab Ende Juli) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung; Versuch 1: Vergleich Pflug – Mulchsaat	

	(100 % = Pflug/optimale Beregnung); Versuch 2: Vergleich Mulchsaat – Schlitzsaat (100 % = Mulch/optimale Beregnung) .....	85
Abb. 9-1:	Lageplan der Beregnungssteuerungsversuche .....	90
Abb. 9-2:	Mobile Rohrtrommelberegnungsmaschine mit Düsenwagen in den Versuchen.....	91
Abb. 9-3:	Anordnung der Sensoren auf der Enviroscan Sonde .....	91
Abb. 9-4:	Mittlere Erträge und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle beim Winterweizen, ohne Beregnung als Vergleichsvariante = 100 % gesetzt .....	92
Abb. 9-5:	Mittlere Erträge und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle beim Winterweizen, mit Einbeziehung der Sorten, 2010 und 2011 (A = LBEG, B = Geisenheim, C = Zephyr, D = Irrigama) .....	94
Abb. 9-6:	Mittlere Erträge und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle bei Kartoffeln, mit Einbeziehung der Sorten, 2010 und 2011 (A = LBEG, B = Geisenheim, C = Zephyr, D = Irrigama) .....	95
Abb. 9-7:	Mittlere relative Erträge, Zuckergehalte und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle bei Zuckerrüben 2012 und 2013 .....	97
Abb. 9-8:	Modell D, Zuckerrüben, Wiederholung 2, Datenverlauf nachvollziehbar (2012) .....	99
Abb. 9-9:	Modell A, Zuckerrüben, Wiederholung 1, Werteverlauf der Schichten in 50 und 80 cm Tiefe nicht nachvollziehbar (2012) .....	99
Abb. 10-1:	Strategie zur Applikationskarte für die teilflächenspezifische Beregnung .....	102
Abb. 10-2:	Messung der elektrischen Leitfähigkeit mit einem EM 38 Gerät bis ca. 1,50 m Bodentiefe.....	102
Abb. 10-3:	Leitfähigkeitskarte in Millisiemens (mS) des Versuchsfeldes in Niendorf II mit den verschiedenen Managementzonen .....	103
Abb. 10-4:	Kreisberegnung auf dem Zuckerrübenversuchsfeld in Niendorf II .....	104
Abb. 10-5:	Funktionsweise der VRI 7000 Steuerung.....	108
Abb. 10-6:	Managementzonen mit unterschiedlichen Beregnungshöhen .....	109
Abb. 10-7:	Unterverteilung für die Magnetventile am Fahrturm.....	110
Abb. 10-8:	Messstation in einer Managementzone.....	111
Abb. 10-9:	Laborversuche unter gleichen Bodenbedingungen .....	112
Abb. 10-10:	Messergebnisse von Bodenfeuchtesonden bei gleicher Bodenart auf dem Kartoffel-Versuchsfeld 2011 in % der nFK (Messtiefe 0-50 cm) .....	113
Abb. 10-11:	Zuckererträge und Beregnungsmengen bei unterschiedlicher Bodengüten, Zuckerrüben 2013.....	118

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Kenndaten zum Versuchsstandort Hamerstorf.....	2
Tab. 2-2:	Ergebnisse der Grundnährstoff-Untersuchungen 2010 (Mittelwerte aus drei Proben, gerundet).....	4
Tab. 3-1:	Beregnung Wintergerste, 2013 .....	9
Tab. 3-2:	Ergebnisse Wintergerste 2013.....	10
Tab. 3-3:	Beregnung Winterweizen, 2013 .....	11
Tab. 3-4:	Ergebnisse Winterweizen, 2013.....	12
Tab. 3-5:	Erträge der WW-Sorten im Jahresmittel 2010, 2011 und 2013 (dt/ha) .....	13
Tab. 3-6:	Beregnung Winterraps, 2013 .....	14
Tab. 3-7:	Beregnung Winterraps, 2013 .....	14

Tab. 3-8:	<i>Ergebnisse der Sorten, Winterraps 2013</i> .....	15
Tab. 3-9:	<i>Berechnung Kartoffeln, 2013</i> .....	16
Tab. 3-10:	<i>Ergebnis Speisekartoffeln, 2013</i> .....	16
Tab. 3-11:	<i>Berechnung Silomais, 2013</i> .....	18
Tab. 3-12:	<i>Ergebnisse Silomais, 2013</i> .....	19
Tab. 5-1:	<i>Anbautechnische Maßnahmen</i> .....	33
Tab. 5-2:	<i>Relativer Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von Saatstärke und Wasserversorgung in den Jahren 2010 und 2011 (100 %: Mittelwert der Saatstärken bei optimaler Berechnung)</i> .....	34
Tab. 5-3:	<i>Tausendkornmasse (g) von Winterweizen in Abhängigkeit von Saatstärke und Wasserversorgung in den Jahren 2010 und 2011</i> .....	36
Tab. 5-4:	<i>Bestandesdichte (Ähren/m<sup>2</sup>) von Winterweizen in Abhängigkeit von Saatstärke und Wasserversorgung im Jahr 2011</i> .....	36
Tab. 7-1:	<i>Inhaltsstoffe der ausgebrachten Bodenverbesserungsmittel (Analyse der LUFA Nord-West vom November 2011)</i> .....	52
Tab. 7-2:	<i>Ausgebrachte Mengen an Bodenverbesserungsmitteln und darin enthaltene Nährstoffmengen</i> .....	53
Tab. 7-3:	<i>Anbautechnische Maßnahmen</i> .....	53
Tab. 7-4:	<i>Ertrag und Proteingehalt von Sommergerste (2012) und Wintertriticale (2013) nach Einsatz verschiedener Bodenverbesserer in Abhängigkeit von der Wasserversorgung</i> .....	54
Tab. 7-5:	<i>Stickstoffmengen (Nmin) im Frühjahr 2012 im durchwurzelbaren Bodenhorizont</i> .....	56
Tab. 7-6:	<i>Gehalte an Humus und Pflanzennährstoffen in der Krume im Frühjahr 2014</i> ..	57
Tab. 7-7:	<i>Im Boden gespeicherte Wassermenge in Abhängigkeit der Ausbringung verschiedener Stoffe zur Bodenverbesserung und der Wasserversorgung (Mittelwerte der Messungen in Sommergerste 2012 über 123 Tage)</i> .....	59
Tab. 7-8:	<i>Auswirkungen der Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) vor und nach einem Niederschlagsereignis (31,4 mm) in der reduziert berechneten Variante (2013 Wintertriticale, Sonde EAG 8 ausgefallen)</i> .....	60
Tab. 7-9:	<i>Charakterisierung der HTC-Pflanzenkohle aus Maisgärresten und zugrunde liegende Methoden</i> .....	61
Tab. 7-10:	<i>Beispielhafter Bodenprofilaufbau der Lysimeter 1 und 2 und wesentliche bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften (März 2011)</i> .....	62
Tab. 7-11:	<i>Design der Lysimeterversuche</i> .....	64
Tab. 7-12:	<i>Substrateigenschaften für Gerste-Keimtests</i> .....	65
Tab. 7-13:	<i>Aufgebrachte Menge Bodenverbesserer, Kohlenstoffgehalte und C/N-Verhältnis der Substrate (C % errechnet aus Glühverlust % x 0,47)</i> .....	70
Tab. 7-14:	<i>Bodenwasserhaushaltsgrößen der anstehenden (unbehandelten) Braunerde im Bereich des Humusanreicherungsversuchs (Angaben in Vol.-% Wasser/dm Bodentiefe)</i> .....	70
Tab. 7-15:	<i>Bodenwasserhaushaltsgrößen der Varianten des Humusanreicherungsversuchs (Angaben in Vol.-% Wasser/dm Bodentiefe)</i> ..	71
Tab. 7-16:	<i>Mittlere Sickerwasserkonzentrationen an NO<sub>3</sub> und PO<sub>4</sub> des Bodenwassers aus 30 cm Tiefe der Humusauftragsflächen (n = 60) (Entnahmetermine 13.01.2012, 12.03.2012, 03.06.2013, 17.06.2013, 24.06.2013)</i> .....	72
Tab. 7-17:	<i>Bodenmikrobiologische Kenngrößen und Bodentemperaturen der Bodenauftragsflächen (n = 72)</i> .....	75
Tab. 8-1:	<i>Anbautechnische Maßnahmen Kartoffeln (Sorte: Cilena) 2010-2011</i> .....	78

Tab. 8-2:	<i>Anbautechnische Maßnahmen Winterweizen (Sorte: JB Asano) 2011-2012....</i>	78
Tab. 8-3:	<i>Anbautechnische Maßnahmen Zuckerrüben (Sorte: Lukas) 2011-2013 (Fricke &amp; Riedel 2011, 2012c, 2013).....</i>	79
Tab. 8-4:	<i>Kornertrag und Ertragsaufbau von Winterweizen (Sorte: JB Asano) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung in den Jahren 2011 und 2012.....</i>	80
Tab. 8-5:	<i>Knollenertrag und Sortierung von Kartoffeln (Sorte: Cilena) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung in den Jahren 2010 und 2011.</i>	81
Tab. 8-6:	<i>Rübenertrag, Zuckergehalt und Amino-N-Gehalt in Abhängigkeit von Anbauverfahren und Wasserversorgung (Fricke &amp; Riedel 2011, 2012c, 2013)</i>	82
Tab. 9-1:	<i>Sorteneigenschaften .....</i>	89
Tab. 9-2:	<i>Berechnungsmengen (mm) und Erträge (dt/ha) im Winterweizen, 2010-2013 ...</i>	93
Tab. 9-3:	<i>Wassernutzungseffizienz im Winterweizen, (kg Mehrertrag/mm Zusatzwasser), 2010-2013.....</i>	93
Tab. 9-4:	<i>Vergleichsdaten aus Sortenversuch Beregnung, 2010- 2013.....</i>	93
Tab. 9-5:	<i>Wassernutzungseffizienz in Kartoffeln 2010 und 2011 (kg Mehrertrag/mm Zusatzwasser) .....</i>	96
Tab. 9-6:	<i>Beregnung, Zuckerertrag und Wassernutzungseffizienz in Zuckerrüben (kg Mehrertrag/mm Zusatzwasser) im Sortenmittel 2012 und 2013 .....</i>	97
Tab. 10-1:	<i>Tägliches Beregnungsberatungsprotokoll zur Beregnungsberatung .....</i>	107
Tab. 10-2:	<i>Beregnungshöhen der Versuchsjahre .....</i>	114
Tab. 10-3:	<i>Kapitalbedarf der eingesetzten teilflächenspezifischen Beregnung .....</i>	115
Tab. 10-4:	<i>Erträge in Winterweizen bei verschiedenen Beregnungsstufen 2012, Erträge mit gleichen hochgesetzten Ziffern sind vom Boden und der Beregnungshöhe her vergleichbar .....</i>	118

## 1 Einleitung

In der Ackerbauregion im Süden der Metropolregion Hamburg ist Wasser schon jetzt ein begrenzender Produktionsfaktor in der Landwirtschaft. Die hohe Wertschöpfung, die die landwirtschaftlichen Betriebe aus der Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln und auch technischen Rohstoffen bzw. Energie auf dem Ackerland generieren, ist nur möglich, weil das temporäre Wasserdefizit in der Vegetationsperiode durch Beregnung ausgeglichen wird. Auf Grund des projizierten Klimawandels wird dieser Faktor in seiner Bedeutung noch steigen. Zukünftig wird es daher noch wichtiger, Wasser effizient und sparsam einzusetzen. Das durch die natürlichen Niederschläge oder durch Beregnung zugeführte Wasser muss zu einem möglichst großen Teil in Ertrag umgesetzt werden, in der englischsprachigen Literatur wird dies zusammengefasst als „more crop per drop“. Neben der möglichst genauen Steuerung der Zusatzbewässerung müssen die Anbausysteme im Hinblick auf ihren Wasserbedarf optimiert werden.

Um die Effizienz der Wassernutzung zu verbessern sind zwei Ansätze möglich:

1. Minimierung der unproduktiven Wasserverluste (Sickerung, Abfluss, Evaporation, Transpiration von Nicht-Kulturpflanzen, Interzeptionsverluste),
2. bessere Ausnutzung des vorhandenen Wassers durch die Pflanzen.

Möglichkeiten zur Verminderung unproduktiver Verluste bestehen beispielsweise durch:

- die Erhöhung der Infiltration und Verminderung der unproduktiven Verdunstung durch Bedeckung des Bodens (Mulchsaat, Zwischenfrüchte),
- die Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität (konservierende Bodenbearbeitung),
- die Verbesserung des Wasserhaltevermögens der Böden, die vor allem durch Erhöhung des Humusgehaltes erreicht werden kann.

Zur Verbesserung der Ausnutzung des vorhandenen Wasser durch die Pflanzen sind unter anderem folgende Maßnahmen möglich:

- Wahl von Arten mit höherer Wassernutzungseffizienz, hier bestehen für den Landwirt allerdings marktbedingt nur geringe Anpassungsmöglichkeiten,
- Wahl von Sorten mit hoher Wassernutzungseffizienz,
- Optimierung der Anbautechnik, z.B. bei Bestandesdichte, Beregnungssteuerung, Düngung.

In einer Vorstudie wurden entsprechende Maßnahmen nach Literaturdaten bewertet (Grocholl 2011) und die für die Region relevanten ausgewählt. Als erfolgversprechend identifizierte Fragestellungen wurden in den Jahren 2010-2013 in Feldversuchen geprüft. Dies umfasste die Bereiche Kulturarten und Sorten, Saatstärke, Stickstoffdüngung, Humusanreicherung sowie Bodenbearbeitung.

Weitere Versuche befassten sich mit Fragen des effizienten Einsatzes der Feldberegnung. Hierbei ging es zum einen um die Steuerung der Beregnung bezüglich Menge und Zeitpunkt, zum anderen um die technischen und pflanzenbaulichen Möglichkeiten des teilflächenspezifischen Einsatzes von Großflächenregnern.

## 2 Versuchsstandort und Versuchsanlage

Jürgen Grocholl

Die Feldversuche wurden – mit Ausnahme der Prüfungen zur teilflächenspezifischen Beregnung (Kap. 10) – auf der Versuchsstation Hamerstorf der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) durchgeführt. Für die berechneten Ackerbaustandorte Nord-Ost-Niedersachsens ist diese als repräsentativ anzusehen. Die Versuche in KLIMZUG-NORD wurden auf dem stationären Beregnungsversuchsfeld angelegt (Abb. 2-1). Im südlichen Teil des Feldes („Arten und Sorten“) werden seit 2006 Beregnungsversuche durchgeführt, die später um zusätzliche Fragestellungen erweitert wurden. Im EU-geförderten Projekt Aquarius (LWK 2012a) wurde dort von 2010-2012 u.a. die Wassereffizienz verschiedener Sorten von Winterweizen und -gerste untersucht. Diese Prüfungen wurden 2013 im Projekt KLIMZUG-NORD fortgeführt. Die weiteren, im nördlichen Teil der Fläche gelegenen Versuche wurden 2009/2010 angelegt. Kenndaten zum Standort gibt Tab. 2-1.



Abb. 2-1: Versuchsstation Hamerstorf, Beregnungsversuchsfeld  
Luftbild: J. Knieke

Tab. 2-1: Kenndaten zum Versuchsstandort Hamerstorf

Versuchsstandort Hamerstorf	
Lage	Landkreis Uelzen, Gemarkung Suderburg
GPS-Koordinaten	52°54'25.75"N, 10°27'17.48"E
Höhenlage	50- 60 m ü. NN
Bodentyp	Braunerde
Bodenart	Sand – anlehmiger Sand
Humusgehalt	schwach humos
Ackerzahl	25-35
Mittlerer Jahresniederschlag	682 mm
Mittlere Jahrestemperatur	8,1 °C

Die mittlere Jahresniederschlagsmenge von 682 mm stellt gleichzeitig einen mittleren Wert für Nord-Ost-Niedersachsen dar. Im Westen sind die Werte höher (Soltau 811,2 mm), im Osten dagegen geringer (Lüchow 545,2 mm; DWD 2010). Entscheidend für die Landwirtschaft ist jedoch weniger die mittlere Gesamtniederschlagsmenge als vielmehr die zeitliche Verteilung. Zwar fällt der Großteil der Niederschläge in Deutschland im Gegensatz zu Südeuropa in den Sommermonaten. Dennoch treten in der Vegetationsperiode immer wieder längere Zeiten mit negativen klimatischen Wasserbilanzen auf, in denen die Versorgung der Pflanzenbestände auf Grund des geringen Speichervermögens der sandigen Böden nicht gesichert ist. In den vier Versuchsjahren war dies unterschiedlich ausgeprägt (Abb. 2-2). Während 2010 eine ausgeprägte Trockenphase im Sommer auftrat, war dies 2011 im Frühjahr/Frühsummer der Fall. Im Jahr 2012 war ein leichtes Wasserdefizit im Frühjahr/Frühsummer und Herbst festzustellen, mit einem Schwerpunkt im Mai. Dagegen trat 2013 Trockenheit vor allem im Sommer auf. Unter dem Gesichtspunkt der Untersuchung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel sind die in allen vier Versuchsjahren aufgetretenen Trockenphasen eine wichtige Voraussetzung um Aussagen ableiten zu können.

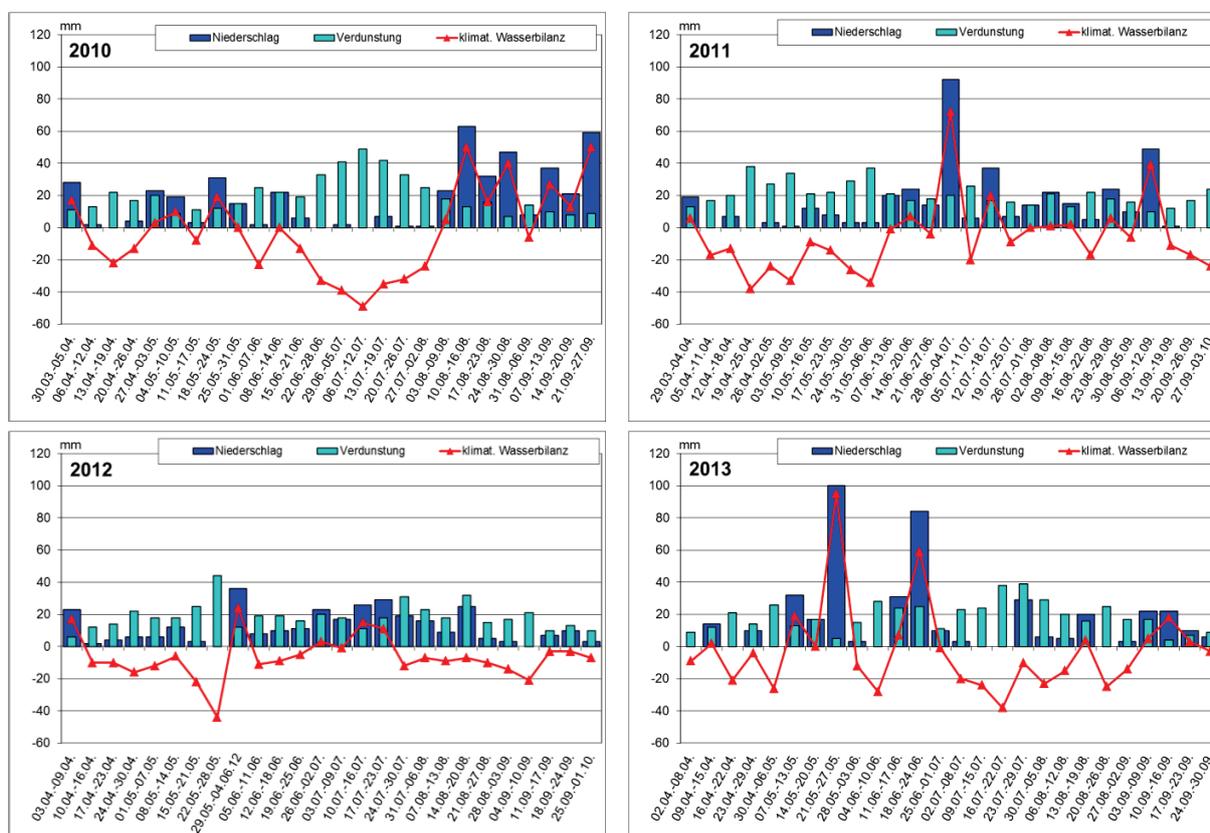


Abb. 2-2: Niederschlag, Verdunstung und klimatische Wasserbilanz für den Standort Hamerstorf in den Jahren 2010-2013

Daten: Fachverband Feldberegnung 2010-2013

Die Ergebnisse mehrerer auf den Versuchsfeldern im Frühjahr 2010 durchgeführter Bodenuntersuchungen unterschieden sich nicht wesentlich voneinander, daher wird hier der Mittelwert aus drei Proben wiedergegeben (Tab. 2-2). Abweichungen von den angestrebten Optimalwerten zeigten sich insbesondere bei der Phosphor- und Kaliumversorgung sowie beim Spurennährstoff Bor.

Tab. 2-2: Ergebnisse der Grundnährstoff-Untersuchungen 2010 (Mittelwerte aus drei Proben, gerundet)

	Messwert	Gehaltsklasse
Bodenart	(h) S	
pH	5,8	D
P (mg/100g Boden)	4	B
K (mg/100g Boden)	4	B
Mg (mg/100g Boden)	3	C
Cu (mg/kg Boden)	1,2	C
Mn (mg/kg Boden)	33	C
B (mg/kg Boden)	0,16	A
Na (mg/kg Boden)	2,2	A
Zink (mg/kg Boden)	2,4	C

Die Beregnung der Versuche erfolgt mit einem Düsenwagen, der eine exakte und wenig windanfällige Wasserverteilung ermöglicht (Abb. 2-3). Bedingt durch die Beregnungstechnik ist eine Versuchsanlage mit vier unabhängigen und vollständig randomisierten Wiederholungen bei vertretbarem Flächenbedarf nicht möglich. Daher sind in der Regel zwei Wiederholungen mit jeweils zwei Messwiederholungen (beide Seiten der Regnergasse) angelegt worden (Abb. 2-4). In der Auswertung werden diese wie vier Wiederholungen behandelt.



Abb. 2-3: Beregnung mit dem Düsenwagen

Die Beregnungssteuerung erfolgte in den Versuchen zur Prüfung unterschiedlicher Beregnungssteuerungsmodelle entsprechend der Vorgaben der Modellbetreiber (Kap. 9). In den anderen Versuchen wurden in der Regel drei Stufen unterschieden:

- Unberegnet: natürlicher Niederschlag
- Reduzierte Beregnung: ab 30-35 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK)
- Optimale Beregnung: ab 50 % der nFK.

Die Steuerung erfolgte auf Basis der berechneten klimatischen Wasserbilanz, unterstützt durch regelmäßige Ermittlungen des Bodenwassergehaltes in ausgewählten Varianten.

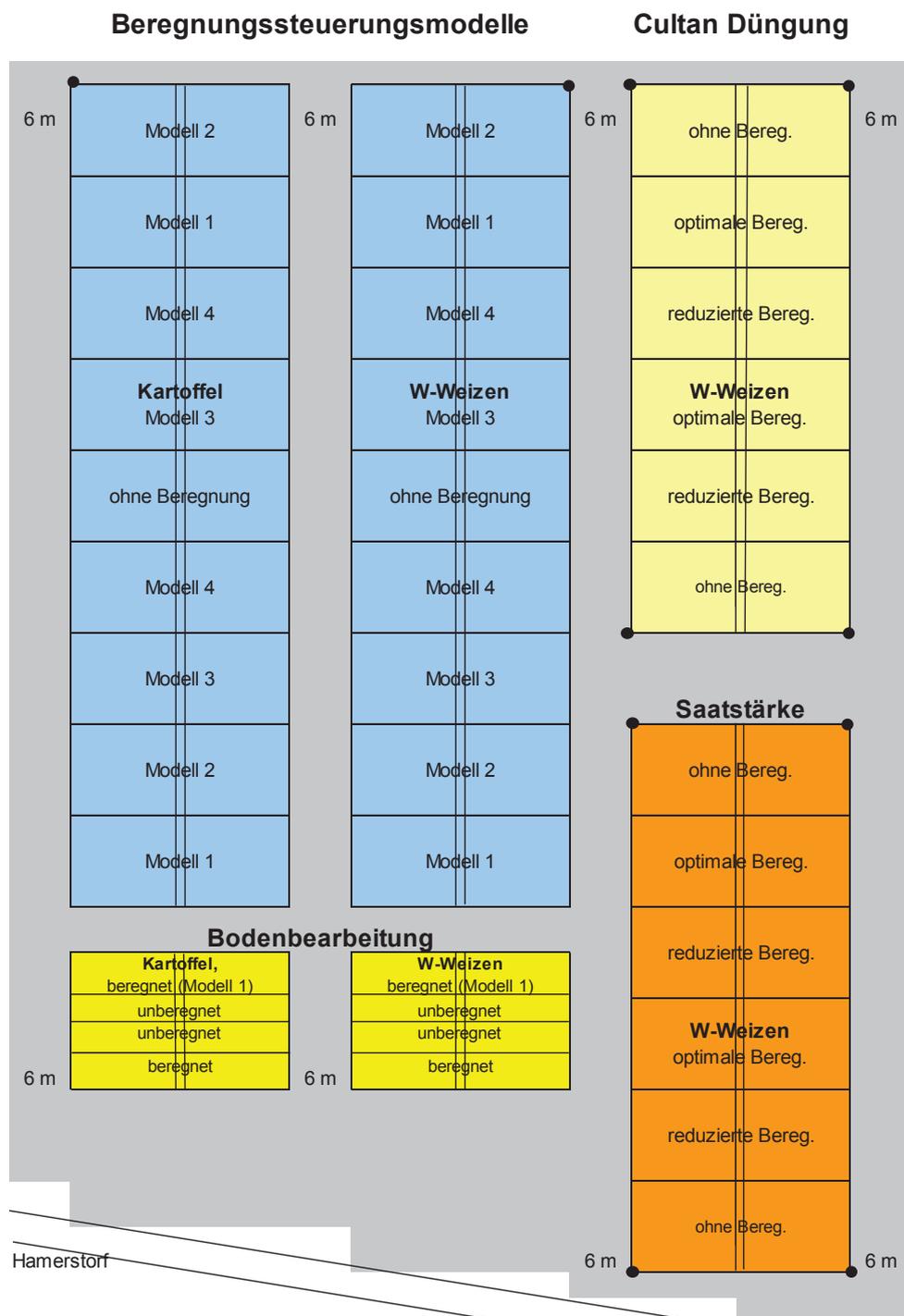


Abb. 2-4: Übersicht über einige Versuchsanlagen in Hamerstorf 2010

In vielen Versuchen stand nicht die Prüfung des Effektes der Beregnung im Vordergrund, sondern diese diente zur Einstellung einer differenzierten Wasserversorgung der Pflanzenbestände. Dadurch wird eine Beurteilung der Effizienz der Wassernutzung bei Anwendung verschiedener Maßnahmen im Ackerbau möglich. Varianten mit einer höheren Effizienz der Wassernutzung sollten bei suboptimaler im Vergleich zu optimaler Wasserversorgung einen geringeren Ertragsabfall zeigen als solche mit einer geringeren Wassereffizienz. Basis ist die unberegnete Variante mit den natürlichen Niederschlägen.

Eine ausreichende Wasserversorgung wird durch eine Beregnung entsprechend des pflanzenbaulichen Optimums (die nicht zwingend optimal hinsichtlich des Kosten-Nutzen-Verhältnisses ist) eingestellt, in einigen Versuchen wird durch eine reduzierte Beregnung zusätzlich eine weitere suboptimale Versorgungsstufe hergestellt. Eine Verminderung der Wasserversorgung unterhalb des Niveaus der natürlichen Niederschläge (beispielsweise durch „rain-shelter“) kann in den Versuchen nicht erfolgen.

Alle Anbaumaßnahmen erfolgten, soweit nicht durch die Versuchsfrage vorgegeben, entsprechend der jeweils aktuellen „Empfehlungen Pflanzenbau und Pflanzenschutz“ der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK 2010-2013). Die Ermittlung der Versuchsdaten wurde entsprechend der im landwirtschaftlichen Feldversuchswesen üblichen und etablierten Verfahren vorgenommen (BSA 2000). Bodenuntersuchungen und andere Analysen wurden durch die LUFA Nord-West durchgeführt (siehe z.B. VDLUFA 1991).

## 3 Wassereffizienz verschiedener Arten und Sorten

*Angela Riedel*

### 3.1 Einleitung und Literaturübersicht

In einer durch zeitweiligen Wassermangel geprägten Region wie Nord-Ost-Niedersachsen ist es für einen Landwirt entscheidend, dass er für seine Fruchtfolge nur solche Arten auswählt, die unter diesen Bedingungen möglichst sichere Erträge hervorbringen. Gleichzeitig müssen die erzeugten Produkte auch vermarktbare sein, das heißt von den Marktteilnehmern zu angemessenen Preisen nachgefragt werden. Ohne die Möglichkeit zur Bewässerung werden das eher extensiv angebaute Kulturen mit niedrigen Erlösen pro Flächeneinheit wie Getreide und Raps sein, die für ein ausreichendes Betriebseinkommen viel Fläche, dabei aber wenig Arbeitskräfte benötigen (Battermann & Theuvsen 2010). Auch die angebauten Sorten werden dementsprechend, also nach den Standortbedingungen und den nachgefragten Qualitäten, ausgewählt. Dies erfolgt häufig nach den Ergebnissen und Empfehlungen der Landessortenversuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. In diesen Versuchen wird zwar kein spezielles Merkmal für Trockentoleranz geprüft, jedoch werden die Versuchsflächen in unterschiedlichen Boden-Klimaräumen angelegt und die Ergebnisse getrennt nach diesen Anbauregionen veröffentlicht. Daher kann jeder Landwirt die Sorten auswählen, die unter den Bedingungen, die seinem eigenen Standort ähneln, am besten abgeschnitten haben. Hierbei ist, neben bestimmten agronomischen und qualitativen Eigenschaften, das wichtigste Auswahlkriterium der Ertrag.

Die Feldberegnung ist in Nord-Ost-Niedersachsen ein wichtiges Betriebsmittel, um die Ertragssicherheit zu erhöhen und einen größeren Spielraum für den Anbau wirtschaftlich interessanter Kulturarten zu schaffen. Entscheidend für den Betriebserfolg ist die Bewässerung insbesondere dann, wenn die Fläche knapp und teuer ist. Dann muss eine besonders hohe Flächenproduktivität erreicht werden, welche im Ackerbau am ehesten mit dem Anbau von Hackfrüchten wie Kartoffeln und Zuckerrüben oder mit Spezialkulturen wie der Braugerste zu realisieren ist. Diese Kulturen stellen wegen des häufig mit ihnen verbundenen Vertragsanbaus hohe Ansprüche an die Ertragssicherheit und die vom Verarbeiter bzw. dem Handel geforderten Qualitäten, wodurch meistens ein Zusatzwasserbedarf erforderlich ist. Das gilt für den Gemüsebau in noch stärkerem Ausmaß. Auch die Wirtschaftlichkeit anderer in der Fruchtfolge befindlichen Kulturen wie Getreide und Mais kann durch Bewässerung verbessert werden (Fricke & Riedel 2012a, 2012b). Daher sind für die bedeutendsten Ackerkulturen Beregnungsversuche durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen angelegt worden. Mit diesen soll geprüft werden, welche Ertrags- und Qualitätsverbesserungen durch eine optimale Wasserversorgung möglich sind und welche Zusatzwassergaben für eine gute Wirtschaftlichkeit des Anbaus mindestens erforderlich sind. Die wichtigsten Erkenntnisse aus einem 10-jährigen Versuch finden sich bei Fricke (2008).

Die Steigerung der Wassereffizienz ist auch auf bewässerten Standorten eine wichtige Aufgabe, damit neben dem natürlich am Standort vorhandenen Wasser ebenso das Zusatzwasser aus der Bewässerung so weit wie möglich in Ertrag umgesetzt wird. Hierfür kann unter anderem die Sortenwahl eine erfolgversprechende Maßnahme sein, wie eine Literaturobenauswertung von Grocholl (2011) ergab. Dieser Fragestellung wurde bisher im Projekt KLIMZUG-NORD nicht nachgegangen, da im Rahmen des EU-geförderten Projektes

AQUARIUS, mit dem eine enge Zusammenarbeit bestand, entsprechende Versuche angelegt wurden. Hierbei sollte zum einen festgestellt werden, ob es Sorten gibt, die in der Lage sind, auch ohne Beregnung auf trockenheitsgefährdeten Standorten gute Erträge und Qualitäten zu erreichen und zum anderen, welche Sorten besonders positiv auf Beregnung reagieren, also eine hohe Nutzungseffizienz des Zusatzwassers aufweisen. Da die Sorten häufig nur über einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung stehen war es ein weiteres Ziel, bestimmte allgemeingültige Merkmale zu finden, die eine besonders gute Trockentoleranz oder Effizienz der Wassernutzung unter den gegebenen Standortbedingungen erwarten lassen und die auch auf neue Sorten zutreffen könnten. Dieses Projekt wurde 2012 beendet. Einige Ergebnisse dieser Versuche sind dem Abschlussband zum Projekt zu entnehmen (Grocholl & Riedel 2012)

Um die Sicherheit der bisher getroffenen Aussagen zur Wassereffizienz verschiedener Sorten zu erhöhen und eine praxisgerechte Empfehlung insbesondere auch für die bisher weniger untersuchten Arten Kartoffel, Mais und Raps zu erarbeiten, sind die Versuche im Jahr 2013 im Rahmen des Projektes KLIMZUG-NORD weitergeführt worden.

### 3.2 Versuchsanlage

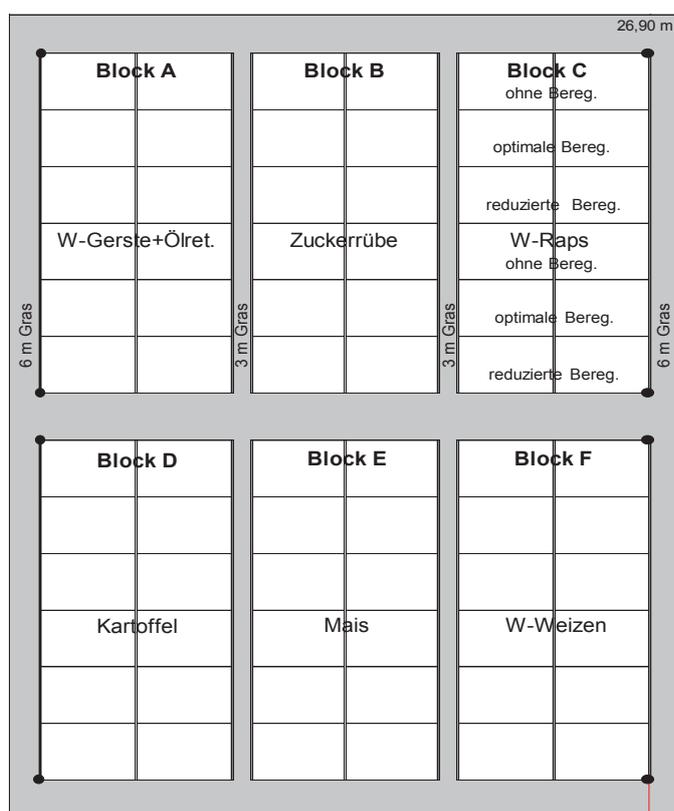


Abb. 3-1: Lageplan der Beregnungsversuche 2013

Die Sortenversuche mit Beregnung wurden als 2-faktorielle Spaltanlage in 4-facher Wiederholung (wie in Kap. 2 näher beschrieben) in fünf Kulturen angelegt (Abb. 3-1). Bei der sechsten Kultur Zuckerrübe stand die Bodenbearbeitung im Vordergrund (vgl. Kap. 8). Die Anordnung der Beregnungsvarianten war für alle Kulturen und Sorten gleich. Die drei Varianten waren unberegnert, reduziert und optimal beregnert. Der Beregnungseinsatz wurde nach der Bodenfeuchtigkeit im durchwurzelten Raum gesteuert. Bei reduzierter Beregnung trocknete der Boden bis auf 30-35 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) aus und bei

optimaler nur auf 50 % nFK. Wegen der Wurfweite des Düsenwagens von 9 m betrug die Länge der Parzelle für jede Berechnungsvariante 27 m. Die Beerntung erfolgte nur innerhalb des Kernbereichs, weil hier die volle Zusatzwassermenge sichergestellt war. Eine Randomisierung der Sorten war nur bei Weizen und Gerste möglich (Abb. 3-2). Die Anordnung erfolgte bei Raps, Kartoffeln und Mais mangels geeigneter Versuchstechnik in Streifen.

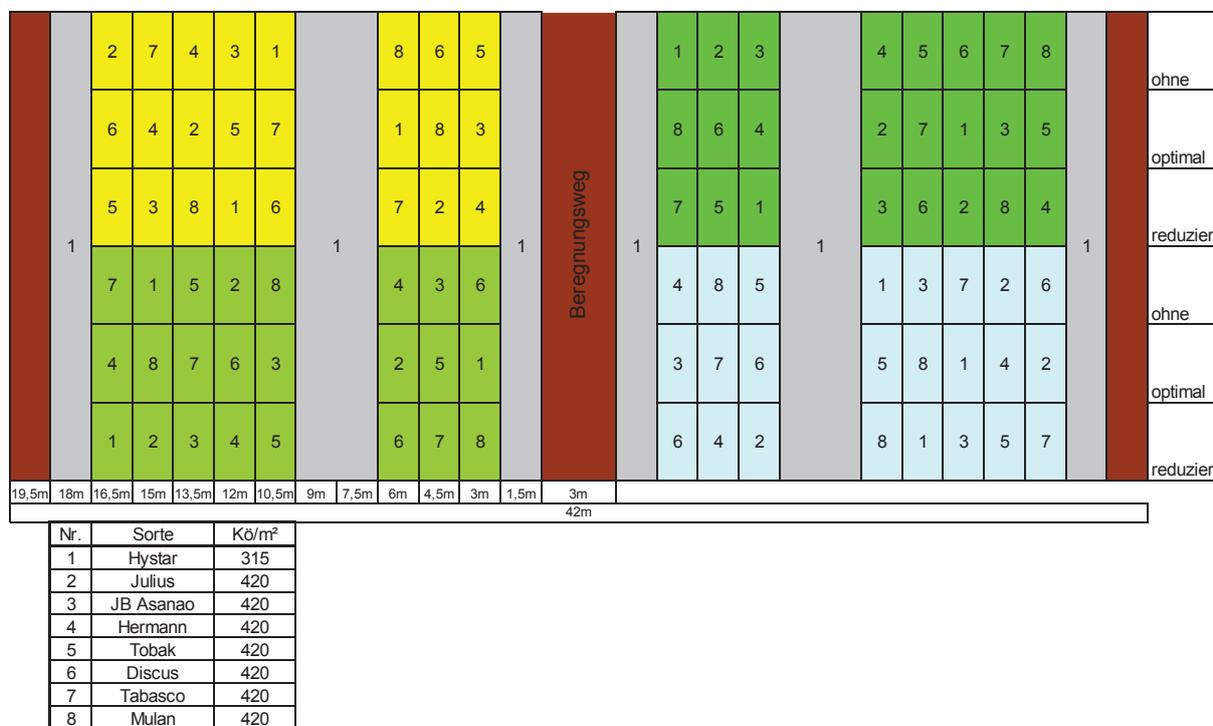


Abb. 3-2: Anordnung der Sorten am Beispiel von Winterweizen, 2013

### 3.3 Ergebnisse und Diskussion

#### Wintergerste

Tab. 3-1: Berechnung Wintergerste, 2013

Datum	BBCH	optimal berechnet (mm)	reduziert berechnet (mm)
06.05.13	37	25	
11.06.13	73	30	
18.06.13	75		25
<b>Summen</b>		<b>55</b>	<b>25</b>

Die Wasserversorgung im Mai und Juni 2013 war überwiegend ausreichend. Daher haben die beiden Zusatzwassergaben (Tab. 3-1) der optimalen Berechnung nur tendenziell zu einem etwas höheren Ertrag geführt (Tab. 3-2). Dieser Mehrertrag kann jedoch nicht statistisch abgesichert werden. In der reduzierten Variante fielen einen Tag nach der Berechnungsgabe 80 mm Niederschlag. Diese Gabe war daher nicht nur unnötig, sondern hat sogar zu einem Minderertrag geführt. Offenbar reagierte die Gerste in der Kornausbildungsphase empfindlich auf die nassen Bodenverhältnisse. Außerdem trat bei einigen Sorten verstärkt Lager in den berechneten Varianten auf. Darunter hat die Ausbildung der Körner deutlich gelitten, was an

den niedrigen Tausendkorngewichten (TKG) besonders der reduziert berechneten Variante sichtbar wird. Die hl-Gewichte waren weniger negativ beeinflusst.

Tab. 3-2: Ergebnisse Wintergerste 2013

Varianten	Korn- ertrag* (dt/ha)	Korn- ertrag relativ (%)	Ähren/m <sup>2</sup>	Kornzahl/ m <sup>2</sup> * 1.000	TKG (g)	Wasser- ausnutzung** (kg Gerste/mm Zusatzwasser)
unberechnet	<b>86,4</b>	96	652	16,0	56,4	
reduziert ber.	<b>79,8</b>	88	613	15,4	54,4	-26,2
optimal ber.t	<b>90,4</b>	100	635	17,2	55,5	7,3

\* Mittelwerte der Sorten, GD 5 % = 4,7 dt/ha

\*\* der Berechnungsvarianten gegenüber unberechnet

### Sortenunterschiede

Die besten Sorten waren in 2013 die Hybriden Zoom und Hobbit sowie die mehrzeiligen Liniensorten Leibniz und Souleyka. Dies trifft sowohl für die Varianten ohne als auch mit optimaler Berechnung zu.

Bei mehrjähriger Betrachtung ist die Rangfolge der Sorten jedoch etwas anders, weil die zweizeilige Sorte Zephyr in den beiden Trockenjahren 2011 und 2012 deutlich besser abschnitt als 2013, während Souleyka sowohl berechnet als auch unberechnet in den beiden Vorjahren im Ertrag abfiel. In der Abb. 3-3 sind die Sorten in der Rangfolge ihres Abschneidens ohne Berechnung dargestellt. Die drei besten Sorten sind in dieser Kategorie Leibniz, Hobbit und Zephyr. Es folgen Zoom, Metaxa und Souleyka im Mittelfeld. Die vergleichsweise schlechtesten Ertragsleistungen zeigten Highlight und Campanile, wobei letztere mit reduzierter Berechnung im Sortenvergleich vom letzten Platz zur Mitte hin aufrückte. Die Sorten Leibniz und Hobbit kamen mit allen Verhältnissen, trockenen wie feuchten, am besten zurecht. Sie schnitten in jedem Versuchsjahr nicht nur mit sondern auch ohne Berechnung am besten ab. Bei allen anderen Sorten gab es größere Ertragsschwankungen in den einzelnen Versuchsjahren und auch Unterschiede in der Reaktion auf Berechnung. So reagierte Zephyr mit geringeren Mehrerträgen auf Berechnung als z.B. Zoom, kam aber mit Ausnahme von 2013 bei Trockenheit besser zurecht als die Hybride. Bedeutende Unterschiede zwischen den Sortengruppen, also Hybrid-/Liniensorte oder mehrzeilige/zweizeilige Sorte, waren nicht erkennbar. In allen Gruppen waren gute und schlechtere Probanden zu finden. In der Kornqualität überzeugten die zweizeiligen Sorten und die Hybride Hobbit am meisten. Bei Sorten mit Neigung zu Lager (z.B. Zephyr) sollte auf eine ausreichende Behandlung mit Wachstumsreglern geachtet werden. Außerdem sollte die Berechnung (Intensität, Tropfengröße) mit Vorsicht und nicht zu spät durchgeführt werden.

### Fazit

Obwohl Sortenunterschiede im Kornenertrag auftraten, gibt es dennoch keine Sorte, die ohne Berechnung bei ausgeprägten Trockenperioden in der Hauptwachstumsphase der Gerste von April bis Juni akzeptable Erträge gezeigt hätte. Der Minderertrag ohne Berechnung im Vergleich zu optimaler Berechnung betrug bei den unberechnet besten vier Sorten im Jahresmittel 24,4 dt/ha oder 27,4 %. In Trockenjahren war diese Relation noch erheblich schlechter. Bei fast allen Sorten konnte der Ertrag durch die optimale Berechnung gegenüber einer reduzierten Berechnung nochmals deutlich gesteigert werden.

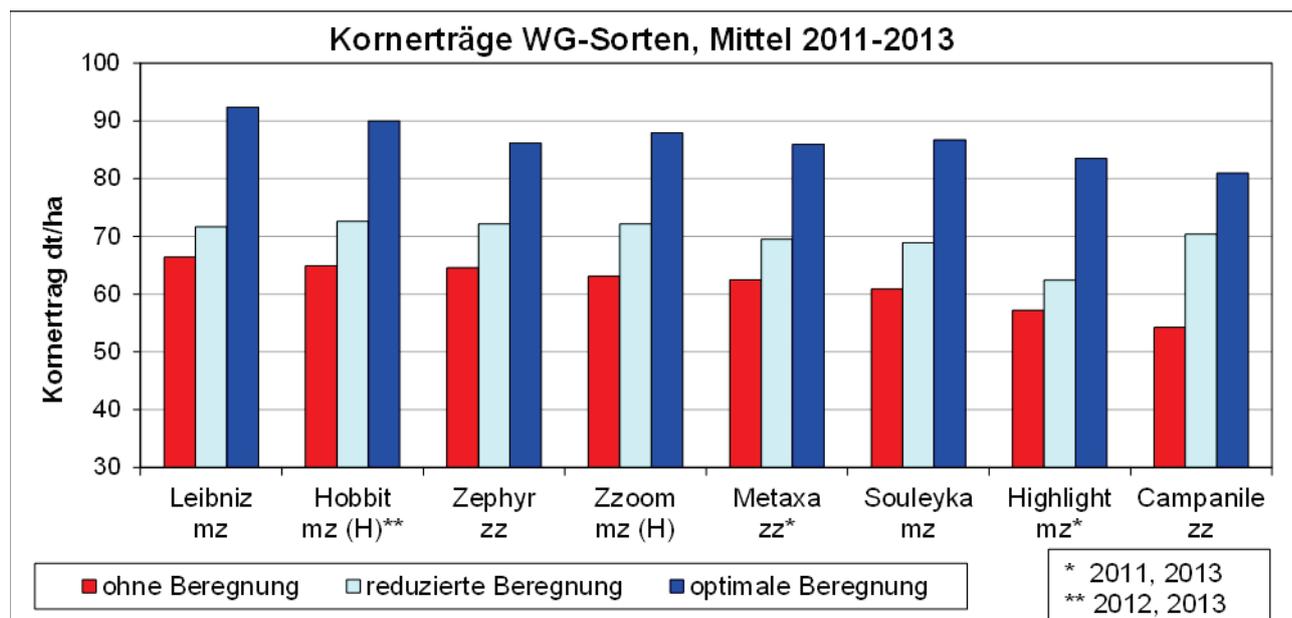


Abb. 3-3: Erträge Wintergerstensorten, Jahresmittel 2011-2013 (H = Hybridsorte, mz = mehrzeilig, zz = zweizeilig)

### Winterweizen

Tab. 3-3: Beregnung Winterweizen, 2013

Datum	BBCH	optimal beregnet (mm)	reduziert beregnet (mm)
11.06.13	59	30	
19.06.13	65		26
08.07.13	73	28	
17.07.13	75-83	23	23
<b>Summen</b>		<b>81</b>	<b>49</b>

Die feuchte und eher kühle Witterung im Frühjahr führte auch ohne Beregnung zu relativ hohen Bestandesdichten bzw. Korndichten (Körner je m<sup>2</sup>) und die optimale Beregnung begann erst spät zu Beginn der Blüte am 11. Juni (Tab. 3-3). Acht Tage später wurde die reduzierte Variante beregnet, worauf in den folgenden zwei Tagen 80 mm Niederschlag folgten. Anschließend fiel kaum noch Regen bis Ende Juli. In dieser Zeit trocknete der Boden stark aus, so dass in der Milchreife optimal noch zweimal, reduziert noch einmal beregnet wurde. Die letzte Gabe erfolgte für beide Varianten sehr spät. Die späten Sorten befanden sich am Ende der Milchreife, die frühen in der Teigreife.

Tab. 3-4: Ergebnisse Winterweizen, 2013

Varianten	Korn- ertrag* (dt/ha)	Korn- ertrag relativ (%)	Protein- gehalt (%)	Ähren/ m <sup>2</sup>	Korn- zahl/m <sup>2</sup> * 1.000	TKG (g)	Wasser- ausnutzung** (kg Weizen/ mm Zusatz- wasser)
unberechnet	<b>69,4</b>	91	12,0	549	15,4	45,2	
reduziert ber.	<b>74,3</b>	97	11,9	557	15,0	49,7	9,9
optimal ber.	<b>76,2</b>	100	11,9	573	16,0	47,8	8,4

\* GD 5 % = 2,0 dt/ha

\*\* der Berechnungsvarianten gegenüber unberechnet

Die Mehrerträge durch Beregnung waren 2013 sehr gering (Tab. 3-4) und führten zur schlechtesten Wasserausnutzung seit Beginn der Versuche 2006. Diese war allerdings noch etwas besser als bei der Gerste, weil die Abreifephase beim Weizen länger in der späten Trockenperiode verlief und daher das Zusatzwasser noch zumindest teilweise in Ertrag umgesetzt werden konnte. Die stärksten Effekte gab es überraschenderweise bei der reduzierten Beregnung mit 5 dt/ha im Sortenmittel, obwohl die 1. Gabe nicht oder sogar negativ gewirkt haben kann und die 2. Gabe sehr spät kam. Hier waren aber Sortenunterschiede zu beobachten (s.u.).

#### Sortenunterschiede

Diese waren 2013 in allen Varianten relativ gering. Ohne Beregnung lagen Hermann und Asano etwas über dem Durchschnitt. Mit Beregnung konnte Tabasco seinen Ertrag am stärksten steigern und er erzielte auch die höchsten Erträge in beiden Beregnungsvarianten. Damit bestätigen sich seine Schwäche bei Trockenheit und sein hohes Leistungsvermögen unter Beregnung aus den beiden Vorjahren. Tabasco sollte daher nur dort angebaut werden, wo eine ausreichende Wasserversorgung in der Vegetationsperiode (durch Niederschläge, hohe Wasserspeicherkapazität des Bodens oder Beregnung) sichergestellt ist.

Die Sorte Tobak bildet ebenfalls eine hohe Korndichte aus, konnte im Ertrag jedoch durch das zu geringe TKG bei Beregnung nicht mithalten. Diese Eigenschaften sind ähnlich wie bei Jenga, der Vorgängersorte im Versuch.

Im Gegensatz dazu steht JB Asano. Für die früh abreifende Sorte hatte die späte Trockenheit weniger negative Auswirkungen auf den Ertrag. Als Einzelährentyp ist ihre Korndichte gering und wurde durch Beregnung nicht beeinflusst. Das TKG war jedoch unberechnet sehr hoch und stieg bei optimaler Beregnung noch weiter an, wodurch der Ertrag noch etwas angehoben wurde. Dieses Ergebnis stimmt ebenfalls mit der Einstufung in 2010 und 2011 überein (Tab. 3.5). Hermann konnte in diesem Jahr ohne Beregnung eine hohe Korndichte trotz einer ungewöhnlich frühen Abreife mit einem hohen TKG kombinieren, was zu dem besten Ertrag in dieser Variante führte.

Die Sorte Julius enttäuschte in diesem Jahr etwas, weil sie im Gegensatz zu den beiden Vorjahren bei allen Varianten etwas unter dem Durchschnitt lag. Im Jahresmittel steht sie dennoch weit oben in der Rangfolge. Mulan schnitt in allen Varianten der Wasserversorgung sowohl 2013 als auch im Jahresmittel durchschnittlich ab.

Discus wies ohne Beregnung die geringsten Erträge auf und lag auch mit Beregnung unter dem Sortenmittel. Auch die Hybridsorte Hystar konnte im Jahresdurchschnitt ertraglich nicht

zufriedenstellen, obwohl sie mit Beregnung in diesem Jahr sogar relativ gut abgeschnitten hat.

Tab. 3-5: Erträge der WW-Sorten im Jahresmittel 2010, 2011 und 2013 (dt/ha)

Sorte	Reifezeit	Sortentyp	ohne Beregnung	reduzierte Beregnung	optimale Beregnung
<b>JB Asano</b>	früh	TKG	55,7	71,3	81,7
<b>Julius</b>	spät	TKG	53,2	73,6	83,9
<b>Hermann</b>	mittel	TKG	53,2	69,6	81,0
<b>Mulan</b>	früh	TKG	52,7	69,4	80,9
<b>Tabasco</b>	spät	Korndichte	49,5	74,3	85,5
<b>Hystar</b>	früh	Korndichte	48,7	64,4	75,3
<b>Discus</b>	mittel	Korndichte	48,4	68,8	76,6
<b>Jenga/Tobak</b>	spät	Korndichte	49,3	70,1	79,5
<b>Mittel</b>			51,3	70,2	80,5

### Fazit

Ohne Beregnung waren im Versuch bisher überwiegend solche Sorten, die ein hohes TKG oder ein gutes Kompensationsvermögen aufweisen im Vorteil, sogar bei später Trockenheit wie 2010 und 2013 (Tab. 3-5). Auch die Kornqualität ist dann häufig noch relativ gut. Korndichtetypen haben bei früher Trockenheit das Problem einer zu geringen Bestandesdichte oder zu kleiner Ähren. Bei später Trockenheit und hoher Korndichte reicht die Wasserversorgung oft nicht für eine gute Kornfüllung aus, worunter der Ertrag und die Kornqualität leiden. Bei guter Wasserversorgung können diese Sorten aber ihr genetisch veranlagtes hohes Ertragspotential nutzen. Bei frühen Korndichtetypen müssen die Voraussetzungen für eine gute Bestockung und Entwicklung der Ähre erfüllt sein. Dazu brauchen sie eine ausreichende Entwicklung vor Winter, d.h. eine nicht zu späte Aussaat, sonst kann auch Beregnung keine "Wunder" mehr bewirken.

Mit Beregnung änderte sich im Versuch die Rangfolge der Sorten. Unabhängig davon, ob reduziert oder optimal beregnet wurde, lag im Durchschnitt der drei Versuchsjahre der Winterweizen Tabasco an der Spitze, gefolgt von den Sorten Julius und JB Asano (Abb. 3-4). Durch den hohen Ertragszuwachs mit Beregnung ist auch die Zusatzwassereffizienz von Tabasco, also die Umsetzung des Beregnungswassers in Kornertrag, vergleichsweise hoch. Er erreichte 33,8 kg/mm Zusatzwasser bei reduzierter und 25,1 kg/mm bei optimaler Beregnung. Diese Werte sind bei JB Asano mit 21,4 bzw. 18,2 kg/mm schlechter. Discus dagegen zeigt mit 27,8 kg/mm zwar eine gute Zusatzwassereffizienz, überzeugt insgesamt aber nicht im Ertrag, weder mit noch ohne Beregnung. Bei der Einstufung der Sorten hinsichtlich ihrer Anbauwürdigkeit ist also nicht die Zusatzwassereffizienz allein ausschlaggebend, sondern auch das mit und ohne Beregnung erreichbare Ertragsniveau.

Besteht die Möglichkeit zur Beregnung, ist es im Sinne einer notwendigen hohen Flächenproduktivität von Vorteil, die Sorten mit dem höchsten Ertragspotential (in den Landessortenversuchen) bei ausreichender Wasserversorgung auszuwählen. Diese Sorten zeigen nach den bisherigen Ergebnissen auch mit einer reduzierten Beregnungsmenge bessere Erträge als allgemein schwächere Sorten. Die Beregnungseffizienz lässt sich noch steigern, indem die Steuerung der Beregnung sortenspezifisch erfolgt, d.h. an die speziellen Wasseransprüche der Sorte im Verlauf ihrer Entwicklung angepasst wird.

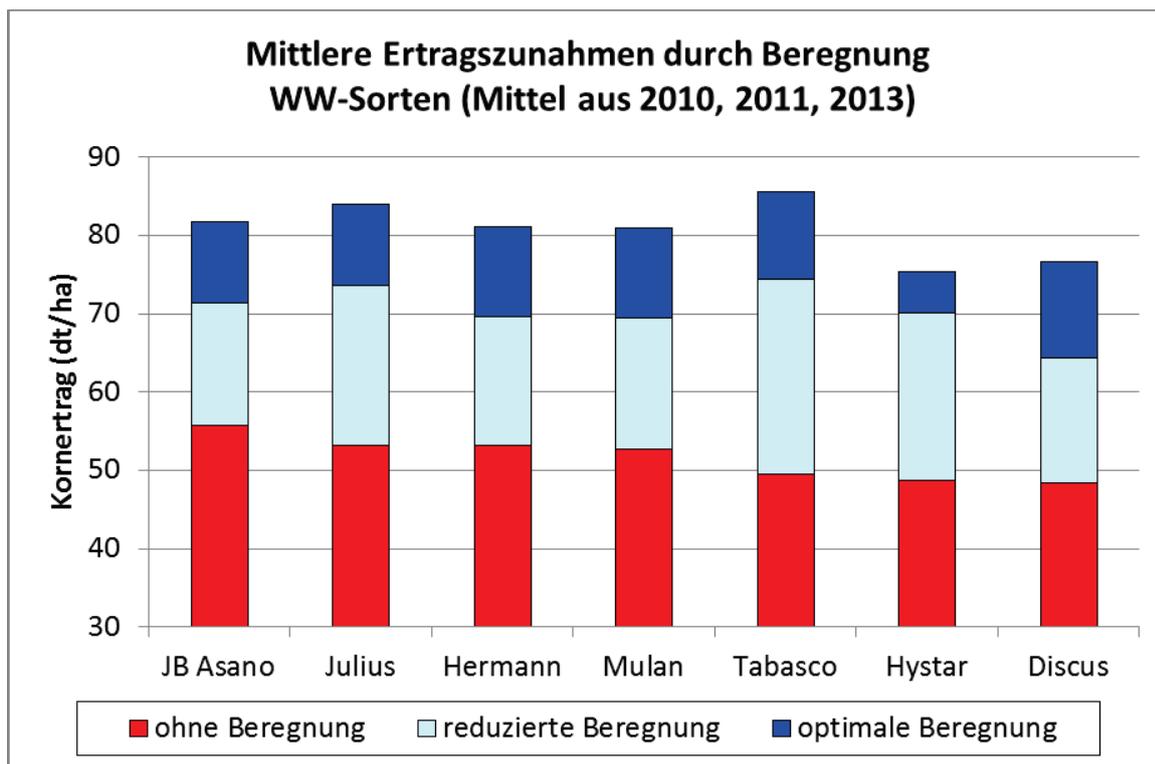


Abb. 3-4: Erträge Winterweizensorten, Jahresmittel 2011-2013

Ähnlich wie bei Wintergerste gab es keine Sorte, die ertraglich ganz ohne Beregnung zufriedenstellen konnte. Der Minderertrag ohne Beregnung im Vergleich zu optimaler Beregnung betrug bei den besten vier unberegneten Sorten im Jahresmittel 28,2 dt/ha oder 34,4 %.

### Winterraps

Tab. 3-6: Beregnung Winterraps, 2013

Datum	BBCH	optimal beregnet (mm)	reduziert beregnet (mm)
03.05.13	59	32	
11.06.13	73	30	30
<b>Summen</b>		<b>62</b>	<b>30</b>

Tab. 3-7: Beregnung Winterraps, 2013

Varianten	Korn-ertrag* (dt/ha)	Ölgehalt (%)	Ölertrag (dt/ha)	Ölertrag relativ (%)	Wasser-ausnutzung** (kg Korn/mm)
unberegnet	35,9	43,7	15,7	88	
reduziert beregnet	38,7	43,5	16,8	94	9,2
optimal beregnet	41,1	43,4	17,9	100	8,4

\* Mittelwerte über alle Sorten, GD 5 % = 4,2 dt/ha

\*\* der Beregnungsvarianten gegenüber unberegnet

Durch ergiebige Niederschläge Ende Mai und Mitte Juni war die Wasserversorgung über weite Strecken der Vegetationszeit abgesichert. Dennoch gab es Trockenperioden im April bis Anfang Mai und etwa zwei Wochen im Juni bis Mitte des Monats, in denen der Bodenwassergehalt unter 50 % der nFK abfiel. Die Blüte begann in diesem Jahr sehr spät, so dass die erste optimale Beregnungsgabe kurz vor Blühbeginn erst am 3. Mai erfolgte (Tab. 3-6). Die 2. Gabe kam dann spät im Juni, zeitgleich mit der einzigen Gabe der reduzierten Variante.

Im Sortenmittel führte sowohl die reduzierte Beregnung mit nur einer späten Gabe als auch die optimale Beregnung mit einer zusätzlichen frühen Gabe zu jeweils etwas höheren Erträgen. Statistisch abgesichert ist jedoch nur der Unterschied zwischen unberegneter und optimaler Beregnung (Tab. 3-7).

Tab. 3-8: Ergebnisse der Sorten, Winterraps 2013

Varianten	PR44D06 (Halbzweig)	PR46W20 (normal)	Visby (normal)
unberegneter	88	86	88
reduzierte beregneter	96	89	98
Optimal beregneter	100	100	100
100 % = dt/ha Korn	42,6	41,7	39,1

#### Sortenunterschiede

Die Sorten reagierten unterschiedlich auf die Beregnungsstufen (Tab. 3-8). Während die Halbzweigsorte PR44D04 und die Sorte Visby stärker auf die ausschließlich späte Beregnung ansprachen und die zusätzliche frühe Gabe kaum gewirkt hat, konnte die Sorte PR46W20 besonders die frühe Gabe in Ertrag umsetzen (höchster Ertragszuwachs zwischen reduzierter und optimaler Beregnung). Im Ertragsvergleich lagen die Sorten sehr nahe beieinander. Es gab keine statistisch abgesicherten Unterschiede. Die Halbzweigsorte konnte in diesem Jahr ertraglich überzeugen, wies aber keine besonderen Vorzüge ohne Beregnung auf. 2012 war die Halbzweigsorte den anderen Sorten ertraglich und qualitativ (Ölgehalt) unterlegen. In den Jahren 2010 und 2011 waren die Sortenversuche im Raps leider nicht auswertbar. Mittelwerte über eine längere Zeitspanne können daher nicht gebildet werden.

#### Fazit

Auch beim Raps ist es von Vorteil, sich an den ertragsstärksten Sorten zu orientieren. Halbzweigsorten wird ein besonderer Vorteil unter trockenen Bedingungen zugesprochen, weil sie ein relativ geringes Spross-/Wurzelverhältnis aufweisen sollen und somit die Wasserversorgung des Sprosses länger aufrecht erhalten bleiben können müsste. Ein entsprechender Mehrertrag ohne Beregnung im Vergleich mit Normalstrohsorten konnte in zwei Versuchsjahren bisher nicht belegt werden. Eine reduzierte Beregnung, die nicht zu früh einsetzt, reicht im Raps in den meisten Jahren aus.

## Speisekartoffeln

Tab. 3-9: Berechnung Kartoffeln, 2013

Datum	BBCH	optimal berechnet (mm)	reduziert berechnet (mm)
18.06.13	51	20	
04.07.13	62	18	
08.07.13	65		28
11.07.13	67	22	
17.07.13	72	25	31
23.07.13	79	27	
25.07.13	79		24
31.07.13	91	23	
09.08.13	93	15	15
<b>Summen</b>		<b>150</b>	<b>98</b>

Die Pflanzung der Kartoffeln erfolgte am 22. April, die Sikkation am 13. August.

Hauptberechnungsmonat war der Juli. Die Gaben in diesem trockenen Monat erfolgten alle 6-7 Tage bei optimaler Berechnung (Tab. 3-9). Insgesamt wurden die Kartoffeln in dieser Variante 7 Mal beregnet, reduziert dagegen nur 4 Mal mit späterem Beginn und größeren zeitlichen Zwischenräumen. Dabei betrug die Differenz im Wasseraufwand 52 mm.

Tab. 3-10: Ergebnis Speisekartoffeln, 2013

Variante	Markt- ertrag* (dt/ha)	Speise- ertrag* (dt/ha)	Sort. <35 (%)	Sort. 35-65 (%)	Sort. >65 (%)	Schorf (%)	Wasser- ausnutzung** (kg/mm)
unberechnet	453	<b>429</b>	3,4	<b>91,5</b>	5,1	1	
reduziert ber.	573	<b>532</b>	1,9	<b>91,1</b>	7,0	1	121,8
optimal ber.	635	<b>564</b>	2,0	<b>87,1</b>	10,9	0,5	121,0

GD 5%: 41 dt/ha , relativ 6,3 % (Mittel aus vier Sorten)

\* Marktertrag = Gesamtertrag abzgl. Untergrößen, Speiseertrag = mittlere Sortierung

\*\* Mehrertrag Marktertrag der Berechnungsvarianten gegenüber unberechnet

Die Beregnung führte zu einem deutlichen Mehrertrag von 182 dt/ha (optimal) gegenüber den unberechneten Kartoffeln (Tab. 3-10). Auch zwischen den Beregnungsstufen war noch ein Ertragsunterschied von 10 % zu beobachten, woraus sich eine gleich hohe Wasserausnutzung ergab.

Zur Qualität der Knollen lässt sich Folgendes feststellen: Die Knollengrößenverteilung war in diesem Jahr relativ ausgeglichen. Der Übergrößenanteil nahm mit steigender Beregnungsintensität zu Lasten der mittleren Sortierung etwas zu. Er fiel jedoch erheblich geringer aus als 2012. Der Anteil an Untergrößen war ohne Beregnung leicht erhöht. Der Schorfbefall war 2013 sehr gering und es wurden, im Gegensatz zum Vorjahr, keine Unterschiede zwischen beregnet und unberechnet festgestellt. Nur bei der Puppigkeit, die speziell bei der Sorte Cilena und in geringerem Umfang auch bei Milva auftrat, war in den

Varianten ohne und mit reduzierter Beregnung die Häufigkeit gegenüber optimaler Beregnung etwas erhöht. Der Stärkegehalt war mit durchschnittlich 12,8 % etwas höher als in den Vorjahren. Er nahm mit Beregnung um 1 %-Punkt ab.

Sortenunterschiede

Ohne Beregnung lag 2013 im Ertrag die Sorte Milva vorn. Mit Beregnung holte Soraya auf. Der Ertragszuwachs von Soraya wurde jedoch von einer besonders starken Zunahme des Übergrößenanteils begleitet, so dass der Ertrag an Speiseware (mittlere Knollengrößen) bei optimaler Beregnung kaum anstieg und unter dem Wert von Milva blieb.

Eine Ursache dafür könnte die geringe Knollenanzahl bei Soraya sein (15 Knollen/Staude gegenüber 21 bei den anderen Sorten). Diese Sorte hat die Knollenzahl im Verlauf der Entwicklung sehr stark reduziert, wobei das nicht von der Beregnung abhängig war. Eine Reaktion der Knollenanzahl auf Beregnung zeigte in diesem Jahr nur Milva, bei der die optimaler Beregnung zur geringsten Knollenreduktion führte.

Princess lag ertraglich in etwa auf dem Durchschnittsniveau. Cilena fiel gegenüber den anderen Sorten in allen Varianten der Wasserversorgung deutlich ab.

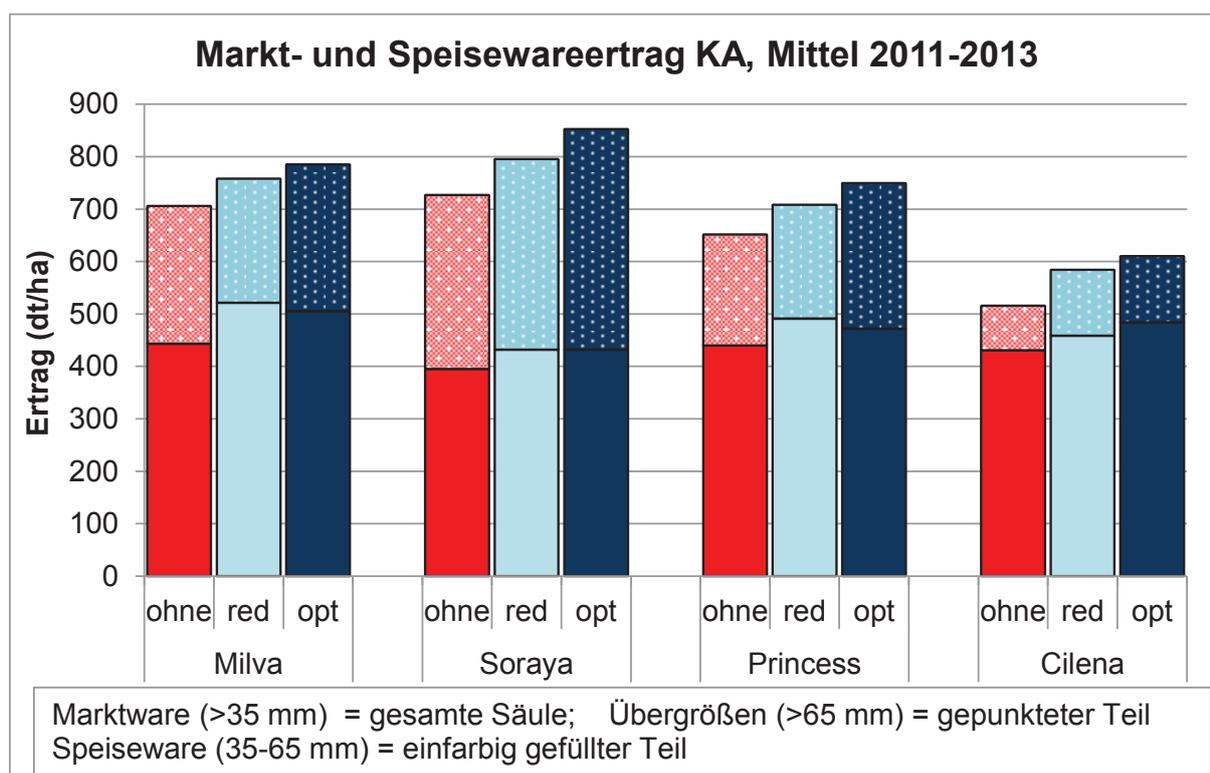


Abb. 3-5: Erträge Speisekartoffelsorten mit Markt- und Speisewarenanteilen, Jahresmittel 2011-2013

Im Mittel der drei letzten Versuchsjahre erwies sich Soraya als die ertragsstärkste Sorte, die zugleich auch auf Beregnung mit der höchsten Ertragssteigerung reagierte (Abb. 3-5). Das ging jedoch zu Lasten der mittleren Knollengrößen, also des Speisewareanteils, der im Durchschnitt am geringsten von allen Sorten ausfiel. Milva wies geringere Ertragsunterschiede mit und ohne Beregnung auf. Wegen ihrer gleichmäßigeren Knollengrößenverteilung erreichte sie die höchsten Speisewareerträge mit Beregnung. Unberegnet liegt sie hierbei auf gleicher Höhe mit Princess und Cilena. Die einzige Sorte mit

einer Zunahme des Speisewareanteils bei optimaler gegenüber reduzierter Beregnung ist Cilena. Sie gehört zu den besonders beregnungsbedürftigen Sorten, weil bei ihr durch Beregnung nicht nur die gesamte Erntemenge sondern auch die Qualität und damit der vermarktungsfähige Knollenanteil deutlich erhöht werden kann. Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Sortenreaktionen hinsichtlich der Übergrößen sind von den Preisen für diese Fraktion im jeweiligen Jahr abhängig. Sind die Vermarktungsmöglichkeiten vorher bekannt, kann u.a. durch die Sortenwahl und die Beregnungssteuerung Einfluss auf die Knollengrößenverteilung genommen werden.

### Fazit

Ähnlich wie beim Getreide zeigen allgemein ertragsstarke Sorten sowohl mit als auch ohne Beregnung die höchsten Erträge. Die Sorten Milva und Soraya können jedoch als relativ trockentolerant eingestuft werden, weil sie die höchsten Marktware-Erträge und eine gute Kompensationsfähigkeit hinsichtlich der Knollenanzahl und des Knollenwachstums in der Reaktion auf Trockenstress aufweisen. Milva bietet noch zusätzlich den Vorteil eines geringeren Anteils von Übergrößen und damit, je nach deren Vermarktbarkeit, evtl. einen höheren Anteil gut zu verkaufender Ware. Zudem ist ihr Geschmack besser als der von Soraya einzuordnen. Princess hat den Vorteil eines hohen mittleren Knollengrößenanteils besonders bei reduzierter Beregnung und kann daher als mäßig trockentolerant bezeichnet werden. Cilena ist dagegen nicht trockentolerant und benötigen für gute Erträge und Qualitäten immer eine optimale Wasserversorgung. Cilena und Princess sind beim Verbraucher wegen ihres guten Geschmacks und Aussehens sehr beliebte Sorten und haben daher besonders in der Direktvermarktung zur Zeit noch eine große Bedeutung.

Bei der Beregnungssteuerung in Kartoffeln ist wichtig, welches Segment an Knollengrößen vorrangig produziert werden soll bzw. vermarktet werden kann. Bei einer großen Sortierung ist es wichtig, bis kurz vor der Abreife bzw. Sikkation stets eine optimale Wasserversorgung aufrecht zu erhalten, damit das Knollenwachstum ohne Unterbrechung erfolgen kann. Werden kleinere Sortierungen gewünscht, sollte besonders im letzten Drittel der Vegetationszeit etwas reduzierter beregnet und evtl. die Beregnung früher beendet werden, um das Wachstum der Knollen nicht zu sehr zu fördern. Sortenbedingte Unterschiede sind dabei unbedingt zu berücksichtigen.

Die Ertragsunterschiede mit und ohne Beregnung sind auch bei den beiden etwas trockentoleranteren Sorten hoch. Der Minderertrag betrug bei diesen ohne Beregnung im Vergleich zu optimaler Beregnung im Jahresmittel 102 dt/ha oder 12,5 %. Das bedeutet einen finanziellen Vorteil der optimalen Beregnung von mehr als 1000 € pro ha und Jahr im Durchschnitt.

### **Silomais**

Tab. 3-11: Beregnung Silomais, 2013

Datum	BBCH	optimal beregnet (mm)	reduziert beregnet (mm)
17.07.13	34	30	
22.07.13	51		35
23.07.13			
24.07.13	51	30	

Datum	BBCH	optimal berechnet (mm)	reduziert berechnet (mm)
29.07.13	53		30
06.08.13	63	18	
15.08.13	67	30	
28.08.13	73	30	
<b>Summen</b>		<b>138</b>	<b>65</b>

Kurz vor dem Rispschieben Mitte Juli war der Boden bis auf 50 % der nFK ausgetrocknet, weshalb die erste Berechnungsgabe in der optimalen Variante erfolgte. Fünf Tage später, bei beginnendem Blattrollen, wurde dann auch die reduzierte Variante zum ersten Mal berechnet. Während des Rispschiebens erhielten beide Varianten noch eine Gabe. Ab August vom Stadium der Blüte bis zum Beginn der Milchreife mußten sich die reduziert berechneten Pflanzen ausschließlich aus dem Boden versorgen. Am Ende des Monats im Stadium der Milchreife war die Bodenfeuchtigkeit bis auf 15 % der nFK bis 60 cm Tiefe ausgeschöpft. Ohne Beregnung war der Bodenfeuchtegehalt bereits Anfang August auf 10 % der nFK abgefallen. Der Mais konnte sich dann nur noch aus dem Unterboden versorgen. Die Pflanzen waren deutlich kürzer und die Kolben kleiner. Die Trockenheit hatte dementsprechend auch Ertragsverluste in Höhe von 68 dt TM /ha oder 30 % zur Folge. Der Trockenmasseertrag der reduziert berechneten Variante lag nur um 26 dt TM/ha unter dem der optimal berechneten, obwohl 73 mm weniger beregnet wurden (Tab. 3-11 und Tab. 3-12). Die Wasserausnutzung war daher mit 65,6 kg TM/mm sehr gut und auch höher als in den vergangenen acht Versuchsjahren.

Der Energiegehalt, der hier über den Stärkegehalt charakterisiert wird, war relativ hoch. Er nahm durch Beregnung noch leicht zu. Zwischen den Beregnungsvarianten gab es jedoch keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 3-12: Ergebnisse Silomais, 2013

Varianten	TM- Ertrag* (dt/ha)	TM- Gehalt (%)	TM-Ertrag relativ (%)	Stärke- gehalt (%)	Pflanzen- länge (cm)	Wasser- ausnutzung** (kg/mm)
unberechnet	<b>165,6</b>	30,3	71	34,1	237,5	
reduziert ber.	<b>208,3</b>	33,3	89	36,6	305,0	65,6
optimal ber.	<b>233,9</b>	32,5	100	36,9	315,0	49,4

\* GD 5%: 11 dt/ha, Ergebnisse der Vergleichssorte Franki

\*\* Mehrertrag Trockenmasse der Beregnungsvarianten gegenüber unberechnet

#### Sortenunterschiede

Franki ist den anderen drei Sorten im Versuch sowohl mit als auch ohne Beregnung ertraglich überlegen. Die Ertragsunterschiede nahmen mit der Verbesserung der Wasserversorgung durch Beregnung noch deutlich zu. Allerdings hat diese spät abreifende Sorte das Problem, dass der Ausreifegrad und somit der TM-Gehalt, aber auch der Stärkegehalt zum Erntezeitpunkt häufig nicht ausreichend sind. Grosso und LG 3216 lagen ertraglich nahe beieinander. Die körnerbetonte Sorte Grosso erreichte aber höhere Stärkegehalte (41% im Mittel) und lag somit im Energieertrag noch vor LG3216. Die kurze

Sorte Mazurka wies ohne Beregnung den geringsten Minderertrag auf, was ein Merkmal für Trockentoleranz sein kann. Außerdem blieben ihre Blätter unter trockenen Bedingungen am längsten grün. Jedoch liegt sie auch ohne Beregnung knapp unter den Erträgen der anderen Sorten, weshalb diese Sorte unter den Bedingungen des Versuchs und im Verhältnis zu den anderen Sorten mit allgemein höherem Ertragspotential nicht als trocken tolerant bezeichnet werden kann. Mit Beregnung wurden die Ertragsunterschiede zu den anderen Sorten noch größer. Die Stärkegehalte wurden durch die Beregnung in geringem Ausmaß beeinflusst. Tendenziell nehmen sie bei optimaler Beregnung leicht ab, allerdings nicht in jedem Jahr und nicht bei jeder Sorte.

### Fazit

Auch beim Silomais zeigen die Sorten mit einem hohen Ertragspotential sowohl mit als auch ohne Beregnung die höchsten Erträge. Die besten Sorten im Versuch waren in allen Varianten der Versorgung Franki und Grosso, knapp gefolgt von LG3216 (Abb. 3.6). Großrahmige Sorten haben ein höheres Ertragspotential als kleinrahmige, eher kurze Sorten wie Mazurka, was besonders bei guter Wasserversorgung genutzt werden kann, aber auch bei mittlerer Wasserversorgung noch zum Tragen kommt. Es konnte keine Sorte gefunden werden, die ohne Beregnung besonders gut gewesen ist. Allerdings konnten auch nur vier Sorten aus dem sehr großen Sortenangebot beim Silomais geprüft werden.

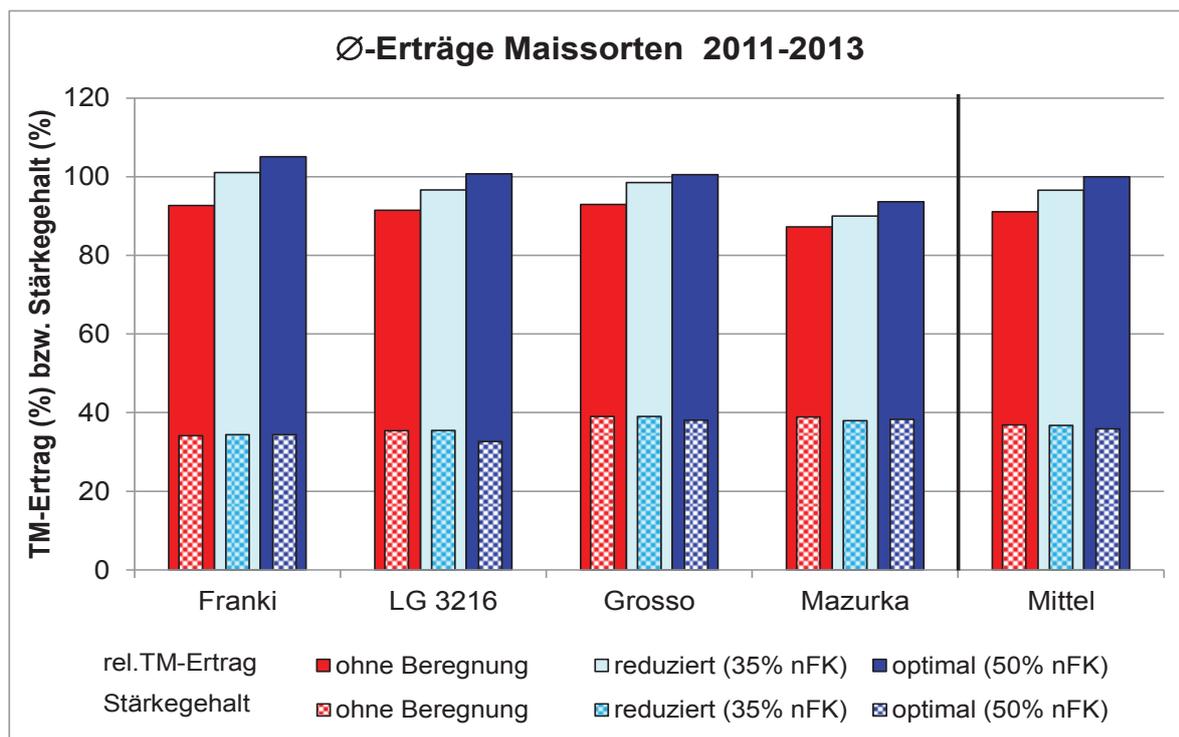


Abb. 3-6: Erträge Silomaisorten mit Stärkegehalten, Jahresmittel 2011-2013

Im Mittel der drei Versuchsjahre und der Sorten waren die Mindererträge ohne Beregnung allerdings relativ niedrig mit 9 % bzw. 26 dt/ha Trockenmasse. Nur 2013 war ein Trockenjahr für Mais. In diesem Jahr fiel der Minderertrag mit fast 70 dt/ha deutlicher aus. Die Beregnung dient also hauptsächlich der Risikoabsicherung, also der Sicherstellung eines bestimmten benötigten Ertragsniveaus. Hierfür reicht im Mittel der Jahre eine reduzierte Beregnung aus. Die Qualitätserfordernisse, z.B. hinsichtlich des Energiegehalts wurden hierbei erreicht, tendenziell sogar besser als bei intensiverer Beregnung.

### 3.4 Fazit und Ausblick

Die geprüften Arten und Sorten unterschieden sich hinsichtlich ihrer Reaktionen auf Trockenstress und auf Beregnung. Es konnte jedoch bei keiner Kultur eine besonders trockenheitstolerante Sorte gefunden werden, die ohne Beregnung bei länger andauernder Trockenheit nur einen geringen Minderertrag bei gleichzeitig höherem Ertragsniveau als die Vergleichssorten aufwies.

Die Eigenschaft "Trockenheitstoleranz" setzt sich aus sehr unterschiedlichen Merkmalen zusammen. Hierzu gehört z.B.:

- hohe Ausschöpfung des Bodenwassers durch intensive und tiefreichende Durchwurzelung,
- geringerer Wasserbedarf durch eine niedrigere Verdunstung,
- hohe Kompensationsfähigkeit zwischen den ertragsbildenden Faktoren,
- wichtige und sensible Entwicklungsphasen außerhalb häufiger Trockenperioden .

Unter intensiven Anbaubedingungen ist eine Bedingung für die Anbauwürdigkeit einer Sorte zusätzlich immer ihr hohes Ertragspotential.

Für einige Kulturen wie z.B. Winterweizen konnten Sortentypen identifiziert werden, die unter trockenen Standortbedingungen bessere Leistungen zeigten als andere. Um diese Ergebnisse abzusichern und auch für andere Kulturen solche Merkmale zu finden, müssten noch weitaus mehr Sorten auf ihre Trockenheitstoleranz in Versuchen geprüft werden.

Die Auswahl der Sorten in einem landwirtschaftlichen Betrieb sollte nach ihren nachhaltig, also über mehrere Jahre konstant erreichbaren, guten Erträgen an dem betreffenden Standort sowie den erforderlichen Qualitätseigenschaften erfolgen. Sorten, die ihr hohes Ertragspotential nur bei gutem Wasserangebot ausnutzen können, kommen für Standorte mit Trockenheitsrisiko aber ohne Beregnungsmöglichkeit nicht in Frage. Zur Verringerung des Risikos von Ertragseinbrüchen in Trockenjahren kann es sinnvoll sein, mehrere Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften, z.B. verschiedenen zeitlichen Ansprüchen an die Wasserversorgung (früh- und spätreife Sorten), anzubauen.

Bei vorhandener Beregnungsmöglichkeit sind häufig ebenfalls die als trockentolerant identifizierten Sorten die besten. Allerdings können dann auch etwas sensiblere Sorten zum Einsatz kommen, sofern sie mit der guten Wasserversorgung durch Beregnung besonders hohe Erträge oder Qualitäten erzielen und somit eine hohe Effizienz bei der Verwertung des Zusatzwassers aufweisen. Eine Reduzierung der Beregnung ist prinzipiell mit allen Sorten möglich. Jedoch müssen dann Abschläge im Ertrag hingenommen werden, deren Höhe auch von der Kulturart abhängig ist. Die Mindererträge können teilweise verringert werden, wenn die Steuerung der Beregnung auf die spezifischen Ansprüche der Sorte an den Wasserbedarf im jeweiligen Entwicklungsstadium abgestimmt wird.

Aus Abb. 3-7 wird ersichtlich, dass die Kulturen unterschiedlich auf Beregnung reagieren. Die höchsten Mehrerträge zeigte der Weizen, gefolgt von Speisekartoffeln und Wintergerste, die geringsten der Silomais. Noch geringer waren im Versuch die Mehrerträge von Raps (hier wegen der geringen Anzahl an Versuchsjahren nicht dargestellt). Die positiven monetären Auswirkungen der Beregnung (Mehrerlöse mit Beregnung abzüglich der Beregnungskosten) sind bei der Speisekartoffel am höchsten. Es ist daher sinnvoll, diese Kultur in der Fruchtfolge zu haben, wenn die Möglichkeit zur Beregnung besteht. Andere Früchte, die nicht im Versuch standen, wie Braugerste und Feldgemüse reagieren ebenfalls sehr positiv auf Beregnung bzw. sind im Anbau ohne die Bereitstellung von Zusatzwasser

gar nicht wirtschaftlich. Bei knappen Ressourcen sollte die Beregnung dort bevorzugt eingesetzt werden, wo der größte ökonomische Vorteil erwartet werden kann.

Bei vorhandener Möglichkeit zur Beregnung ist die Auswahl an Kulturen für Trockenstandorte höher. Ohne dieses Produktionsmittel sind besonders beregnungsbedürftige Kulturen nicht anbauwürdig, weil das Risiko von Ertragsausfällen oder schwer zu vermarktenden Qualitäten zu hoch ist. Der Anbau verschiedener Kulturen und Sorten mit unterschiedlichen Anforderungen der Hauptvegetations- und Beregnungszeiträume hilft auch dabei, die vorhandene Technik kostengünstig über die ganze Vegetationsperiode hinweg einzusetzen und Engpässe in der Versorgung zu vermindern. Ein positiver Effekt der Beregnung kann daher auch eine größere Vielfalt in der Fruchtfolge sein.

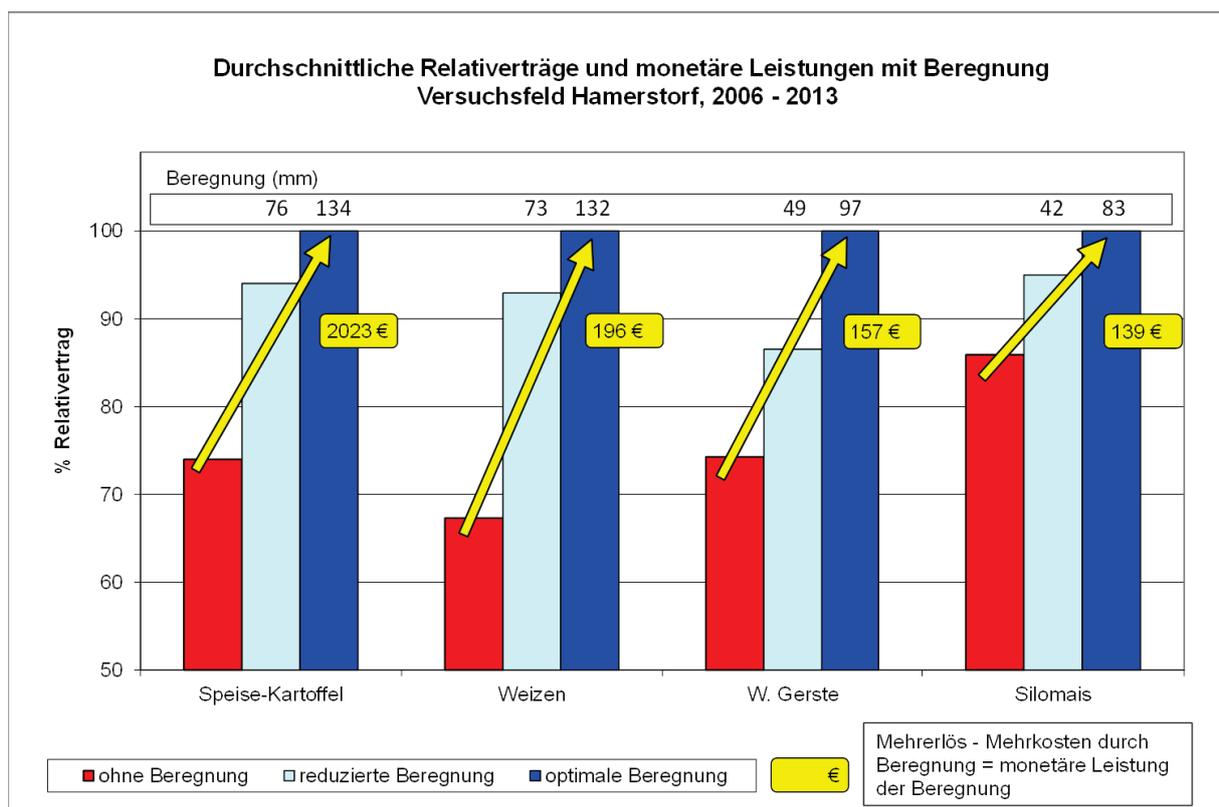


Abb. 3-7: Leistungen verschiedener Kulturen mit Beregnung im Mittel der Jahre 2006-2013

## 4 Alternative Kulturpflanzen: Teff, der schwierige Weg einer Kulturpflanze nach Europa

*Regina Asendorf, Dominik Feistkorn, Robert Schossow*

### 4.1 Veranlassung

Aufgrund der projizierten Klimaveränderung mit einer Zunahme von Sommertrockenheit, wurde die Anbautauglichkeit von *Eragrostis tef* in Norddeutschland (Versuchsstation Hamerstorf/Landkreis Uelzen) von 2010 bis 2013 im Rahmen von KLIMZUG-NORD untersucht. Ziel dieser Versuche ist es, Erfahrungen im Umgang mit der neuen Kulturart zu sammeln, Möglichkeiten und Grenzen ihres Anbaus in Norddeutschland zu testen sowie Qualitätsmerkmale und Verarbeitungspotentiale des Teff-Getreides darzustellen.

Teff wurde für die Versuche gewählt, da es in mehrfacher Hinsicht eine interessante Kulturpflanze ist.

*Eragrostis tef* gehört zur Familie der Süßgräser (*Poaceae*). Es ist eine einjährige C4-Pflanze und liegt zwischen den tropischen und den gemäßigten Gräsern. Die Pflanze wächst in feinstieligen Horsten mit vielen Vegetationspunkten. Der Blütenstand ist eine offene Rispe und produziert kleine Samen (TKG 0,3 bis 0,4 g; Abb. 4-1). Die Pflanze wurzelt flach und entwickelt ein dichtes faseriges Wurzelsystem. In Äthiopien wird es bis in 3.000 m Höhe angebaut. Die höchsten Erträge werden in einer Höhe von 1.800 bis 2.100 m bei einem Niederschlag von 450 bis 550 mm und in einem Temperaturbereich von 10 bis 27 °C erreicht. Teff ist eine Langtagpflanze und blüht am besten bei zwölf Stunden Tageslicht. Die Aufwuchshöhe der Pflanze liegt je nach unterschiedlichen Varianten und Standortverhältnissen zwischen 20 und 120 cm.



Abb. 4-1: Rispe und Korn von *Eragrostis tef*

Teff ist sehr anspruchslos und erträgt sowohl Dürreperioden als auch Staunässe. Dadurch kann das Getreide auch ohne Bewässerung produziert werden. Teff ist vergleichsweise krankheits- und schädlingsresistent. Bei der Produktion kann weitestgehend auf chemische Pflanzenschutzmittel verzichtet werden. Teff wird als Nahrungsmittel und als Viehfutter in Afrika und dort hauptsächlich in Äthiopien genutzt (Ketema 1989).

Besonders interessant ist Teff für die Ernährung. Als glutenfreies Getreide mit hohem Nährwert sowie guten Backeigenschaften ist Teff besonders wertvoll für Zöliakie-Patienten.

Darüber hinaus enthält es viele essentielle Aminosäuren, wie z.B. Lysin, das in Getreide unzulänglich vorhanden ist. Teff enthält mehr Lysin als Gerste, Hirse und Weizen und etwas weniger als Reis oder Hafer. Außerdem sind Vitamin B1 und B2 sowie Albumin zu nennen. Teff enthält viel Eisen, Fasern und einen größeren Gehalt an Calcium, Kalium und anderen essentielle Mineralstoffe als andere Getreidearten. Aufgrund seiner Nährstoffzusammensetzung wird Teff eine vorbeugende Wirkung vor Diabetes zugeschrieben. Hierzu gibt es Studien aus Israel, die Emigranten aus Äthiopien untersucht haben (Ketema 1997).

Diese positiven Eigenschaften machen Teff zu einer interessanten Alternative zu herkömmlichen Getreidearten.

## 4.2 Versuchsanlage

Der Standort der Versuchsanlage in Hamerstorf liegt 51 m ü.N.N. und der durchschnittliche Niederschlag wird mit 622 mm pro Jahr angegeben. Der Bodentyp des Versuchsstandortes ist Sand mit einer Bodenzahl von 27. Damit handelt es sich um einen leichten Boden, der schnell zur Austrocknung neigt. Er wurde gewählt, um die Kulturart *Eragrostis* auf ihre Trockenheitsbelastbarkeit zu testen.

Bei der Versuchsanordnung 2010-2013 sollte Teff unter verschiedenen Aspekten untersucht werden. Da bekannt ist, dass Teff sehr leicht zur Lagerung neigt, wurde 2010 eine Variante mit Wachstumsreglern geplant, die aber durch die anhaltende Trockenheit in dem Jahr nicht durchgeführt werden konnte.

Die Pflanzenernährung stellte die nächste wichtige Frage in dem Versuch dar. Es wurden drei Stickstoffdüngestufen gewählt: 0 kg N/ha, 30 kg N/ha und 60 kg N/ha. Die restlichen Versuche wurden mit 30 kg N/ha gedüngt. Auf alle Versuche wurde eine Grunddüngung von 24 kg P und 48 kg K je ha ausgebracht.

Das äußerst feine Saatgut warf die Frage auf, wie hoch die optimale Saatstärke für diese Kulturpflanze sein könnte. Um dies zu klären, wurden 2010-2013 vier verschiedene Saatstärken gewählt: 800, 1000, 1200 und 1400 Körner/m<sup>2</sup>. Wie fein das Saatgut ist, lässt sich daran abschätzen, dass 1400 K/m<sup>2</sup> gerade einmal 8 g ausmachen.

Um die Durchsetzungskraft von Teff gegenüber Unkräutern zu überprüfen wurde ein „Ökoversuch“ angelegt, in dem kein Herbizid eingesetzt wurde.

Als Vorfrucht standen auf dem Versuchsfeld Kartoffeln. Die Bodenbearbeitung wurde mit einem Grubber durchgeführt, was im Nachhinein zu Problemen mit Verunkrautung führte.

Es wurde auf die vorhandene Drilltechnik auf der Versuchsstation zurückgegriffen. Es handelt sich dabei um eine Parzellendrillmaschine der Firma Hege, welche mit

Scheibenschaaren ausgerüstet ist. Um den für die Berechnung der Aussaatmenge erforderlichen Parameter der Keimfähigkeit zu ermitteln, wurde für die vier Teffsorten eine Keimfähigkeitsbestimmung durchgeführt.

### 4.3 Ergebnisse

#### Saatgut

Teff, das in Äthiopien angebaut wird, ist entweder eine Selektion von Landrassen oder weiterentwickelte Sorten, die an spezielle geografische Regionen angepasst ist ( $2n=40$ ). Es sind 34 äthiopische Teff-Kulturen aufgrund von morphologischen Merkmalen benannt worden (Ebba 1975). Teff wird in drei Haupttypen unterschieden: weißes, rotes und braunes Teff. Weißes Teff wächst nur im Hochland Äthiopiens und ist in der Herstellung am teuersten. Es war in Äthiopien den wohlhabenden und privilegierten Familien vorbehalten. Das rote Teff hat den höchsten Eisen-Gehalt (62,71 mg/40 oz). Es ist günstiger in der Produktion.

Sorten, die in den USA erhältlich sind, sind „Dessie“ Sommerliebesgrass (Carlson, Idaho), S.D. 100 (Boe et al. 1986) und „Bridger“ (Eckhoff et al. 1997). Teff wurde ebenfalls von Pflanzeneinführungen gepflanzt, die bei der USDA Western Region Germplasm Center in Pullman, Washington verfügbar sind. Kleine Mengen Teff-Saat von 371 Pflanzeneinlagerungen sind erhältlich bei der Western Region PI Station 59 Johnson Hall, PO Box 646402, Washington State University, Pullman Washington. Die größte Menge von Teff-Zugängen sind eingelagert im Pflanzengenetischen Zentrum in Äthiopien (PGRC/E). Als Saatgut für die Feldversuche standen die Sorten Dessie, Brown, Ivory und Syrginia zur Verfügung. Das Saatgut stammt aus Idaho (USA).

Im Laufe des Projekts musste leider festgestellt werden, dass die Keimfähigkeit des Saatguts nachließ und im letzten Jahr schon nicht mehr für eine ordentliche Versuchsdurchführung ausreichte. Für weitere Versuche müsste neues Saatgut mit anderen Sorten beschafft werden. In den USA und Kanada war kein geeignetes Saatgut erhältlich und in Europa ist die Beschaffung aufgrund ungeklärter patentrechtlicher Fragen schwierig (Kap. 4.6). Aus demselben Grund war es nicht möglich, auf legalem Wege Saatgut mit geeigneteren Sorten aus Äthiopien zu beziehen.

An der Uni Bern (Dr. Tadele) wurde zeitgleich mit dem KLIMZUG-Projekt daran geforscht, Teff-Sorten zu züchten, die über eine größere Standfestigkeit verfügen. Eine Anwendung in KLIMZUG-NORD war noch nicht möglich.

#### Aussaat

Der Aussaatzeitpunkt wurde parallel zu dem von Mais gewählt. Allerdings zeigen die Versuche, dass eine verspätete Saat dazu führt, dass sich Teff nicht mehr bis zur Erntereife entwickelt. Dies war im Versuchsjahr 2012 der Fall. Ein früherer Aussaattermin hätte einen positiven Effekt auf die Wasserverfügbarkeit in den ersten Monaten, da die Winterfeuchte des Bodens besser genutzt werden kann.

Da Teff in Äthiopien bis in Höhen von 3.000 Meter angebaut wird, kann vermutet werden, dass leichte Spätfröste der auflaufenden Saat keine Probleme verursachen. So zeigte sich, dass Teff-Ausfallgetreide, gegen alle Erwartungen, die Winterzeit überstehen kann und in der Lage ist, im Frühjahr wieder aufzulaufen. Mit Blick auf neue „Problemunkräuter“ (Ausfallgetreide) in Folgekulturen, sollte hier genau beobachtet werden. Die Aussaat der

kleinen Samen (TKG 0,3 bis 0,4 g) ist eine Herausforderung, denn sie dürfen nicht zu tief in die Erde abgelegt werden, sonst laufen sie nicht auf.

Bei der Aussaattechnik mussten im Laufe der Versuchsjahre Erfahrungen gesammelt werden. Es zeigte sich, dass die Aussaattiefe von ca. 2 cm tendenziell zu tief war. Außerdem wurde beobachtet, dass ein zu lockeres Saatbett dazu führt, dass die Körner zu tief einsinken und nicht ausreichend auflaufen. Der Boden sollte vor der Aussaat daher entsprechend abgesetzt sein. Es müssten Schleppschaare verwendet werden, um eine flachere Ablage zu gewährleisten.

Während des Projekts hat sich gezeigt, dass die Aussaat in einem gut abgesetzten Saatbett von Vorteil ist. Bei der traditionellen Saattechnik in Äthiopien streuen die Bauern ihr Saatgut per Hand auf die Erde und lassen Vieherden über den Acker laufen um die Saat leicht einzudrücken. Aus den Erfahrungen der Vorjahre wurde daher im Versuchsjahr 2013 das Saatbett mit einer Walze sehr stark rückverdichtet. Einige Tage Wartezeit zwischen Saatbettbereitung und Drilltermin können ebenfalls zu einem abgesetzten Saatbett führen.

Die Saatgutverteilung über die Parzellenbreite war unregelmäßig, um hier eine Verbesserung zu erreichen, wäre der Einsatz einer Feinsaatzenzentrifuge im Drillmaschinenbandkopf empfehlenswert.

Auffällig ist die schnelle Keimung der Samen, die auf dem Feld bis zu zehn Tage und im Labor drei bis vier Tage dauerte. Teff hat keine Samenruhe.

Der Aussaatstärkenversuch ergab in den Versuchsjahren keine gravierenden Unterschiede. Bei den Aussaatstärken zeigte sich, dass es in einem Saatstärkebereich von 800 Körner/m<sup>2</sup> bis 1400 Körner/m<sup>2</sup> – also fast das Doppelte – keine nennenswerten Ertragsunterschiede gibt. Alle Ergebnisse sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt statistisch noch nicht abgesichert.

### **Düngung**

Da die Versuchsjahre nicht alle verwertbar waren, kann nur ein erster Hinweis gegeben werden. Alle Sorten scheinen positiv auf eine erhöhte Stickstoffdüngung zu reagieren, wobei die Sorte Dessie prozentual den höchsten Ertragszuwachs zeigte.

Im Vergleich zur Nullvariante ergeben im Sortenmittel 30 kg Stickstoff einen Mehrertrag von 225 %, 60 kg Stickstoff 355 %. In diesen Ergebnissen spiegelt sich die klassische Ertragskurve wieder, aus der zu entnehmen ist, welche ökonomisch sinnvollen Stickstoffmengen die besten Erträge bringen. Für eine exakte und sichere Bestimmung müssen allerdings weitere Versuche durchgeführt werden.

Bei den Ergebnissen für das Hektolitergewicht gibt es zwischen den Düngungsstufen keine auffälligen Unterschiede. Wie zu erwarten, nimmt das Hektolitergewicht Richtung hoher Stickstoffgabe hin leicht ab.

Zwischen den Aussaatstärken gibt es keine auffälligen Unterschiede im Ertrag. Lediglich im Vergleich zwischen den Sorten zeigen Syrginia und Dessie die besten Erträge. Ivory schneidet am schlechtesten ab.

Bei den Ergebnissen für das Hektolitergewicht gibt es zwischen den Aussaatstufen keine auffälligen Unterschiede.

### **Pflanzenschutz**

Der Unkrautdruck mit Weißem Gänsefuß, Durchwuchskartoffeln und Hirse war hoch. Die dikotylen Unkräuter konnten mit 1,5 l/ha U-46 M wirksam bekämpft werden, größere Probleme machte allerdings die Verunkrautung mit Hühnerhirse, welche aufgrund ihrer botanischen Verwandtschaft mit Teff nicht bekämpft werden konnte. Es sollte aus diesem Grund ein Standort mit geringerem Befallsdruck durch Hühnerhirse ausgewählt und vor der Saat zu Teff gepflügt werden.

Hierbei dürfen auflaufende Unkräuter allerdings nicht aus den Augen gelassen werden. Gegen Unkräuter kann vor dem Drillen ein Totalherbizid gespritzt werden.

Darüber hinaus wurden aber keine Krankheiten oder Schädlinge an den Pflanzen beobachtet.

### **Ernte**

Die Ernte im ersten Versuchsjahr war aufgrund der Witterung sehr spät und wurde daher nur zur Materialgewinnung genutzt bzw. um Erfahrungen mit der Erntetechnik zu machen.

Die nasse Witterung führte dazu, dass von der Literatur empfohlenen Schwadablage des Teffs abgewichen wurde. Ein Ernterversuch mittels eines Mähbalkens und das Dreschen eine Woche später mit dem Parzellenmähdrescher führte im Ergebnis zu hohen Körnerverlusten, zu starker Verschmutzung mit Sand und zu Verschleppungen.

Letztlich wurde entschieden, doch einen direkten Drusch mit dem Parzellenmähdrescher vorzunehmen. Dieses stellte sich als überraschend problemlos dar. Insgesamt zeigte der Dreschversuch, dass Teff sehr wohl aus dem stehenden Bestand zu dreschen ist. Die Feuchtigkeit des Erntegutes war nur unwesentlich höher als das Erntegut welches im Schwad lag. Zudem gab es kaum Verschmutzungen durch Sand.

Bei den Erntearbeiten zeigten sich Besonderheiten des Teff. Da das Stroh zum Erntetermin teilweise noch grün ist, muss der Drescher besonders langsam fahren, damit sich kein Stroh um die Dreschtrommel wickelt und den Drescher verstopft.

### **Ökoversuch**

Die Teilversuche „Aussaatstärken“ und „Öko“, welche sich auf dem Teilstück mit den besseren Bodenqualitäten befanden, überstanden die massive Trockenheit ohne weitere Schäden. Die Ökovariante, die nicht mit Herbiziden behandelt wurde, schaffte es im Laufe der Vegetationsperiode die dikotylen Unkräuter zu unterdrücken. Allerdings konnte sie sich nicht gegen die Hühnerhirse durchsetzen.

### **Futterteffversuch**

Neben den Versuchen, Teff-Körner für die Nahrungsmittelerzeugung zu produzieren, wurden gleichzeitig Überlegungen angestellt, ob das Teff-Stroh nicht gleichzeitig als Viehfutter verwertet werden könnte. In Äthiopien wird das Stroh an die Tiere verfüttert. In den USA und Kanada wird Teff insgesamt als Futter genutzt. Eine Übertragung der Ergebnisse auf europäische bzw. niedersächsische Verhältnisse ist daher vorstellbar.

Da für das Versuchsjahr 2013 kein qualitativ ausreichendes Saatgut außer der Sorte Brown vorhanden war, wurde entschieden, dass das letzte Versuchsjahr für einen Futterversuch genutzt wird. Da ein Sortenversuch somit nicht möglich war, wurde kurzfristig ein 2-faktorieller Futterversuch entworfen. Es ergaben sich zwei Versuchsfragen:

1. Wie ist die futterbauliche Eignung von *Eragrostis tef*?
2. Kann Teff im Gemenge mit Leguminosen genutzt werden?

Zur Beantwortung der Fragen kamen vier Varianten (Reinsaat und Gemenge) zum Einsatz:

- Teff (Sorte Brown),
- Einjähriges Weidelgras,
- Teff + Perserklee,
- Einj. Weidelgras + Perserklee

Außerdem sollten drei Schnitttermine (1. Frühes Schossen; 2. Beginn Ähren/Rispenschieben; 3. Ähren/Rispen geschoben) untersucht werden. Die schlechte Keimfähigkeit des Saatgutes, in Verbindung mit den Witterungsverhältnissen förderte den Unkrautdurchwuchs v.a. des Weißen Gänsefußes. Um den Unkrautdurchwuchs zu stoppen, wurde ein Herbizideinsatz beschlossen. Die unterschiedlich eingesetzten Pflanzenarten schränkten den Einsatz vieler wirksamer Mittel jedoch ein. Als letzte Möglichkeit zur Rettung wurde ein Teil der Versuchsfläche auf ca. 20 cm gemulcht, um eine Beschattung durch die Kulturpflanzen gegenüber dem Unkraut zu fördern. Dieses gelang jedoch in erster Linie nur bei den hochwüchsigen Teff-Pflanzen, während sich das Weidelgras und der Klee nicht richtig durchsetzen konnten.

Bei der Ernte zeigte sich, dass die Variante Teff + Perserklee und die Variante Teff deutlich höhere Erträge als das Weidelgras und das Gemisch Weidelgras + Perserklee erreichten. Das Gemisch Teff + Perserklee erreichte im Vergleich überdurchschnittliche Erträge bei lediglich 30 kg/ha Stickstoff.

Zur Bewertung der Futterqualität wurde der Reineiweiß-, Rohfaser und Rohproteingehalt analysiert. Beim Rohfasergehalt gibt es zwischen den verschiedenen Varianten keine bemerkenswerten Unterschiede. Auch was den Wassergehalt betrifft liegen alle Varianten zwischen 6,05 und 6,20 %. Beim Reineiweiß- und Rohproteingehalt liegt das Weidelgras leicht über dem Versuchsdurchschnitt, ebenso der Rohproteingehalt der Teffsorte Brown. Im Vergleich zu durchschnittlichen Rohproteingehalten von Ackergras (ca. 15 %) sind die Werte als unterdurchschnittlich einzustufen; die Rohfasergehalte liegen hingegen deutlich über dem Durchschnitt von Ackergras. Betrachtet man die analysierten Proben und bereinigt den Rohfasergehaltswert auf bezogene 100 % TM, so liegt man deutlich über 30 % Rohfaseranteil und damit ca. 7-10 % über dem von Ackergras (22-25 %). Die Werte der Rohfasergehalte sind vergleichbar mit denen von Getreidestroh bei gleichzeitig 50 % weniger Rohproteinen. Zum Energiegehalt ist aufgrund der untersuchten Parameter kein Rückschluss zulässig und deshalb besteht auch nur eine eingeschränkte Aussagekraft zur Futtereignung.

Für die futterbauliche Eignung von *Eragrostis tef* und dessen einjährige Nutzung im Gemenge mit Leguminosen lässt sich noch keine Aussage treffen. Die Ernteergebnisse aller Varianten liegen unter Qualitätsbetrachtungen von Futtermitteln deutlich unter durchschnittlichen Werten von Ackergras.

Die Nutzung im Gemenge mit Leguminosen zeigte, dass sich Teff im Vergleich zum Perserklee als recht schnellwüchsig erwies und diesen durch Beschattung unterdrückte. Ein Anbau im Gemenge in Verbindung mit dem 3. Schnitttermin erwies sich daher als nicht geeignet. In der Schnittphase des Schossens kann das Ergebnis durchaus anders ausfallen. Jedoch sind noch mehrere Versuchsreihen nötig um eine genaue Aussage treffen zu

können. Besser berücksichtigt werden sollten in Zukunft sowohl die Standortwahl als auch der Saatzeitpunkt.

Es bleibt festzuhalten, dass ein einzelnes Versuchsjahr, das zudem einen ungünstigen Witterungsverlauf (Starkregenereignisse, später Vegetationsbeginn) nahm, keine abschließenden Aussagen zur Nutzung von *Eragrostis tef* als Futter zulässt.

Insgesamt wäre eine Untersuchung der Futtermittelverwertung des Teff sicherlich interessant und sollte weiter verfolgt werden. Neues Saatgut und eine genauere Analyse wären wünschenswert.

#### 4.4 Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen

Die grundsätzliche Beschäftigung mit einer neuen Kulturpflanze verlangt eine starke Einbindung der benötigten Forschungseinrichtungen. Während die LWK in erster Linie die pflanzenbaulichen Fragen behandelt, werden die Inhaltsstoffe in den Bundesforschungsanstalten TI in Braunschweig und MRI in Detmold untersucht.

Des Weiteren wurde in der TU München der erfolgreiche Versuch unternommen, Bier aus Teff zu brauen.

Die Bundesforschungsanstalt für Pflanzenzucht in Groß Lüsewitz hat mit dem Saatgut der LWK ebenfalls Versuche angelegt.

An der HS Osnabrück wurde ebenfalls ein Anbauversuch durchgeführt und mit einer Bachelor-Arbeit verbunden (Kruse 2013). Diese wurde in Kooperation mit KLIMZUG-NORD erstellt.

Die rechtlichen Aspekte der Kulturpflanze machten es notwendig, juristischen Sachverstand einzubinden. Aus diesem Grund wurde Prof. Stoll von der Universität Göttingen, Institut für Völkerrecht und Europarecht, Abteilung Internationales Wirtschaftsrecht, eingebunden. Hier wurde die rechtliche Frage Bestandteil einer Promotion.

Im Laufe des Projektes zeigte sich ein großes Interesse an der Kulturpflanze seitens der Wirtschaft und Forschung. Es hat sich daraus ein großes Netz an Fachleuten gegründet, das auch für Folgeprojekte sehr nützlich ist.

#### 4.5 Diskussion

In den Versuchen sollten erste Erfahrungen im Anbau mit der neuen Kulturart gesammelt werden. Für die Versuchsansteller stellte die Kulturpflanze eine Herausforderung dar.

Die Samen sind mit einem Tausend-Korn-Gewicht von nur 0,3 bis 0,4 g sehr klein, daher war die Aussaat schwierig. Die geringe Triebkraft verlangte eine flache Ablage im Saatbett, das vorher gut abgesetzt sein musste. Beim Aufwuchs stellte die Verunkrautung mit „Hühnerhirse“ ein Problem dar, da sie in der Kultur aufgrund der Verwandtschaft mit Teff nicht bekämpft werden konnte. Standorte mit geringem Befallsdruck sind daher zu bevorzugen. Darüber hinaus wurden aber keine Krankheiten oder Schädlinge an den Pflanzen beobachtet. Teff geht leicht ins Lager, was Abreife und anschließende Ernte erschwert. Die Ernte von Teff ist ebenfalls eine Herausforderung, da einerseits das Stroh noch grün bei der Ernte ist und andererseits die Samen ausgesprochen fein sind. Die Ernte findet laut Literatur normalerweise in der Art statt, dass Teff gemäht und im Schwad abgelegt

wird, noch nachtrocknet und anschließend gedroschen wird. Im Versuch zeigte sich, dass Teff aus dem stehenden Bestand gedroschen werden kann. Die Feuchtigkeit des Erntegutes war nur unwesentlich höher als die des Ernteguts welches im Schwad lag. Zudem gab es kaum Verschmutzungen durch Sand.

Die Reaktion der Pflanze auf anhaltende Trockenheit (2010) führte dazu, dass die auf den leichteren Boden stehenden Düngungs- und Wachstumsreglerversuche teilweise anfangen zu vertrocknen. Mit dem einsetzenden Regen im August nahmen interessanterweise die scheinbar vertrockneten Versuche ihr Wachstum wieder auf. Allerdings war die verbleibende Vegetationszeit bis zum Erntetermin zu kurz, so dass die Pflanzen sich nur noch bis zum Anfang der Kornausbildung entwickelten und die Wachstumsregler- und Düngeversuche aus diesem Grund nicht beerntet werden konnten.

Außerdem zeigte sich, dass Teff-Ausfallgetreide, gegen alle Erwartungen, die Winterzeit überstehen kann und in der Lage ist, im Frühjahr wieder aufzulaufen. Mit Blick auf neue „Problemunkräuter“ (Ausfallgetreide) in Folgekulturen sollte hier genau beobachtet werden.

Die teilweise schlechten Erntebedingungen und das am Ende qualitativ schlechte Saatgut führten dazu, dass die Fragen zu Qualitätsmerkmalen und Verarbeitungspotentialen des Teff-Getreides noch nicht geklärt werden konnten. Hinzu kommt, dass die Sorten aus den USA wahrscheinlich nicht optimal waren.

Insgesamt wäre eine Untersuchung der Futtermittelverwertung des Teff sicherlich interessant und sollte weiter verfolgt werden. Neues Saatgut und eine genauere Analyse wären wünschenswert.

Es hat sich insgesamt gezeigt, dass der Anbau von Teff bei uns beherrschbar ist. Um das Potential der Pflanze für Europa und Deutschland zu ermitteln, müssen über viele Forschungsinstitutionen hinweg gemeinsame Anstrengungen zur Untersuchung der Pflanze unternommen werden.

Allerdings müssen vorher die rechtlichen Fragen geklärt werden.

#### **4.6 Rechtliche Fragen**

Beim europäischen Patentamt in München wurde am 10.01.2007 von der Firma Health & Performance Food International B.V. (Niederlande) ein Patent mit folgendem Hauptsatz eingereicht:

„Mehl eines Kornes, das zur Gattung *Eragrostis* gehört, wobei die Fallzahl des Kornes zum Zeitpunkt des Mahlens wenigstens 250 beträgt“.

Damit wurde ein Patent erteilt auf eine Kulturart, die bereits in den Pyramiden gefunden und tausende Jahre genutzt wurde. Sie ist weder besonders züchterisch noch genetisch bearbeitet worden. Allein aufgrund der Tatsache, dass die Eigenschaften der Pflanze nicht ausreichend veröffentlicht worden sind, wurde es möglich, eine Selbstverständlichkeit zu patentieren.

Mögliches wertvolles pflanzliches Potential für die Landwirtschaft ginge damit verloren.

Sollte diese Praxis der Patenterteilung Nachahmer finden, hätte es für die Entwicklung der Landwirtschaft unabsehbare Folgen.

Die LWK hat 2007 gegen das Patent auf dem Mehl der Kulturart *Eragrostis tef* Einspruch eingelegt. Im November 2010 hat die Verhandlung vor der Beschwerdekammer des Europäischen Patentamtes in Den Haag stattgefunden. Dem Einspruch wurde nicht stattgegeben. Die LWK strebt an, eine Nichtigkeitsklage vor einem ordentlichen Gericht einzureichen. Hierzu bedarf es weiterer Informationen, die darlegen, dass das Patent in der Hauptsache keine Neuheit ist.

Die LWK hat ihre zur Verfügung stehenden Möglichkeiten genutzt, auf das Thema aufmerksam zu machen und die Informationen weiterzuleiten, so dass es in einem immer größer werdenden Kreis diskutiert wird.

## 5 Saatstärke

Jürgen Grocholl

### 5.1 Literaturübersicht

In pflanzenbaulichen Empfehlungen für trockene Bedingungen wird vielfach eine geringere Bestandesdichte empfohlen. In der Fachliteratur sind nur wenige konkrete Ergebnisse zu dieser Fragestellung zu finden. Eine Literaturlauswertung (vgl. Grocholl 2011) führt zu einer differenzierten Einschätzung: Unter Standortbedingungen, bei denen die unproduktive Verdunstung insbesondere zur Zeit der Jugendentwicklung vermindert werden muss, sind hohe Bestandesdichten und damit eine schnelle Bodenbedeckung vorteilhaft. Wenn sich der Pflanzenbestand dagegen aus dem Bodenwasservorrat versorgen muss und Evaporationsverluste nicht das Hauptproblem sind, sind geringere Bestandesdichten günstiger zu bewerten.

Beim Anbau von Wintergetreide findet die Jugendentwicklung im Herbst und Frühjahr statt, und damit zu Zeiten, in denen in aller Regel in Nord-Ost-Niedersachsen ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Temporärer Wassermangel tritt in der Regel erst auf, wenn die Bestände bereits geschlossen sind und den Boden bedecken. Evaporationsverluste sind dann begrenzt. Entsprechend der oben aufgeführten Überlegungen müssten daher unter diesen Bedingungen geringere Bestandesdichten, die beispielsweise ausgehend von geringeren Saatstärken etabliert werden können (Gruber et al. 2006), aus Sicht der Wassernutzung günstiger zu beurteilen sein. Versuchsergebnisse, die diese Hypothese belegen, sind nicht bekannt. Ein Großflächenversuch der Landwirtschaftskammer Niedersachsen mit Winterroggen auf sandigen Standorten unter Beregnung ließ keine klaren Aussagen zu.

### 5.2 Versuchsanlage

Der in den Jahren 2010 und 2011 durchgeführte Versuch sollte die Frage klären, ob eine geringere Saatstärke, die zu einer geringeren Bestandesdichte führt, bei suboptimaler Wasserversorgung Vorteile im Hinblick auf die Ertragsbildung bietet. Er wurde als 3-faktorielle Spaltanlage mit den Großteilstücken „Sorte“, den Mittelteilstücken „Wasserversorgung“ und den Kleinteilstücken „Saatstärke“ in 4-facher Wiederholung (zwei echte und zwei unechte) angelegt.

Die Prüfung erfolgte in Winterweizen mit zwei Sorten, die sich in ihrem Bestandsaufbau unterscheiden:

- Jenga (Bestandesdichtetyp)
- JB Asano (Einzelährentyp)

Die Saatstärke wurde ausgehend vom standort- und saatzeitangepassten Optimum reduziert oder erhöht:

- 240 kf. Körner/m<sup>2</sup>
- 300 kf. Körner/m<sup>2</sup>
- 360 kf. Körner/m<sup>2</sup>
- 420 kf. Körner/m<sup>2</sup>

Die Wasserversorgung wurde durch Beregnung in drei Stufen unterschieden:

- ohne Beregnung
- reduzierte Beregnung
- optimale Beregnung

Eine Übersicht über die anbautechnischen Maßnahmen im Versuch gibt Tab. 5-1.

Tab. 5-1: Anbautechnische Maßnahmen

	2010	2011
Vorfrucht	Sommergerste	Winterweizen
Saatzeit	22.10.2009	14.10.2010
Ernte		22.08.2011
Nmin im Frühjahr (kg/ha, 0-30/30-60/60-90 cm Bodentiefe)	7/6/6	10/6/7
N-Düngung (Datum / kg/ha N)	18.03.: 70 29.04.: 60 01.06.: 70	07.03.: 80 11.04.: 60 18.05.: 70
Beregnung reduziert	15.06.: 25 mm 28.06.: 35 mm Summe: 60 mm	02.05.: 30 mm 12.05.: 30 mm 30.05.: 30 mm 15.06.: 30 mm Summe: 120 mm
Beregnung optimal	08.06.: 32 mm 21.06.: 27 mm 28.06.: 35 mm 05.07.: 30 mm Summe: 124 mm	27.04.: 27 mm 02.05.: 30 mm 10.05.: 30 mm 25.05.: 20 mm 10.05.: 18 mm 08.06.: 30 mm Summe: 155 mm
Bemerkungen	Aussaat spät, Beregnung suboptimal, alle Varianten: Fehlstellen durch Herbizidschaden	

### 5.3 Ergebnisse und Diskussion

In beiden Versuchsjahren wurden trotz intensiver Beregnung nur unterdurchschnittliche Erträge erzielt. Bei einem Ertragsniveau von rund 44-52 dt/ha lagen diese um 36-46 % unter den in den Landessortenversuchen auf der Versuchsstation erzielten Werten. Dies zeigt, dass es sich bei der für den Versuch genutzten Fläche um einen Grenzstandort für den Weizenanbau handelt. Erschwerend kamen 2010 ein Herbizidschaden und 2011 der Anbau als Stoppelweizen hinzu. Die Grenzdifferenzen (Fehlerwahrscheinlichkeit 5 %) der einzelnen Versuche liegen für den Relativertrag zwischen 4,6 und 11,7 und damit in einem bei Feldversuchen üblichen Bereich (Tab. 5-2). Die Auswertbarkeit ist damit gegeben, das insgesamt geringe Ertragsniveau ist bei der Interpretation zu berücksichtigen.

Im Mittel aller Saatstärken waren die Erträge bei reduziertem Wasserangebot deutlich geringer als bei optimalem. Die unberegnete Variante lag um 30-52 %-Punkte unter der optimal beregneten, die reduziert beregnete um 7-19 %-Punkte.

Tab. 5-2: Relativer Körnertrag von Winterweizen in Abhängigkeit von Saatstärke und Wasserversorgung in den Jahren 2010 und 2011 (100 %: Mittelwert der Saatstärken bei optimaler Beregnung)

Aussaatstärke	Jenga				JB Asano			
	Beregnung				Beregnung			
	ohne	red.	opt.	Mittel	ohne	red.	opt.	Mittel
<b>2010</b>								
240 Körner/m <sup>2</sup>	72	82	96	83	77	81	101	86
300 Körner/m <sup>2</sup>	70	80	95	81	68	76	95	80
360 Körner/m <sup>2</sup>	67	77	109	84	68	85	94	82
420 Körner/m <sup>2</sup>	66	85	100	84	66	87	110	88
Mittel	69	81	100	83	70	82	100	84
GD5 %				5,9				4,6
<b>2011</b>								
240 Körner/m <sup>2</sup>	55	97	93	82	48	98	108	85
300 Körner/m <sup>2</sup>	47	92	98	79	43	91	96	77
360 Körner/m <sup>2</sup>	56	90	107	84	50	86	94	77
420 Körner/m <sup>2</sup>	54	95	101	83	51	95	102	83
Mittel	53	93	100	82	48	92	100	80
GD5 %				9,0				11,7

Eine deutliche Wechselwirkung zwischen Saatstärke und Wasserversorgung ist nur 2010 im Vergleich der unberechneten zu den optimal berechneten Varianten sichtbar. Insbesondere bei der Sorte Jenga (Bestandsdichtety) nimmt der Ertrag bei optimaler Wasserversorgung mit steigender Saatstärke bis zu 360 kf. Körner/m<sup>2</sup> zu, bei mangelnder Wasserversorgung dagegen ab. Bei JB Asano (Einzelährentyp) ist ein ähnlicher Effekt sichtbar aber weniger stark ausgeprägt. Nimmt man die mit abnehmender Wasserversorgung im Vergleich zur optimalen Versorgung auftretenden Ertragsverluste bei jeder Saatstärke als Maßstab für die Widerstandsfähigkeit gegen Trockenstress, so zeigt sich, dass lediglich im Jahr 2010 bei der unberechneten Variante Vorteile mit abnehmender Saatstärke bestanden (Abb. 5-1). Eine Ursache sind die in diesem Jahr bei beiden Sorten in der unberechneten Variante mit zunehmender Saatstärke stark abnehmenden Tausendkornmassen (Tab. 5-3). Ein ähnlich deutlicher Effekt tritt in anderen Fällen nicht auf. Eine Erklärung kann die Witterung des Jahres 2010 liefern. Nach ausreichenden Niederschlägen im Mai herrschte ab Ende Juni bis zum August eine lange Trockenphase (Abb. 2-2). Die mangelnde Wasserversorgung in der Kornfüllungsphase behinderte die Ertragsbildung in den etwas dichteren Beständen bei hohen Saatstärken stärker als in denen mit geringerer Saatstärke. Insgesamt sind die Tausendkornmassen in beiden Versuchsjahren unterdurchschnittlich. Die bekannten Unterschiede zwischen den Sorten zeigen sich aber auch in diesem Versuch.

Im Jahr 2011 kann dagegen für den Ertrag keine deutliche Wechselwirkung zwischen Saatstärke und Wasserversorgung festgestellt werden. In diesem Jahr trat eine Trockenperiode im Frühjahr auf. Im Sommer zum Zeitpunkt der Kornfüllung fielen ausreichend Niederschläge, entsprechend traten keine Unterschiede in der Tausendkornmasse auf. Die unterschiedliche Wasserversorgung im Frühjahr hatte allerdings

deutliche Auswirkungen auf die Bestandesdichte ( $\rho$ ). Bei beiden Sorten nahm die Anzahl ährentragender Halme mit abnehmender Wasserversorgung ab. Auch sortenbedingte Unterschiede (Jenga = Bestandesdichtetyp = höhere Bestandesdichte, JB Asano = Einzelährentyp = geringere Bestandesdichte) sind erkennbar. Dagegen zeigen andere Untersuchungen einen nur geringen oder fehlenden Einfluss des Sortentyps auf die Bestandesdichte (Flamm et al. 2013, Schäfer & Merker 2013). Eine Wechselwirkung zur Saatstärke bestand aber nicht. Dies zeigt einmal mehr, dass die Saatstärke nur ein die Bestandesdichte beeinflussender Faktor ist. Wichtig sind vor allem die äußeren Bedingungen (Wasser-, Nährstoffversorgung) zu den Zeitpunkten der Bestockung und Reduzierung der Halme.

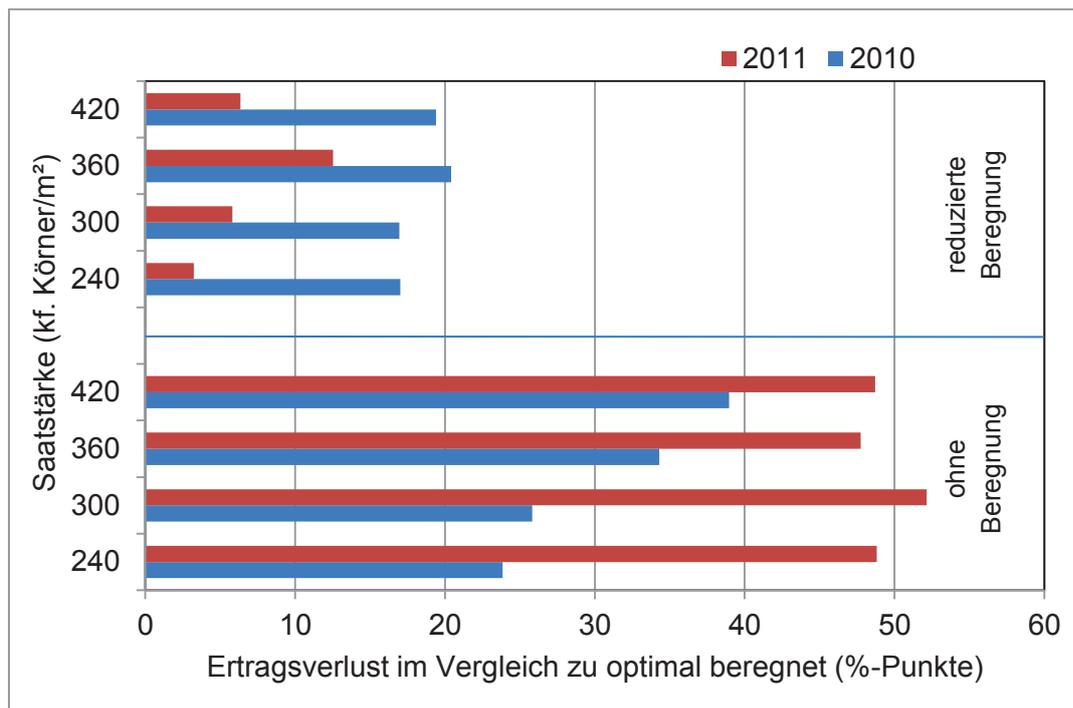


Abb. 5-1: Ertragsverluste bei verminderter Wasserversorgung (reduzierte oder unterlassene Beregnung) bei Winterweizen in Abhängigkeit von der Saatstärke in den Jahren 2010 und 2011 (Mittelwert der Sorten Jenga und JB Asano)

Die Versuche haben gezeigt, dass ein hohes Ertragsniveau und damit eine hohe Flächenproduktivität nur bei einer ausreichenden Wasserversorgung zu erreichen ist. Dies gilt unabhängig von der angebauten Sorte und der Saatstärke. Hinweise auf eine bessere Effizienz der Wassernutzung bei geringen Saatstärken bzw. Bestandesdichten bei nur geringfügig suboptimaler Wasserversorgung (reduzierte Beregnung) geben die Versuchsdaten nicht.

Wenn jedoch im Sommer zum Zeitpunkt der Kornfüllungsphase Trockenperioden zu erwarten sind, die nicht durch Bewässerung vermieden werden können, erscheint eine geringere Bestandesdichte vorteilhaft. Ob dann, wie von Schönberger (2009) empfohlen, Sorten des Einzelährentyps vorteilhaft sind, kann nach den Ergebnissen nicht beurteilt werden. Die Ergebnisse von Schäfer & Merker (2013), die keinen Einfluss der unterschiedlichen Bestockungsneigung von Sorten auf Mindererträge insbesondere bei späten Dünnsaaten feststellen konnten, lassen hieran jedoch Zweifel aufkommen.

Die Saatstärke ist nur ein Faktor zur Steuerung der Bestandesdichte. Bessere Einflussmöglichkeiten bestehen durch eine angepasste Stickstoffdüngung zum Zeitpunkt der Bestockung. Allerdings gilt: „Zu dünne Bestände sind leichter anzufeuern als zu dichte zu bremsen“. Die Saatstärke sollte sich daher auf den sandigen, sommertrockenen Standorten im unteren Bereich des standörtlichen Optimums bewegen. Es muss aber sichergestellt werden, dass auch nach härteren Wintern im Frühjahr die erforderliche Mindestanzahl an Pflanzen auf dem Acker steht.

Tab. 5-3: Tausendkornmasse (g) von Winterweizen in Abhängigkeit von Saatstärke und Wasserversorgung in den Jahren 2010 und 2011

Aussaatstärke	Jenga				JB Asano			
	Beregnung				Beregnung			
	ohne	red.	opt.	Mittel	ohne	red.	opt.	Mittel
<b>2010</b>								
240 Körner/m <sup>2</sup>	33,0	33,9	33,9	33,6	37,7	45,7	48,2	43,8
300 Körner/m <sup>2</sup>	31,8	31,6	37,5	33,6	39,6	41,8	48,3	43,3
360 Körner/m <sup>2</sup>	27,4	30,8	38,1	32,1	32,6	50,3	50,9	44,6
420 Körner/m <sup>2</sup>	28,5	34,1	34,3	32,3	33,1	47,5	50,9	43,9
Mittel	30,2	32,6	36,0	32,9	35,8	46,3	49,6	43,9
<b>2011</b>								
240 Körner/m <sup>2</sup>	36,1	38,5	40,6	38,4	42,2	47,5	42,8	44,2
300 Körner/m <sup>2</sup>	36,0	37,4	40,1	37,8	44,0	47,5	43,2	44,9
360 Körner/m <sup>2</sup>	34,0	41,2	39,4	38,2	42,1	46,1	44,4	44,2
420 Körner/m <sup>2</sup>	34,0	41,2	40,2	38,5	42,2	50,3	45,7	46,1
Mittel	35,0	39,6	40,1	38,2	42,6	47,9	44,0	44,8

Tab. 5-4: Bestandesdichte (Ähren/m<sup>2</sup>) von Winterweizen in Abhängigkeit von Saatstärke und Wasserversorgung im Jahr 2011

Aussaatstärke	Jenga				JB Asano			
	Beregnung				Beregnung			
	ohne	red.	opt.	Mittel	ohne	red.	opt.	Mittel
<b>2011</b>								
240 Körner/m <sup>2</sup>	403	490	553	482	308	583	483	458
300 Körner/m <sup>2</sup>	335	548	638	507	285	498	558	447
360 Körner/m <sup>2</sup>	383	535	630	516	338	523	513	458
420 Körner/m <sup>2</sup>	433	473	613	506	350	523	558	477
Mittel	388	511	608	503	320	531	528	460

## 6 Stickstoffdüngung

*Alix Mensching-Buhr*

### 6.1 Versuchsanlass und Praxiserfahrungen

#### Versuchsziel

In Modellrechnungen werden bis zum Jahr 2050 verstärkte Phasen mit Sommertrockenheit und steigenden Winterniederschläge projiziert. Dies war der Anlass für die landwirtschaftliche Produktion nach Lösungen zu suchen, wie zu den Bedingungen des Klimawandels ein umweltverträglicher Ackerbau möglich wäre. Auch die Grundwasserqualität sollte betrachtet werden.

Jede Veränderung der Niederschlagsereignisse und -verteilungen bewirkt eine Änderung des Bodenmineralisationsgeschehens für Stickstoff, vor allem Nitrat. Im etablierten Düngungsmanagement stellt Nitrat den Hauptnährstoff der Pflanzen dar. Allerdings sind niedersachsenweit teilweise steigende Nitratmengen in Grundwassermessstellen zu verzeichnen. Ziel ist es, eine an das Mineralisationsgeschehen der Böden angepasste Düngung der landwirtschaftlichen Flächen zu etablieren, um eine nachhaltige Düngung ohne Nitratüberhänge zu Grundwasserneubildungszeiten zu realisieren.

Es wurden zwei verschiedene Düngesysteme bei unterschiedlicher Beregnungswasserversorgung miteinander verglichen; das CULTAN-Verfahren und die breitflächig geteilte Düngung. Während zur breitflächigen geteilten Nitratdüngung seit Jahren zahlreiche Versuchsergebnisse vorliegen, sollte nun im Rahmen des Projektes ein neues Düngungsverfahren, die Injektionsdüngung (CULTAN-Düngung), auf seine Effizienz bezüglich der Pflanzenernährung und die daraus resultierende Sickerwasserqualität unter veränderten Klimabedingungen überprüft werden.

#### **Vergleich der Düngesysteme CULTAN (injiziert in einer Gabe) und konventionell (breitflächig in Teilgaben gegeben)**

Die etablierte Nitratdüngung erfolgt oberflächlich in Teilgaben, die breitflächig auf den Boden aufgebracht werden. Es erfolgt eine Stickstoffaufnahme der Pflanzenwurzeln als Nitrat. Bei der Nitraternährung können die Pflanzen Luxuskonsum betreiben und mehr Nitrat als für das Wachstum benötigt aufnehmen. Bei der geteilten oberflächlichen N-Düngung bestehen oftmals Probleme eines verringerten Stickstoff-Wirkungsgrads von nur 50-70 %. Der angebotene Stickstoff wird nicht effizient genug umgesetzt, weil fehlende Niederschläge die Düngungsverfügbarkeit einschränken. Da die Klimaprojektion bis 2050 verstärkte Vorsommertrockenheit annimmt, würde die N-Effektivität oberflächlich ausgebrachter Dünger dann gering sein. Schon heute ist die N-Effektivität der Ährendüngung im Getreide geringer als die einer Schossgabe, da der Nährstofftransport in die Pflanze über den Boden oft aufgrund von Trockenheit unterbrochen ist. Auf Sandböden treten wie in 2013 weitere N-Verluste durch Frühjahrsauswaschung oder bei manchen Düngemitteln durch Ammoniakausgasung auf. In der Düngungspraxis heute werden geteilte Stickstoffgaben verabreicht, weil man so wachstums- und witterungsangepasst düngen kann.

CULTAN bedeutet "Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition". Dies heißt kontrollierte kontinuierliche Ammoniumaufnahme zur Langzeiternährung der Pflanzen.

Im Gegensatz zur konventionellen Nitraternährung erfolgt die Pflanzenernährung im CULTAN-Verfahren mit Ammonium. Es werden bei der Dünger-Injektion in den Boden

punktförmige hochkonzentrierte Ammonium-Depots angelegt, die stabil sind. Die Pflanzenwurzeln umwachsen sehr intensiv die Ammoniumdepots und ernähren sich überwiegend vom Ammonium, so dass die Depots gegen Ende der Vegetation verbraucht sind. In den 70er Jahren wurden durch Prof. Sommer die Grundlagen dieser Ammoniumernährung und Injektionsdüngung erarbeitet und als CULTAN-Verfahren bezeichnet (Sommer 2005) und weiterentwickelt (Kücke 2007, Schumacher 2009, Sommer 2008, Sonderheft CULTAN 2006, Weimar 2006).

Diese Düngungsmethode soll Vorteile gegenüber konventioneller Nitrat-Düngung für die verbesserte Grundwasserqualität haben. Weil das Ammoniumdepot für die Mikroorganismen toxisch ist, kann kein Düngerstickstoff für die Pflanzen ineffektiv biologisch im Boden fixiert werden. Vor allem die Pflanzenwurzel erschließt sich das Depot, so dass es eine hohe Stickstoff-Pflanzeneffizienz durch optimale Ausnutzung der Nährstoffe gibt. Die Depots werden weder ausgewaschen noch mikrobiell umgesetzt. Ebenso bestehen keine Verluste durch Ausgasung oder Denitrifikation. Neben der Verbesserung der Sickerwasserqualität und damit der Qualität des zukünftigen Trinkwassers kann eine verbesserte Wassernutzung durch große, gut nährstoffversorgte Wurzelsysteme erfolgen.

Nun besteht der Unterschied zwischen einer oberflächlich breitwürfig ausgebrachten Nitratdüngung und der Injektionsdüngung nicht nur im Ort der Düngerplatzierung sondern vielmehr auch im Stoffwechsel der Pflanze. Bei der etablierten Nitraternährung wird der Spross der Pflanze höher versorgt als die Wurzel. Die Stoffwechselprozesse der Aminosäuresynthese finden erst im Blattapparat, am Ort des Hauptwachstums, statt. Letztere müssen für das Wurzelwachstum erst wieder zur Wurzel zurücktransportiert werden. Diese Nitraternährung wird sprossdominante Ernährung benannt. Im Gegensatz dazu findet in der CULTAN-Düngung eine wurzelbetonte Ernährung statt. Die Aminosäuresynthese kann schon in den Wurzeln vollzogen werden, so dass dieser Pflanzenteil gegenüber dem Spross einen Ernährungsvorteil hat. Man nennt die Ammoniumernährung deshalb wurzeldominante Ernährung (Sommer, K. & Scherer, H.W. 2007).

### **Erfahrungen in der Praxis**

Schon im Jahr 2002 wurde im Landkreis Uelzen, einer intensiven Ackerbauregion mit Beregnungseinsatz, eine CULTAN-Düngetechnik in Form eines Sterninjektors für die Landwirte angeboten. Die landwirtschaftliche Genossenschaft VSE (Vereinigte Saatzuchten Ebstorf) stellte Düngemittel und Technik als Lohnunternehmer bereit. Diese Technikverfügbarkeit war der Einstieg in das CULTAN-Verfahren. Weiterhin bleibt die überbetriebliche Verfügbarkeit der Technik eine wesentliche Grundvoraussetzung zur Durchführung eines Injektionsverfahrens mit Erfolg. Weil im Landkreis Uelzen sehr unterschiedliche Bodenarten vorherrschen, war die Sternradtechnik von leichten Sanden mit 20 Bodenpunkten bis zu schluffigen Lehmen im Uelzener Becken mit 65 Bodenpunkten im Einsatz.



Abb. 6-1: Sternrad mit „Spokes“ zur punktförmigen Injektion der Ammoniumlösung in den Boden

Zuerst wurde die Injektion von NTS-Lösung (Ammonium-Nitrat-Harnstofflösung 27 % N, 3 % S) auf geteilten Schlägen in der Praxis angelegt. Dabei wurde bis Ende März die Wintergerste und der Roggen injiziert gedüngt, während der Winterweizen bis Mitte April folgte. Auf der anderen Schlaghälfte wurden zumeist drei Teilgaben Kalkammonsalpeter oder auch AHL oberflächlich gedüngt. Im direkten Vergleich sahen deshalb die CULTAN-Flächen zu Vegetationsbeginn hungernd aus. Doch nach zwei Wochen erfolgte eine Wuchsangleichung der CULTAN-Varianten an die konventionell schon Anfang März gedüngten Flächen. Danach war bis zum Ährenschieben eine intensivere Grünfärbung bei CULTAN-Düngung zu beobachten.



Abb. 6-2: oben ammoniumernährte Pflanze (CULTAN), unten nitraternährte Pflanze

Die Erfahrungen der Landwirte im Landkreis Uelzen zeigten beim CULTAN-Verfahren im Vergleich zur geteilten oberflächlichen Düngung zwar ein besseres Wuchsbild der CULTAN-Varianten, aber stets gleiche Ertragsniveaus und Qualitäten im Getreide.

Das injiziert-gedüngte Wintergetreide zeigte eine veränderte Wuchsstellung der Blätter, eine intensivere Grünfärbung, vergrößerte Blattflächen der Fahnenblätter und eine leicht verzögerte Abreife. Ebenso wurde beobachtet, dass etwas weniger Trockenstress-Symptome als bei oberflächlich gedüngten Pflanzen in den CULTAN gedüngten Schlaghälften auftraten. Das Getreide benötigte deshalb bei Vorsommertrockenheit die Beregnungswassergabe erst einige Tage später.

Um das tatsächlich anfallende Sickerwasser aufzufangen, wurde im Herbst 2007 auf zwei Praxisschlägen eine Versuchsanlage mit Passiv-Sickerwassersammlern begonnen. Das Julius Kühn Institut (Braunschweig) stellte die Sickerwassersammler zur Verfügung und baute diese fachgerecht in den Boden ein. Der direkte Vergleich zwischen CULTAN-Düngung und konventioneller Düngung zeigte deutliche Unterschiede in der Nitratkonzentration des aufgefangenen Sickerwassers.

Die ersten Sickerwasserauswertungen waren vielversprechend, da unter der CULTAN-Düngungsvariante geringere Nitratkonzentrationen und geringere Stickstoffausträge zu verzeichnen waren. Diese ersten belegbaren Erfolge aus der Praxis galt es in Exaktversuchen näher zu untersuchen, um das Potential des Düngeverfahrens zu den Bedingungen des projizierten Klimaszenarios feststellen zu können.

Deshalb wurden folgende Teilthemen im Versuch behandelt:

- CULTAN als N-Versorgung im Vergleich zu konventioneller Düngung,
- Bilanzen im Hinblick auf die N-Effizienz der Düngung im Sinne des Gewässer- und Atmosphärenschutzes,
- Perspektiven des Injektionsverfahrens unter modellierten Klimaveränderungen, wie sie projiziert werden,
- Entwicklung von risikominimierten Produktionsverfahren bezüglich der Nitratausträge im Herbst ins Grundwasser

Ziel der Untersuchungen waren belastbare Ergebnisse, um eine zielgerichtete Beratung in der Praxis etablieren zu können, die der Landwirtschaft Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel ermöglichen soll.

## 6.2 Versuchsanlage

Der Parzellenversuch wurde als zweifaktorielle Spaltanlage mit vier Wiederholungen angelegt (Abb. 6-3). Ausgewählt wurde nur Getreide als Frucht, um eine Vergleichbarkeit der Jahre zu gewährleisten. Es konnten in den Großparzellen von 27 x 20 m drei Stufen der Wasserversorgung simuliert werden, indem der Beregnungseinsatz variiert wurde. Somit sollte die bis 2050 projizierte Sommertrockenheit ohne Beregnung oder aber wenig Sommerniederschlag durch reduzierte Beregnung ab 30 % nutzbarer Feldkapazität und viel Niederschlag durch Beregnung ab 50 % nutzbarer Feldkapazität simuliert werden. Hierzu kam ein Düsenwagen mit exakter Wassermengensteuerung zum Einsatz.

Es wurde bei gleicher Stickstoffmenge verglichen zwischen der oberflächlich breiten Nitrat-Düngerabbringung und dem CULTAN-Verfahren mit in den Boden injizierten

Ammoniumdepots. Untersucht wurde im KLIMZUG-NORD-Projekt einerseits die Auswirkung beider Düngungssysteme auf die Pflanze als auch auf die Qualität des Sickerwassers. Man kann die Sickerwasserqualität als Erfolgsmaßstab des Düngeverfahrens mit Hilfe von Passiv-Sickerwassersammlern feststellen.

<b>Faktor 1: Düngungsverfahren</b>	
Stufe-Nr.	Stufen
1	CULTAN
2	Konventionell breitflächig in drei Teilgaben
<b>Faktor 2: Wasserversorgung: Beregnung</b>	
Var.-Nr.	Variante
1	ohne Beregnung
2	reduzierte Beregnung (30-35 % nFK)
2	optimale Beregnung (50 % nFK)

					Beregnung
					0
3	3	Beregnungsweg	4	4	optimal
					reduziert
					optimal
1 breitflächige Düngung	1 Cultan		2	2	reduziert
					0

Abb. 6-3: Übersicht der Versuchsanlagen in Hamerstorf

**Vorbereitende Arbeiten**

Im September 2009 wurden 48 Sickerwassersammler in Zusammenarbeit mit dem Julius Kühn-Institut (JKI) Braunschweig in 80 cm Tiefe eingebaut. Das JKI hat das Patent der Passiv-Sickerwassersammler inne, stellte die Sammler her und unterstützte den fachgerechten Einbau in den Boden. Die Passiv-Sammler bestehen aus einer Bodenandruckplatte von ca. 30 x 30 cm. Diese Platte ist mit aufgespleissten Glasfaserdochten belegt, welche passiv das aufgefangene Sickerwasser in Auffangbehälter in 80 cm Tiefe weiterleiten (Abb. 6-4, Abb. 6-5). Mit Saugschläuchen, die bis zum Feldrand verlegt sind, können die Auffangflaschen entleert werden. Die Sammelgefäße der passiven Sickerwassersammler wurden regelmäßig entleert, so dass das aufgefangene Sickerwasser auf Ammonium und Nitrat untersucht werden konnte. Somit versucht man, die potentielle Grundwasserbelastung der beiden Düngeverfahren unter Klimawandelbedingungen zu prognostizieren.

Zu bedenken ist, dass die Sickerwassermenge nicht zeitraumweit sondern nur quantitativ erfasst wird, da die Qualität und nicht der Zeitpunkt des Anfalls untersucht werden sollten.

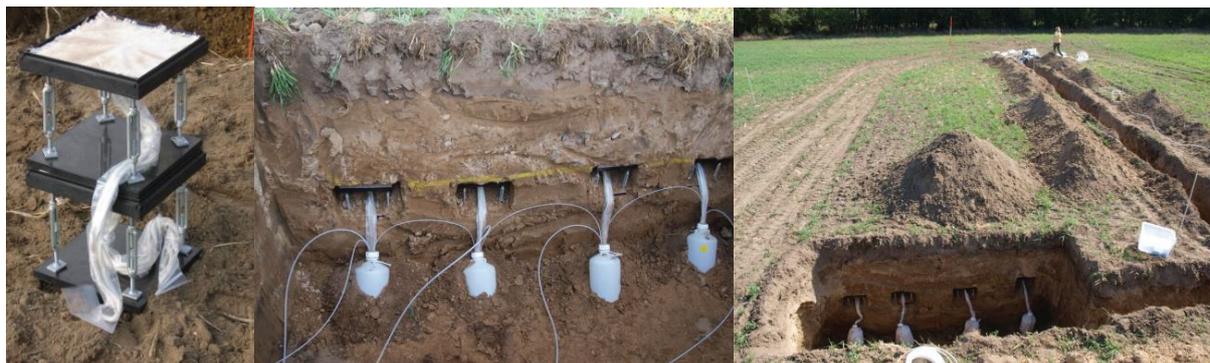


Abb. 6-4: Passiv-Sickerwassersammler, Einbau der Sammler und Auffangbehälter in 80 cm Bodentiefe, Verlegung der Absaugschläuche bis zum Feldrand

Nr. des SW-Sammlers		Beregnungsweg	Beregnung	
CULTAN	41/42/43/44 33/34/35/36 25/26/27/28		45/46/47/48 37/38/39/40 29/30/31/32	breitflächig
breitflächig	17/18/19/20 9/10/11/12 1/2/3/4	21/22/23/24 13/14/15/16 5/6/7/8	CULTAN	optimal reduziert ohne

Abb. 6-5: Anordnung der Wiederholungen mit Sickerwassersammlern

### 6.3 Ergebnisse

#### Witterungsverlauf der Versuchsjahre und Ertrag

In den Jahren 2010 bis 2012 trat Vorsommertrockenheit zwischen April und Juni zu verschiedenen Phasen der Getreidevegetation auf. Somit konnte die reduzierte Beregnungsmenge die projizierte Witterung bis 2050 sehr gut simulieren. Im letzten Versuchsjahr 2013 war keine ausgeprägte Vorsommertrockenheit zu verzeichnen. Aufgrund der sehr hohen Niederschlagsmengen im Mai 2013 war nur eine Beregnungsgabe nötig.

Der steigende Beregnungseinsatz (ohne, reduziert und optimal) bewirkte von 2010 bis 2012 eine deutliche Ertragssteigerung. Zwischen den Beregnungsstufen „reduziert“ und „optimal“ ergab sich kein signifikanter Unterschied im Ertragsniveau (Abb. 6-6). Ein signifikant verringertes Ertragsniveau zeigte nur die unberegnete Variante.

In den Jahren 2011 bis 2013 traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Düngungsverfahren in der jeweiligen Beregnungsstufe (Abb. 6-6, Buchstaben der Säulen) auf. Eine Ausnahme war das Jahr 2010. Somit konnte kein Düngungsverfahren Ertragsvorteile unter Bedingungen des projizierten Klimawandels zeigen, obwohl sichtbare Wuchsunterschiede im Vegetationsverlauf zu dokumentieren waren. Auffällig sind die hohen Grenzdifferenzen, welche der Bodenvariabilität des Versuchsstandortes geschuldet sind.

Der Versuch startete 2010 mit einer Weizeninjektion Mitte April, die in der Praxis nach Hackfrüchten als Vorfrucht etabliert war. Zum Problem wurde die Vorfrucht Braugerste, nach der fast keine Stickstoffnachlieferung erfolgte. Deshalb waren die injizierten Varianten bis zum Erreichen des Bodendepots nach 10 Tagen starkem Hungerstress ausgesetzt, der durch Trockenheitsstress noch verstärkt wurde. Als Folge resultierten daraus stark verringerte Bestandesdichten in den CULTAN-Varianten. Umso erstaunlicher war das

Ertragsniveau der optimalen Beregnungsvariante, das in der CULTAN-Düngung mit Pflanzenschädigung und der früh angedüngten Nitratdüngung ähnlich war. Hier konnte das Potential der Ammonium-Injektionsdüngung aufgezeigt werden.

In den Folgejahren wurden deutlich frühere Injektionstermine bis Ende März in Winterroggen, Triticale und Wintergerste gewählt, so dass von 2011 bis 2013 die nachfolgenden typischen CULTAN-Wuchseffekte ohne Pflanzenausfall deutlich wurden. Bis zum Schossen wurde der Wachstumsvorsprung der schon Anfang März gedüngten Nitrat-Varianten durch die CULTAN-Varianten aufgeholt. Danach war in der CULTAN-Düngung eine dunkler grüne Blattfärbung sichtbar und auch mehr grüne Blattfläche bis in die unteren Blattetagen wurde festgestellt. Nun war die Bestandesdichte der unberegneten Stufe jeweils in der CULTAN-Variante im Mittel 8 % höher im Vergleich zur geteilten oberflächlichen Nitratdüngung. Keine Differenzierung der Bestandesdichte ergab sich in den reduziert und optimal beregneten Varianten. Daher lässt sich im Mittel der Jahre keine Differenzierung zwischen der Bestandesdichte beider Düngungsverfahren darstellen.

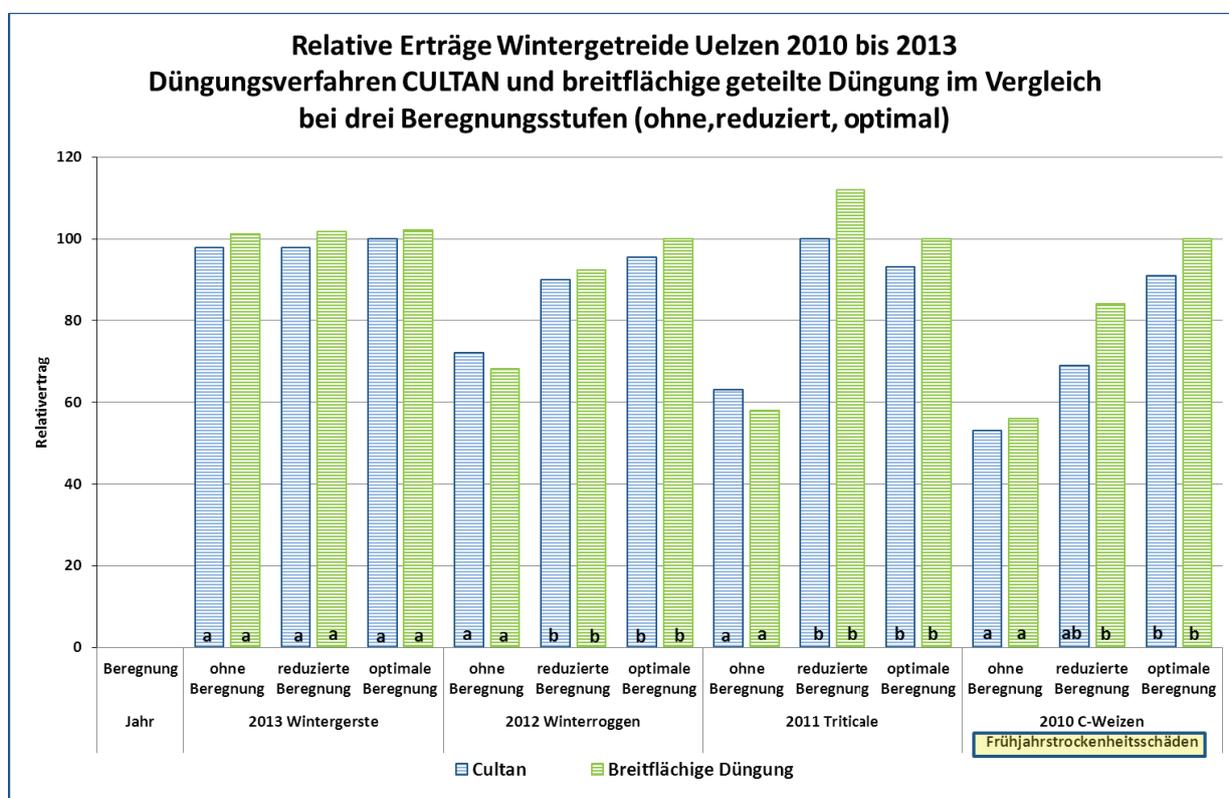


Abb. 6-6: Erträge 2010 bis 2013 mit zwei Düngungsverfahren und drei Beregnungsstufen

### Entzug des Stickstoffs

Der Stickstoffentzug errechnet sich aus dem Ertragsniveau mit den erzielten Proteingehalten

Das erste Versuchsjahr 2010 mit oben beschriebenen „Hungererscheinungen“ in der CULTAN-Düngung ergab einen höheren Stickstoffentzug trotz der Schäden in den CULTAN-Varianten gegenüber den breit gedüngten Düngungsstufen (Abb. 6-7). Das verringerte absolute Ertragsniveau war also durch höhere Proteingehalte ausgeglichen worden, die den insgesamt höheren Stickstoffentzug bewirkten. Hier zeigt sich, dass die alleinige Betrachtung des Ertragsniveaus die Vorzüglichkeit des Düngungsverfahrens nicht ausreichend beschreiben kann. Der N-Entzug der CULTAN-Varianten war 2011 geringer, 2012 etwa

gleich wie der der breitflächigen Düngung. Im Jahr 2013 war der N-Entzug der CULTAN-Düngung sogar höher. Die ist besonders deutlich in der unberechneten Variante.

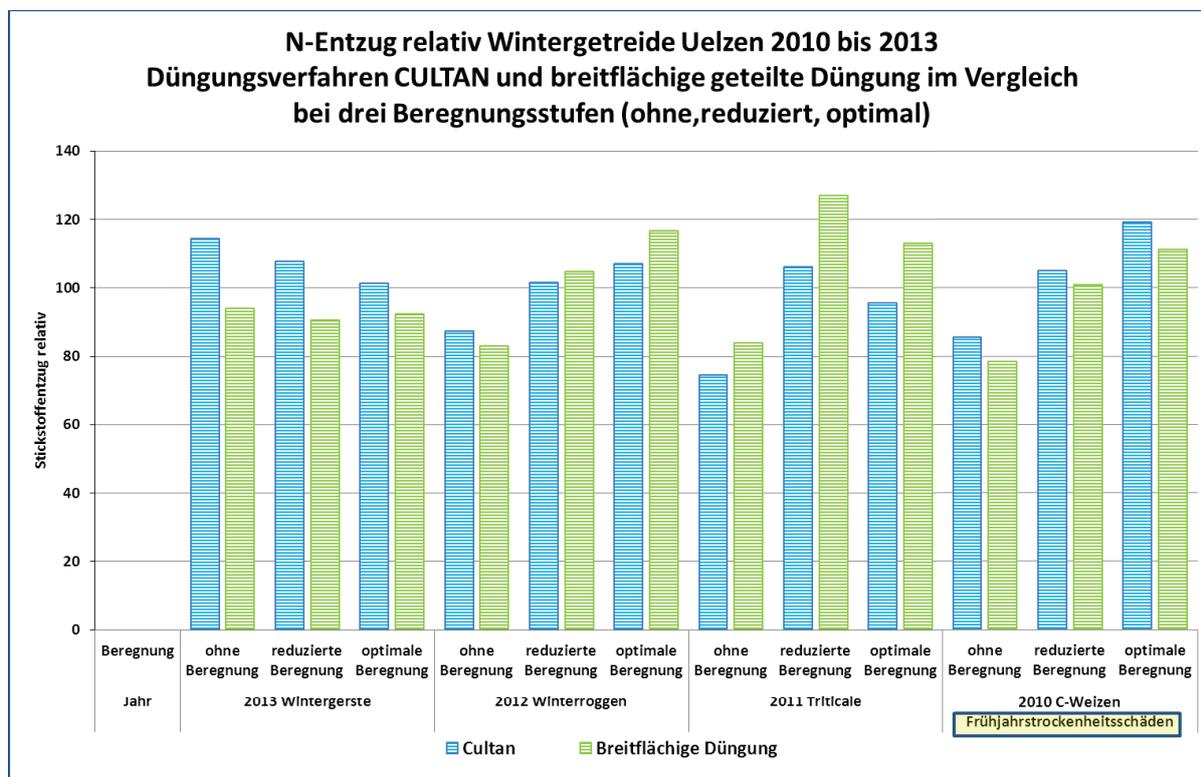


Abb. 6-7: Stickstoffentzug relativ zum Versuchsmittel

Bei Betrachtung der nicht berechneten Varianten, welche jährlich in den Vorsommertrockenheitsphasen Wachstumsstress zeigten, findet sich kein zufriedenstellendes Ertragsniveau in beiden Düngungsvarianten. Allerdings kann in dieser unberechneten Variante die CULTAN-Düngung deutliche Vorteile gegenüber der breitflächigen Düngung im N-Entzug zeigen. Dieser Vorteil der Ammoniumplatzierung wurde in den reduziert berechneten Varianten nicht so deutlich sichtbar. Die Versuchsthese, dass mit dem projizierten Klimawandel ein Düngungsverfahren mit Platzierung des Düngers im Boden Vorteile bieten kann, wurde zwar noch nicht in den reduziert berechneten Varianten, aber deutlich in der unberechneten Variante bestätigt. Aus den vier Versuchsjahren konnte für die jetzige Beratung der Landwirte abgeleitet werden, dass unter momentan herrschenden Klimabedingungen mit Beregnungseinsatz die CULTAN-Düngung zwar nicht besser abschneidet als die etablierte breitflächige, geteilte Nitratdüngung, aber auch keine Ertragsnachteile bewirkt. Durch arbeitswirtschaftliche Engpässe kommt es in der Praxis beim Einsatz der Beregnung je nach Beregnungsbedürftigkeit der Kultur häufig zu suboptimalen Beregnungseinsätzen. Das bedeutet, dass nicht immer zum Zeitpunkt bei 50 % nutzbarer Feldkapazität des Bodens beregnet wird, sondern oftmals erst verspätet. Das begrenzte Wasserkontingent sowie die knappe technische Ausstattung sind Ursachen dafür. Dann kann in Wasserstresssituationen das CULTAN-gedüngte Getreide flexibler auf Wassermangel reagieren, als mit Nitrat gedüngte Bestände. Die reduzierte Beregnungsstufe stellt eine praxisübliche Situation im Wintergetreide dar, weil die Beregnungsvorzüglichkeit der Hackfrüchte höher als die des Getreides ist. Daher ist schon heute der Einsatz der CULTAN-Düngung im Wintergetreide zu empfehlen. Allerdings zeigten die Versuchsjahre bis auf 2013 sehr eindringlich, wie wichtig der Beregnungswassereinsatz zur

Ertragsstabilisierung in der Region ist. Ohne die Beregnung wäre der Stickstoffentzug des Getreides bei gleichem Düngungsniveau erheblich geringer als mit Beregnung und vor allem stark schwankend, was nicht im Sinne des Grundwasserschutzes wäre, da die Nitratüberhänge nach der Ernte zunehmen.

### **Sickerwasseranalyse**

In regelmäßigen Abständen wurden die Sickerwassersammler beprobt. Zu Versuchsbeginn, noch vor der Anlage der Düngungsvarianten, fand eine Untersuchung des angefallenen Sickerwassers der Vorfrucht Sommerbraugerste statt. In einer Mischprobe aller Sammler einer Beregnungsvariante fanden sich am 26.05.10 Nitratgehalte von 1 bis 62 ppm, d.h. mit einer erheblichen Streubreite. Ammonium und Phosphor mit 0,1 ppm und Kalium mit 2 ppm waren gleichmäßig gering in allen Beregnungsvarianten feststellbar. Im Nachhinein werden diese stark differenzierten Nitratgehalte der Beregnungsvarianten als ein Hinweis auf die Bodenunterschiede des Standortes gewertet. Es konnte nur die Sickerwasser-Qualität, aber nicht die Quantität beurteilt werden. Bei der regelmäßigen Entleerung der Sammelgefäße unter den Passiv-Sickerwassersammlern fielen gegen Ende des Versuchszeitraumes zahlreiche Sickerwassersammler einer Wiederholung auf dem sandigeren Schlagteil aus. Deshalb musste die Auswertung der Sickerwasserqualität getrennt nach erster und zweiter Wiederholung auf dem leichteren Schlagteil und dritter und vierter Wiederholung auf dem lehmigeren Teil stattfinden. Da nur in der dritten und vierten Wiederholung ein kontinuierlicher Sickerwasseranfall ohne Ausfälle zu verzeichnen war, wird nachfolgend nur dieses Ergebnis dargestellt. Im Westen Niedersachsens auf podsolierten Standorten (Wasserschutzgebiet Meyenburg) traten auch Probleme mit der Funktionsfähigkeit von Sickerwassersammlern auf, die das Julius Kühn-Institut dort fachgerecht eingebaut hatte (Richter & Kücke 2010). Dort waren einige Passivsickerwassersammler auf zur Dichtlagerung neigenden Podsolen nur eingeschränkt funktionsfähig, weil es im Boden zu Lateralfluss des Sickerwassers kam. Damit konnten nicht alle Sammler das zungenartig im Boden fließende Sickerwasser auffangen.

Nach Ende des KLIMZUG-NORD-Versuches galt es zu klären, welche Ursachen für den Ausfall einzelner Sammler des Standorts vorlagen. Dazu wurde eine Bodengrube freigelegt und dabei eine doppelte Verbänderung mit Feinstmaterial im grobkiesigen Untergrund festgestellt. Die Sammler waren noch immer korrekt eingebaut und nicht geneigt vorzufinden.

Die Messung der aufgefangenen Sickerwassermengen und die Analyse der Qualitäten erfolgten seit März 2010. Das aufgefangene Sickerwasser von jeweils vier Passiv-Sammlern mit ca. 0,1 m<sup>2</sup> Fläche pro Variante wurde einzeln analysiert und dann in der Variante gemittelt. Nachfolgend wurde die Nitratkonzentration mit der angefallenen durchschnittlichen Sickerwassermenge verrechnet, um eine gemittelte Nitratkonzentration im Sickerwasser zu bestimmen.

Bislang zeigten sich nur leichte Tendenzen der im Sickerwasser gemessenen Nitrat-Stickstoffmenge. Hier wies die Injektionsdüngung tendenziell geringere Stickstoffausträge gegenüber der breitflächigen Nitratdüngung auf (Abb. 6-8). In den unberegneten Varianten war die Differenzierung besonders deutlich. Das Sickerwasser der Ernte 2013 konnte erst im Februar 2014 aufgefangen werden, so dass nun vier Versuchsjahre anhand des Sickerwassers aufaddiert dargestellt werden. Die gemessenen Ammoniumgehalte des Sickerwassers waren sehr gering und differieren kaum zwischen den Varianten.

		ohne Beregnung		reduzierte Beregnung		optimale Beregnung	
		Cultan	breite Düngung	Cultan	breite Düngung	Cultan	breite Düngung
		<b>Nitrat-N</b>	<b>kg /ha</b>	58,5	71,8	65,5	55,4
		0,38	0,46	0,39	0,39	0,43	0,39
<b>Ammonium-N</b>	<b>kg /ha</b>						

Abb. 6-8: Nitrat- bzw. Ammonium-N-Menge im Sickerwasser März 2010 bis Februar 2014 (kg N/ha)

Im Versuch wurde eine um 15 % reduzierte Sollwertdüngung mit Stickstoff durchgeführt, weil Praxiserfahrungen in diesem Bereich erhöhte N-Effizienzen gezeigt haben. Allerdings wurde dieses reduzierte N-Düngungsniveau von Landwirten in Feldbegehungen stets kritisch hinterfragt, da erfahrungsgemäß nur geringe Stickstoff-Bodennachlieferungen auf dem Sandstandort zu erwarten sind. Die Annahme war, dass das CULTAN-Verfahren seine Vorteile gegenüber der breitflächigen Düngung über eine höhere Stickstoff-Effektivität zeigen kann, was ökonomisch und ökologisch sinnvoll wäre, aber nicht messbar eingetreten ist. Die gemessenen Nitratbelastungen des aufgefangenen Sickerwassers wurden in die Nitrat-Stickstoff-Austragsmenge umgerechnet. Letztere variierte mit 7-13 kg in der Summe der vier Jahre zwischen den beiden Düngungsverfahren. Diese geringe Differenzierung mag durch die reduzierte Stickstoffmenge der Düngung verursacht sein. Insgesamt stellt sich ein sehr geringer Qualitätsunterschied für vier Versuchsjahre im Sickerwasser der Düngungsverfahren dar. Die aufsummierten Nitrataustragsmengen unter den beiden Düngungsverfahren und drei Beregnungsstufen sind sehr gering. Sie würden den Trinkwasserschutzgrenzwert (für Grundwasser) von 50 ppm Nitrat unterschreiten. Vergleicht man die beregneten und unberegneten Varianten, ist die Differenz erstaunlicherweise sehr gering. Es fand auch keine Ammoniumauswaschung in den vier Versuchsjahren 2010-2013 statt, was die sehr geringen Werte in Abb. 6-8 zeigen.

#### 6.4 Diskussion und Ausblick

Angenommen wurde in der Versuchsthese, dass bei Klimabedingungen 2050 ein höherer Stickstoffauftrag bei geringem Ertragsniveau und geringem Stickstoffentzug resultiert. In den unberegneten Varianten, als Simulation des projizierten Klimawandels, ist aufgrund des verringerten Ertragsniveaus aber gleichem Düngemiteleinsatz weniger Stickstoff von den Pflanzen verwertet worden. Trotzdem kam es zu kaum erhöhten Stickstoffausträgen gegenüber den beregneten Varianten. Es war eine leicht erhöhte Tendenz der Nitratausträge in der breitflächigen Düngungsvariante gegenüber CULTAN erkennbar. In den beiden beregneten Varianten ist keine eindeutige Tendenz beim Stickstoffauftrag festzustellen.

Sollte die projizierte starke Vorsommertrockenheit eintreten und kein Beregnungswasser zur Verfügung stehen, wäre das CULTAN-Verfahren als Düngungsmethode zu empfehlen. Dann würden geringere Nitratausträge gegenüber einer oberflächlichen Nitratdüngung entstehen, wie die unberegneten Varianten zeigen. Schon heute ist in Regionen ohne Beregnungsmöglichkeit mit ausgeprägter Vorsommertrockenheit das CULTAN-Verfahren aus Grundwasserschutzsicht vorteilhafter. Auf Standorten mit Beregnung kann keine

eindeutige Empfehlung für eines der beiden Düngungsverfahren ausgesprochen werden. Allerdings ist eine langfristige Überprüfung dieser ersten Tendenzen sinnvoll.

Weitere Exaktversuche bei einer Düngungsstaffelung von Sollwert (SW), SW - 15 % und SW - 30 % mit Vergleich beider Düngungsverfahren in Weizen auf dem gleichen Standort (Abb. 6-9) zeigten nachfolgendes Bild der Ertragsreaktion. Je geringer die gedüngte Stickstoffmenge war, desto vorteilhafter war das CULTAN-Düngungsverfahren, während in der Sollwertdüngungsstufe keine Unterschiede der Düngungsverfahren sichtbar waren.

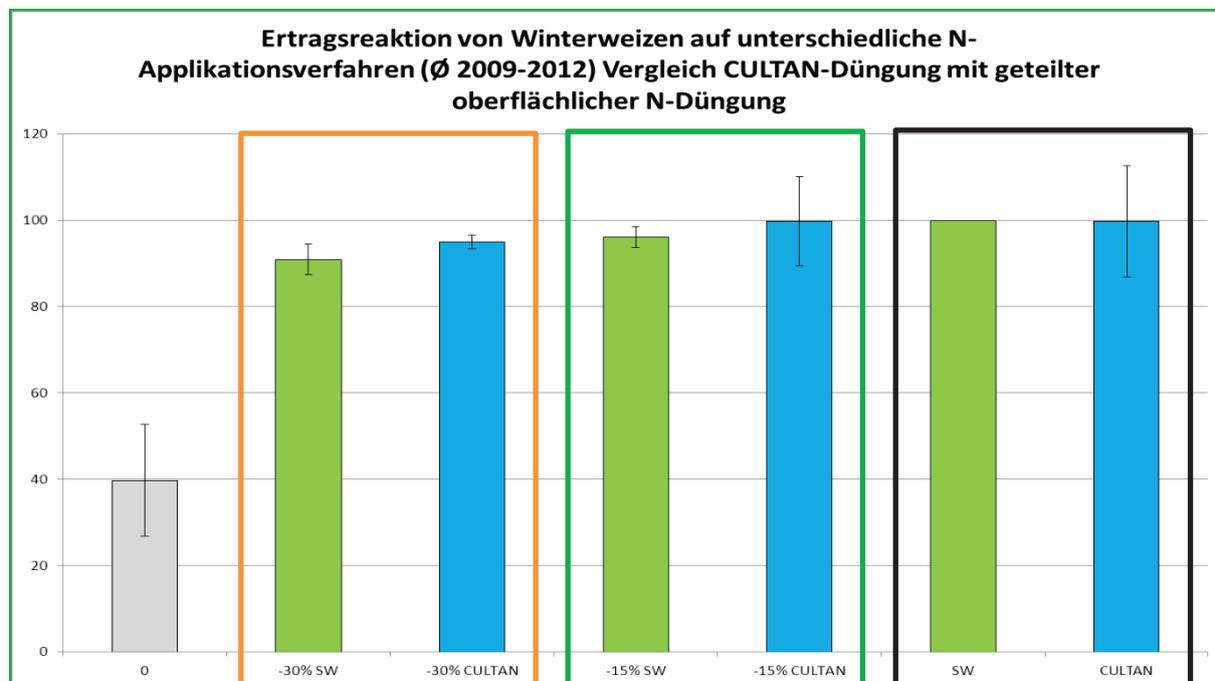


Abb. 6-9: Mehrjähriger Düngerapplikationsvergleich in Winterweizen (2009-2012)

Dieses Ergebnis wird zum Anlass genommen, weiterhin das Stickstoffdüngungsoptimum und verschiedene Düngungsverfahren vergleichend zu untersuchen. Fortlaufend wird eine wichtige Aufgabe der Landwirtschaftskammer in der Düngungsberatung und im begleitenden Versuchswesen gesehen, um in Exaktversuchen Düngestrategien und Düngeverfahren darzustellen zu können. Des Weiteren wurden während der Laufzeit des KLIMZUG-NORD-Projektes die Ergebnisse in die Beratung der Landwirte aufgenommen und erläutert, um die verschiedenen Düngeverfahren mit den Landwirten zu diskutieren und ihnen näher zu bringen.

Das CULTAN-Verfahren zeigt schon jetzt in der Anwendung viele pflanzenbauliche Vorteile. Selbst wenn keine Ertragssteigerung stattfindet, so kann doch eine Ertragsstabilisierung innerhalb eines inhomogenen Schlates sinnvoll sein. Weitere Bereiche wie die Pflanzenvitalität und die Beregnungsbedürftigkeit, die nicht Gegenstand der durchgeführten Untersuchungen waren, sind ebenso wichtige Kriterien bei der Auswahl eines Düngesystems.

Die im KLIMZUG-NORD-Projekt erarbeiteten Ergebnisse können den Landwirt unterstützen, jetzt und zukünftig möglichst umweltschonend zu arbeiten. Beide Düngeverfahren sind in der Praxis funktionsfähig einsetzbar. Gerade bei trockenem Boden hat die Injektionsdüngung Vorteile für die Pflanzenernährung, was aber unter den Versuchsbedingungen nicht zu signifikanten Mehrerträgen im Vergleich zur oberflächlichen Nitratdüngung geführt hatte.

Weil in allen Varianten die gleiche Stickstoffmenge appliziert wurde, war die Nährstoffeffektivität mit geringeren Erträgen auch geringer. Der Verfahrensvergleich zwischen oberflächlicher breit gestreuter Nitratdüngung und der CULTAN-Düngung zeigte in den unberegneten Varianten eine leicht erhöhte Stickstoffeffektivität im CULTAN-Verfahren. Dieser Effekt war mit steigenden Beregnungswassermengen nicht mehr deutlich.

Abschließend ist feststellbar, dass die projizierte Sommertrockenheit nicht allein durch die Wahl des CULTAN-Düngungsverfahrens wettzumachen ist. Das Injektionsdüngungsverfahren hat klare Vorteile bei Vorsommertrockenheit, aber das Gesamtertragsniveau ohne Beregnungswasser-Zusatzgabe wäre bis 2050 sehr viel geringer als bei reduzierter Beregnungswassermenge. Somit werden weitere vielfältige pflanzenbauliche Anpassungen, sei es die Sortenwahl oder die Standortverbesserung, benötigt, um dem Klimawandel im Ackerbau zu begegnen.

Wenn kein zusätzliches Wasser zur Beregnung zur Verfügung stehen sollte, wäre die N-Effektivität des applizierten Stickstoffs stark verringert, wenn die projizierten Klimabedingungen mit verstärkter Vorsommertrockenheit eintreten. Das kann nicht im Sinne einer umweltschonenden Landwirtschaft sein. Deshalb ist eine Kombination aus mindestens einer reduzierten Beregnung mit dem Injektionsverfahren zu befürworten, um weiterhin hohe Düngereffektivitäten im Sinne des Grundwasser- und Umweltschutzes zu realisieren. Durch die Möglichkeit im Injektionsverfahren die Gesamtdüngermenge zu reduzieren kann ein weiterer Beitrag zur nachhaltigen Landbewirtschaftung geleistet werden.

## 7 Humusanreicherung

### 7.1 Literaturübersicht

*Robert Schossow, Dominik Feistkorn und Jürgen Grocholl*

Die sandigen Böden Nord-Ost-Niedersachsens haben eine geringe nutzbare Feldkapazität, in Trockenphasen ist daher nur für eine kurze Zeitspanne die Versorgung des Pflanzenbestandes aus dem Bodenvorrat gesichert. Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Wasserspeicherfähigkeit dieser Böden ist die Erhöhung des Humusgehaltes. Die Auswertung von Literaturangaben zeigt, dass die durch Bewirtschaftungsmaßnahmen zu erzielenden Verbesserungen im Humusgehalt nur zu einer geringen Änderung der nutzbaren Feldkapazität führen, aber dennoch einen Beitrag zu Erhöhung der Wasserkapazität leisten können (vgl. Grocholl 2011). Langjährige Versuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen auf einem Sandboden im Landkreis Uelzen zeigten nach Einsatz von Bioabfallkompost erhebliche Mehrerträge, die nicht auf eine Nährstoffwirkung zurückgeführt werden konnten (Grocholl 2008). Am Versuchsende wurde die Kompostdüngung eingestellt. Bei der weiteren Nutzung der Versuchsflächen im Praxisanbau konnten die vorher sichtbar positiven Effekte nach einigen Jahren nicht mehr festgestellt werden.

Durch Einbringung inerten Kohlenstoffes (Pflanzenkohle) soll dieser positive Effekt nachhaltig zu erzielen sein (Laird 2008). Nachdem die Pflanzenkohle bis in die Mitte des vergangenen Jahrhunderts weitestgehend in Vergessenheit geraten war, ist das Interesse an ihren agronomischen Möglichkeiten in den letzten 20 Jahren stark gestiegen. In mehreren Veröffentlichungen wurde über positive Effekte durch die Einbringung von Pflanzenkohle berichtet:

- Verbesserung des Wasserspeichervermögens, insbesondere in sandigen Böden (Glaser et al., 2002).
- Zuwachs der Bodenbakterien, die in den Nischen der hochporösen Kohle geschützten Lebensraum finden, wodurch die Nährstoffaufnahme der Pflanzen gesichert wird (Thies 2009, Steinbeiss 2009).
- Zunahme der Wurzelmykorrhizen, wodurch eine verbesserte Nährstoff- und Mineralstoffaufnahme sowie wirksamer Schutz gegen Pflanzenschädlinge gewährleistet wird (Warnock 2007).
- Adsorption toxischer Bodenstoffe wie OCP (Organochlorpestiziden) und Schwermetalle, wodurch die Lebensmittelqualität und der Grundwasserschutz verbessert werden (Hilber 2009, Smernik 2009).
- Höhere Bodendurchlüftung sowie bessere Aktivitäten von N-Bakterien und somit deutliche Reduktion der klimaschädlichen Methan- und Lachgas-Emissionen (Kuzyyakov et al. 2009, van Zwieten et al. 2009, Kammann 2010).
- Verbesserte Nährstoffdynamik, was sowohl für erhöhtes Pflanzenwachstum als auch für Klima- und Grundwasserschutz sorgt (Chan 2009).

Zur Herstellung von Pflanzenkohle stehen verschiedene Verfahren, die sich teilweise noch im Versuchsstadium befinden, zur Verfügung:

- Pyrolyse: Bei der Pyrolyse handelt es sich um das klassische Verfahren zur Herstellung von Pflanzenkohle (Holzkohle). Biomasse wird thermochemisch bei Temperaturen von

350 bis 900 °C unter Sauerstoffabschluss zersetzt. Die Mengenanteile und Zusammensetzung von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen, die bei dem Prozess entstehen, hängen stark vom Ausgangsmaterial, der Pyrolysetemperatur, den Zuschlagsstoffen, den Druckverhältnissen und der Behandlungsdauer ab. Moderne Anlagen sollen zukünftig die entstehenden Synthesegase zur Aufrechterhaltung des Prozesses bzw. die Abwärme zu Heizzwecken oder zur Stromerzeugung über Kraft-Wärme-Kopplung nutzen.

Die aus Pyrolyse entstandene Pflanzenkohle enthält ca. 2/3 des in der Biomasse gespeicherten CO<sub>2</sub>.

- Hydrothermale Carbonisierung (HTC): Bei der HTC handelt es sich um ein technisches Verfahren nach dem Prinzip der natürlichen Inkohlung (geochemische Phase). Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit bis hin zum Graphit entstanden unter Sauerstoffabschluss, hohen Temperaturen und Drücken in einem bis zu mehrere Millionen Jahre andauernden Prozess. Bei der HTC wird dieser natürliche Prozess im Wasserbad technisch auf wenige Stunden verkürzt. Die Biomasse wird in einem Druckbehälter während des Prozesses bis zu 220 °C erhitzt und Drücken von 15-20 bar ausgesetzt. Die daraus entstandene Biokohle ähnelt stark der natürlichen Braunkohle, variiert in ihren Eigenschaften aber stark je nach Prozessbedingungen (Libra et al. 2011).

Bei der HTC entsteht wenig Gas, und der Großteil der organischen Biomasse verbleibt in der Festphase, d.h. 90 bis 99 % des Kohlenstoffes liegen als feste Phase vor.

- Vapothermale Carbonisierung (VTC): Bei der VTC wird die Biomasse anstatt im Wasserbad in einer Dampfatmosphäre bei ähnlichen Temperaturen und Drücken wie bei HTC produziert. Vorteil ist die bessere Beherrschbarkeit der Reaktionsbedingungen, sowie energieeffizientere Abläufe des Verfahrens.

Da die Kohlenstoffkondensationsprozesse bei Pyrolyse und HTC/VTC unter sehr unterschiedlichen Prozessen ablaufen, können Unterschiede in den dabei entstandenen Produkten erwartet werden. Diese wurden in Teilen bereits in verschiedenen Studien dargestellt. So berichtet Libra et al. (2011) von niedrigeren H/C und O/C-Verhältnissen bei Pyrolysekohle als bei HTC-Kohle. Auch die inneren Oberflächen von Biokohlen sind nicht einheitlich. Für die Pyrolysekohle wurde eine stark variierende innere Oberfläche von 10 bis hin zu 1000 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> festgestellt, wogegen bei HTC-Kohle eher geringere Oberflächen (<10 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) nachgewiesen wurden. Hierbei muss jedoch betont werden, dass für HTC-Kohle deutlich weniger Ergebnisse vorliegen als für Pyrolysekohle. Biokohlen aus der Pyrolyse haben zumeist pH-Werte >7, wohingegen die der HTC-Kohlen eher im sauren Bereich liegen. Die Phosphor-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte ebenso wie die C/N-Verhältnisse sind sehr variabel und scheinen sowohl bei der Pyrolyse- als auch bei HTC-Kohlen stark vom Ausgangsmaterial abzuhängen. Bei der HTC sammeln sich Nährstoffe im Prozesswasser, während sie nach der Pyrolyse in der Festphase vorliegen, wobei der pflanzenverfügbare Anteil sehr gering sein kann (Libra et al. 2011).

Lange wurde die Dynamik der organischen Substanz des Bodens (Humus) vorwiegend unter dem Aspekt der Bodenfruchtbarkeit gesehen. In neuerer Zeit gewann der Humus jedoch als Quelle und Senke für CO<sub>2</sub> neue Aufmerksamkeit. Im Hinblick auf den Anstieg der Treibhausgase, werden Möglichkeiten erörtert, stabilen Kohlenstoff im Boden anzureichern und der Atmosphäre somit langfristig CO<sub>2</sub> zu entziehen.

Das Prinzip: über den Weg der Biokohle wird Biomasse aus dem natürlichen Kohlenstoffkreislauf entnommen und über technisch gesteuerte Carbonisierungsprozesse in

kohleähnliche Produkte umgewandelt. Ein Großteil des in der Biomasse enthaltenen Kohlenstoffs wird in der Festphase gespeichert. Die erzeugte Biokohle kann entweder energetisch genutzt, oder zur Kohlenstoffsequestrierung, d.h. zur langfristigen Entnahme aus dem C-Kreislauf, eingesetzt werden (Wallmann 2011).

Zur langfristigen Kohlenstoffsequestrierung in Böden ist die Lagerstabilität der Biokohlen von entscheidender Bedeutung. Kuzyakov et al. (2009) fand für Pyrolysekohle eine mittlere Verweilzeit der Kohle von 2000 Jahre vor. Steinbeiss et al. (2009) untersuchte die Stabilität von HTC-Kohle und fand Umsatzzeiten zwischen 4 und 29 Jahren heraus. Jedoch sind die Ergebnisse aus den bisherigen Untersuchungen weder direkt vergleichbar, noch waren diese Studien langfristig, so dass sich aus ihnen das tatsächliche langfristige Verhalten der Biokohle nicht bestimmen lässt. Hierfür sind langfristige Feldversuche vonnöten (Helfrich et al. 2011).

## 7.2 Feldversuche

*Robert Schossow, Dominik Feistkorn und Jürgen Grocholl*

### Versuchsanlage

In dem im Herbst 2011 angelegten Versuch wird die Frage untersucht, ob Bodenverbesserungsmittel mit inertem Kohlenstoff bei kurzfristiger Betrachtung (Versuchslaufzeit im Projekt KLIMZUG-NORD zwei Jahre) ackerbauliche Vorteile gegenüber dem aus früheren Versuchen bekannten Biokompost aufweisen. Insbesondere der Einfluss auf die Effizienz der Wassernutzung steht im Fokus. Eine Fortführung der Versuche zur Klärung langfristiger Effekte ist vorgesehen.

Der Versuch ist als 2-faktorielle Spaltanlage mit den Kleinteilstücken „Bodenverbesserungsmittel“ und den Großteilstücken „Wasserversorgung“ in 4-facher Wiederholung (zwei echte und zwei unechte) angelegt.

Folgende Varianten wurden geprüft:

Düngung mit Bodenverbesserungsmitteln:

- Kontrolle (keine Einarbeitung eines Bodenverbesserungsmittels)
- Palaterra® (ein nährstoffreiches Humussubstrat aus biologischen Reststoffen (Kompost), welches durch Zugabe von pyrolysiertes Holzkohle sowie Populationen von Mikroorganismen und Bodenpilzen hergestellt wird. Das Material für den Versuch wurde kostenfrei von der Firma Palaterra GmbH & Co. KG zur Verfügung gestellt.)
- HTC-Biokohle (die Kohle wurde in Zusammenarbeit mit „Hamburg Wasser und dem Ingenieurbüro „Brinkege Engineering GmbH nach dem Prinzip der Vapothermalen Karbonisierung (VTC) hergestellt. Das Edukt, Gärreste aus Maissilage, stammt aus der Biogasanlage „Energiepark Trelder Berg GmbH“ und wurde für Versuchszwecke kostenfrei zur Verfügung gestellt. Die Karbonisierung erfolgte in einem Autoklav, d.h. Dampfdruckkessel für Kalk-Sandsteinproduktion unter folgenden Prozessbedingungen: Druck: 16 bar, Temperatur: 180 °C, Zeit: 8 Stunden (plus 2 x 6 Stunden Dampfüberleitungsphase)
- Biokompost (Feinkompost aus Siedlungsabfällen des Landkreises Uelzen/Kompostieranlage Borg, überwacht nach der RAL-Gütesicherung (RAL-GZ251). Das Material für den Versuch wurde kostenfrei zur Verfügung gestellt.)

Eine Übersicht über die Inhaltsstoffe der verwendeten Produkte gibt Tab. 7-1, die Schwermetallgehalte lagen in allen Fällen unter den rechtlichen Grenzwerten.

#### Wasserversorgung

- ohne Berechnung
- reduzierte Berechnung
- optimale Berechnung

Tab. 7-1: Inhaltsstoffe der ausgebrachten Bodenverbesserungsmittel (Analyse der LUFA Nord-West vom November 2011)

Material	2010	2010	2011
pH-Wert	7,2	6,2	8,1
Trockensubstanz (% TM)	43,4	31,4	71,7
Glühverlust/org. Substanz (%)	49,3	80,2	21,8
Salzgehalt (Gew.%TM)	1,04	4,88	0,93
Stickstoff N (kg/t TM)	13,8	18,0	9,8
C/N Verhältnis, rechnerisch	18	22	11
Ammonium-N (mg/kg TS)	7*	2120	920
Phosphor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t TM)	5,72	39,8	4,72
Kalium K <sub>2</sub> O (kg/t TM)	10,2	14,9	7,9
Magnesium MgO (kg/t TM)	10,2	23,7	3,5

\* aufgrund des Gehaltes an Holzkohle sind die löslichen Nährstoffe ggf. nicht vollständig erfasst worden

Die Ausbringung der Bodenverbesserungsmittel erfolgte am 22. und 23.11.2011 gleichmäßig in den Parzellen (Abb. 7-1, Tab. 7-2). Die nach der Vorfrucht Winterweizen angebaute Zwischenfrucht Ölettrich wurde vorher geschlegelt. Am 23.11. wurde die gesamte Versuchsfläche mit einer Scheibenegge flach (9 cm) bearbeitet und damit die ausgebrachten Materialien eingearbeitet. In den Jahren 2012 und 2013 erfolgte keine erneute Ausbringung.



Abb. 7-1: Ausbringung von Biokompost und Palaterra® (links) sowie HTC-Biokohle (rechts)

Tab. 7-2: Ausgebrachte Mengen an Bodenverbesserungsmitteln und darin enthaltene Nährstoffmengen

	Trocken- masse (t/ha)	Stickstoff (N <sub>t</sub> , kg/ha)	verf. Stickstoff (NH <sub>4</sub> -N, kg/ha)	Phosphor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , kg/ha)	Kalium (K <sub>2</sub> O, kg/ha)
Palaterra®	21,4	296	0	123	218
HTC-Biokohle	9,0	162	19	359	134
Biokompost	23,5	230	22	111	186

Die anbautechnischen Maßnahmen für die beiden Versuchsjahre sind in Tab. 7-3 dargestellt.

Tab. 7-3: Anbautechnische Maßnahmen

	2012	2013
Vorfrucht	Winterweizen / Ölerrettich	Sommergerste
Hauptfrucht (Sorte)	Sommergerste (Quench)	Wintertriticale (Grenado)
Saatzeit	14.03.2012	27.09.2012
Ernte	03.08.2012	07.08.2013
Nmin im Frühjahr (Kontrolle) (kg/ha, 0-30/30-60/60-90 cm Bodentiefe)	18/13/16	5/3/5
Bodenuntersuchung P/K/Mg (mg/100g Boden im Mittel der Varianten)	5,0/6,0/4,0	5,0/10,2/3,5
Düngung P/K/Mg (kg/ha P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /MgO)	60/150/24	65/130/20
Beregnung reduziert	16.05.: 20 mm 30.05.: 25 mm 03.07.: 25 mm Summe: 70 mm	19.06.: 25 mm Summe: 25 mm
Beregnung optimal	03.05.: 20 mm 22.05.: 25 mm 13.06.: 25 mm 22.06.: 25 mm Summe: 95 mm	10.06.: 30 mm Summe: 30 mm
Bemerkungen		Die Beregnungsgaben erfolgten unmittelbar vor großen Niederschlägen und blieben deshalb weitestgehend unwirksam.

Um die Entwicklung der Wassergehalte im Boden im Verlauf der Vegetation zu verfolgen, wurden Ende März elektronische Messsonden in ausgewählten Varianten mit jeweils mehreren Messtiefen in einem eng begrenzten Teilbereich des Versuches in einer Wiederholung eingebaut (Abb. 7-2). Bei den Messsonden handelt es sich um Sentec EasyAG 50 FDR-Sonden, mit fünf fest installierten Sensoren in 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm und 50 cm Tiefe. Die aufgezeichneten Daten können am Computer dargestellt werden und liefern ein fortlaufendes Bild über die Wassergehalte in der Wurzelzone. Die Software bildet

grafisch Veränderungen durch Beregnung, Niederschlag und den Pflanzenwasserverbrauch im Boden ab (agro-sat.de/EASYAG).

Neben diesen Messungen wurden durch die Leuphana Universität Lüneburg im Rahmen des Projektes KLIMZUG-NORD umfangreiche bodenphysikalische und bodenbiologische Untersuchungen durchgeführt (Kap. 7.3).



Abb. 7-2: Sentec Easy AG Messsonde 50 cm (links) und Datenspeicher (rechts)

### Ertrag

Im ersten Versuchsjahr 2012 erzielte die Sommerbraugerste in der optimal beregneten Variante ein für den Standort typisches Ertragsniveau von rund 70 dt/ha (Tab. 7-4). Bei unterlassener Beregnung lag es um 32 % niedriger, bei reduzierter um 23 %. Die Rohproteingehalte nahmen mit abnehmender Wasserversorgung zu und lagen in der unberegneten Variante im Mittel der Behandlungen über dem Qualitätsgrenzwert von 11,5 %. Die Erzeugung von Braugerste wäre damit in diesem Jahr ohne Beregnung oftmals nicht möglich gewesen.

Tab. 7-4: Ertrag und Proteingehalt von Sommergerste (2012) und Wintertriticale (2013) nach Einsatz verschiedener Bodenverbesserer in Abhängigkeit von der Wasserversorgung

	Kornertrag (dt/ha)				Proteingehalt im Korn (% in TM)			
	Beregnung				Beregnung			
	ohne	red.	opt.	Mittel	ohne	red.	opt.	Mittel
<b>2012</b>								
Kontrolle	44,5	51,0	64,5	53,3	11,2	11,1	9,5	10,6
Palaterra®	49,9	52,2	71,8	58,0	11,3	10,2	9,7	10,4
HTC Biokohle	47,4	57,0	69,6	58,0	12,0	11,3	10,5	11,3
Biokompost	47,6	53,0	72,4	57,6	11,9	10,4	9,2	10,5
Mittel	47,3	53,3	69,6	56,7	11,6	10,8	9,7	10,7
GD5 %				5,0				
<b>2013</b>								
Kontrolle	92,1	95,6	90,3	92,7	11,5	11,0	11,4	11,3
Palaterra®	96,4	102,9	93,0	97,4	11,4	10,9	11,0	11,1
HTC Biokohle	102,4	97,7	95,1	98,4	11,5	11,1	11,3	11,3

	Kornertrag (dt/ha)				Proteingehalt im Korn (% in TM)			
	Beregnung				Beregnung			
	ohne	red.	opt.	Mittel	ohne	red.	opt.	Mittel
Biokompost	92,8	92,2	92,5	92,5	10,9	11,4	11,1	11,1
Mittel	95,9	97,1	92,7	95,2	11,3	11,1	11,2	11,2
GD5 %				4,7				

Die im Jahr 2013 angebaute Wintertriticale erzielte mit über 90 dt/ha ebenfalls ein hohes Ertragsniveau. Auf Grund der hohen Niederschläge lag dies bei allen Beregnungsvarianten in einem ähnlichem Bereich. Die optimal berechnete Variante wies den niedrigsten Ertrag auf, dies ist vermutlich auf kurz nach der Beregnungsgabe einsetzende starke Niederschläge und eine damit zu hohe Wasserversorgung zurückzuführen.

Im Mittel der Beregnungsstufen führte der Einsatz aller Bodenverbesserer im Jahr 2012 zu leichten, statistisch nicht gesicherten Mehrerträgen (Abb. 7-3). Im zweiten Versuchsjahr, ohne erneute Ausbringung der organischen Stoffe, war ein Mehrertrag nur nach Einsatz von Palaterra® und HTC-Biokohle festzustellen.

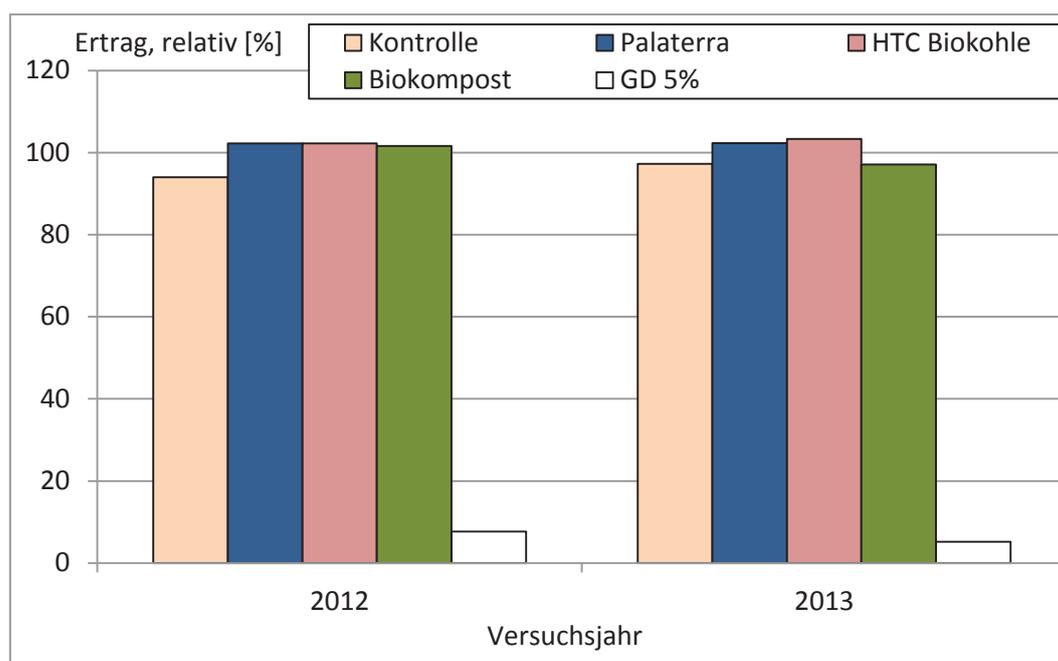


Abb. 7-3: Kornertrag (Relativertrag, 100 % = jährl. Versuchsmittel) in Abhängigkeit des Einsatzes verschiedener Stoffe zur Bodenverbesserung (2012 – Sommergerste und 2013 – Wintertriticale, Mittelwert der drei Beregnungsstufen)

Eine Ursache der Mehrerträge im Jahr 2012 kann eine bessere Stickstoff-Versorgung der Sommergerste sein. Mit allen Stoffen wurden im Herbst 2011 erhebliche Mengen an Gesamtstickstoff ausgebracht (Tab. 7-2). Davon war zwar nur ein geringer Teil direkt pflanzenverfügbar, im Frühjahr 2012 wurden aber in allen Fällen im Vergleich zur Kontrolle leicht erhöhte Nmin-Mengen im Boden gemessen (Tab. 7-5). Zudem ist mit einer weiteren N-Freisetzung aus dem organisch gebundenen Anteil im Verlauf der Vegetation zu rechnen. Frühere Untersuchungen mit dem Biokompost zeigten beispielsweise eine N-Wirkung von 5-10 % des Gesamt-N im ersten Jahr (Grocholl 2008). Da die Sommerbraugerste nur mit einer

begrenzten N-Menge gedüngt wird um den geforderten niedrigen Rohproteingehalt sicherzustellen, kann schon eine geringfügig höhere N-Versorgung zu deutlichen Mehrerträgen führen.

Tab. 7-5: Stickstoffmengen (N<sub>min</sub>) im Frühjahr 2012 im durchwurzelbaren Bodenhorizont

Boden-schicht	Kontrolle		Palaterra®		HTC-Kohle		Kompost	
	NO <sub>3</sub> -N (kg/ha)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha)	NO <sub>3</sub> -N (kg/ha)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha)	NO <sub>3</sub> -N (kg/ha)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha)	NO <sub>3</sub> -N (kg/ha)	NH <sub>4</sub> -N (kg/ha)
0-30 cm	17	2	21	2	25	9	18	2
30-60 cm	12	2	15	3	13	3	14	2
60-90 cm	12	2	17	4	11	2	17	3
Summe	47		62		62		55	

Ein Einfluss der mit den Bodenverbessern ausgebrachten Mengen an Phosphor, Kalium und Magnesium ist dagegen unwahrscheinlich, da die mit der mineralischen Düngung verabreichten Mengen den Entzug der Sommergerste abdecken. Auch eine durch die Ausbringung der Bodenverbesserer verbesserte Effizienz der Wassernutzung lässt sich durch die Versuchsdaten nicht belegen (Abb. 7-4). Die Ertragsverluste durch die unterlassene Beregnung sind bei allen Varianten ähnlich und auch die Werte bei reduzierter Beregnung liefern keinen Erklärungsansatz.

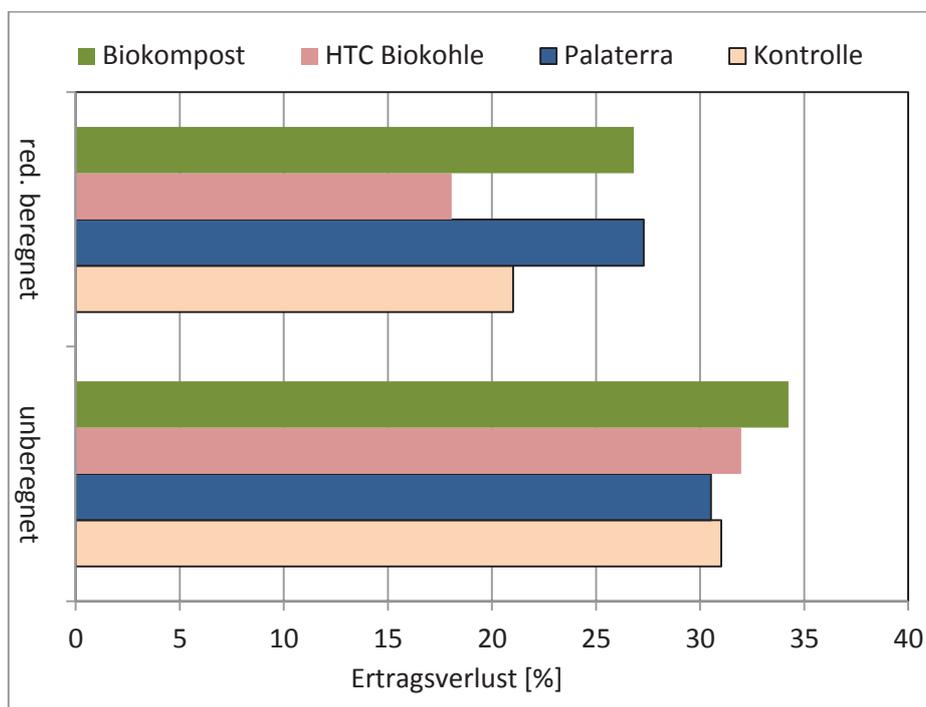


Abb. 7-4: Relative Mindererträge bei suboptimaler Wasserversorgung (100 % = optimal berechnete Variante bei jeder Behandlung) nach Einsatz verschiedener Stoffe zur Bodenverbesserung (2012, Sommergerste)

Im Jahr 2013 sind Mehrerträge nur bei Palaterra® und HTC-Biokohle aufgetreten. Während für den Biokompost eine mit 1-2 % im zweiten Jahr nur noch sehr geringe N-Nachlieferung bekannt ist (Grocholl 2008), kann diese bei den beiden anderen Stoffen durchaus höher und damit Ursache für Mehrerträge sein. Die ermittelten Analysedaten stützen diese Hypothese

jedoch nicht: Die im Frühjahr gemessenen Nmin-Mengen im Boden waren allgemein gering. Während der Vegetation zum Stadium BBCH 39 durchgeführte Pflanzenanalysen (auf die Nährstoffe N, P, K, Mg, S, Mn, Cu, B, Zn, Fe, Na, Al) zeigen kaum Unterschiede zwischen den Varianten und in allen Fällen ausreichende Gehalte entsprechend der bei Breuer et al. (2003) zusammengestellten Richtwerte. Eine verbesserte Nährstoffversorgung als Ursache für die Mehrerträge ist damit unwahrscheinlich. Die Phosphor-, Kalium-, und Magnesiumgehalte im Boden sind allerdings durch die Düngung mit allen drei Stoffen angehoben worden, wie eine zum Ende der Projektlaufzeit im Frühjahr 2014 durchgeführte Bodenuntersuchung zeigt (Tab. 7-6). Die Düngung mit den beiden basischen Substraten Palaterra® und Biokompost hat zu einem leichten Anstieg des pH-Wertes geführt, alle drei Substrate führten zu geringfügig erhöhten Humusgehalten. Inwieweit dies Ursache der Mehrerträge sein könnte ist ungewiss.

Tab. 7-6: Gehalte an Humus und Pflanzennährstoffen in der Krume im Frühjahr 2014

	pH	Humus	P	K	Mg	B	Cu	Mn	Zn
	CaCl <sub>2</sub>	Glühverlust [%]	[mg/100g Boden]				[mg/kg Boden]		
Kontrolle	5,5	1,6	4,5	7,5	4,3	0,23	1,41	37,8	2,46
Palaterra®	5,7	1,7	4,7	10	4,9	0,25	1,27	32,2	2,45
HTC-Biokohle	5,5	1,7	5,1	8,8	6,1	0,24	1,42	39,5	2,67
Biokompost	5,7	1,8	5	9,5	4,7	0,26	1,39	31,7	2,76

Die Ergebnisse bestätigen die aus früheren Versuchen und der Literatur bekannte positive Wirkung einer organischen Düngung und der damit verbundenen Humusanreicherung auf die Ertragsbildung bei sandigen Böden. Inwieweit dieser Effekt durch die Verwendung von Substraten mit einem Gehalt an stabileren Kohlenstoffverbindungen oder Holzkohle verstärkt werden kann, ist nach diesen ersten Versuchsjahren noch nicht zu beantworten. Für die HTC-Biokohle haben die Untersuchungen von Urban et al. (Kap. 7.3) allerdings keine größere Stabilität der Kohlenstoffverbindungen im Boden gezeigt. Negative Effekte auf das Pflanzenwachstum durch die Ausbringung der Biokohlen konnten nicht festgestellt werden. In anderen Untersuchungen festgestellte Nachteile zum Zeitpunkt der Keimung oder Jugendentwicklung waren aber auf Grund der Ausbringung im Herbst vor der Saat der Sommergerste auch nicht zu erwarten. Generell lassen die Versuche keine allgemeinen Ableitungen zu, da die Wirkung der Biokohlen in starkem Maße von Ausgangsmaterial, Herstellungsprozess, Zeitpunkt und Menge der Ausbringung und auch der angebauten Kulturart abhängt (Gajić 2012, Bargmann et al. 2012).

### Bodenwasser

Um den Einfluss der ausgebrachten Bodenverbesserungsmittel auf die Wasserspeicherefähigkeit des Bodens zu ermitteln, wurde in einem Teilbereich der Versuchsfläche der Bodenwassergehalt im Verlauf der Vegetation gemessen. Hierzu wurden 2012 und 2013 die bereits oben beschriebenen neun Sonden eingesetzt.

Die Bodensonden haben vom 27.03.2012 bis zum 30.07.2012 alle 60 Minuten die Bodenfeuchtigkeit in Millimeter (mm) bzw. Volumenprozent gemessen und einen Datensatz von 2.995 Messungen pro Sonde generiert. Verwendet wurde dazu die vorgegebene Standard Eichung der Sonden, die Genauigkeit der Umrechnung der Messwerte in absolute

Wassergehalte für den Versuchsstandort ist dabei jedoch fraglich. Eine an den Standort angepasste Kalibrierung konnte bisher nicht erfolgen. Problematisch ist auch, dass es sich um punktuelle Messungen im Boden handelt, durch die Heterogenität des Bodens und in Nähe der Sonden liegende Steine ist eine große Streuung der Messwerte auch in der gleichen Variante möglich (Kap. 10.1). Aufgrund der Bodenbearbeitungen im Herbst 2011 und Frühjahr 2012, kann davon ausgegangen werden, dass das Material in den obersten 30 cm verteilt wurde und nur dort nach einem Effekt bezüglich der Wasserspeicherefähigkeit geschaut werden muss.

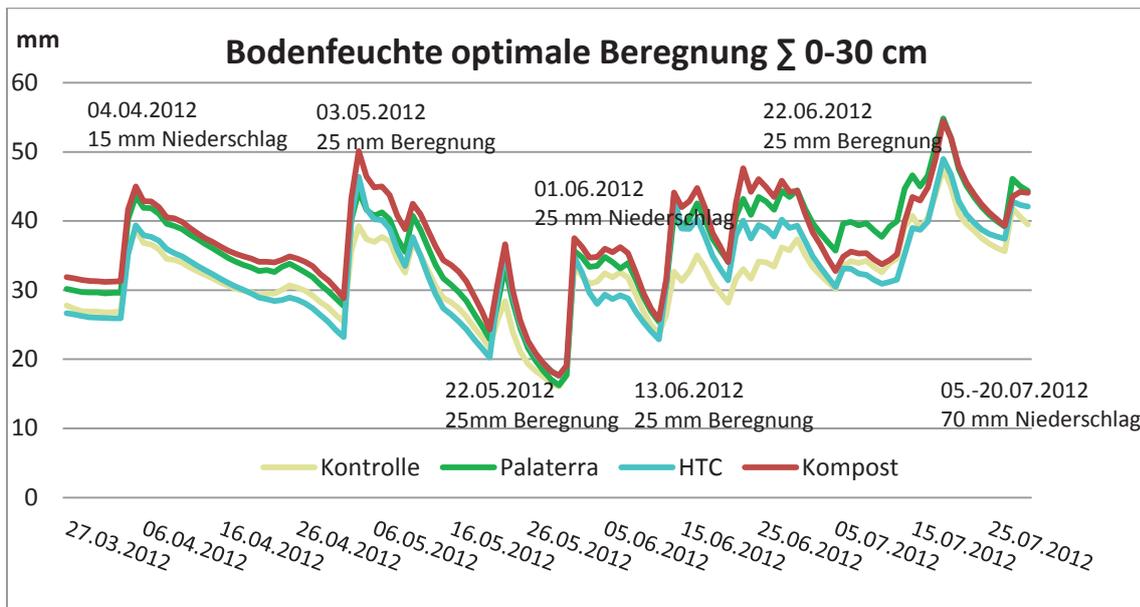


Abb. 7-5: Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) in der optimal beregneten Variante (2012 Sommergerste)

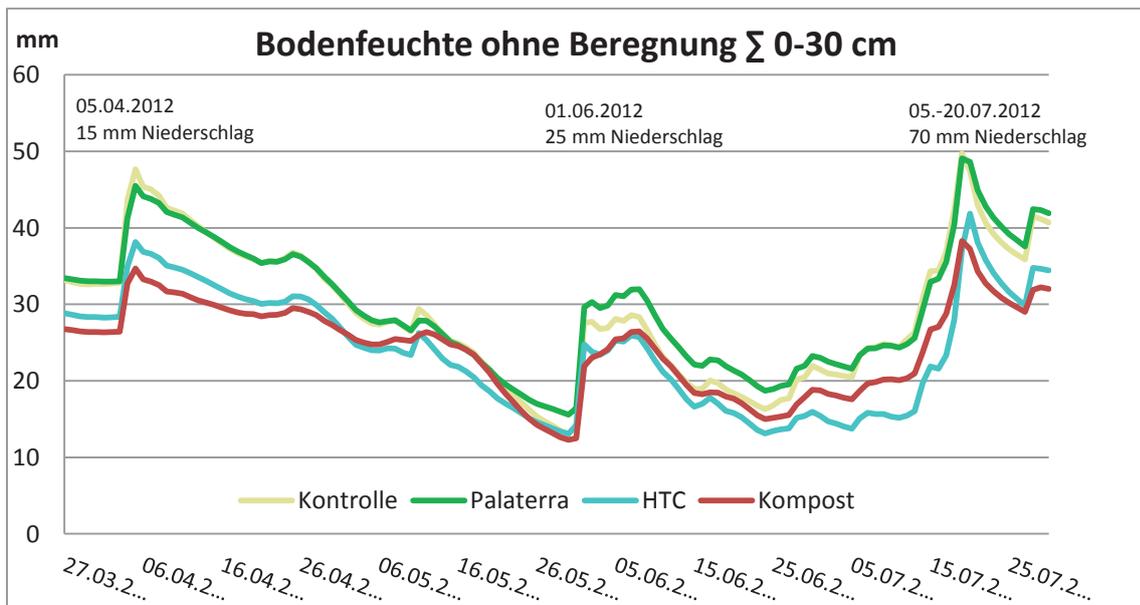


Abb. 7-6: Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) in der unberegneten Variante (2012 Sommergerste)

Abb. 7-5 und Abb. 7-6 zeigen die Tagesmittelwerte als Verläufe von Ende März bis Ende August in der Summe von 0-30 cm Bodentiefe. Zu erkennen sind natürliche Niederschlags-

und Beregnungsereignisse als Peak sowie die darauffolgende Abnahme der Bodenfeuchtigkeit bzw. die Austrocknung des Bodens.

Bezüglich einer Veränderung der Wasserspeicherfähigkeit durch die Bodenhilfsstoffe lässt sich aufgrund der Sonden in den beiden Beregnungsstufen keine einheitliche Aussage treffen. Betrachtet man in Tabelle 7.7 die Mittelwerte der gesamten Messung (über 123 Tage), so zeigt sich gegenüber der Kontrolle in der optimal beregneten Variante eine Erhöhung des Bodenwassergehaltes bei Kompost um 16,3 %, bei Palaterra® um 13,5 % und bei der HTC-Biokohle um 2,6 %. In der Variante ohne Beregnung zeigt Palaterra® eine Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit um 2,9 %, HTC-Biokohle und Kompost liegen aber mit bis zu 17 % unter dem Wert der Kontrolle.

Tab. 7-7: Im Boden gespeicherte Wassermenge in Abhängigkeit der Ausbringung verschiedener Stoffe zur Bodenverbesserung und der Wasserversorgung (Mittelwerte der Messungen in Sommergerste 2012 über 123 Tage)

	Kontrolle	Palaterra®	HTC-Biokohle	Biokompost
<b>Optimale Beregnung</b>				
Bodenwasser [mm]	31,8	36,1	32,6	37,0
Bodenwasser [relativ zu Kontrolle]	100,0	113,5	102,6	116,3
<b>Ohne Beregnung</b>				
Bodenwasser [mm]	29,0	29,8	24,1	24,4
Bodenwasser [relativ zu Kontrolle]	100,0	102,9	83,0	84,1

2013 wurden die Sonden in drei Varianten und drei Wiederholungen eingesetzt. Die Sonden zeichneten im Minutentakt die Bodenfeuchtegehalte im Zeitraum vom 09.04.2013-22.07.2013 auf. Betrachtet man die Verlaufskurven in Abb. 7-7, so fällt auf, dass man an den absoluten Bodenfeuchtespeicherfähigkeiten zwischen den drei Bodenhilfsstoffvarianten und der Kontrollvariante keinen eindeutigen Trend erkennen kann. Vergleicht man die Sondendaten einer Varianten untereinander, so ist eine große Streuung feststellbar.

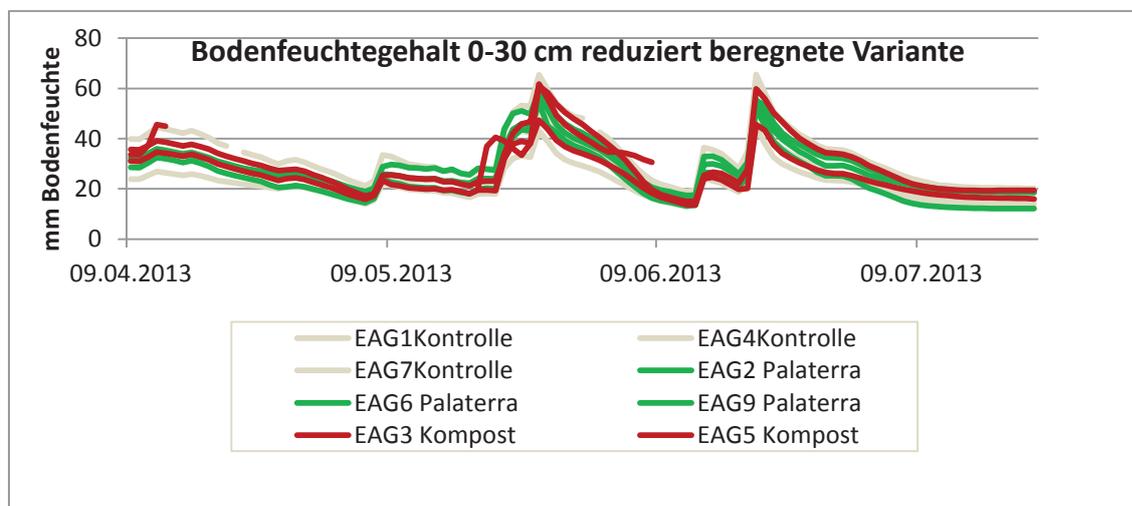


Abb. 7-7: Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) in der reduziert beregneten Variante (2013 Wintertriticale)

Im Folgenden soll daher die kurzfristige Entwicklung der Bodenwassergehalte nach Austrocknung und Wiederbefeuchtung betrachtet werden. In Tab. 7-8 ist für den 12.06.2013 der Bodenfeuchtegehalt in den ersten 30 cm Bodentiefe nach fünf Tagen Sommertrockenheit angegeben. Bis zum 15.06. fielen 31,4 mm Niederschlag, die gemessenen Bodenfeuchtegehalte verdoppelten sich nahezu in allen Varianten. Betrachtet man die Differenzen vor und nach dem Niederschlagsereignis, so sieht man, dass die Unterschiede zwischen den Varianten, denen innerhalb der Varianten entsprechen und deshalb andere Einflüsse dominanter sind. Um die Wasserhaltefähigkeit bewerten zu können, soll der Unterschied zwischen dem Tag des höchsten gemessenen Bodenfeuchtegehaltes nach dem Niederschlagsereignis (15.06.) und dem folgenden Tag (16.06.) Aufschluss bringen. In allen Varianten und Sondendaten werden abfallende Feuchtegehalte festgestellt. Die Spannweite erstreckt sich hier von 0,6-1,6 mm. Jedoch zeigt sich auch hier kein eindeutiger Trend zwischen den Varianten.

Bodenfeuchtegehalte vor und nach einem Niederschlagsereignis (31,4mm) in 0-30cm Bodentiefe reduziert berechnet (2013 Wintertriticale)									
	Kontrolle			Palaterra			Biokompost		
	EAG1	EAG4	EAG7	EAG2	EAG6	EAG9	EAG3	EAG5	EAG8
12.06.2013	14,1	13	18,9	16,6	13,2	17,3	13,8	15	0
15.06.2013	26,1	23,2	35,6	33	26,4	30	24,7	26,7	0
Differenz	12	10,3	16,7	16,4	13,2	12,7	10,9	11,7	0
15.06.2013	26,1	23,2	35,6	33	26,4	30	24,7	26,7	0
16.06.2013	25,3	22,3	34	31,6	25	29,1	23,6	26,1	0
Differenz	0,8	1	1,6	1,4	1,4	0,9	1,1	0,6	0

*Tab. 7-8: Auswirkungen der Bodenfeuchtegehalte in 0-30 cm Tiefe (Summe) vor und nach einem Niederschlagsereignis (31,4 mm) in der reduziert berechneten Variante (2013 Wintertriticale, Sonde EAG 8 ausgefallen)*

Vermutlich überlagern die Bodenheterogenitäten und messtechnischen Einflüsse den Einfluss der Bodenhilfsstoffe. Der nur geringfügig erhöhte Humusgehalt (Tab. 7-6) gegenüber der Kontrollvariante reicht offenbar nicht aus, um messbare Unterschiede hervorzurufen. Inwieweit die verwendeten Bodensonden überhaupt geeignet sind, entsprechende Unterschiede zu erfassen, bedarf weiterer Forschung.

### 7.3 Bodenökologische Untersuchungen

#### *Brigitte Urban und Arbeitsgruppe <sup>1</sup>*

Der Einsatz von hydrothermal carbonisierter Pflanzenkohle (HTC-Biochar) in der Landwirtschaft kann sich bodenverbessernd im Hinblick auf die Wasserhaltekapazität und Nährstoffspeicherefähigkeit und damit letztlich auch auf die Ertragsleistung auswirken (u.a. Kammann et al. 2010, Gajić et al. 2011, Gajić 2012, Glaser et al. 2012). Zudem steht in Diskussion ob und mit welcher Effizienz ein Beitrag zur Rückführung, bzw. zwischenzeitlichen Festlegung des CO<sub>2</sub>-C aus Bioabfällen bzw. Wirtschaftsgütern über eine Carbonisierung geleistet werden kann (u.a. Titirici et al. 2007).

<sup>1</sup> \*Arbeitsgruppe „Landschaftswandel“ des Instituts für Ökologie der Leuphana Universität Lüneburg und Mitwirkende im KLIMZUG-NORD Teilprojekt 3.3: MSc Emad Elba, MSc Hady Ezzo, MSc Dalia Farghaly, MSc Sabine Hansen, Dipl.-Biol. Frank Krüger, Dipl.-Ing. agr. Isa Schierholz, MSc Mario Tucci, Leuphana Universität Lüneburg. MSc Thida Myint, Department of Agricultural Research, Naypyitaw, Myanmar. Dr. Karin Schmelmer, Uelzen.

Zur Abschätzung der Wirkung von HTC-Pflanzenkohle (Biochar) aus Maissgärresten auf das Wachstum von Sommergerste auf sandigen Böden der Region und im Hinblick auf Stoffausträge mit dem Sickerwasser wurden 2011 und 2012 dem Freilandversuch (Feistkorn et al., 2012) vorgeschaltete Klimakammerversuche durchgeführt. Die Humusanreicherungsversuche im Verbund mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen wurden im Feld zwischen 2011 und 2013 mit Ausgasungs-, Sickerwasser- und bodenkundlich-bodenmikrobiologischen Untersuchungen begleitet. An dieser Stelle erfolgt eine verkürzte Darstellung wesentlicher Befunde. Die bodenökologischen Untersuchungen zur Humusanreicherung werden in einem gesonderten Beitrag ausführlich beschrieben (Urban et al. in Vorbereitung).

### Lysimeter off site Versuche

#### Versuchsbeschreibung

Maisgärreste der Firma Biogas Trelder Berg GmbH, Buchholz wurden in einer Versuchsanlage des Instituts für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz der Technischen Universität Hamburg-Harburg hydrothermal carbonisiert. Herrn Dr. Kimmu Palmu danken wir an dieser Stelle vielmals für die Herstellung der Pflanzenkohle. Die Carbonisierung benötigte nach einer zweistündigen Aufheizphase der Anlage auf 180 °C, acht Stunden für den C-Anreicherungsprozess sowie zwei Stunden zum Abkühlen der Biomasse. Das eingesetzte HTC-Produkt wurde von der Hamburger Stadtentwässerung eingangsuntersucht (Tab. 7-9).

*Tab. 7-9: Charakterisierung der HTC-Pflanzenkohle aus Maisgärresten und zugrunde liegende Methoden*

Analyse: Hamburger Stadtentwässerung, 2011

Parameter	Messwert	Einheit	Methode
Färbung	schwarz		DIN EN ISO 7887
Geruch	Muffig		DEV B1/2
Konsistenz	Körnig		Organoleptik
pH-Wert	7,2		DIN EN 12176
Königswasseraufschluss			DIN EN 13346, S7a
Blei	<10,9	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Chrom	14,0	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Kupfer	<57,0	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Nickel	<13,6	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Cadmium	<0,38	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Zink	96,8	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Kalium	20.200	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Quecksilber	0,16	mg/kg TR	DIN EN 1483
Phosphor, gesamt	25.800	mg/kg TR	DIN EN ISO 11885
Kjehldahl-Stickstoff	27.700	mg/kg TR	DIN EN 25663
Trockenrückstand	49,8	%	DIN EN 12880 S2a
Glührückstand	29,9	% TR	DIN EN 12879 S3a
Glühverlust	70,1	% TR	DIN EN 12879 S3a

Der nach der Walkley-Black Methode (Page et al. 1982) ermittelte Kohlenstoffgehalt der HTC aus Maissilage lag bei 24,1 % (siehe Keimversuche), der aus dem Glühverlust (GV) (Tab. 7-9) errechnete Gehalt bei 33 % (C % errechnet aus Glühverlust % x 0,47). Das C/N Verhältnis des eingesetzten HTC-Materials lässt sich auf der Basis der direkten C-Bestimmung mit 8,6 angeben, bzw. mit 12,7 aus dem GV errechnet. Damit war es wesentlich enger als das des später im Freiland eingesetzten HTC-Materials mit einem C/N von 22.

Auf dem östlichen Teil des Versuchsfeldes in Hamerstorf in Richtung der Stahlbachniederung wurden Anfang März 2011 neun Lysimeter (ungestörte Bodensäulen) gezogen (Abb. 7-8) und die Bodenprofile an den Entnahmestellen aufgenommen und beprobt.



**Abb. 7-8: Lysimeterentnahme**

Foto: B. Urban

Der Aufbau der Bodenprofile ist in diesem Bereich des Versuchsfeldes untereinander gut vergleichbar. Es handelt sich um saure Braunerden aus glazifluvialen, skeletthaltigen, selten schwach schluffigen saalezeitlichen Sanden über Grundmoräne, die durchgehend mittelsandig sind (Tab. 7-10).

**Tab. 7-10: Beispielhafter Bodenprofilaufbau der Lysimeter 1 und 2 und wesentliche bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften (März 2011)**

Horizont-abfolge	Mächtigkeit (cm)	Textur	pH-Wert (CaCl <sub>2</sub> )	Feldkapazität bei pf 1,8 (mm)	Nutzbare Feldkapazität pf 1,8-4,2 (Vol.-%)	Corg (%)	Norg (%)	C/N	Nmin-N (kg/ha)
Ap	0 – 36	mSgs	5,3	49,82	37,11	1,13	0,06	18,8	10,8
Bv	36 – 52	mSfs	4,96	18,97	15,8	0,92	0,032	28,7	4,97
ICv	52 – 62	mSfs	5,2	7,18	5,94	0,62	n.b.	n.b.	n.b.

Die Bodenanalytik der Lysimeterprofile erfolgte nach folgenden Verfahren: Trockensubstanz nach DIN 19683 Blatt 4; pH-Wert nach DIN 19684 Teil 1; C-Gehalt nach der Lichterfelder Methode in Anlehnung an DIN 19684 Teil 2; Kjeldahl-Stickstoff nach EAWAG K-300; Nmin Bestimmung nach VDLUFA Methodenbuch 1 (1991), 2. Teillieferung 1997, A 6.1.4.1; Nmin

Ammoniumbestimmung nach DIN 38 406 E5; pF-Wert nach DIN 19683 Blatt 5; Korngrößenverteilung nach DIN 19683 Blatt 1; Schlämmanalyse nach DIN 18123 (siehe auch Maretzki, 2014). Die Kohlenstoffgehalte der Ap-Horizonte der acht untersuchten Profile liegen zwischen 1,3 % und 0,98 %, die C/N Verhältnisse im Ap-Horizont sind mit Werten zwischen 16 und 22 weit.

Die Gehalte des mineralischen Stickstoffs (N<sub>min</sub>-N) der entnommenen Bodensäulen liegen im Ap-Horizont durchschnittlich im Bereich von 12 kg/ha, im Bv-Horizont bei 7,8 kg/ha.

Die neun Lysimeter sind in einer Klimakammer mit 10 t/ha (50 % HTC-Variante) bzw. 20 t/ha HTC (100 % HTC-Variante) (Tab. 7-11) bzw. einer unbeschickten Kontrolle (0 % HTC-Variante) in jeweils drei Parallelen mit 19 Saatkörnern Sommergerste bepflanzt (Mai 2011) und mit einer 140 kg/ha Stickstoff entsprechenden Düngung versehen worden. Die HTC-Biokohle wurde dabei bis in ca. 15 cm Bodentiefe eingearbeitet. Der Versuch wurde unter kontrollierten Bedingungen (Einstellung des Wassergehaltes mithilfe von in Lysimetern installierten Tensiometersonden T5/T5x der Firma UMS GmbH München; Temperaturkontrolle und Beleuchtungsregelung) bis zur Kornreife durchgeführt (Abb. 7-9). Die mittlere Lufttemperatur in der Klimakammer lag bei ca. 24°C.

Das Pflanzenwachstum wurde zu Beginn alle drei Tage dokumentiert, in den letzten Wochen vor der Ernte (August 2011) einmal pro Woche. Differenziert und eingestuft wurden die Wachstumsstadien der Gerste mithilfe der BBCH-Skala (BBCH 2001), (Urban et al. in Vorbereitung).



*Abb. 7-9: Bepflanzte Lysimeter mit jeweils einem Saugspannungsnehmer (Tensiometer) und Temperaturfühler pro Variante*

Foto: J. Maretzki, in Maretzki 2014

Darüber hinaus wurde ein Keimversuch mit Gerste und HTC-Bodenmischungen durchgeführt und das Sickerwasser der Lysimeter zu mehreren Entnahmetermenen untersucht.

Tab. 7-11: Design der Lysimeterversuche

Lysimeter	HTC-Zugabe in t/ha	HTC-Zugabe in g TS	Körneranzahl Gerste	Lysimeter mit Tensiometer/ Temperaturfühler
HA 1-3	0 % Variante: ohne HTC-Kohle	0	19	HA 3
HA 4-6	50 % Variante: 10t/ha	70,108 g	19	HA 5
HA 7-9	100 % Variante: 20t/ha	140,216 g	19	HA 7

#### Aufwuchsversuche mit Sommergerste

Für die Variablen Pflanzenhöhe, Wurzellänge, Trocken- und Feuchtgewicht und Ährenanzahl (Erntezeitpunkt), wie ebenfalls für die mit einem *CHN Analyzer* der Firma Perkin Elmer ermittelten C- und N-Gehalte der oberirdischen und unterirdischen Biomasse wurden Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt, um zu ermitteln, ob sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Kontrolle, 50 % HTC, 100 % HTC) feststellen lassen. Für keine dieser Variablen ergab die Varianzanalyse ein signifikantes Ergebnis. Die statistischen Auswertungen der nach BBCH-Skala ermittelten Ergebnisse der Wachstumsstadien der Gerste werden gesondert beschrieben (Urban et al. in Vorbereitung).

Die C-Werte der oberirdischen Biomasse liegen mit mittleren Werten bei 40 % C im unteren Bereich durchschnittlicher Pflanzenkohlenstoffgehalte (40-50 %) und lassen sich mit den 2011 im Freiland auf den Versuchsflächen in Hamerstorf ermittelten C-Gehalten der oberirdischen Biomasse von Wintertriticale (KLIMZUG-NORD Zwischenbericht Schmelmer und Urban 2011, unpubliziert) vergleichen. Die Stickstoffgehalte der oberirdischen Biomasse der Sommergerste sind in allen Varianten im Vergleich zu Getreide-Stroh N-Gehalten (0,30-0,80 %) mit einem Mittelwert von 1,88 % deutlich erhöht. Diese Erhöhung und damit die Einengung des C/N-Verhältnisses, die bei beiden HTC-Varianten und der Kontrolle beobachtet wurden, lassen sich möglicherweise mit der höheren Luft- und Bodentemperatur und erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (nicht gemessen), die aufgrund mangelnder Belüftungsmöglichkeit in der Klimakammer entstanden sein können, erklären. Ähnliche Beobachtungen wurden in Klimahausversuchen unter CO<sub>2</sub>-Begasung auf den Versuchsfeldern in Hamerstorf gemacht (Zwischenbericht KLIMZUG-NORD 2012, Schmelmer & Urban, unpubliziert). Eine Reduktion der N-Gehalte in der Biomasse von Sommergerste nach Zugabe von HTC (aus Biertreber und Rübenschnitzel) wie sie von Bargmann et al. (2012) festgestellt wurde, findet in den eigenen Versuchen der Beschickung mit HTC aus Maisgärresten unter den dabei eingestellten Laborbedingungen keine Bestätigung.

Die mittleren Kohlenstoffgehalte der Gerste-Körner liegen in den drei Varianten bei um 42 %, die Unterschiede zwischen den Varianten sind nicht signifikant. In Bezug auf den Stickstoffgehalt der Körner unterscheiden sich die Varianten hingegen signifikant voneinander (weitere Auswertungen Urban et al., in Vorbereitung). Die N-Gehalte liegen mit Werten zwischen 3,23 % und 3,8 % deutlich über der im Gerste-Korn durchschnittlich vorgefundenen Menge von 1,30 - 2,10 % (KTBL, 2009). Der errechnete Rohproteingehalt (N % x 6,25) der Gerste-Körner liegt im Mittel bei 22,3 % und ist damit fast doppelt so hoch wie der 2011 unter HTC-Einsatz im Freilandversuch (Variante optimale Beregnung) ermittelte mittlere Gehalt von 11,3 % im Korn der Sommergerste. Das C/N Verhältnis im

Korn ist den hohen Stickstoffgehalten zufolge mit 11,2 C/N (50 % HTC) < 11,6 C/N (0 % HTC) < 12,7 C/N (100 % HTC) in allen Varianten stark eingeengt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Zugabe von 10t/ha und 20t/ha HTC-Pflanzenkohle aus Maisgärresten im Vergleich zur unbeschickten Kontrolle im Lysimeter-Klimakammerversuch keine signifikanten Unterschiede im Wachstumsverhalten und der Ährenbildung sowie der C- und N-Gehalte in Wurzel, Stängel, Blättern und dem C-Gehalt der Körner ergab. Möglicherweise sind die eingesetzten Mengen an HTC für diesen Versuchsaufbau zu gering gewesen, worauf die Keimtestergebnisse (nachfolgend) hindeuten. Die Beobachtungen des hohen Stickstoffeinbaus sowohl in die oberirdische Biomasse als insbesondere auch in das Korn der Sommergerste lassen sich vermutlich auf die besonders gute Ausnutzung des mineralischen Düngers unter günstigen Versuchsbedingungen, wie gleichbleibende Beleuchtungsdauer und Intensität (12 Std.), optimale Bewässerung und einer hohen mittleren Durchschnittstemperatur sowie eines möglichen Einflusses erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration zurückführen.

#### Keimtests mit Sommergerste

Jeweils drei Parallelen mit gestörtem Oberbodenmaterial-/HTC-Biokohle-Mischungen mit der Pflanzenkohle, die in den Lysimetern zum Einsatz gekommen war, folgender Zusammensetzung

- 0 %vol Biokohle - 100 %vol Bodenmaterial
- 25 %vol Biokohle - 75 %vol Bodenmaterial
- 50 %vol Biokohle - 50 %vol Bodenmaterial
- 100 %vol Biokohle - 0 %vol Bodenmaterial

wurden mit jeweils 25 Gerstesamen pro Gefäß bepflanzt und das Pflanzenwachstum unter Klimakammerbedingungen (12 Std. Beleuchtung, regelmäßige Bewässerung, mittlere Temperatur bei 20 °C) nach 14 Tagen ausgewertet (Abb. 7-10). Einige Substrateigenschaften sind Tab. 7-12 zu entnehmen.

*Tab. 7-12: Substrateigenschaften für Gerste-Keimtests*

Substrat	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Wassergehalt (Vol.-%)	Salzgehalt (%)	C-Gehalt (%)
Boden	4,93	6,4	1,203	3,0
HTC-Kohle	6,85	51,4	1,436	24,1

Die Variante aus reiner (100 %) HTC-Pflanzenkohle wies 72 %, alle anderen Varianten 100 % Saataufgang auf, bei der 100 % HTC-Variante war zudem die Wurzelbildung extrem eingeschränkt (Tab. 7-12). Für die HTC-Varianten konnte, verglichen mit Keimungsversuchen an Gerste von Bargmann et al. (2012), ebenfalls eine erhebliche Keimungsverzögerung, die am stärksten bei der 100 % HTC-Variante ausfiel, beobachtet werden.



Abb. 7-10: Keimversuche mit Sommergerste und Oberboden-HTC-Mischungen, 12 Tage nach Einsaat mit deutlichen Wachstumsunterschieden in Abhängigkeit von der Substratmischung. V.l.n.r.: 0 % HTC, 25 % HTC, 50 % HTC, 100 % HTC  
Foto: T. Myint

Sowohl in Bezug auf die Pflanzenhöhe als auch auf die oberirdische Biomasse (Feucht- und Trockenmasse) war die Varianzanalyse signifikant. Tukey's Range Test ergab, dass sich in Bezug auf die Pflanzenhöhe und die oberirdische Biomasse alle Varianten signifikant unterscheiden (Urban et al., in Vorbereitung).



Abb. 7-11: Links Wurzelbildung, bzw. -länge und Aufwuchs von Gerste in 100 % HTC-Biokohle, rechts in 25 % HTC-Biokohle im Kurzzeitversuch  
Foto: T. Myint

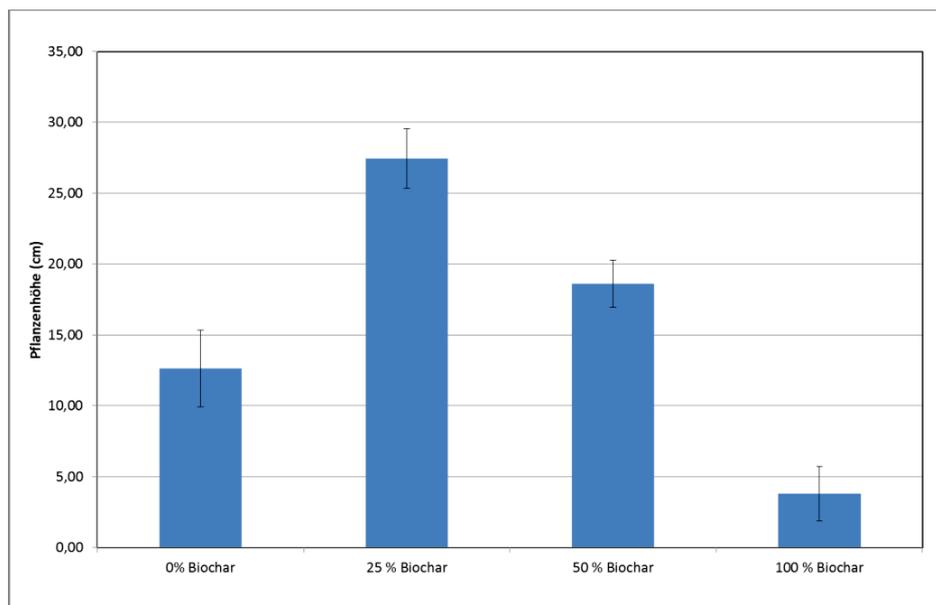


Abb. 7-12: Mittlere Pflanzenhöhe der Gerstenkeimlinge im Topfversuch mit und ohne HTC-Biokohle Beschickung eines Sandbodens und in 100 % Biokohle im Kurzzeitversuch (Fehlerbalken entsprechen dem 95 %igen Konfidenzintervall)

Grafik: B. Küttel

In Bezug auf die Parameter Höhe bzw. Länge der Pflanzen und oberirdische Trockenmasse ergab sich die Reihung 100 % HTC < 0 % HTC < 50 % HTC < 25 % HTC (Abb. 7-12, Abb. 7-13).

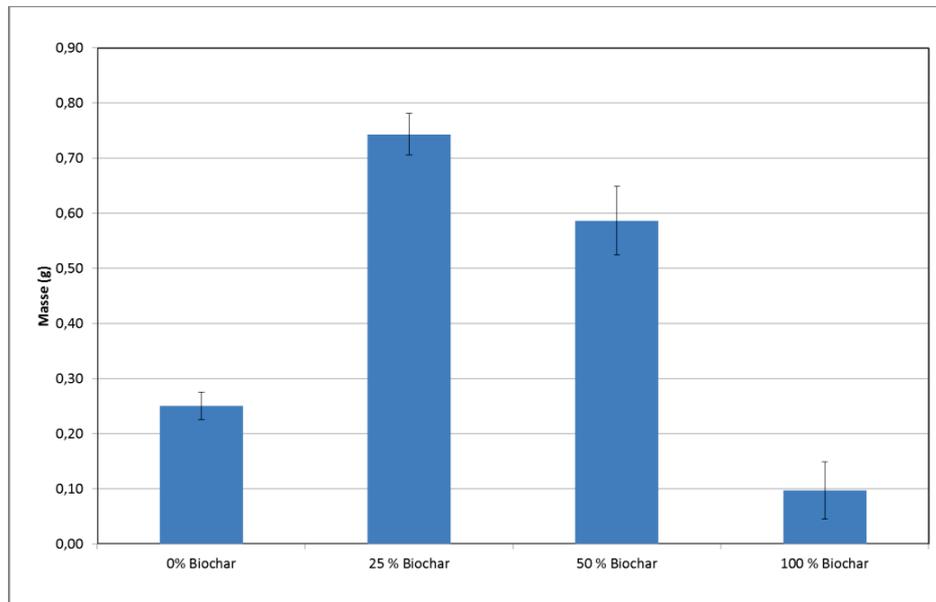


Abb. 7-13: Mittleres Trockengewicht der Gerstenkeimlinge im Topfversuch mit und ohne HTC-Biokohle Beschickung eines Sandbodens und in 100 % Biokohle im Kurzzeitversuch (Fehlerbalken entsprechen dem 95 %igen Konfidenzintervall)

Grafik: B. Küttel

Zusammenfassend stellte sich die Variante der Mischung aus 25 %vol HTC plus 75 Vol.-% Sandboden aus dem Ap-Horizont einer sauren, humusarmen Braunerde als besonders keimungs- und biomassefördernd heraus. Eine mit einem 25 %igen Volumenbezug auf Böden aufzubringende HTC-Menge ist allerdings in der landbaulichen Anwendung i.d.R.

weder ökonomisch noch ökologisch praktikabel, könnte jedoch im Bereich von Problemstandorten oder nachhaltiger Abfallrückführung unter Einsatz anderer HTC-Ausgangsstoffe (Otterpohl 2012) von Bedeutung sein.

#### Sickerwasserbeschaffenheit der Lysimeterversuche

Sickerwassersammlung aus den Lysimetervarianten und Sickerwasseruntersuchungen erfolgten 2011 an drei Terminen während des Gerste-Aufwuchsversuchs (09.06.2011, 21.07.2011, 15.08.2011) in Abhängigkeit von der Sickerwasserbildungsmenge. Exemplarisch sind die über den Zeitraum zwischen Juni und August erfassten Gesamtsickerwassermengen (Abb. 7-14) und die mittleren Stoffkonzentrationen des Nitrats (Bestimmung nach DIN 38405-T9) (Abb. 7-15) und des DOC (Dissolved Organic Carbon, Bestimmung nach DIN EN 1484) (Abb. 7-16) der Varianten über den Untersuchungszeitraum dargestellt.

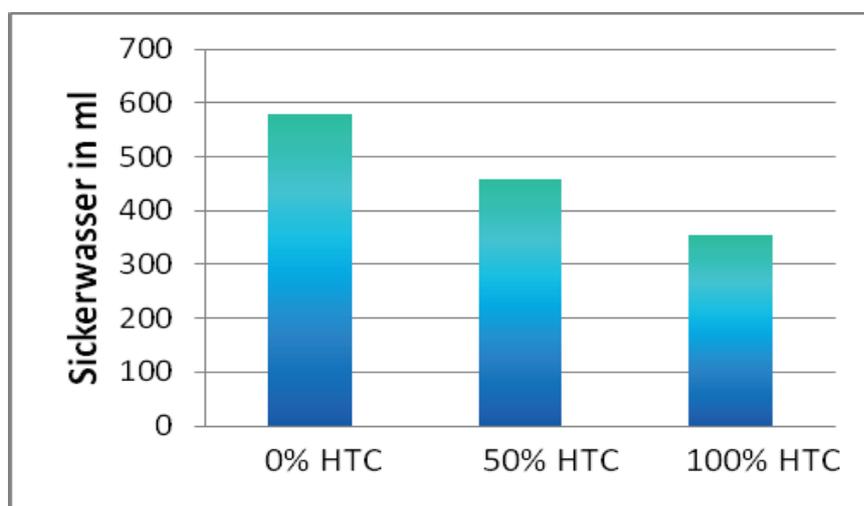


Abb. 7-14: Sickerwassergesamtvolumina der Lysimetervarianten 0 % HTC, 50 % HTC (10t/ha) und 100 % HTC (20t/ha) über den Beprobungszeitraum (Juni-August 2011, n = 9)

Grafik: bearbeitet nach Marezki 2014

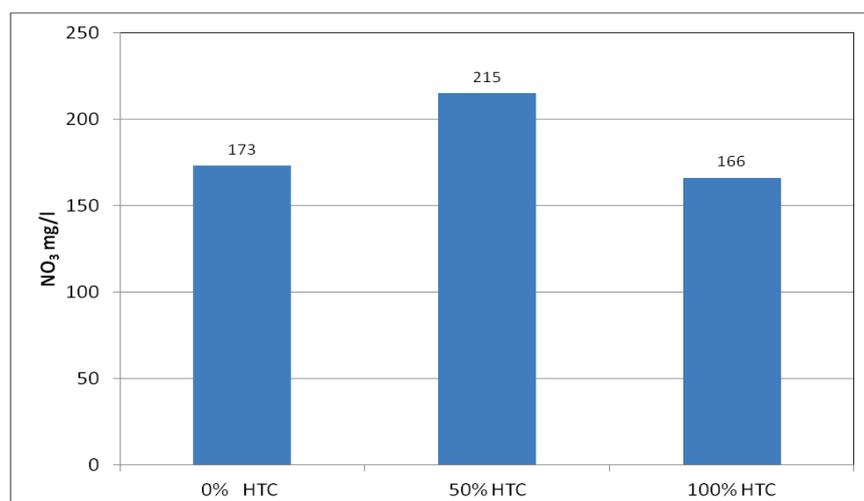


Abb. 7-15: Mittlere NO<sub>3</sub>-Stoffkonzentration im Sickerwasser der Lysimetervarianten 0 % HTC, 50 % HTC (10t/ha) und 100 % HTC (20t/ha) über den Beprobungszeitraum (Juni-August 2011, n = 9)

Grafik: bearbeitet nach Marezki 2014

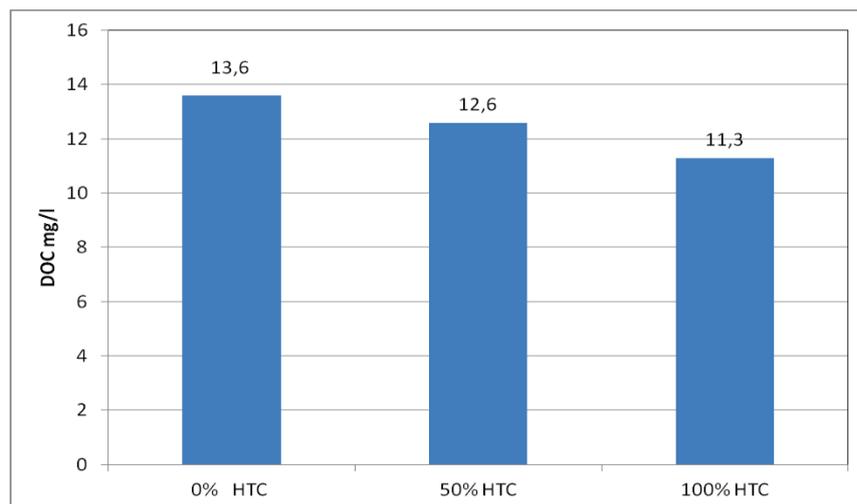


Abb. 7-16: Mittlere DOC-Stoffkonzentration der Lysimetervarianten 0 % HTC, 50 % HTC (10t/ha) und 100 % HTC (20t/ha) über den Beprobungszeitraum (Juni-August 2011, n = 9)

Grafik: bearbeitet nach Maretzki 2014

Vorbehaltlich einer weiteren Auswertung der Sickerwasseruntersuchungen und der bodenphysikalischen und -chemischen Parameter (Urban et al., in Vorbereitung) scheint das Gesamtsickerwasseraufkommen einen Einfluss der HTC-Biokohle auf die Erhöhung der Wasserspeicherefähigkeit des feinsandigen Bodens anzudeuten. Freilanduntersuchungen der pH-Werte der Varianten unterstützen diese Hypothese (siehe Freilandversuch). Die mittleren Nitratkonzentrationen der HTC unbehandelten Variante liegen geringfügig über denen der 100 % HTC-Variante, wobei die Werte der 50 % Variante mit 215 mg/l am höchsten liegen (Abb. 7-15). Die ermittelten mittleren Nitratstickstoffkonzentrationen der Kontrolle und der mit HTC behandelten Varianten übersteigen den Grenzwert von 50 mg/l der Trinkwasserverordnung (TVO). Die Werte der mittleren Konzentration des löslichen Kohlenstoffs (DOC) zeigen eine Abnahme von der unbehandelten über die 50 % HTC- zur 100 % HTC-Variante, welches gegenläufig zu den Sickerwasserergebnissen der mit HTC (9 t/ha) beschickten Böden im Feldversuch ist. Hierbei spielen unter anderem die Vorfrucht (Winterweizen/Ölrettich) und Bodenbearbeitung im Feld ebenso wie die unterschiedliche HTC-Qualität und die im off-site Lysimeterversuch möglicherweise eingeschränkten mikrobiellen Abbauprozesse des HTC-Materials aufgrund ständig hoher Wassergehalte eine Rolle. Hinzu kommt die Ausbildung einer dünnen Kruste auf der Bodenoberfläche der Lysimeter, hervorgerufen durch hohe Temperaturen, die ihrerseits durch die Beleuchtungswärme erzeugt wurden.

Kritisch ist zusammenfassend anzumerken, dass die Kleinlysimeterversuche aufgrund der Versuchsbedingungen keine natürlichen Verhältnisse abbilden konnten. Insofern können lediglich Trends bzw. Tendenzen aufgezeigt werden, die aber einer weiteren Analyse und Verifizierung bedürfen.

### Freilanduntersuchungen

#### Bodeneigenschaften und Sickerwasserbeschaffenheit

Im November 2011 erfolgte die Aufbringung von Palaterra, HTC-Biokohle aus Maissgärresten und von Siedlungskompost auf Parzellen des Versuchsfeldes in Hamerstorf (Feistkorn et al. 2012). Die bodenkundlich-ökologischen Begleituntersuchungen wurden auf den optimal berechneten Parzellen durchgeführt. Detaillierte Beschreibungen zum Versuchsplan sind Kapitel 7.2 zu entnehmen. Daher erfolgen hier lediglich Darstellungen zu

Aufwandmenge, Kohlenstoffgehalten und den C/N-Verhältnissen der Bodenverbesserer (Tab. 7-13).

*Tab. 7-13: Aufgebrachte Menge Bodenverbesserer, Kohlenstoffgehalte und C/N-Verhältnis der Substrate (C % errechnet aus Glühverlust % x 0,47)*

Analysen: LUFA Nord-West, November 2011

Substrat	Trockenmasse (t/ha)	C %	C/N
Palaterra®	21,4	23,2	18
HTC-Biokohle	9,0	37,7	22
Biokompost	23,5	10,3	11

Bei der Bodenanalytik wurden die oben beschriebenen Analytikmethoden eingesetzt. Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte wurden als einzige Parameter in Abweichung davon mit einem *CHN Analyzer* der Firma Perkin Elmer bestimmt.

Der Bodentyp im Bereich der Standorte des Humusanreicherungsversuchs auf den Versuchsfeldern der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Hamerstorf ist eine Braunerde aus saalezeitlichem Geschiebedecksand mit der Abfolge Ap 0-30 cm, Bv (30 - ca. 45 cm), Cv1 (ca. 45 - 80 cm), Cv2 (>80 cm nicht aufgeschlossen). Die Körnung zwischen 0-40 cm ist schwach schluffiger Sand (Su2), zwischen 40 cm und 60 cm liegt ein mittelsandiger Feinsand (msfS) und zwischen 60 cm und 80 cm ein grobsandiger Mittelsand (mSgs) vor. Der Humusgehalt im Ap-Horizont beträgt 1,4 % (0,8 % Corg) und liegt damit im *sehr schwach* humosen Bereich (Ad hoc AG Boden 2005).

Die Feldkapazität ist über alle Bodentiefen hinweg *sehr gering*, die nutzbare Feldkapazität des Ap-Horizontes liegt im *mittleren*, die des Bv- und Cv1-Horizontes im *geringen* Bereich (Tab. 7-14). Die insgesamt pflanzenverfügbare Bodenwassermenge des effektiven Wurzelraums (nFKWe) von 8 dm ist mit 124,5 mm als *mittel* einzustufen.

*Tab. 7-14: Bodenwasserhaushaltsgrößen der anstehenden (unbehandelten) Braunerde im Bereich des Humusanreicherungsversuchs (Angaben in Vol.-% Wasser/dm Bodentiefe)*

Horizont und Textur	Tiefe	Wassergehalt bei Feldkapazität pF 1,8 (Vol.-%)	Wassergehalt bei nutzbarer Feldkapazität pF 1,8-4,2 (Vol.-%)	Gesamtporenvolumen (GPV) (Vol.-%)
Ap (Su2)	-30 cm	19,84	16,46	37,86
Bv (msfS)	-50 cm	14,62	11,80	40,03
Cv1 (mSgs)	-70 cm	7,97	7,14	36,33

Vorbehaltlich der weiteren standortspezifischen Auswertungen der Bodenparameter und der Ermittlung der Austragsgefährdung wasserlöslicher Stoffe (Kuck 2014, in Vorbereitung) wird an dieser Stelle nur kurzgefasst auf die 2012/2013 ermittelten bodenphysikalischen Parameter des Bodenwasserhaushaltes der Humusanreicherungsvarianten eingegangen.

Die Beschickung mit HTC-, Palaterra®- und Siedlungskompostmaterial hat sich auf den untersuchten Parzellen erhöhend auf das Wasserhaltevermögen des Oberbodens ausgewirkt (Tab. 7-15). Dabei liegen die ermittelten Unterschiede des Wassergehaltes bei Feldkapazität gegenüber der Kontrolle bei der Kompost-Variante bei etwa 7 Vol.-%, um

8 Vol.-% bei der HTC-Variante und bei 9 Vol.-% bei der Palaterra®-Anwendung. Gajić (2012) konnte mit einer 30 t/ha HTC-Anwendung bei sandigen Böden unter Laborbedingungen ebenfalls eine Steigerung der Feldkapazität nachweisen. Der Unterschied der hier ermittelten nFK-Werte zur Kontrolle von Palaterra® und HTC-Biokohle ist annähernd gleich groß (7 Vol.-%), der des Komposts im Vergleich mit den beiden anderen Humusvarianten mit 5,8 Vol.-% geringfügig niedriger. Die drei Humusauftragsstoffe unterscheiden sich in Bezug auf die Zunahme des pflanzenverfügbaren Wassers im Oberboden unwesentlich voneinander. Im Bereich des Gesamtporenvolumens zeigt sich bei den mit Bodenhilfsstoffen beschickten Varianten gegenüber der Kontrolle eine Abnahme.

Die im Feld bis 50 cm Bodentiefe mit Sentec EasyAG 50 FDR-Sonden gemessenen Wassergehalte (Kap. 7.2) zeigen ebenfalls in der optimal berechneten Variante eine Erhöhung des Bodenwassergehaltes gegenüber der Kontrolle, die bei Kompost um 16,3 %, bei Palaterra® um 13,5 % und bei der HTC-Biokohle um 2,6 % liegt (Kap. 7.2). Das im Lysimeterversuch unter 10 t bzw. 20 t HTC-Gaben gemessene abnehmende Sickerwasservolumen (Abb. 7-14) findet in der Veränderung der Bodenwasserhaushaltsgrößen im Feldversuch eine Bestätigung.

*Tab. 7-15: Bodenwasserhaushaltsgrößen der Varianten des Humusanreicherungsversuchs (Angaben in Vol.-% Wasser/dm Bodentiefe)*

Variante (5-15 cm Oberbodentiefe)	Wassergehalt bei Feldkapazität pF 1,8 (Vol.-%)	Wassergehalt bei nutzbarer Feldkapazität pF 1,8-4,2 (Vol.-%)	Gesamtporenvolumen (GPV) (Vol.-%)
Kontrolle (Bodenprofil)	19,84	16,46	37,86
Palaterra®	28,9	23,8	35,07
Kompost	26,8	22,6	34,3
HTC-Pflanzenkohle	28	23,5	35,3

Eine Erhöhung der Wasserhaltefähigkeit und Veränderungen der Porengrößenverteilung einer langjährigen Kompostanwendung auf grobsandige Böden der Region konnten bereits im Rahmen des EU-NoRegret Projektes der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Urban et al. 2008) nachgewiesen werden.

Die Beschaffenheit des Sickerwassers der Freilandversuche wurde aus 30 cm Tiefe mithilfe von Saugkerzen (drei Parallelen) auf den Versuchspartellen untersucht (Kuck 2014 in Vorbereitung). Beispielhaft sind die mittleren NO<sub>3</sub>- und PO<sub>4</sub>- Nährstoffkonzentrationen und die mittlere DOC-Konzentration (Dissolved Organic Carbon) in Tab. 7-16 dargestellt. Die Wasseranalytik wurde für NO<sub>3</sub> nach DIN EN ISO 10304-1 für PO<sub>4</sub> nach DIN EN ISO 10304-1 und DOC nach DIN EN 1484 durchgeführt.

Die höchsten mittleren Nitratkonzentrationen wurden im Sickerwasser der Palaterra® Auftragsflächen, die geringsten im Austrag der HTC-Pflanzenkohle Parzellen ermittelt. Mit Ausnahme der HTC behandelten Fläche übersteigen alle mittleren Konzentrationen den Grenzwert für Nitrat der Trinkwasserverordnung (50 mg/l).

Tab. 7-16: Mittlere Sickerwasserkonzentrationen an  $\text{NO}_3$  und  $\text{PO}_4$  des Bodenwassers aus 30 cm Tiefe der Humusauftragsflächen ( $n = 60$ ) (Entnahmetermine 13.01.2012, 12.03.2012, 03.06.2013, 17.06.2013, 24.06.2013)

Variante	$\text{NO}_3$ (mg/l)	$\text{PO}_4$ 0,6(mg/l)	DOC (mg/l)
Kontrolle	61,7	0,6	17,9
Palaterra®	87,6	6,2	18,7
Kompost	54,9	1,5	19,5
HTC-Pflanzenkohle	33,5	1,1	71,8

Die geringste mittlere Phosphatkonzentration im Sickerwasser wies die Kontrollfläche auf. Eine 10-fach höhere mittlere  $\text{PO}_4$ -Konzentration im Vergleich zur Kontrolle wurde für die Palaterra Parzellen (5,72 kg/t  $\text{P}_2\text{O}_5$  TM im Ausgangssubstrat) festgestellt. Im Gegensatz dazu zeigte sich eine lediglich nur 2-fach höhere Phosphatkonzentration im Sickerwasser der Kompost-Auftragsflächen (4,72 kg/t  $\text{P}_2\text{O}_5$  TM im Ausgangssubstrat) und der HTC-Pflanzenkohle-Variante, obwohl diese die höchsten  $\text{P}_2\text{O}_5$  Gehalte von 39,8 kg/t in der Trockenmasse des Ausgangssubstrats aufwies.

Demgegenüber finden sich die höchsten Konzentrationen an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) in der HTC-Variante, wobei die DOC Konzentrationen im Sickerwasser der Kontrolle, der Palaterra® und der Kompost Parzellen nah beieinanderliegende und im Vergleich relativ niedrige Werte aufweisen. Die hohen DOC-Konzentrationen des Sickerwassers der HTC-behandelten Flächen gegenüber der Kontrolle im Freilandversuch lassen auf verstärkte Mineralisation des HTC-Materials unter Feldbedingungen schließen, die auch über die  $\text{CO}_2$ -Ausgasung und die Bodenatmung nachweisbar war (siehe nachfolgende Untersuchungsergebnisse). Ursächlich werden dafür leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen der HTC-Biokohle (u.a. Gajić et al., 2011) oder auch Verpilzung (Steinbeiss et al., 2009) angesehen. Diese Beobachtungen fielen in den zuvor beschriebenen Lysimeterversuchen unter Laborbedingungen nicht auf.

Anhand der beispielhaft aufgezeigten mittleren Stoffkonzentrationen im Sickerwasser lässt sich schlussfolgern, dass sowohl Nitrat als auch Phosphat vor allem aus der mit Palaterra behandelten Fläche mit dem Sickerwasser verlagert wurden. Die mittlere  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{PO}_4^-$ -Sickerwasserkonzentration der mit HTC-Pflanzenkohle beschickten Flächen war im Vergleich zur Palaterra®- und Kompost- Variante am geringsten. Kammann (2012) beschreibt für einen lehmigen Sandboden nach Zugabe von HTC-Biokohle aus Maisgärresten verstärkte  $\text{NH}_4^-$ -Adsorption und weniger stark ausgeprägte Adsorption von Nitrat im Boden verglichen mit unbehandeltem Boden.

Über die weiteren bodenkundlichen Charakteristika, die standörtliche Austragsgefährdung und die Sickerwasserbeschaffenheit des Feldversuches werden im Rahmen einer Abschlussarbeit detaillierte Auswertungen vorgenommen, die die Freiland- und lokalen Bodenverhältnisse abbilden (Kuck 2014 in Vorbereitung).

#### Bodenmikrobiologische Untersuchungen

Insgesamt wurden an 24 Messterminen auf den Humusanreicherungsparzellen und einer unbehandelten Kontrolle der Variante „optimale Beregnung“ mit Beginn 07.12.2011 bis zum 18.06.2013 jeweils zur gleichen Tageszeit Untersuchungen zur  $\text{CO}_2$ -Emission mit dem LI-8100 Automated Soil  $\text{CO}_2$  Flux System der Firma LI-COR® durchgeführt (Abb. 7-17).

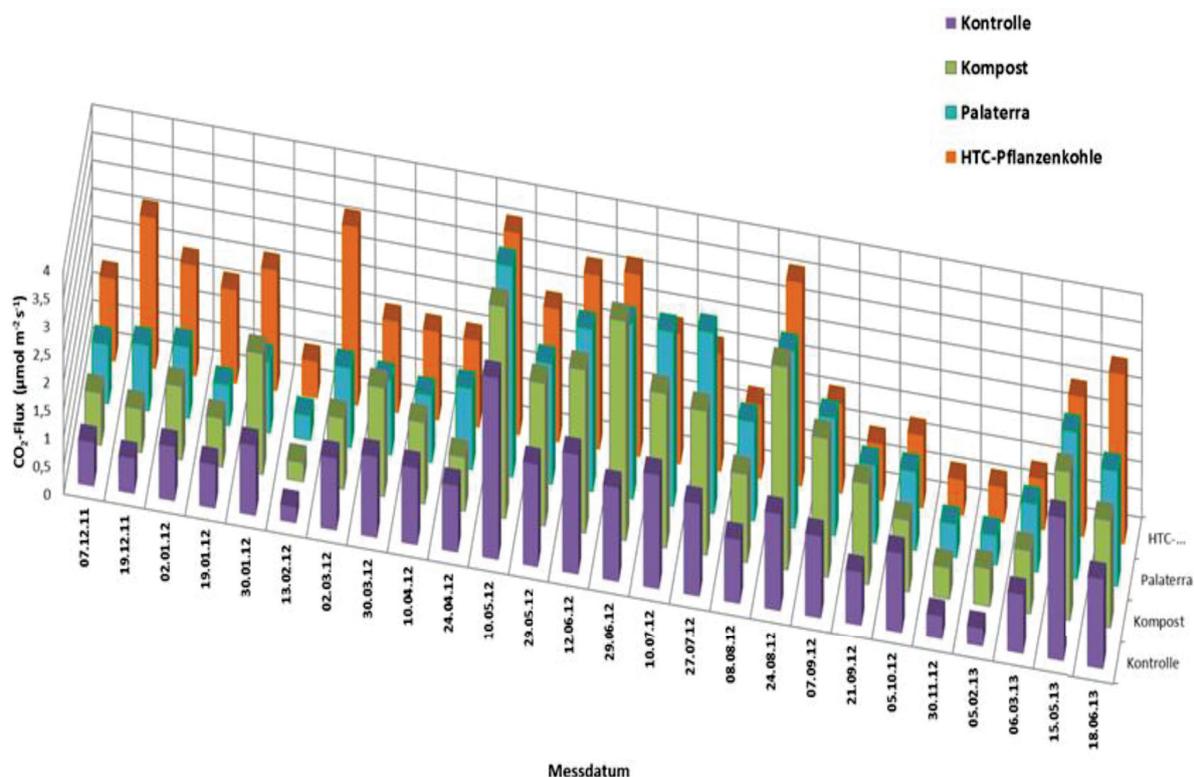


Abb. 7-17: Messtermine und Brutto  $\text{CO}_2$ -Emissionen der Humusanreicherungsvarianten und der unbehandelten (Kontrolle) Parzelle

Grafik: D. Farghaly

Relevante Temperaturwerte in 5 cm Tiefe sind dabei messroutinemäßig mit aufgezeichnet worden (Abb. 7-18). Die Bruttoausgasung (Abb. 7-17) und die um die  $\text{CO}_2$ -Emission der unbehandelten Kontrolle verminderten Netto-Ausgasungswerte (Abb. 7-18) lassen durchgehend höchste Ausgasungsraten der mit HTC-Pflanzenkohle behandelten Parzellen erkennen. Eine starke Mineralisationsrate ist auf diesen Flächen auch bei niedrigen Bodentemperaturen (Abb. 7-18) zu beobachten. Demgegenüber stiegen die Emissionswerte der mit Palaterra® und Siedlungskompost behandelten Parzellen erst mit ansteigender Bodentemperatur an. Lediglich im Spätherbst 2012 (Oktober) liegen an einem Messtermin die  $\text{CO}_2$ -Emissionswerte der unbehandelten Flächen geringfügig über denen der Auftragsflächen (Schmelmer et al., 2012, Urban et al. 2012, Schmelmer und Urban 2014). Messwerte aus dem Frühjahr und Frühsommer 2013 lassen einen erneuten Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Ausgasung der HTC-Pflanzenkohleparzellen, der mit Siedlungskompost und der mit Palaterra® behandelten Flächen erkennen.

Für sechs weitere Termine in 2012 (April, Juli, September, Oktober) und im März und Juni 2013 wurden Oberbodenproben aus 0-20 cm Tiefe entnommen und die Bodenatmung (Basalatmung, BA) und die mikrobielle Biomasse (Cmic) mit dem *BSBdigi Respirometer* der Firma SOLUTEC sowie die organischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte mit einem *CHN Analyzer* der Firma Perkin Elmer, ferner die Bodentemperaturen im Feld und die Wassergehalte ermittelt. Es zeigen sich geringe Abweichungen der mittleren Bodentemperatur zu den jeweiligen Beprobungsterminen zwischen der Kontrollparzelle und der mit Kompost und Palaterra® behandelten Fläche. Die HTC behandelten Parzellen weisen davon abweichend einen im Mittel um ca. 1 C° höher liegenden Temperaturmittelwert und Median in 5 cm Bodentiefe auf (Abb. 7-17). Vermutlich ist für diese Abweichung die

höhere Wärmespeicherefähigkeit der tiefschwarzen, stark mikroporösen Pflanzenkohlepartikel verantwortlich.

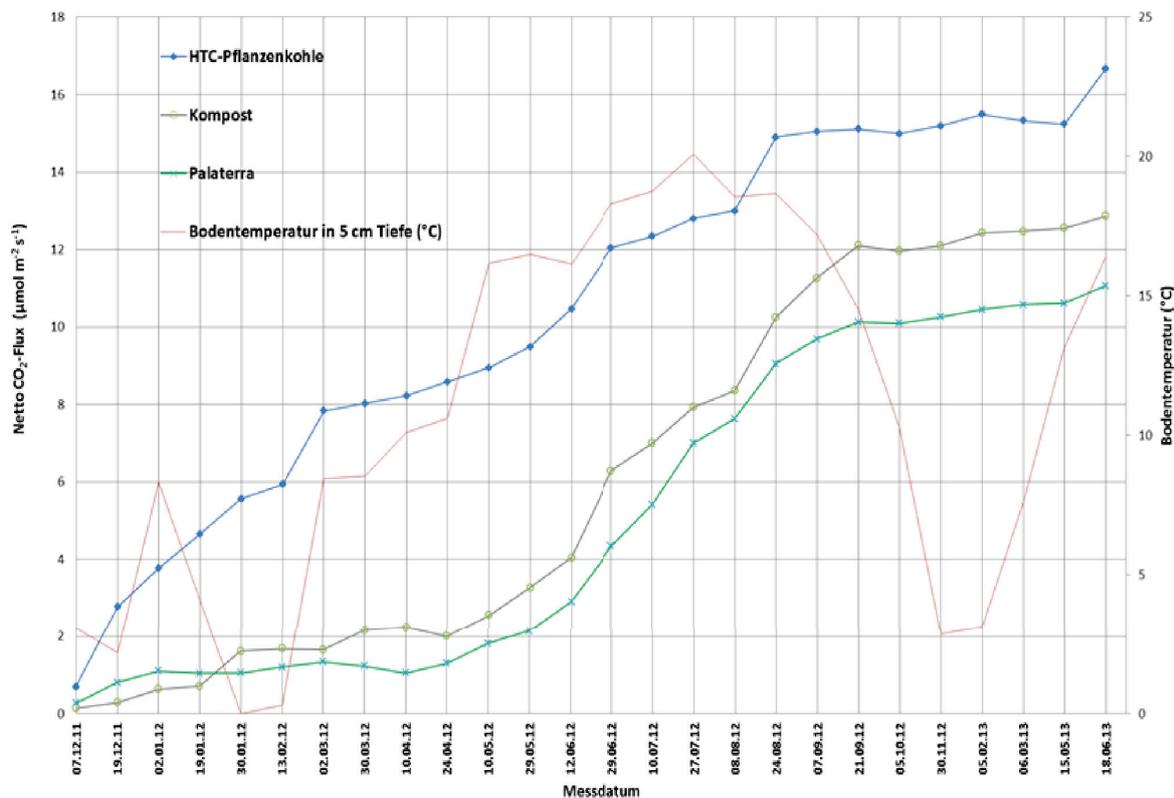


Abb. 7-18: Kumulative Netto-Emissionswerte der Bodenauftragsflächen und Bodentemperaturverlauf in 5 cm Tiefe

Grafik: D. Farghaly

Die Basal- oder Bodenatmung (mikrobiell bedingte CO<sub>2</sub>-Abgabe bei der Mineralisation der organischen Bodensubstanz) ist auf den HTC behandelten Parzellen am höchsten und nimmt in der Reihung HTC > Kompost > Kontrolle > Palaterra® ab (Tab. 7.17). Diese Respirationswerte bestätigen die über die Netto-CO<sub>2</sub>-Ausgasung ermittelte hohe Kohlenstoffmineralisation der mit HTC behandelten Parzellen.

Ebenso ist die mikrobielle Biomasse (C<sub>mic</sub>, mikrobiell gebundener Kohlenstoff), die die Masse aller Mikroorganismen im Boden umfasst und den Aktivitätszustand der Böden beschreibt, in den HTC behandelten Parzellen am höchsten (Median: 153 mg C<sub>mic</sub>/kg Boden), demgegenüber liegt sie auf den Palaterra® Parzellen mit einem Median von 97 mg C<sub>mic</sub>/kg Boden noch etwas unter dem Median der Kontrollflächen (104 mg C<sub>mic</sub>/kg Boden TS) (Tab. 7-17). Bargmann et al. (2014) beschreiben für HTC-Biokohle ebenfalls eine starke Anregung der mikrobiellen Aktivität gegenüber der unbehandelten Kontrolle und der mit pyrolysierten Biokohle behandelten Varianten. Die Werte der C<sub>mic</sub> der Kontrollfläche und der Palaterra® Parzellen liegen nach Klefisch und Höper (2001) an der unteren Grenze ackerbaulich genutzter Böden mit sandiger Textur und einem geringen Feinkornanteil (100-180 mg C<sub>mic</sub>/kg Boden TS).

Tab. 7-17: Bodenmikrobiologische Kenngrößen und Bodentemperaturen der Bodenauftragsflächen (n = 72)

Parameter		Kontrolle	Kompost	Palaterra®	HTC-Pflanzenkohle
Bodentemperatur °C in 5 cm Tiefe	Mittelwert	12,7	12,75	12,37	13,25
	Median	11,7	10,65	11,22	12,55
Basalatmung (mg CO <sub>2</sub> -C kg <sup>-1</sup> TS h <sup>-1</sup> )	Median	0,19	0,21	0,17	0,29
Mikrobielle Biomasse (SIR)	Median	104	123	97	153
Cmic/Corg-Quotient (mg Cmic g <sup>-1</sup> Corg)	Median	12,58	12,92	11,14	16,45
Metabol. Quotient qCO <sub>2</sub> (mg CO <sub>2</sub> -C g <sup>-1</sup> Cmic)	Median	2,18	1,90	1,95	1,83

Der Metabolische Quotient  $qCO_2$  wird aus der Basalatmung und der mikrobiellen Biomasse errechnet, je niedriger der  $qCO_2$  ist, desto effizienter sind die mikrobiellen Umsatzleistungen. Die unbehandelte Variante (Kontrolle) weist einen geringfügig höheren  $qCO_2$  Median als die mit Kompost und Palaterra und mit HTC behandelten Parzellen auf (Tab. 7-17). Ein erhöhter metabolischer Quotient deutet auf ungünstige Lebensbedingungen im Boden hin (z.B. Trockenheitsstress, Verdichtung, niedriger pH-Wert), die eine ineffiziente Substratnutzung der Mikroorganismen nach sich ziehen. Bodenmikroorganismen beziehen in größerem Maß Energie aus dem Kohlenstoff, so dass ihnen weniger Kohlenstoff für den eigenen Biomasseaufbau zur Verfügung steht (Andersen und Domsch 1990; Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA 2009).

Die Textur des Oberbodenhorizontes der Bodenauftragsflächen variiert zwischen schwach schluffigem Sand (Su2) und einem feinsandigen Mittelsand (mSfs). Der zu unterschreitende Schwellenwert des metabolischen Quotienten für Ackerböden derartiger Textur von  $qCO_2 < 4,0$  (Höper und Kleefisch 2001) wird von allen Humusanreicherungsvarianten und dem unbehandelten Boden erfüllt.

Das Verhältnis des mikrobiellen Kohlenstoffs (Cmic) zum organischen Kohlenstoff, Cmic/Corg auch Ökologischer Quotient (Tab. 7-17), kann als Maß für die mikrobielle Verfügbarkeit der organischen Bodensubstanz herangezogen werden. Die Substratverfügbarkeit für mikrobielle Ab- und Aufbauprozesse ergibt für die Varianten im Humusanreicherungsversuch nachfolgende Reihung Palaterra® < Kontrolle < Kompost < HTC-Pflanzenkohle. Der Cmic/Corg Quotient der Palaterra® behandelten Variante lässt ebenso wie die Basalatmung und der Netto CO<sub>2</sub>-C-Flux dieser Humusauftragsvariante den Schluss zu, dass das Palaterra® Substrat eine sehr stabile Humusvariante vergleichbar der Terra Preta (u.a. Glaser et al. 2012) darstellt, wohingegen die HTC-Pflanzenkohle eine hohe Substratverfügbarkeit und damit C-Dynamik aufweist.

## 8 Bodenbearbeitung

*Jürgen Grocholl*

### 8.1 Literaturübersicht

Die Bodenbearbeitung beeinflusst den Bodenwasserhaushalt und die Wasseraufnahme in vielfältiger Hinsicht.

Die bei reduzierter Bodenbearbeitung auf dem Boden verbleibende Mulchdecke führt zu einer verbesserten Infiltration des Niederschlagswassers (Nitsche et al. 2000) und vermindert die unproduktive Verdunstung. So stellten auch Baumecker und Ellmer (2009) nach Direktsaat im Vergleich zur gepflügten Variante auf einem schluffigen Sand höhere Wassergehalte 0-18 Wochen nach der Bearbeitung fest. Die reduzierte Bearbeitung (Mulchsaat) lag zwischen diesen beiden Varianten.

Unterschiedliche Berichte liegen über den Einfluss auf die Durchwurzelung vor. Harrach & Richter (1994) z.B. berichten bei pflugloser Bodenbearbeitung (Flügelscharrgrubber, Direktsaat) im Vergleich zur gepflügten Variante von höheren Wurzellängen im Unterboden, dagegen von geringeren in der Krume. Schrader et al. (2004) dagegen stellten auf niedersächsischen Standorten eine tendenziell höhere Wurzellängendichte in gelockerten Krumenbereichen, insbesondere nach Grubbereinsatz, im Vergleich zur Direktsaat fest. In tieferen Bodenschichten fanden sie dagegen keine Unterschiede. Schilling (2008) weist auf die Notwendigkeit ausreichender P- und K-Gehalte für die Wurzelbildung, auch in tieferen Bodenschichten, hin. Da Harrach & Richter (1994) nach reduzierter Bodenbearbeitung eine Nährstoffverarmung in tieferen Schichten feststellten, deutet sich hier eine problematische Konstellation an. Unstrittig ist, dass verdichtete Schichten im Boden die Durchwurzelung und damit die Menge des für Pflanzen verfügbaren Wassers vermindern.

Auch bezüglich des Einflusses auf das Porenvolumen und damit die Wasserhaltefähigkeit (nutzbare Feldkapazität) bestehen unterschiedliche Aussagen. So fanden beispielsweise Schrader et al. (2004) kaum Unterschiede nach differenzierter Bodenbearbeitung, wohl aber Harrach & Richter (1994).

Damit ist davon auszugehen, dass unproduktive Wasserverluste durch Evaporation und oberflächlichen Abfluss bei einer reduzierten Bodenbearbeitung mit Mulchbedeckung auf der Bodenoberfläche im Vergleich zur Pflugbearbeitung vermindert werden. Ob darüber hinaus die im Boden pflanzenverfügbar gespeicherte Wassermenge (z.B. auf Grund eines höheren Volumens an Mittelporen oder einer tieferen Durchwurzelung) durch die pfluglose Bodenbearbeitung erhöht wird, ist unklar.

Ein neueres Verfahren, das bei der Eingriffsintensität in den Boden zwischen der Mulchsaat nach Grubbereinsatz und der Direktsaat ohne jegliche Bearbeitung steht, ist die Streifenbearbeitung ("strip till", „Schlitzsaat“; Bischoff 2011, Hermann & Pflugfelder 2011, Sander 2011). Auch hier wird eine wassersparende Wirkung angenommen. Abb. 8-1 zeigt eine Schlitzsaatmaschine.



Abb. 8-1: Schlitzsaat von Zuckerrüben (Maschinenvorführung auf dem norddt. Rübenstag 2013)

## 8.2 Versuchsanlagen

### Vergleich Pflug - Mulchsaat

Der in den Jahren 2010-2013 durchgeführte Versuch sollte die Frage klären, ob die konservierende Bodenbearbeitung mit einem Grubber und Mulchbedeckung des Bodens im Vergleich zur konventionellen Bearbeitung mit dem Pflug Vorteile im Hinblick auf die Ertragsbildung bei suboptimaler Wasserversorgung bietet. Der Versuch fand mit Winterweizen und einer Hackfrucht (Kartoffel 2010, 2011; Zuckerrübe 2012, 2013), die im Wechsel auf zwei Teilflächen angebaut wurden, statt. Er wurde als 2-faktorielle Spaltanlage mit den Großteilstücken „Bodenbearbeitung“ und den Kleinteilstücken „Wasserversorgung“ in 4-facher Wiederholung (zwei echte und zwei unechte) angelegt. Auf Grund von ungleichmäßig in den Parzellen aufgetretenen Pflanzenschäden waren die Versuche mit Weizen der Jahre 2010 und 2013 sowie mit Zuckerrüben 2013 nicht auswertbar.

Folgende Varianten wurden in jeder Fruchtart geprüft:

Bodenbearbeitung:

- Konventionell (Pflug)
- Mulchsaat (flache Grubber-Bearbeitung: möglichst hohe Mulchbedeckung des Bodens)

Wasserversorgung:

- ohne Beregnung
- optimale Beregnung

Der Versuch wurde als statischer Dauerversuch durchgeführt, eine Übersicht über anbautechnische Maßnahmen geben Tab. 8-1 und Tab. 8-2.

Tab. 8-1: Anbautechnische Maßnahmen Kartoffeln (Sorte: Cilena) 2010-2011

	2010	2011
Vorfrucht	Sommergerste	Winterweizen
Pflanzzeit	16.04.2010	13.04.2011
Ernte	16.09.2010	13.10.2011
Nmin im Frühjahr (kg/ha, 0-30/30-60 cm Bodentiefe)	7/9	10/7
N-Düngung (kg/ha N)	150	140
Beregnung optimal	15.06.: 20 mm 24.06.: 23 mm 29.06.: 26 mm 02.07.: 15 mm 08.07.: 21 mm 11.07.: 20 mm 16.07.: 25 mm 23.07.: 17 mm Summe: 167 mm	25.05.: 20 mm 06.06.: 20 mm 17.06.: 14 mm 28.06.: 20 mm Summe: 94 mm

Tab. 8-2: Anbautechnische Maßnahmen Winterweizen (Sorte: JB Asano) 2011-2012

	2011	2012
Vorfrucht	Kartoffel	Kartoffel
Saatzeit	14.10.2010	24.10.2011
Ernte	18.08.2011	02.08.2012
Nmin im Frühjahr (kg/ha, 0-30/30-60 cm Bodentiefe)	10/6/7	11/7/4
N-Düngung (kg/ha N)	70/60/70	80/70/60
Beregnung optimal	26.04.: 25 mm 03.05.: 25 mm 12.05.: 20 mm 27.05.: 25 mm 03.06.: 30 mm 16.06.: 14 mm Summe: 139 mm	02.05.: 15 mm 16.05.: 20 mm 23.05.: 25 mm 29.05.: 30 mm xx.06.: 20 mm Summe: 110 mm

### Vergleich Mulchsaat – Schlitzsaat in Zuckerrüben

Der 2009 erstmals angelegte Versuch wurde in den Projekten „Aquarius“ (EU-gefördert) und KLIMZUG-NORD fortgeführt. Folgende Varianten wurden geprüft:

#### Bodenbearbeitung

- Mulchsaat: Lockerung des Bodens mit einem Grubber bis ca. 20 cm Bodentiefe
- Schlitzsaat: Lockerung nur direkt unterhalb der Saatreihe mit einem Meißel-Schar

#### Wasserversorgung:

- ohne Beregnung
- reduzierte Beregnung
- optimale Beregnung

In den ersten Jahren zeigten die mittels der neuen Schlitzsaattechnik bestellten Rüben einen unregelmäßigen Aufgang, mit der Folge von Mindererträgen. Die Saatverfahren konnten daher hinsichtlich der Fragestellung „Wassereffizienz“ nicht verglichen werden. Der Einsatz einer neueren Saattechnik ab 2011 führte auch nach Schlitzsaat zu einer guten Etablierung des Bestandes, so dass die Auswirkungen der unterschiedlichen Wasserversorgung auf den Rübenertrag bei beiden Saatverfahren beurteilt werden können.

Tab. 8-3: Anbautechnische Maßnahmen Zuckerrüben (Sorte: Lukas) 2011-2013 (Fricke & Riedel 2011, 2012c, 2013)

	2011	2012	2013
Vorfrucht	Wintergerste/Ölrettich	Wintergerste/Ölrettich	Wintergerste/Ölrettich
Saatzeit	25.03.2011	14.03.2012	17.04.2013
Ernte	26.10.2011	11.10.2012	24.10.2013
Beregnung optimal	22.06.: 30 mm Summe: 30 mm	14.08.: 35 mm 30.08.: 30 mm Summe: 65 mm	17.07.: 34 mm 01.08.: 35 mm 16.08.: 31 mm 28.08.: 26 mm Summe: 126 mm
Beregnung optimal	16.06.: 30 mm 29.06.: 25 mm Summe: 55 mm	29.06.: 20mm 01.08.: 25 mm 14.08.: 25 mm 30.08.: 30 mm 14.09.: 25 mm Summe: 125 mm	10.07.: 25 mm 17.07.: 26 mm 24.07.: 29 mm 09.08.: 29 mm 16.08.: 31 mm 04.09.: 25 mm Summe: 165 mm

### 8.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse des Vergleichs der konventionellen Bodenbearbeitung mit dem Pflug und der Mulchsaat nach Grubbereinsatz sind in Tab. 8-4 und Tab. 8-5 dargestellt. Der Winterweizen hat bei optimaler Beregnung in beiden Versuchsjahren ein dem Standort angemessenes Ertragsniveau von 81 bzw. 86 dt/ha erreicht. Bei unterlassener Beregnung traten erhebliche Mindererträge auf (2010: 66 %, 2011: 51 %). Verantwortlich dafür waren sowohl eine geringere Anzahl ährentragender Halme als auch eine schlechtere Kornausbildung. Die Erträge der beiden Bodenbearbeitungsvarianten lagen dagegen im Mittel der Beregnungsvarianten auf ähnlichem Niveau, mit geringfügig höherem Ertrag bei der Mulchsaat (durch eine höhere Kornzahl je Ähre).

Eine Wechselwirkung zwischen den Variablen Bodenbearbeitung und Wasserversorgung zeigt sich in den beiden Versuchsjahren nicht. Die unterlassene Beregnung führt unabhängig von der Bodenbearbeitung zu vergleichbaren Mindererträgen (Abb. 8-1).

Tab. 8-4: Kornertrag und Ertragsaufbau von Winterweizen (Sorte: JB Asano) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung in den Jahren 2011 und 2012

Beregnung	Kornertrag (dt/ha)			Bestandesdichte (Ähren/m <sup>2</sup> )			Tausendkornmasse (g)		
	Mulch	Pflug	Mittel	Mulch	Pflug	Mittel	Mulch	Pflug	Mittel
<b>2011</b>									
unberechnet	29,5	25,8	27,7	410	325	368	27,1	41,2	34,2
optimal bereg.	82,8	80,8	81,8	483	575	529	50,9	52,6	51,8
Mittel	56,2	53,3	54,7	446	450	448	39,0	46,9	43,0
GD5 %			4,5						
<b>2012</b>									
unberechnet	41,2	43,1	42,2	330	380	355	53,9	56,5	55,2
optimal bereg.	89,5	83,3	86,4	480	464	472	61,9	59,8	60,8
Mittel	65,4	63,2	64,3	405	422	413,5	57,9	58,1	58,0
GD5 %			15,1						

Die Versuche mit Kartoffeln zeigen 2010, einem Jahr mit ausgeprägter Sommertrockenheit, in der unberechneten Variante Minderträge von 69 % im Vergleich zur optimal berechneten. Die in der zweiten Jahreshälfte weitgehend ausreichende Wasserversorgung im Jahr 2011 führte zu einem deutlich geringeren Effekt der Beregnung (Minderertrag unberechnet ca. 16 %). Während in der unberechneten Variante die beiden Bodenbearbeitungsverfahren zu gleichen Erträgen führten, wies die Pflugbearbeitung bei optimaler Wasserversorgung Vorteile auf (Abb. 8-2). Frühere Versuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in den Jahren 2003-2005 auf einem sandigen Lehm und einem Sandboden zeigen dagegen bei ausreichender Wasserversorgung keine Unterschiede im Ertrag. Auch ein weiterer Versuch auf der Versuchsstation Hamerstorf bestätigte dies (Senger 2011). Generell kann daher nicht von Mindererträgen durch pfluglose Bodenbearbeitung bei Kartoffeln ausgegangen werden.

In den Qualitätsparametern Befall mit Schorf und Rhizoctonia, Zwiewuchs und Wachstumsrisse traten 2011 keine systematischen Unterschiede auf. Im Jahr 2010 zeigten sich Schorf geringfügig, Rhizoctonia, Zwiewuchs und Wachstumsrisse deutlich häufiger in der unberechneten Variante. Unterschiede zwischen Pflug und Mulchsaat bestanden nur bei Zwiewuchs, hier war der Anteil betroffener Knollen nach Pflugeinsatz höher. Andere Untersuchungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zur pfluglosen Bodenbearbeitung bei Kartoffeln in den Jahren 2003- 2005 sowie 2008 (Senger 2011) ergaben allerdings einen tendenziell höheren Rhizoctoniabesatz beim Verfahren Mulchpflanzen. Der Verzicht auf den Pflug ist daher bei der Produktion von Qualitätsspeisekartoffeln, bei denen eine makellose Knollenoberfläche für die Vermarktung ein wichtiges Kriterium ist, nicht problemlos.

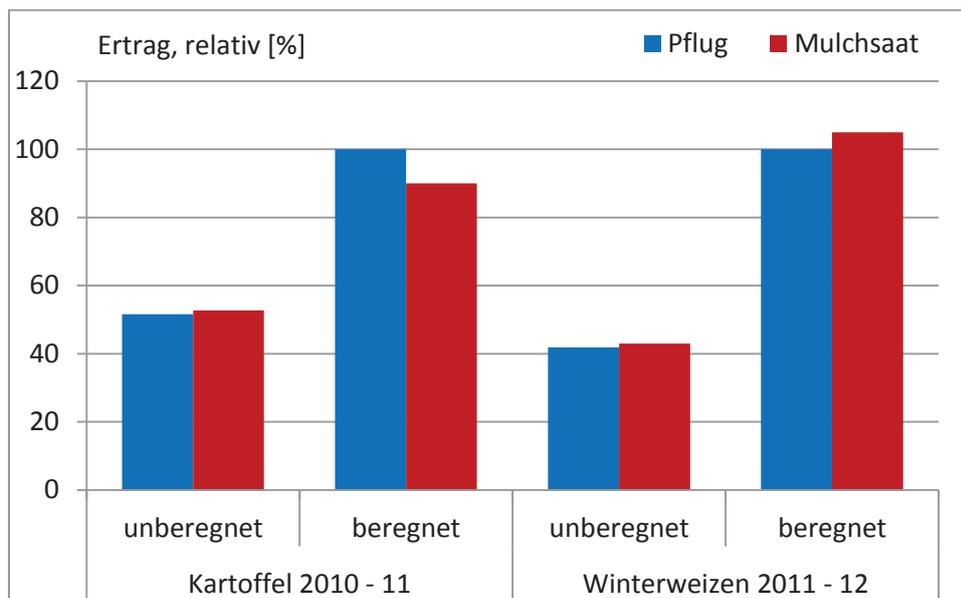


Abb. 8-2: Ertrag in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung im Mittel der Versuchsjahre (Relativertrag, 100 % = Pflug/optimale Beregnung; Kartoffel = Mittelwert 2010-2011, Marktwareertrag ohne Untergrößen; Weizen = Mittel 2011-2012)

Tab. 8-5: Knollenertrag und Sortierung von Kartoffeln (Sorte: Cilena) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung in den Jahren 2010 und 2011

Beregnung	Kornertrag (dt/ha)			Untergrößen (%)			Übergrößen (%)		
	Mulch	Pflug	Mittel	Mulch	Pflug	Mittel	Mulch	Pflug	Mittel
<b>2010</b>									
unberechnet	131,6	135,7	133,6	23,2	27,6	25,4	1,3	1,2	1,2
optimal bereg.	392,4	469,8	431,1	3,6	4,5	4,1	17,7	15,3	16,5
Mittel	262,0	302,7	282,3	13,4	16,1	14,7	9,5	8,2	8,8
GD 5%			107,7						
<b>2012</b>									
unberechnet	438,9	431,2	435,1	1,0	1,1	1,0	23,2	14,2	18,7
optimal bereg.	507,5	530,8	519,1	1,1	1,2	1,1	20,2	22,8	21,5
Mittel	473,2	481,0	477,1	1,0	1,1	1,1	21,7	18,5	20,1
GD5 %			42,7						

Für den Anbau von Zuckerrüben wurde insbesondere das inzwischen auch in der Praxis in Nord-Ost-Niedersachsen verbreitet eingesetzte Verfahren der Schlitzsaat („strip till“) untersucht. Die Ergebnisse der drei Versuchsjahre 2011-2013 sind in Tab. 8-5 dargestellt. In der optimal berechneten Variante wurden auf dem Sandboden Rübenenerträge von 715-907 dt/ha erzielt. Je nach Niederschlagsmenge waren dafür Zusatzwassergaben von 55-165 mm erforderlich. Während bei unterlassener Beregnung im Jahr 2011 (ab Juni ausreichend Niederschläge) nur sehr geringe Ertragsdepressionen auftraten, betrug diese 2013 (Trockenheit ab Juli) 20-24 %. Wie schon in früheren Versuchsjahren (Grocholl & Riedel 2012) sind die Unterschiede zwischen optimaler und reduzierter Beregnung gering. In vielen

Fällen ist eine Beregnung ab ca. 35 % der nFK daher ausreichend. Die Zuckergehalte reagierten auf die unterschiedliche Wasserversorgung nur gering und nicht in allen Fällen gleichgerichtet. Die Werte des Amino-N lagen dagegen in den unberechneten Varianten höher als in den berechneten, die bessere Wasserversorgung hat hier eindeutig qualitätsverbessernd gewirkt.

Tab. 8-6: Rübenenertrag, Zuckergehalt und Amino-N-Gehalt in Abhängigkeit von Anbauverfahren und Wasserversorgung (Fricke & Riedel 2011, 2012c, 2013)

Beregnung	Rübenenertrag (dt/ha)			Zuckergehalt (%)			Amino-N (mmol/kg)		
	Mulch	Schlitz	Mittel	Mulch	Schlitz	Mittel	Mulch	Schlitz	Mittel
<b>2011</b>									
unberechnet	909	907	908	19,8	19,6	19,7	13,1	12,9	13,0
red. berechnet	889	896	893	19,8	19,8	19,8	11,2	11,3	11,3
optimal bereg.	903	910	907	19,5	19,7	19,6	13,0	12,5	12,8
Mittel	900	904	902	19,7	19,7	19,7	12,4	12,2	12,3
GD 5%			55						
<b>2012</b>									
unberechnet	616	665	640	19,3	19,4	19,4	14,3	13,8	14,1
red. berechnet	675	713	694	18,7	18,8	18,8	13,1	12,2	12,7
optimal bereg.	696	735	715	19,0	18,8	18,9	11,9	11,5	11,7
Mittel	662	704	683	19,0	19,0	19,0	13,1	12,5	12,8
GD5 %			39						
<b>2013</b>									
unberechnet	675	641	658	18,6	18,8	18,7	15,7	13,5	14,6
red. berechnet	824	826	825	18,9	19,2	19,1	13,0	10,9	12,0
optimal bereg.	841	834	837,5	18,8	19,1	19,0	12,9	10,8	11,9
Mittel	780	767	773,5	18,8	19,0	18,9	13,9	11,7	12,8
GD5 %			75						

Im Mittel der drei Beregnungsstufen zeigen die beiden Anbauverfahren in den Jahren 2011 und 2013 keine Unterschiede im Ertrag. Im Jahr 2012 dagegen führte die Schlitzsaat zu statistisch gesicherten Mehrerträgen. Während die Zuckergehalte bei beiden Anbauverfahren auf gleichem Niveau lagen, wurde die Rübenqualität im Parameter Amino-N durch die Schlitzsaat verbessert. Auch eine Wechselwirkung zwischen Anbauverfahren und Wasserversorgung ist in den Jahren 2011 und 2013 nicht erkennbar (Abb. 8-3). Im Jahr 2012 führte die Schlitzsaat zwar unabhängig von der Wasserversorgung zu Mehrerträgen, diese waren aber mit abnehmender Wasserversorgung höher. Insoweit hat in diesem Fall die Schlitzsaat zu einer verbesserten Effizienz der Wassernutzung geführt. Ursächlich könnte zum einen eine verminderte unproduktive Verdunstung während der Trockenphase im Frühjahr (Abb. 2-2) sein, zum anderen könnte die bei Schlitzsaat oft besser ausgebildete und tiefer reichende Wurzel (Abb. 8-3) die Wasserversorgung während der ab Juni anhaltenden Trockenperiode verbessert haben. Da ein auf dem gleichen Versuchsfeld angelegter Vergleich von Mulchsaat und Pflugbearbeitung keinen Vorteil der Mulchbedeckung in der unberechneten Variante zeigte (Abb. 8-4) ist anzunehmen, dass die bessere Ausbildung der

Wurzel die wesentliche Ursache darstellt. Dies vermag auch die fehlenden Unterschiede im Jahr 2011 (ausreichende Niederschläge im Sommer) zu erklären, nicht jedoch diejenigen im Jahr 2013 (ausgeprägte Trockenheit im Sommer).

Insgesamt haben die Versuche nur in einem Fall, der Schlitzsaat von Zuckerrüben im Jahr 2012, einen klaren Vorteil einer reduzierten Bearbeitung im Hinblick auf die Effizienz der Wassernutzung gezeigt.

Die Verminderung der unproduktiven Verdunstung durch eine Mulchdecke dürfte bei Wintergetreide, das im Frühjahr schnell zu einer vollständigen Bodenbedeckung führt, eine geringere Rolle spielen. Auch bei Kartoffeln wird die Mulchdecke bei Anlage der Dämme weitgehend zerstört. Effekte in diese Hinsicht sind demnach unwahrscheinlich. Hinweise auf eine verbesserte Wasserverfügbarkeit zu späteren Zeiten der Vegetationsperiode geben die Ergebnisse nicht.

Demgegenüber wäre bei Sommerungen, die im Frühjahr erst spät zu einer Bedeckung des Bodens führen, eine Verminderung der unproduktiven Verdunstung durch eine Mulchdecke zu erwarten. Die bessere Wasserverfügbarkeit müsste sich dann in einer besseren Jugendentwicklung widerspiegeln. Die erzielten Ergebnisse in Zuckerrüben stützen diese Hypothese für die Bedingungen Nord-Ost-Niedersachsens bisher jedoch nicht. Die im Jahr 2012 gemessenen Ertragsvorteile nach Schlitzsaat sind nicht in erster Linie auf den Effekt der Mulchdecke sondern auf die bessere Wurzel Ausbildung zurückzuführen.

Auf der anderen Seite führte der Pflugverzicht in der Regel nicht zu ertraglichen Nachteilen. Bei der Wahl des Bodenbearbeitungsverfahrens ist nicht nur die Frage der Effizienz der Wassernutzung zu beachten. Die mit dem Klimawandel projizierten stärkeren Winterniederschläge erhöhen die Erosions- und Auswaschungsgefahr. Sollte es, wie einige Klimaprojektionen (Norddeutscher Klimaatlas März 2010) sagen, zu einer Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit insbesondere im Frühjahr kommen, würde dadurch die Gefahr der Winderosion verstärkt. Bei Winderosionsereignissen geht insbesondere Humus verloren, mit weiteren negativen Folgen auch für die Wasserhaltefähigkeit sandiger Böden (Kap. 7). Ein bewährtes Mittel zur Verminderung dieser Probleme ist die Mulchbedeckung des Bodens. Auch unter diesen Aspekten werden Verfahren der Mulchsaat an Bedeutung gewinnen.

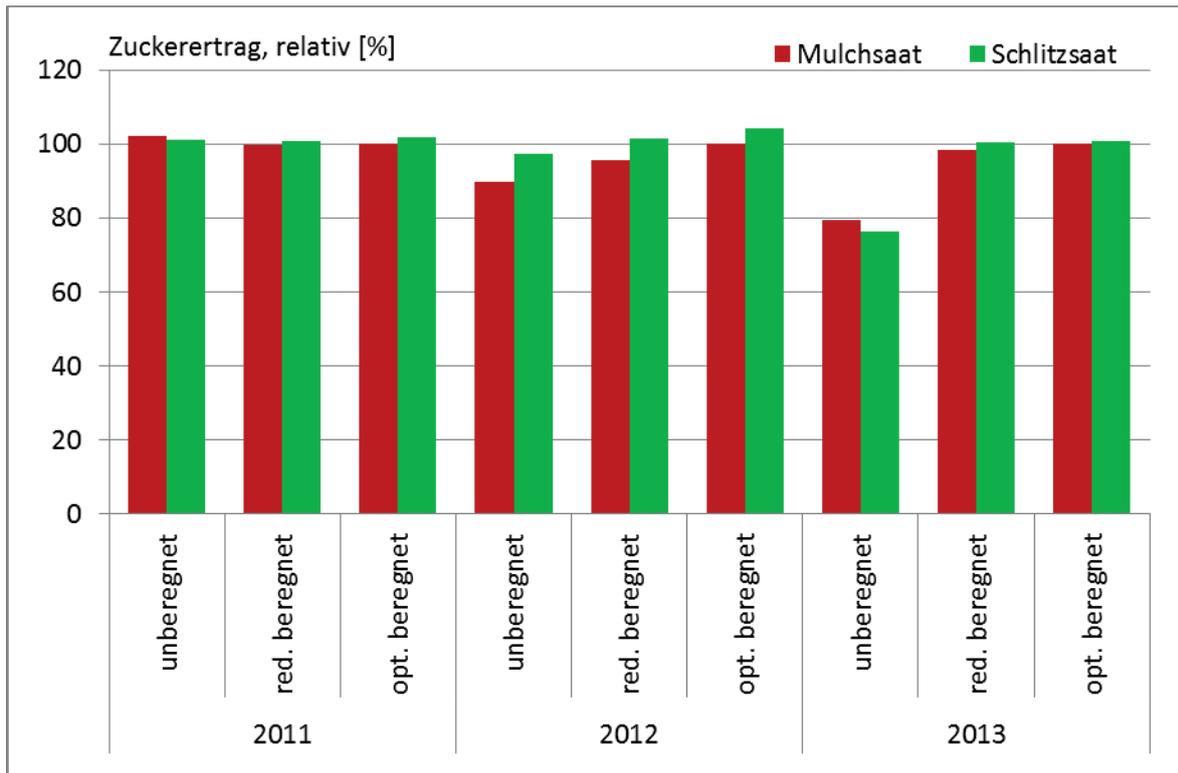


Abb. 8-3: Zuckerertrag (relativ) nach Mulch- und Schlitzsaat in Abhängigkeit von der Wasserversorgung (Versuchsjahre 2011 – 2013; Relativertrag, 100 % = Mulch/optimale Beregnung in jedem Versuchsjahr)



Abb. 8-4: Zuckerrüben nach Mulchsaat (oben) und Schlitzsaat (unten) im Versuchsjahr 2013  
Foto: E. Fricke, unveröffentlicht

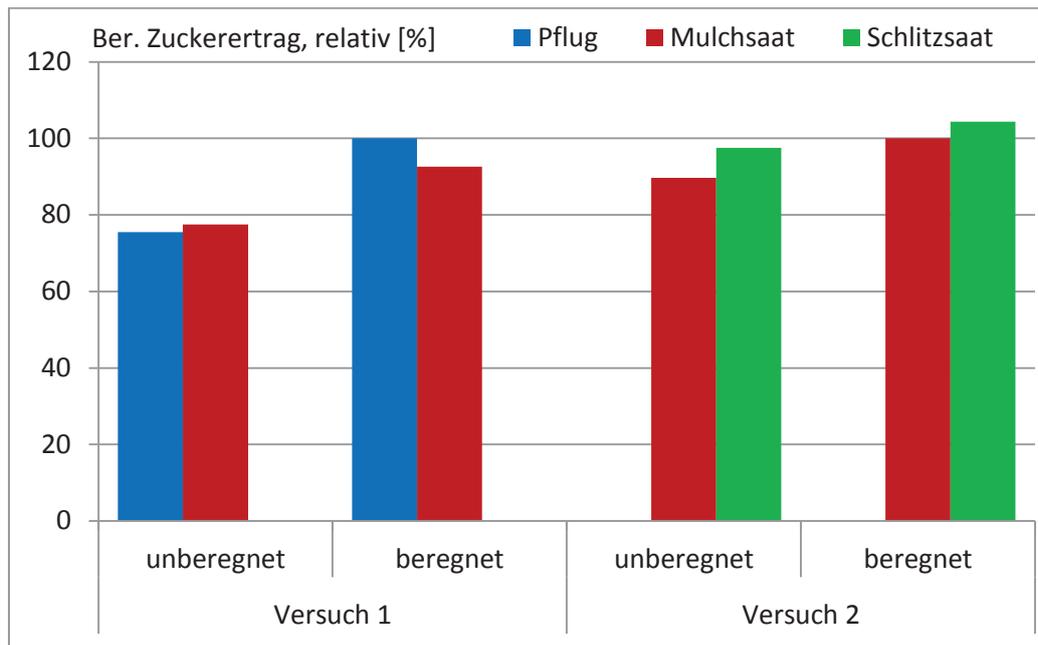


Abb. 8-5: Bereinigter Zuckerertrag (relativ) in zwei Versuchen im Jahr 2012 (ausgeprägtes Wasserdefizit im Mai, negative klimat. Wasserbilanz ab Ende Juli) in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung und Wasserversorgung; Versuch 1: Vergleich Pflug – Mulchsaat (100 % = Pflug/optimale Beregnung); Versuch 2: Vergleich Mulchsaat – Schlitzsaat (100 % = Mulch/optimale Beregnung)

## 9 Beregnungssteuerung

*Angela Riedel*

### 9.1 Literaturübersicht

Eine wichtige Maßnahme für einen sparsamen und grundwasserschonenden Wassereinsatz für die Beregnung in der Landwirtschaft ist eine möglichst exakte Steuerung. Steuerung von Bewässerung bedeutet die Bestimmung von Zeitpunkt, Höhe und Häufigkeit der Zusatzwassergaben für landwirtschaftlich und gartenbaulich angebaute Kulturen.

In der Praxis wird die Beregnung häufig nach der Erfahrung des Betriebsleiters gesteuert. Als Entscheidungsgrundlage dienen dem Landwirt oder Gärtner neben der Wettervorhersage meistens seine Kenntnisse über die von ihm bewirtschafteten Böden und die angebauten Kulturen sowie nicht schlagspezifische Beratungsinformationen unterschiedlicher Beratungsinstitutionen. Oft kommen noch eigene Messungen von Wetterdaten wie Niederschlag und Temperatur hinzu.

Diese Methode der Beregnungssteuerung ist mit großen Unsicherheiten behaftet, weil genaue Daten über das zur Verfügung stehende Bodenwasser und den tatsächlichen Wasserbedarf der Pflanzen nicht vorhanden sind. Das kann dazu führen, dass zum falschen Zeitpunkt oder mit einer suboptimalen Wassermenge bewässert wird. Daraus folgen möglicherweise Verringerungen in Ertrag und Qualität, höhere Kosten sowie eine schlechtere Wassernutzungseffizienz.

Für eine Steuerung nach wissenschaftlichen Grundlagen und nachvollziehbaren Parametern besteht grundsätzlich die Möglichkeit der Erhebung von Messwerten durch entsprechende Messinstrumente z.B. für den Bodenfeuchtegehalt oder auch für den Wasserversorgungsstatus der Pflanzen, um daraus den Bedarf an Zusatzwasser abzuleiten. Exakte Messungen werden in der Praxis jedoch häufig nicht durchgeführt. Sie sind relativ arbeitsaufwändig und teuer, wenn sie die Standortverhältnisse repräsentativ und exakt widerspiegeln sollen oder sie sind zu ungenau oder wie im Falle der Messungen an den Pflanzen noch nicht ausreichend erprobt. Alternativ gibt es die Möglichkeit zur Berechnung des Zustands der Wasserversorgung der Pflanzen und des Beregnungsbedarfs mit Hilfe von Modellen bzw. Berechnungsverfahren. Hierbei benötigt der Landwirt als Anwender keine aufwändigen Messvorrichtungen auf den Feldern. Einen Überblick über gebräuchliche Verfahren und Messmethoden zur Steuerung der Bewässerung findet sich bei (Paschold 2010) und (Michel & Günther 2014).

In einem Feldversuch sollen vier verschiedene Beregnungssteuerungsmodelle vergleichend geprüft werden, um deren Eignung für den Einsatz in der Praxis zu ermitteln. Durch Messungen der tatsächlichen Bodenwassergehalte mit Bodenfeuchtesensoren soll überprüft werden, ob die untersuchten Modelle korrekte Berechnungen des Bodenwassergehalts durchgeführt haben. Sind die berechneten Werte zu gering, würde eine zu frühe und evtl. zu hohe Beregnungsgabe erfolgen. Somit wäre der Wasserverbrauch höher als notwendig und zudem besteht die Gefahr einer Nährstoffaustrags in den Unterboden. Liegen die berechneten Werte zu hoch, besteht die Gefahr einer Unterversorgung der Pflanzen und damit einer Ertrags- und/oder Qualitätsminderung.

Die Betreiber bzw. Entwickler der Beregnungssteuerungsmodelle erhalten die Möglichkeit, ihre Modelle am Ende jeder Vegetationsperiode an die tatsächlichen gemessenen Werte anzupassen, so dass ihre Vorhersagen des Bodenwasserhaushalts bzw. des Wasserbedarfs präziser werden und die Wirklichkeit besser abbilden können, um die Beregnungssteuerung noch exakter zu machen. Die Bodenfeuchtemessungen sollen zusammen mit den berechneten Daten auch zum besseren Verständnis des Bodenwasserhaushalts beitragen, so dass die Qualität der Beratung von Beregnungsbetrieben allgemein verbessert werden kann. Wenn nachgewiesen werden kann, dass die Modelle gute Ergebnisse erzielt haben, könnte das auch deren weitere Verbreitung in der Praxis fördern und damit zu einem insgesamt effizienteren Umgang mit dem Beregnungswasser beitragen.

### **Methoden der Steuerung von Bewässerung**

Der Berechnung der Grundlagen für die Beregnungssteuerung, wie potentielle und aktuelle Verdunstung, Bodenwassergehalt, Wasserbedarf der Pflanzen, kommt eine wichtige Rolle zu, wenn die Ergebnisse ausreichend genau sein sollen. Hierfür gibt es unterschiedliche Ansätze, die auf wissenschaftlichen Grundlagen beruhen und die sich in verschiedenen Modellen zur Berechnung des Bodenwasserhaushalts und des Wasseranspruchs der Kulturpflanzen wiederfinden. Damit diese Modelle als Instrument zur Steuerung der Bewässerung verwendet werden können, sollte als Ergebnis der Berechnungen eine nachvollziehbare und über die Vegetationsperiode kontinuierliche Empfehlung für die Anwendung der Bewässerung stehen. Diese Empfehlung muss getrennt nach Standorten und Kulturen, möglichst sogar nach den Schlägen eines Betriebes erfolgen.

Gefordert ist also eine möglichst realistische Berechnung über einen längeren Zeitraum hinweg. Dafür benötigen die Modelle genaue Ausgangsdaten, mit denen sie rechnen können. Das sind z.B. Angaben über den Boden und die Kultur sowie Wetterdaten und Wettervorhersagen. Die dafür notwendigen Daten und Messungen sollten relativ einfach erhoben werden und mit möglichst wenig Aufwand für den Anwender eingegeben werden können, damit das Modell leichter Eingang in die Praxis finden kann. Für die Minimalausstattung an Messtechnik genügt auf dem Betrieb ein handelsüblicher Regenschirm, um die Niederschläge lokal zu erfassen. Die übrigen benötigten Daten kommen von einer am nächsten gelegenen Wetterstation z.B. vom Deutschen Wetterdienst. Angaben zu den Böden können häufig vorhandenen Bodenkarten entnommen werden, die in Niedersachsen nahezu flächendeckend vorhanden sind, oder sie müssen einmalig durch Bodenansprache und Bodenuntersuchungen für jede Bewirtschaftungseinheit erhoben werden.

Die Modelle sind zum Teil kostenpflichtig als Beratungsdienstleistung oder als EDV-Programm erhältlich, andere sind kostenlos nutzbar. Sie berechnen kontinuierlich die vom Pflanzenbestand verdunstete Wassermenge und überwiegend auch den Bodenwassergehalt. Diesen Werten wird der in den Entwicklungsstadien unterschiedliche Wasserbedarf der Kulturen gegenüber gestellt, woraus Empfehlungen zum Zeitpunkt und zur Höhe der Wassergabe abgeleitet werden. Da den Modellen verschiedene Algorithmen zugrunde liegen, sind unterschiedliche Empfehlungen zu erwarten.

## Die Beregnungssteuerungsmodelle im Überblick

### Geisenheimer Bewässerungssteuerung

- Berechnung der aktuellen (AET) aus der potentiellen Verdunstung (PET) mit Hilfe von Geisenheimer Korrekturwerten (kc-Werten) für jede Kultur
- Eingangsdaten: Wetterdaten (Penman-Verdunstung) und eigene Messungen (Regen)
- Beregnungssteuerung nach Wasserbilanz, Entwicklungsstadium der Pflanzen und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens
- nicht kommerziell, eigene Berechnungen durch Nutzer (z.B. mit Excel) erforderlich oder alternativ Nutzung der gebührenpflichtigen Anwendung "agrowetter" des DWD, wo die Geisenheimer Steuerung als etwas abgeändertes Modell integriert ist
- Literatur: Grundlagen der Methode (Paschold et al. 2002), aktuelle kc-Werte (Hochschule Geisenheim 2014)

### Modell LBEG (BOWAB)

- Berechnung der aktuellen aus der potentiellen Verdunstung mit Hilfe von Korrekturwerten für jede Kultur.
- hervorgegangen aus dem Projekt ISIP (internetbasierte Empfehlungen zur schlagspezifischen N-Düngung), mit Anwendung des Bodenwasserhaushaltsmodells BOWAB, das die Bodeneigenschaften und die Bodenschichtung berücksichtigt.
- Beregnungssteuerung nach Wassergehalt des Bodens (% der nutzbaren Feldkapazität), Entwicklungsstadium der Pflanzen
- Zu Projektbeginn noch keine Anwendung für Beregnungsempfehlungen. Seit 2014 wird das Programm dezentral über das Internet kostenfrei angeboten, jedoch nur in Niedersachsen.
- Literatur: Grundlagen der Methode (Engel et al. 2012, Engel 2012), online-Anwendung auf dem NIBIS<sup>®</sup>-Kartenserver (LBEG 2014)

### Modell Zephyr

- Berechnung der aktuellen aus der potentiellen Verdunstung mit Hilfe von Korrekturwerten für jede Kultur.
- stärkere Berücksichtigung der Bodenwasserdynamik und der Wirkung der Pflanzen für den Bodenwasserhaushalt sowie des Wasserbedarfs der Pflanzen
- entwickelt aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell SiPflanz
- Beregnungssteuerung mit Steuerkurven nach Wassergehalt des Bodens (% nFK), Kultur, Entwicklungsstadium der Pflanzen. Möglich auch nach Quotient AET/PET Anwenderprogramm (Anwendung dezentral beim Nutzer), Beratung durch Anbieter möglich
- Literatur: Grundlagen der Methode (Michel 2010), Erläuterung der Methode am Beispiel der Kartoffel (Michel 2013), Internet: [www.bodenwasser.de/beregn.html](http://www.bodenwasser.de/beregn.html)

### Modell Irrigama

- Berechnung der aktuellen aus der potentiellen Verdunstung mit Hilfe von Korrekturwerten für jede Kultur.
- Berechnungsgrundlagen ähnlich wie im Modell Zephyr
- weiterentwickelt aus dem langjährig in Ostdeutschland erprobten Programm BEREST
- Steuergröße ist der AET/PET Quotient. Es gibt Steuerkurven für viele Kulturen
- Anwendung zentral von der Beratungsinstitution, gibt Beregnungsempfehlungen an Anwender. In Planung ist dezentrale Anwendung über Internet.

- Literatur: Grundlagen und Anwendung der Methode (Wenkel 2013), Näheres zu Irrigama bei Schörling 2013

## 9.2 Versuchsanlage

In insgesamt drei Kulturen (Kartoffeln, Zuckerrüben und Getreide) erfolgte der Bewässerungseinsatz nach Zeitpunkt und Wassermenge direkt nach Vorgabe des jeweiligen Modells. Nach der Ernte wurde anhand des Ertrages, der Qualität der Produkte und der verbrauchten Wassermenge festgestellt, welches System das Wasser am sparsamsten und am effizientesten eingesetzt hat.

Der Versuch ist als 2-faktorielle Spaltanlage in 4-facher Wiederholung über vier Jahre (2010-2013) angelegt worden. Die beiden Fruchtarten (Hackfrucht und Getreide) wurden als getrennte Versuche betrachtet und aus Fruchtfolgegründen im jährlichen Wechsel auf den jeweiligen Teilflächen angebaut, wobei die Kartoffel im 3. und 4. Versuchsjahr von der Zuckerrübe abgelöst wurde. Neben den berechneten Varianten gab es auch eine Variante ohne Berechnung, um die Mehrerträge und Qualitätsverbesserungen durch das jeweilige Modell aufzuzeigen. Außerdem wurden in jeder Kultur zwei verschiedene Sorten angebaut, die einem bestimmten Sortentyp zuzuordnen sind. Damit soll untersucht werden, ob es unterschiedliche Reaktionen dieser Sortentypen auf verschiedene Varianten der Berechnungssteuerung gibt.

Die Sorten sind als Beispiele für bestimmte Sortentypen ausgewählt worden (Tab. 9-1). Die Kartoffelsorten sind Speisekartoffeln.

Tab. 9-1: Sorteneigenschaften

Kultur/Sorte	Reifegruppe	Eigenschaften
Winterweizen - Julius	mittelspät	Bestandesdichtotyp, B-Weizen
Winterweizen - JB Asano	früh	Einzelährentyp, A-Weizen
Kartoffel - Soraya	mittelfrüh	tolerant gegen Trockenstress
Kartoffel - Cilena	früh	empfindlich gegen Trockenstress
Zuckerrübe - Lukas	früher und mittlerer Erntetermin	Z-Typ (Zuckergehaltsbetont)
Zuckerrübe - Annika	mittlerer und später Erntetermin	N-Typ (Rübenertragsbetont)

Allgemeine Kenndaten zum Versuchsstandort finden sich in Kap. 2. Der Boden des Versuchsfeldes wurde im Frühjahr 2010 an mehreren Stellen mit dem Bohrstock kartiert, um die wichtigsten Eckdaten zur Berechnung des Bodenwasserhaushalts zu bestimmen. Der Boden ist nicht ganz einheitlich, sondern es gibt Unterschiede innerhalb des Versuchsfeldes. Durch die Wiederholungen der Varianten soll der Einfluss der Bodengüte auf die Ergebnisse der Varianten minimiert werden. Damit jedes Modell mit den gleichen Daten rechnet, wurde ein Leitprofil ermittelt, welches repräsentativ für alle Parzellen stehen soll. Die Daten wurden allen Modellbetreibern zur Verfügung gestellt. Es handelt sich im Oberboden um einen schwach schluffigen Feinsand, im Unterboden um einen Feinsand (Bodenschätzung: S3D, Ackerzahl 31). Nutzbare Feldkapazität (nFK): 42 mm im Oberboden (0-30 cm) und 66 mm im Unterboden (30-90 cm Tiefe).

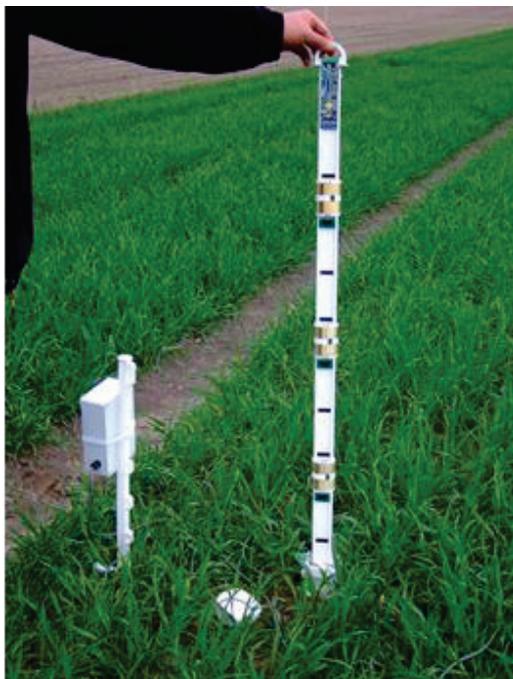
Die Wetterdaten, die von der Wetterstation des Versuchsfeldes in Hamerstorf gemessen wurden, standen den Modellbetreibern stundengenau per Internet zur Verfügung. Der





*Abb. 9-2: Mobile Rohrtrommelberechnungsmaschine mit Düsenwagen in den Versuchen*

In jedem der vier Steuerungsmodelle wird eine Bodenfeuchtemessung an einem repräsentativen Punkt durchgeführt. Dazu werden EasyAG Solo- und EnviroScan Solo-Systeme des Herstellers Sentek Sensor Technologies verwendet. Es handelt sich hierbei um Bodensonden, die auf der Messtechnik "Frequency Domain Reflectometry" (FDR) beruhen, welche eine hohe Genauigkeit aufweist. Jede Sonde misst gleichzeitig mit mehreren Sensoren in verschiedenen Bodentiefen. Ein besonderer Vorteil dieser Sonden ist, dass sie sich ohne Aufgrabung des Bodens, d.h. ohne Zerstörung des Bodenprofils einbauen lassen. Der Einbau der schmalen Sonden ist einfach und dennoch genau möglich, bei minimaler Beeinflussung des Bodens oder der Wurzeln.



*Abb. 9-3: Anordnung der Sensoren auf der Enviroscan Sonde*

### 9.3 Ergebnisse

#### Weizen

Im Mittel über die gesamte Versuchsdauer von vier Jahren liegen die vier Modelle beim Kornertrag auf dem gleichen Niveau, unterscheiden sich aber im Wasserverbrauch (Tab. 9-2 und Abb. 9-4). Für die Beregnung hat im Durchschnitt das Modell Zephyr mit 88 mm am wenigsten Wasser benötigt, am meisten Irrigama mit 113 mm. Daher schneidet Zephyr auch bei der Wassernutzungseffizienz am besten ab, während Irrigama einen um 5 kg geringeren Mehrertrag je mm Zusatzwasser aufweist (Tab. 9.3). Im Modell Irrigama wurden sowohl 2012 als auch 2013 Veränderungen an der Beregnungssteuerung für den Weizen vorgenommen, die zu einer deutlichen Verringerung der Zusatzwassermenge führten, ohne dass es dabei zu Mindererträgen gekommen wäre. Die Geisenheimer Steuerung benötigte dagegen in den letzten beiden Jahren überdurchschnittlich viel Wasser, während der Bedarf 2010 und 2011 relativ niedrig war. Das Modell LBEG liegt sowohl beim Wasserbedarf als auch bei der Effizienz im Mittelfeld.

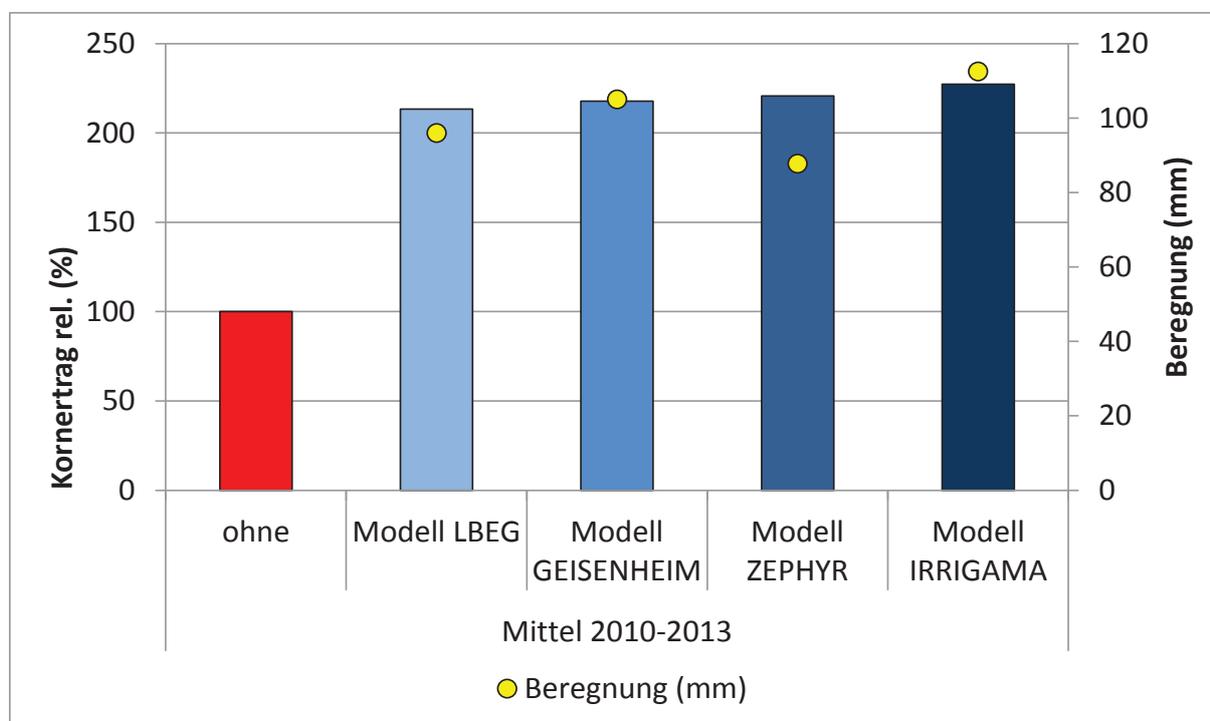


Abb. 9-4: Mittlere Erträge und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle beim Winterweizen, ohne Beregnung als Vergleichsvariante = 100 % gesetzt

Zur besseren Einordnung der Ergebnisse der Steuerungsmodelle können die Ergebnisse des Beregnungsversuchs in Sorten (Kap. 3) auf einer benachbarten Fläche (mit einer etwas besseren Wasserspeicherfähigkeit des Bodens) herangezogen werden. Der Beregnungswasserbedarf betrug im gleichen Zeitraum (2010–2013) bei reduzierter Beregnung (ab 35 % nFK) 76 mm und bei optimaler Beregnung (ab 50 % nFK) 135 mm. Die Wassermengen der Steuerungsmodelle ordnen sich gut zwischen diese Eckwerte ein, zumal durch die geringere Wasserspeicherkapazität des Bodens im "Modellversuch" prinzipiell ein etwas höherer Beregnungsbedarf gegeben ist. Die Erträge auf dem etwas besseren Boden des Beregnungsversuchs sind etwas höher, die durchschnittlichen Mehrerträge gegenüber unberegnet waren aber niedriger als bei den Steuerungsmodellen. Die Wassernutzungseffizienz zeigte dadurch vergleichbare, teilweise sogar bessere Werte bei den Steuerungsmodellen.

Tab. 9-2: Berechnungsmengen (mm) und Erträge (dt/ha) im Winterweizen, 2010-2013

Modell	2010		2011		2012		2013		Mittel	
	mm	Ertrag	mm	Ertrag	mm	Ertrag	mm	Ertrag	mm	Ertrag
unberechnet		29,8		17,7		68,4		53,9		42
Zephyr	82	51,7	139	81,9	90	86,7	40	64,1	88	71
LBEG	89	44,5	135	77,2	110	88,7	50	73,9	96	71
Geisenheim	82	43,9	125	80,4	123	91,7	90	72,7	105	72
Irrigama	168	52,3	176	82,8	80	88,1	26	73,4	113	74

Tab. 9-3: Wassernutzungseffizienz im Winterweizen, (kg Mehrertrag/mm Zusatzwasser), 2010-2013

Modell	2010	2011	2012	2013	Mittel
Zephyr	27	46	20	25	33
LBEG	17	44	18	40	30
Geisenheim	17	50	19	21	28
Irrigama	13	37	25	75	28

Tab. 9-4: Vergleichsdaten aus Sortenversuch Beregnung, 2010- 2013

Varianten	Beregnungswasser (mm)	Ertrag (dt/ha)	Zusatzwassereffizienz (kg Mehrertrag/mm Zusatzwasser)
unberechnet	0	52	-
reduziert beregnet	76	74	28
optimal beregnet	135	80	21

Dieser Vergleich zeigt, dass die Bestimmung des Beregnungseinsatzes durch Berechnung im Weizen überwiegend gut gelungen ist.

In 2010 war die frühe Sorte JB Asano im Vorteil, weil die spät einsetzende Trockenheit der späten Sorten Julius mehr geschadet hat, was nur durch eine hohe Beregnungsintensität ausgeglichen werden konnte. 2011 begann die Trockenheit jedoch sehr früh und hat dadurch ohne Beregnung der frühen Sorte mehr geschadet als der späten. Daher war Julius im Vorteil. Das konnte durch eine angepasste Beregnung ausgeglichen werden. 2012 und 2013 konnte JB Asano wegen Auswinterung oder anderer Schäden nicht ausgewertet werden.

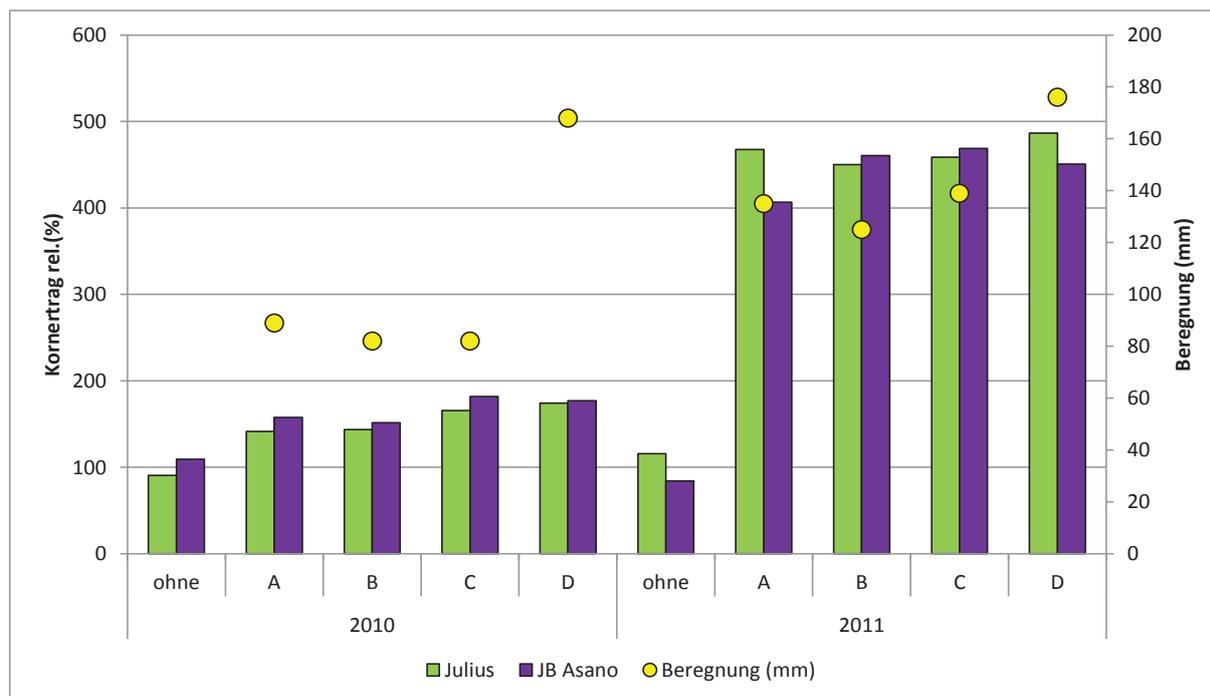


Abb. 9-5: Mittlere Erträge und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle beim Winterweizen, mit Einbeziehung der Sorten, 2010 und 2011 (A = LBEG, B = Geisenheim, C = Zephyr, D = Irrigama)

### Kartoffeln

Der Mehrertrag durch Beregnung gegenüber der unberegneten Variante war 2010 mit fast 300 % im Mittel sehr hoch. Darin spiegelt sich die lange Trockenperiode in der Hauptwachstumsperiode der Kartoffeln wieder. Die etwas spätere Sorte Soraya ist im Ertrag deutlich besser als Cilena, weil sie Anfang August noch genügend grüne Blätter hatte, um von den natürlichen Niederschlägen zu profitieren, während das Laub von Cilena bereits weitgehend abgestorben war.

Die Ertragsunterschiede zwischen den Steuerungsmodellen waren nicht so hoch wie beim Weizen. Die maximale Ertragsdifferenz zwischen Beregnungsvarianten betrug im Sortenmittel 80 dt/ha. Nur dieser Unterschied zwischen der Variante mit dem höchsten und der mit dem geringsten Ertrag war statistisch abgesichert (Grenzdifferenz 5 %: 48 dt/ha). Die Beregnungsmengen waren allerdings schon unterschiedlich.

2010 war das Modell Zephyr am erfolgreichsten. Gute Erträge und Qualitäten wurden mit relativ wenig Zusatzwasser erzielt, was zu einer effizienten Wasserausnutzung geführt hat. Im Modell A wurde sehr wassersparend beregnet (20 bis 50 mm weniger als die übrigen Modelle), was allerdings zu Ertragseinbußen geführt hat, so dass die Wassernutzungseffizienz um ca. 100 kg je mm Zusatzwasser geringer war.

2011 gab es nur geringe Mehrerträge durch Beregnung und keine Unterschiede im Ertrag zwischen den Modellen. Die Differenz bei der Beregnungsmenge ist auf eine unterschiedliche Interpretation der Wettervorhersage zurückzuführen gewesen, weil kurz nach der Beregnung außer beim Modell Geisenheim ein kräftiger Gewitterregen erfolgte, welcher die Beregnung unwirksam machte. Die niedrigere Beregnungsmenge bei Geisenheim ist daher auf diesen zufällig bedingten Umstand zurückzuführen. Das gute

Abschneiden des Modells Geisenheim bei der Wassernutzungseffizienz ist daher ein zufälliges, durch äußere Umstände bedingtes Ergebnis.



Abb. 9-6: Mittlere Erträge und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle bei Kartoffeln, mit Einbeziehung der Sorten, 2010 und 2011 (A = LBEG, B = Geisenheim, C = Zephyr, D = Irrigama)

Für die Qualität spielt die Verteilung der Knollengrößen eine wichtige Rolle. Kleine Größen unter 35 mm sind nicht erwünscht. Die Vermarktung von Übergrößen über 60 mm hängt von der Verwertungsrichtung und den Markterfordernissen ab. Bei Speisekartoffeln sollte der Anteil nicht sehr hoch sein. Fehlende Beregnung hat 2010 zu einem hohen Anteil (26,5 % im Sortenmittel) an Untergrößen geführt. Bei Cilena lag der Anteil sogar bei 31 %. Zwischen den Beregnungssteuerungsmodellen gab es keine deutlichen Unterschiede. Bei den Übergrößen ist der Anteil bei den Modellen D und B etwas höher. Das könnte besonders bei D mit dem späteren Beregnungsbeginn zusammenhängen, der zu einem geringeren Knollenansatz geführt haben dürfte. Außerdem haben beide Modelle die Beregnung erst spät beendet, was noch zu einem weiteren Zuwachs der größeren Knollen, die bei der Nährstoffzufuhr Vorrang gegenüber kleinen Knollen haben, geführt haben könnte. In der Variante A wurde die Beregnung einige Tage früher beendet. Hier war daher der kleinste Anteil an Übergrößen zu finden. Bei den Sorten weist Soraya bei weitem mehr Übergrößenanteile auf als Cilena. Durch eine etwas verringerte Beregnungsintensität können bei Soraya höhere Anteile an mittleren Knollengrößen produziert werden, was jedoch zu Lasten des Gesamtertrages geht.

Tab. 9-5: Wassernutzungseffizienz in Kartoffeln 2010 und 2011 (kg Mehrertrag/mm Zusatzwasser)

Modell	Beregnung (mm)	Soraya	Cilena	Mittel
<b>2010</b>				
ohne				
LBEG	147	577	672	625
Geisenheim	194	645	785	715
Zephyr	167	668	788	728
Irrigama	195	646	793	719
<b>2011</b>				
ohne	0	-	-	-
LBEG	60	253	126	189
Geisenheim	33	563	211	387
Zephyr	74	225	102	163
Irrigama	75	185	107	146

### Zuckerrüben

Die Modelle unterschieden sich bei den Zuckerrüben hauptsächlich in der Höhe und Verteilung der Regengaben, was besonders in 2012 auffällig war. Das Modell Geisenheim hatte hier durch eine zu geringe Einschätzung der realen Verdunstung keine Beregnung empfohlen, während das Modell Irrigama mit 120 mm eine hohe Menge beregnet hat. Die geringen Ertragsdifferenzen bei den Modellen mit Beregnungseinsatz sind auf Bodenunterschiede zurückzuführen und liegen innerhalb des Versuchsfehlers. 2011 befanden sich die Beregnungsmengen und auch die Erträge etwa auf dem gleichen Niveau. Nur das Modell Geisenheim wies hier eine geringere Menge auf, was jedoch zu keinem Ertragsverlust führte, demnach also angemessen war.

Während der Zuckergehalt 2012 durch Beregnung niedriger ausfiel, konnte er im trockenen Sommer 2013 durch Beregnung gesteigert werden. Hierbei war die Sorte Lukas gegenüber Annika im Vorteil. Damit zeigte sich dieser genetisch in den Sorten verankerte Unterschied deutlich, was im Vorjahr wegen des starken Befalls der Sorte Lukas mit Cercospora-Blattflecken nicht zum Tragen kam. Annika machte ihren geringeren Zuckergehalt teilweise durch einen höheren Rübenertrag wett, wodurch sie ohne Beregnung und bei Irrigama einen höheren Zuckerertrag erreichte als Lukas. Auf die geringere Beregnungsmenge der Geisenheimer Steuerung in 2013 reagierten die Sorten entsprechend. Annika wies einen etwas verringerten Zuckergehalt auf, kompensierte das aber mit einem hohen Rübenertrag. Bei Lukas fiel der Rübenertrag etwas ab, der Zuckergehalt ging jedoch nicht zurück. Beide Sorten kompensierten also die negative Wirkung von Trockenstress auf einen Ertragsfaktor durch eine verstärkte Leistung des anderen Faktors. Daher erreichte die Variante Geisenheim mit der geringsten Beregnungsmenge den gleichen Zuckerertrag wie die anderen Modelle.

Sowohl Geisenheim als auch Irrigama haben Ihre Steuerung für Zuckerrüben im Jahr 2013 gegenüber dem Vorjahr verbessert und an den Standort angepasst, wodurch Geisenheim mehr und Irrigama weniger beregnet hat.

Tab. 9-6: Beregnung, Zuckerertrag und Wassernutzungseffizienz in Zuckerrüben (kg Mehrertrag/mm Zusatzwasser) im Sortenmittel 2012 und 2013

Modell	2012			2013			Mittel		
	mm	Ertrag	Effizienz	mm	Ertrag	Effizienz	mm	Ertrag	Effizienz
unberechnet	0	93	-	0	112		0	102	
LBEG	50	111	37	136	132	15	93	122	21
Geisenheim	0	91	-	100	130	19	50	111	17
Zephyr	75	122	41	142	128	11	107	125	21
Irrigama	125	117	19	133	144	24	129	130	22

Die Jahrmittelwerte sagen relativ wenig aus, weil es sich um nur zwei Versuchsjahre handelt und daher noch kein eindeutiger Trend abzuleiten ist. Bei der Wassernutzungseffizienz liegen die Modelle mit Ausnahme von Geisenheim (wegen des schlechten Abschneidens 2012) auf gleicher Höhe.

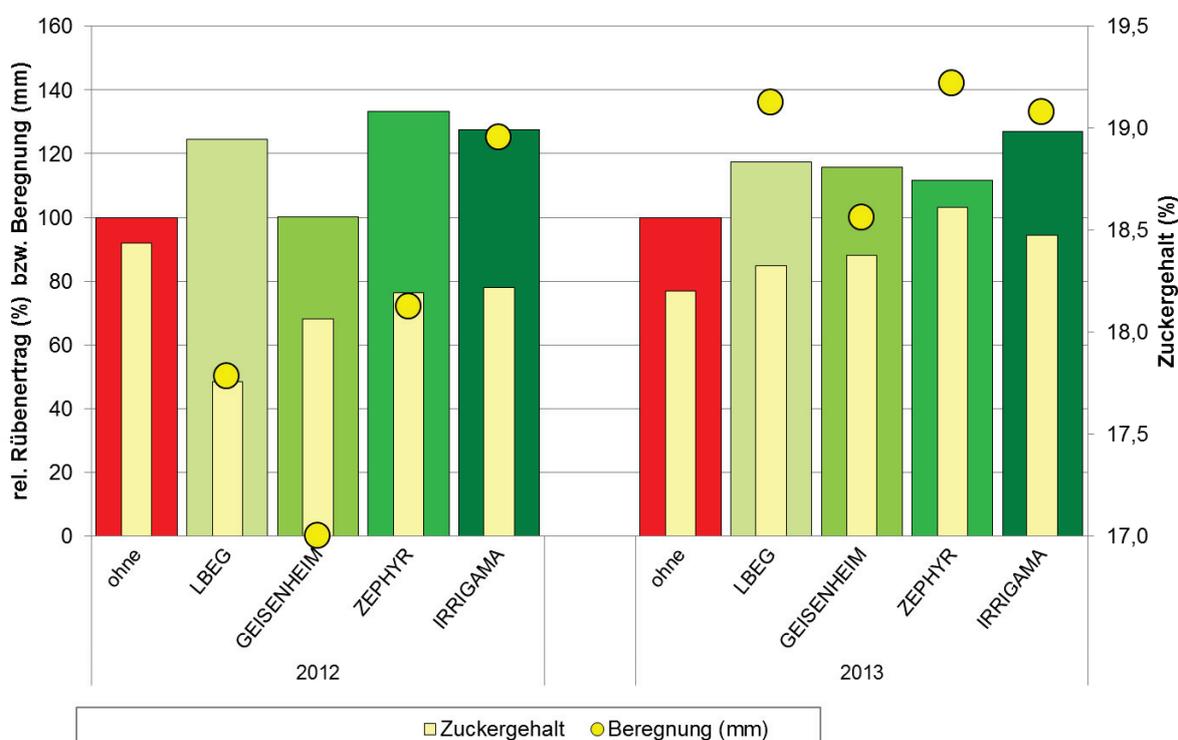


Abb. 9-7: Mittlere relative Erträge, Zuckergehalte und Beregnungsmengen der Steuerungsmodelle bei Zuckerrüben 2012 und 2013

### Messungen des Bodenwassergehaltes

Um die Beregnungsentscheidungen der Modellbetreiber besser nachvollziehen zu können, steht mit den Bodenfeuchtemessungen durch die Sonden ein Instrument zur Beurteilung des richtigen Zeitpunktes sowie einer angemessenen Gabenhöhe zur Verfügung.

Die Sensoren zur Messung der Bodenfeuchte haben Veränderungen der Bodenwassergehalte durch Entzug und Zufuhr von Wasser gut wiedergegeben. Der Entzug von Wasser aus einer Bodenschicht findet zum größten Teil über die Wurzeln statt. Bei

ausreichend vorhandenem Bodenwasser wird umso mehr Wasser entzogen, je intensiver die Bodenschicht durchwurzelt wird, je höher der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre und je größer die Blattfläche ist. Bei abnehmendem Bodenwassergehalt geht der Entzug durch die Wurzeln kontinuierlich zurück. Das zeigt sich im abnehmenden Verlauf der Kurven nach jeder Wasserzufuhr. Tagsüber erfolgt ein starker Entzug, in der Nacht wird die Verdunstung und damit die Wasserentnahme durch die Pflanzen eingestellt. Daraus ergibt sich eine "Treppenfunktion" in den Kurven.

Auch das Wasserspeichermögen im Umfeld der Sensoren wird ausreichend genau charakterisiert, wenn auch die absoluten Werte wegen der verwendeten Standardkalibrierung nicht immer exakt den realen Gehalten entsprechen. Auf den verschiedenen Parzellen wichen die absoluten Wassergehalte teilweise stark voneinander ab. Relative Veränderungen des Bodenwassergehaltes im zeitlichen Ablauf lassen sich aus den Sondendaten dagegen gut ablesen. Aus den Kurvenverläufen lassen sich auch Rückschlüsse auf den Beregnungsbedarf ziehen. Ebenso sind zu geringe oder zu hohe Gaben bei der Beregnung gut zu sehen. Eine zu geringe Wassermenge bleibt ausschließlich im Oberboden und durchfeuchtet nicht die etwas tiefer gelegenen Schichten, die dann immer stärker austrocknen. Zu hohe Gaben führen zu Versickerung von Wasser in tiefe Bodenschichten. Dieses Wasser ist für die Pflanzen verloren, wenn diese Schichten nicht durchwurzelt sind.

Die Berechnungen der Modelle zeigen häufig eine gute Übereinstimmung mit dem anhand der Kurvenverläufe geschätzten Beregnungsbedarf. Aber auch zu späte oder zu frühe Einsätze waren erkennbar. Beispiel in Abb. 9-8: Beregnungseinsatz für 1. Gabe richtig (niedriger Wassergehalt, was für die Startgabe bei Zuckerrübe in dieser Phase aber empfohlen wird), 2. Gabe rechtzeitig, folgende Wassergaben zu früh (Wassergehalte noch nicht im Trockenstressbereich, Wassergehalt der untersten Schicht stark zunehmend, was nicht erwünscht ist wegen Gefahr der Sickerwasserbildung). Einschränkend muss jedoch gesagt werden, dass es sich bei den Messungen immer nur um Punktmessungen an einem sehr kleinräumigen Ort handelt, während mit den Programmen eine ganze Fläche mit ihren repräsentativen Merkmalen berechnet wird. Häufig traten auch bei den Sonden Fehler oder nicht interpretierbare Messwerte auf, die z.B. an Unregelmäßigkeiten im Boden (z.B. Steine, Spalten, Verdichtungen etc., Abb. 9-9) gelegen haben. Der Umgang mit den Sonden selbst und die Auswertung der Messergebnisse erfordert eine große Erfahrung des Anwenders. Auch der Preis und der Aufwand des Einbaus sind relativ hoch, besonders dann, wenn mehrere Sonden auf verschiedenen Feldern zum Einsatz kommen sollen.

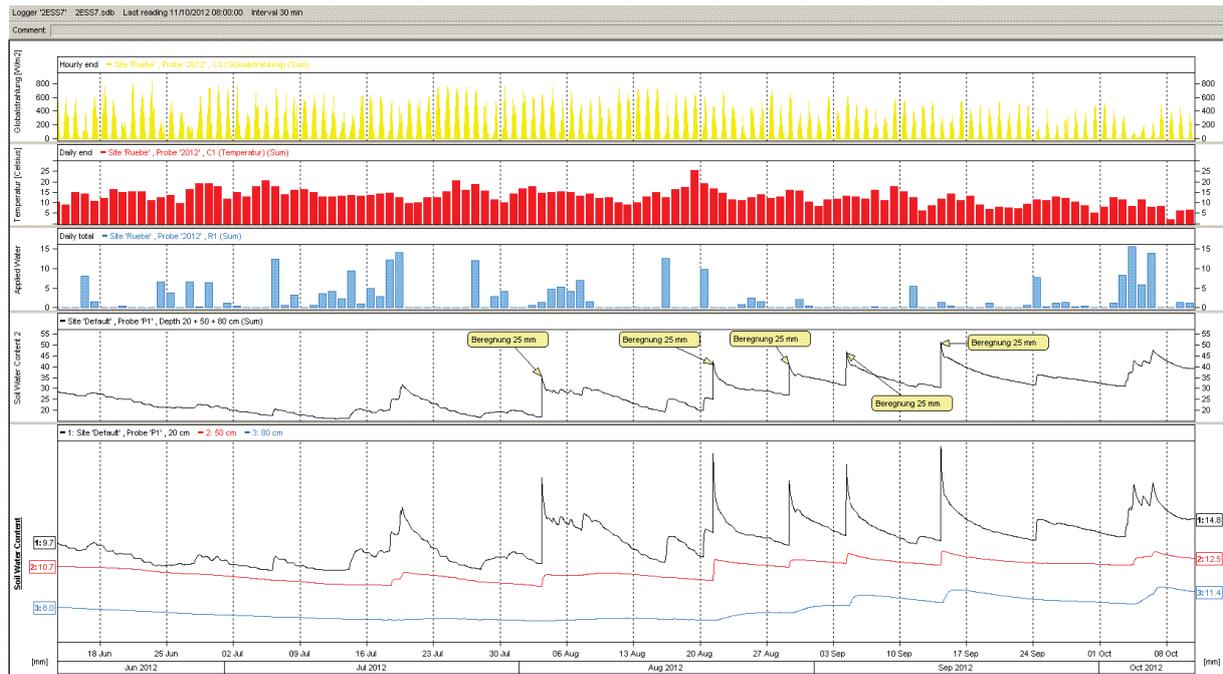


Abb. 9-8: Modell D, Zuckerrüben, Wiederholung 2, Datenverlauf nachvollziehbar (2012)

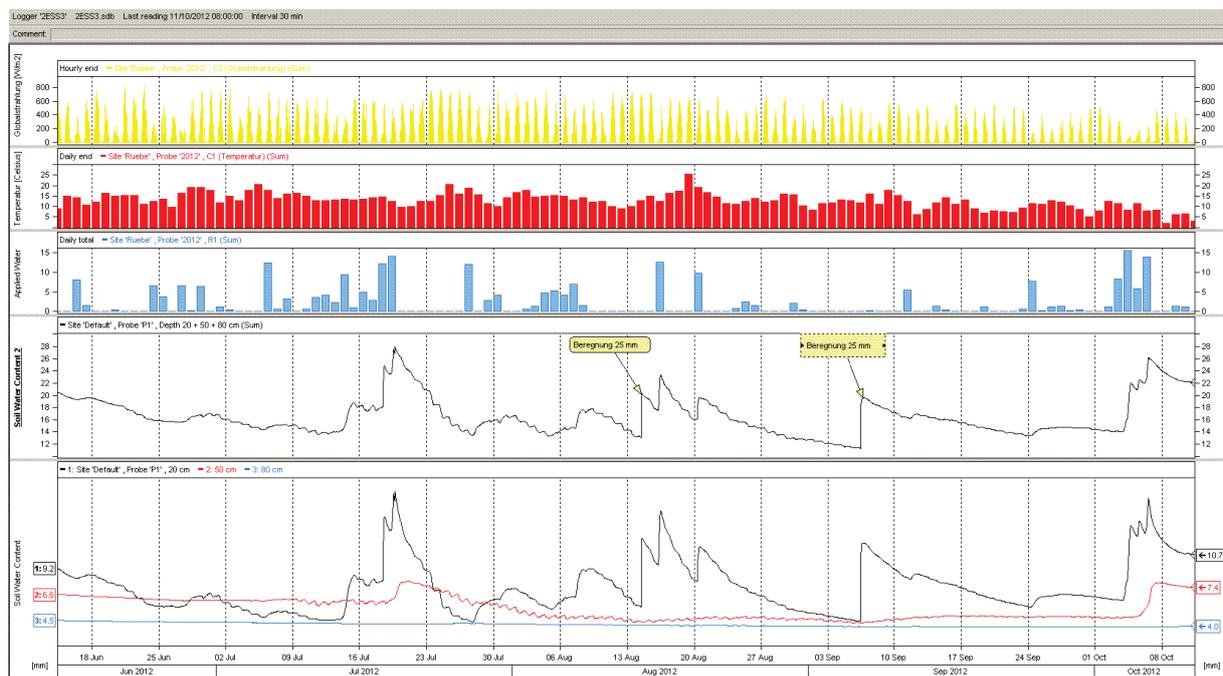


Abb. 9-9: Modell A, Zuckerrüben, Wiederholung 1, Werteverlauf der Schichten in 50 und 80 cm Tiefe nicht nachvollziehbar (2012)

### 9.4 Diskussion

Die Ergebnisse der Versuche ergaben, dass mit einer optimalen Beregnungssteuerung eine hohe Wassernutzungseffizienz bei gleichzeitig hohem Ertrags- und Qualitätsniveau erreicht werden kann. Dabei bedeutet der höchste Wassereinsatz nicht zwangsläufig den höchsten

Ertrag. Vielmehr kommt es darauf an, die Beregnung optimal an die Ansprüche der jeweiligen Kulturart und Sorte anzupassen. Wenn das gelingt, kann Wasser eingespart werden, ohne auf Ertrag oder Qualität verzichten zu müssen. Dies war in den Versuchen allerdings nur innerhalb eines gewissen Bereichs möglich. Wurde die Wassermenge zu stark reduziert, waren Ertragseinbußen die Folge. Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass Sortenunterschiede bei der Reaktion auf Trockenstress bzw. Beregnung existieren und diese für ein optimiertes Beregnungsmanagement berücksichtigt werden müssen.

Ohne Beregnung kam es in den Jahren 2010 und 2011 sowohl im Weizen als auch in Kartoffeln zu ausgeprägten Ertragseinbrüchen, die zudem von Qualitätsmängeln begleitet waren (hoher Anteil nicht vermarktungsfähiger Untergrößen bei Kartoffeln und Kümmerkorn bei Weizen). Die große Bedeutung der Feldberegnung für die Ertragsabsicherung in von Trockenheit betroffenen Regionen wurde in diesem Versuch deutlich.

Die Parzellen ohne Beregnung dienten zur Kontrolle für die erzielbaren Mehrerträge bei unterschiedlicher Beregnungssteuerung und wurden für diesen Vergleich mit 100 % gleich gesetzt. Mit Beregnung wurden im Durchschnitt Mehrerträge gegenüber den unberegneten Varianten bei Kartoffeln um das 2,3 fache (230 %) und beim Weizen um das 3 fache (300 %) erreicht. Bei den einzelnen Modellen unterschieden sich die Erträge jedoch nur geringfügig, obwohl sie zu unterschiedlichen Ergebnissen für den Einsatz der Beregnung nach Menge, Einsatzzeitpunkt und Gabenhöhe kamen. Für eine hohe Effizienz der Umsetzung des zusätzlich zugeführten Wassers in Ertrag ist zum einen eine möglichst exakte Berechnung des Wasserverbrauchs und des aktuell verfügbaren Wasservorrats im Boden notwendig. Diese Aufgabe haben die beteiligten Modelle gut gelöst. Zum anderen ist jedoch auch die Ermittlung des Wasserbedarfs der jeweiligen Kultur in einem bestimmten Entwicklungsabschnitt wichtig. Hier weisen die Unterschiede beim Beregnungswasserbedarf und damit der Wassernutzungseffizienz zwischen den Modellen darauf hin, dass die Anwendung der Methoden an die jeweiligen Standort- und Kulturbedingungen angepasst werden müssen. Einige Modelle haben diese Anpassungen bereits während der Projektzeit erfolgreich durchgeführt. Eine wichtige Rolle spielen dabei sowohl möglichst genaue Daten zu Standort, Wetter und Kultur als auch die Erfahrungen der Berater und der Landwirte.

EDV gestützte Programme zur Beregnungssteuerung sind als Beratungstool zur Verbesserung der Wassereffizienz geeignet und sollten auf breiterer Basis als bisher Eingang in die Praxis finden. Zu ihrer weiteren Optimierung besteht aber noch Forschungsbedarf auf der Grundlage von Feldversuchen.

Der Anwender sollte sich bei der Auswahl eines für ihn geeigneten Modells an der Ausstattung, den zusätzlich möglichen Beratungsdienstleistungen der Anbieter, der Art der Bedienung und Ergebnisdarstellung, dem Zeitaufwand und nicht zuletzt am Preis orientieren.

## 10 Teilflächenspezifische Berechnung

### 10.1 Optimierung der Berechnungstechnik durch teilflächenspezifische Berechnung (Precision Irrigation) auf betrieblicher Ebene

*H.-H. Thörmann, J. Anter, K. Nolting\**

#### Einleitung

In den vergangenen Jahrzehnten war es das Ziel der Forschung und der Industrie, Wasser mit der Berechnungstechnik so gleichmäßig wie möglich auf dem Feld zu verteilen. Mit heutigen Kenntnissen bezüglich der Bodenheterogenität und zunehmenden Schlaggrößen, z.B. in Ostdeutschland von über 50 ha, die von einer Berechnungsmaschine beregnet werden, wird der Bedarf nach teilflächenspezifischer Wasserverteilung immer akuter. Ziel der teilflächenspezifischen Berechnung ist es, durch Berücksichtigung der ortspezifischen Heterogenität des Bodens und des Pflanzenbestandes den produktbezogenen Aufwand von Wasser und Energie zu reduzieren und Umweltziele besser zu berücksichtigen.

Teilflächenspezifisches Management bzw. Beregnung erfordert detaillierte Informationen über die Heterogenität von Feldern, um die Beregnungshöhe den unterschiedlichen Bodenverhältnissen anpassen zu können. Konventionelle Methoden wie Bodenproben und anschließende Laboranalyse sind jedoch zu teuer und zu zeitaufwendig. Es sollten schnelle, zerstörungsfreie Methoden zur Ermittlung der benötigten Informationen verfügbar sein.

Für eine Bewertung der teilflächenspezifischen Technologie sollte auch der zusätzliche Kapitalbedarf herangezogen werden, um den Einfluss differenzierter Wassergaben zu prüfen und um eine ökonomische Aussage zu treffen.

Diese Fragestellung wurde in einem fünfjährigen Versuch zuerst in dem Projekt Aquarius (EU-Förderung, LWK 2012) und anschließend im Projekt KLIMZUG-NORD (BMBF-Förderung), auf einem Versuchsfeld in Niendorf II bei Uelzen, gemeinsam mit der LWK Niedersachsen nachgegangen.

#### Material und Methoden

Um eine Strategie einer teilflächenspezifischen Beregnung aufzubauen, sind zunächst die Anfertigung einer Applikationskarte und die Bestimmung der Managementzonen notwendig.

Der Weg zur Applikationskarte geht über die Hofbodenkarte, die elektrische Leitfähigkeit (EM38, Veris) und die Entnahme von Bodenproben zur punktuellen Bestimmung der Bodenwasserspeicherfähigkeit (Abb. 10-1). Die technische Umsetzung auf dem Versuchsfeld erfolgte mit einer vorhandenen Kreisberegnungsmaschine. Für die Kreisberegnungsmaschine wurde eine spezielle Düsenansteuerung mit Magnetventilen entwickelt und anschließend installiert.

\*) Mitteilungen aus dem Thünen-Institut für Agrartechnologie (TI), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig  
Tel. 0531/596-4496, Fax. 0531/596-4499  
E-Mail: [hans.thoermann@ti.bund.de](mailto:hans.thoermann@ti.bund.de), [jano.anter@ti.bund.de](mailto:jano.anter@ti.bund.de)

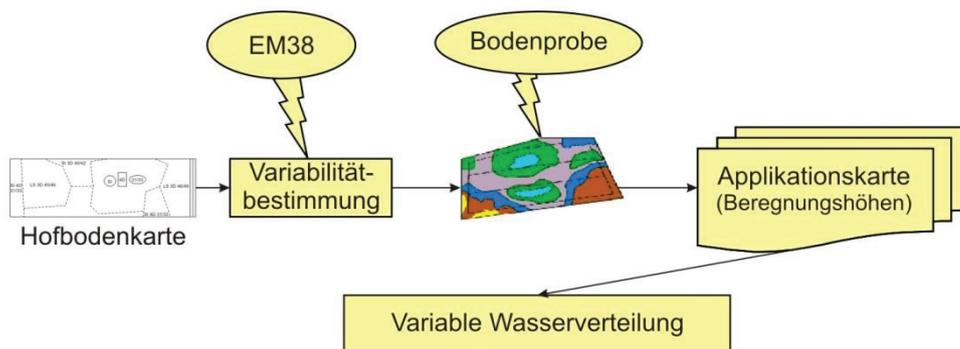


Abb. 10-1: Strategie zur Applikationskarte für die teilflächenspezifische Berechnung

#### Variabilitätsbestimmung des Bodens

Erste Informationen sind in der Hofbodenkarte enthalten. Diese Angaben sind aber zu grob, um sie zur teilflächenspezifischen Applikationskarte zu nutzen. Als nächster Schritt erfolgte mit einem EM 38 Gerät, durch die Firma Agricon aus Jahna, das Scannen der Fläche (Abb. 10-2).



Abb. 10-2: Messung der elektrischen Leitfähigkeit mit einem EM 38 Gerät bis ca. 1,50 m Bodentiefe

Für die elektrische Leitfähigkeitsmessung (EC) wurde die Fläche im Abstand von 5 m überfahren und jedem gemessenen EC-Wert wurde ein GPS Wert zugeordnet. Die Messtiefe betrug hierbei bis zu 150 cm des Bodens.

Nach der Auswertung der Messung ergab sich ein Bild über die Bodenunterschiede des Versuchsfeldes in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit (Abb. 10-3).

In dieser Leitfähigkeitskarte wurde die Fläche, wegen der unterschiedlichen EC-Werte des Bodens in drei Managementzonen (Abb. 10-3, grün, gelb, rot) eingeteilt. In den Zonen wurden 24 Monitoring Punkte festgelegt und an jedem Punkt wurden Bodenproben zur Bestimmung der Feldkapazität und des Welkepunktes entnommen. Zur genaueren

Bestimmung der Bodenart wurde nochmals eine Bodenansprache durchgeführt und wegen der geringen Bodenunterschiede, die Managementzonen für die Beregnung auf zwei reduziert. Diese Werte bildeten die Grundlage für die Applikationskarte, die für die Wasserverteilung durch die Kreisberegnungsmaschine benötigt wurde.

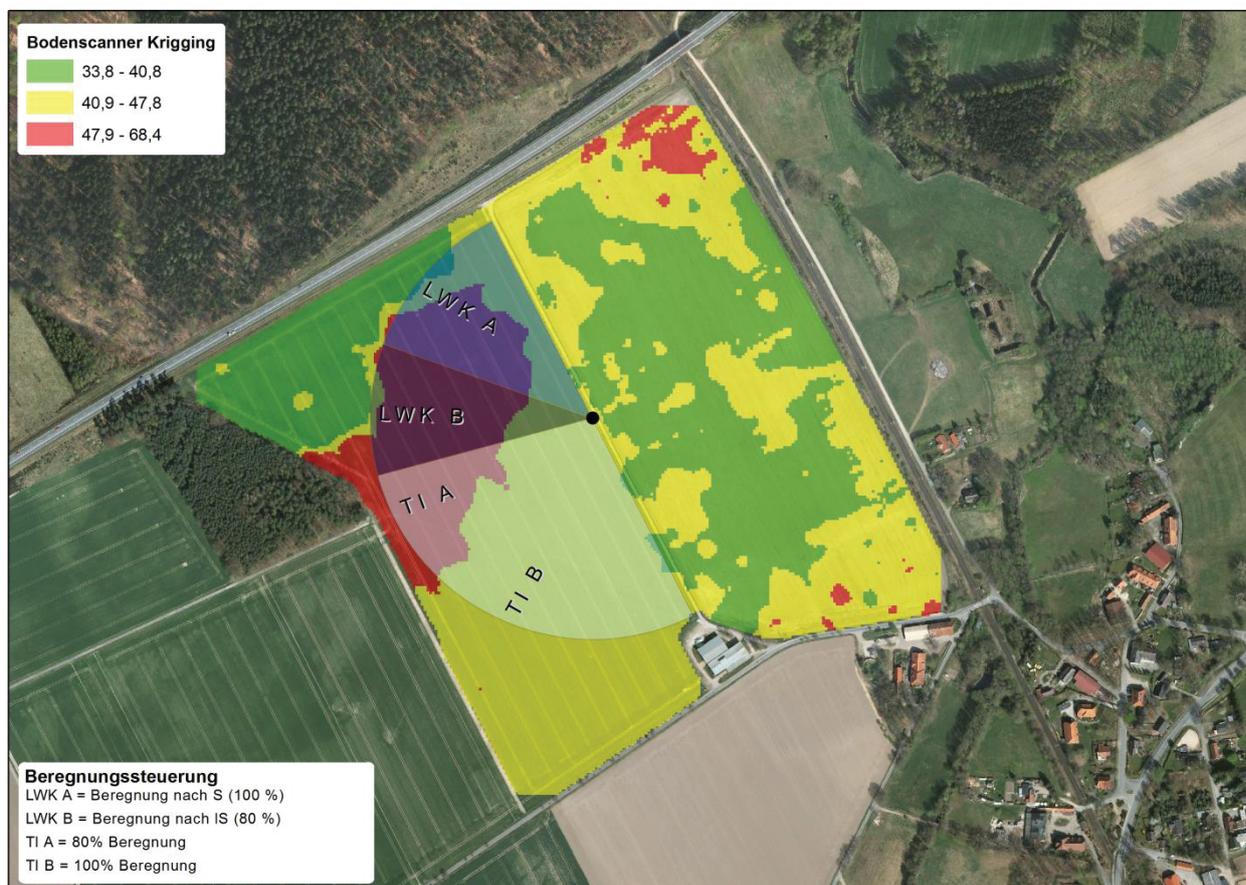


Abb. 10-3: Leitfähigkeitskarte in Millisiemens (mS) des Versuchsfeldes in Niendorf II mit den verschiedenen Managementzonen

### Beregnungsmaschine

Für die Umsetzung der Forderung einer teilflächenspezifischen Beregnung sind Kreis- und Linearberegnungsmaschinen sehr gut geeignet (Abb. 10-4).

In verschiedenen Grundlagenversuchen wurden hierzu auf dem Gelände des Thünen-Institutes in Braunschweig, eingehende Untersuchungen durchgeführt und diese in den Projekten Aquarius und KLIMZUG-NORD, auf einem praktischen Betrieb in Niendorf II umgesetzt.

Die verwendete Kreisberegnungsmaschine in Niendorf II ist Eigentum des Landwirtes Hartmut Becker. Die Kreisberegnungsmaschine hat einen Beregnungsradius von 295 m und ist am Ende des Überhangs mit einem Endregner ausgestattet, der in den Ecken über ein Magnetventil und eine Sektoreinstellung automatisch zugeschaltet wird. Insgesamt können mit der Kreisberegnungsmaschine 27 ha beregnet werden. Für die Versuche wurde jedes Jahr nur der südöstliche Halbkreis genutzt. Der Landwirt baute grundsätzliche zwei verschiedene Kulturen unter der Kreisberegnungsmaschine an. Da der Versuchsaufwand sehr hoch ist, wurde jedes Jahr nur eine Kultur untersucht.

Zur Wasserverteilung an der Kreisberegnung dienen rotierende Pralltellerdüsen von Nelson, mit der Typenbezeichnung R3000, die im Abstand von 6 m montiert sind. Damit der Volumendurchfluß der Düsen über die gesamte Maschinenbreite konstant gehalten wird, befinden sich vor den einzelnen Düsen Druckreduzierventile Typ Nelson HI-FLO 20 psi. Zur Ansteuerung der Managementzonen wurden vor den Düsen zusätzlich Magnetventile installiert. Es handelt sich um stromlos offene Ventile. Diese Ventile sind notwendig, um sicherzustellen, dass in den Wintermonaten kein Restwasser in den Rohrteilen der Kreisberegnungsmaschine verbleibt. Die Ansteuerung der Magnetventile wurde durch den Zukauf der Elektronik von der Firma Farm Scan aus Australien und der Installation der Firma Phytex aus Braunschweig erreicht. Heute wird die Software und die notwendigen Komponenten von der Firma Valmont, USA, unter den Namen „Variable Rate Irrigation“ (VRI-Zonenreglung) verkauft.



*Abb. 10-4: Kreisberegnung auf dem Zuckerrübenversuchsfeld in Niendorf II*

#### Beregnungsstrategie auf den Versuchspartzen

Da auf dem Versuchsfeld verschiedene Fragestellungen beantwortet werden sollten, wurde die Beregnung nach verschiedenen Vorgaben durchgeführt.

Die „Thünen-Flächen“ (TI A und TI B) wurden nach der Strategie der teilflächenspezifischen Beregnung beregnet. Das bedeutet, dass die Managementzone, die zuerst eine Bodenfeuchtigkeit von 50 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) erreicht hat, angesteuert und anschließend bis zu einer Bodenfeuchtigkeit von 80 % der nFK beregnet wurde.

Zur Überwachung des täglichen Einsatzzeitpunktes wurde mit dem Beregnungssteuermodell AMBER vom Deutschen Wetterdienst (DWD) die klimatische Beregnungsbilanz erstellt (Tab. 10-1). Die fünftägige Vorausberechnung des Wasserbedarfs wurde täglich erstellt und ermöglichte den weiteren gezielten Beregnungseinsatz.

AMBER ist eine vom Deutschen Wetterdienst entwickelte Beratungssoftware zur Berechnung der Bodenfeuchte und Steuerung der Bewässerung. Das Programm basiert auf der Grundlage der klimatischen Wasserbilanz und ist mit agrarmeteorologischen, bodenphysikalischen, phytopathologischen und weiteren land- und forstwirtschaftlichen

Inhalten verzahnt. Die Berechnung der Bodenfeuchte über die klimatische Wasserbilanz mit z.B. AMBER ist kostengünstig und benötigt nur einen geringen Arbeitszeitaufwand. Die Daten der Agrarmeteorologischen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Verbindung mit den auf dem Versuchsfeld ermittelten Daten, bieten einen hohen Komfort für eine exakte Berechnung des Beregnungsbedarfs auf den einzelnen Versuchspartellen.

Auf dem Beratungsprotokoll werden neben dem Niederschlag die Verdunstung, die Windgeschwindigkeit und zum Vergleich auch die Niederschlagsdaten von der Basisstation Uelzen angegeben. Festzustellen ist, dass die Niederschlagsdaten der Basisstation von den Versuchsfelddaten, trotz der räumlichen Nähe (Luftlinie 3 km), abwichen, so dass eine direkte Datenerfassung auf dem Versuchsfeld erforderlich war.

Mit den gemessenen und berechneten Daten erstellte AMBER für die sieben unterschiedlichen Versuchsmanagementzonen die Bodenfeuchtekenndaten in nFK und das tägliche Wasserdefizit.

Auf dem Beratungsprotokoll (Tab. 10-1) kann gut erkannt werden, wie sich der Verlauf der Bodenfeuchte nach der erfolgten Beregnung am 08.09.2013 entwickelte. Die folgende Beregnung wäre erst wieder nach dem Absinken der Bodenfeuchte unter 50 % nFK erforderlich.

Nachteile bestehen in der Tatsache, dass die Bodenfeuchte berechnet wird und es zu Abweichungen der tatsächlichen Bodenfeuchte führen kann. Zur Angleichung der Daten an den tatsächlichen Verlauf ist zu empfehlen einmal je Monat eine Überprüfung mit Bodenproben vorzunehmen.

Da die Wasserhaltefähigkeit der unterschiedlichen Managementzonen verschieden hoch ist, wurde auf der Fläche mit der höheren Wasserhaltefähigkeit (TI A/M 1 LS) die benötigte Wassermenge gezielt auf 80 % reduziert. Eine Wasserreduzierung von 20 % ist gegenüber der Parzelle mit 100 % Wasserausgleich (TI B/M 2 S) somit gegeben (Abb. 10-3, Tab. 10-1).

Die Parzellen der Landwirtschaftskammer (LWK A und LWK B) wurden mit unterschiedlichen Beregnungshöhen und nach den zwei vorhandenen Bodenarten der Versuchsfläche beregnet.

Dabei sollte jeweils ein Boden mit geringer und ein Boden mit mittlerer Bodengüte mit 100 % (LWK A/M b LS+M b S) bzw. 80 % (LWK B/M a LS+M a S) des Beregnungswasserbedarfs beregnet werden.

Als Start und Steuergrößen der Beregnung dienen wieder die nFK des Bodens und die klimatische Beregnungsbilanz, die von AMBER gesteuert wird. Der Beregnungsbeginn erfolgt für alle Flächen beim Erreichen von 40-50 % der nFK des Bodens.

#### Technische Umsetzung der Steuerung für die variablen Beregnungsgaben

Teilflächenspezifische Beregnung bedeutet, eine Anpassung der Beregnungshöhe an die spezifischen Erfordernisse unterschiedlicher Managementzonen innerhalb einer Gesamtfläche. Bei Kreis- und Linearberegnungsmaschinen muss zu diesem Zweck der Wasserfluss zu den einzelnen Düsen der Maschinen über Ventile in den Zuleitungen reguliert werden. Die Ansteuerung der Ventile erfolgt am zweckmäßigsten automatisch anhand von Applikationskarten, die in das Steuerungssystem eingegeben werden.

Das von der australischen Firma FARMSCAN (heute Firma Valmont/USA) vertriebene System VRI 7000 (Variable Rate Irrigation), erfüllte als einziges am Markt eingeführtes und verfügbares System die Anforderungen, die im Rahmen des Projektes an die Beregnungssteuerung gestellt wurden:

- separate Ansteuerung von bis zu 54 Magnetventilen
- einfache Installation ohne Eingriffe in die vorhandene Antriebssteuerung der Maschine
- einfach zu bedienende Software mit grafischer Oberfläche zur Erstellung der Applikationskarten
- einfache Bedienung und Programmierung vor Ort

Abb. 10-5 zeigt das Zusammenwirken der Steuerungskomponenten. Das ganze System inklusive der Magnetventile arbeitet mit 24 V Gleichspannung, die über ein Drehstromnetzteil aus der 380 V Versorgung des Maschinenantriebes gewonnen werden. Das Herzstück der Anlage ist der Controller, über dessen Anzeige und Tastatur alle Einstellungen am System vorgenommen werden können. Da der Controller selbst nur maximal 5 Magnetventile und den Regner am Ende des Auslegers (END GUN) steuern kann, besteht die Möglichkeit das System je nach Bedarf über Unterverteiler (SLAVE NODE) um bis zu 6 x 8 Ventile zu erweitern. Die Unterverteiler werden über eine einfache 3-draht (RS485) Busleitung mit dem Controller verbunden und von diesem verwaltet. Bei der in Abb. 10-5 dargestellten Lösung werden druckluftgesteuerte Ventile verwendet, deren Luftzufuhr wiederum über Magnetventile geschaltet wird. Hintergrund dieser auf den ersten Blick umständlichen Anordnung ist die Forderung, dass im Falle eines Stromausfalls oder einer defekten Steuerung die Ventile offen sein müssen, um ggf. einen manuellen Notbetrieb zu ermöglichen. Ebenso wird ein selbstständiges Leerlaufen der Anlage nach dem Abschalten ermöglicht (Frostschutz). Druckluftbetriebene Ventile, die im Ruhezustand offen sind, sind in der Regel technisch weniger anspruchsvoll, leichter zu beschaffen und billiger als Magnetventile mit gleicher Funktion. Nachteile der Lösung sind neben der doppelten Anzahl von Ventilen die aufwendigere Installation und die Notwendigkeit, über einen Kompressor Druckluft vorzuhalten.

Im Rahmen des Projektes wurde deshalb der direkten Steuerung der Düsen über elektrische Magnetventile der Vorzug gegeben. Die eingesetzten Ventile sind in der Lage, bei einem Leistungsbedarf von 18 Watt gegen einen Arbeitsdruck von bis zu 10 bar sicher zu schließen. Im bisherigen Verlauf des Projektes sind keine Ausfälle oder Störungen der Ventile zu beklagen.

Tab. 10-1: Tägliches Beregnungsberatungsprotokoll zur Beregnungsberatung  
Quelle: DWD

ZAMF Braunschweig

11.09.13 08:47

**A M B E R**  
Beregnungsberatung



5-Tage Vorhersage vom: **11.09.2013** (+ 4-Tage Rückblick)  
für den Landwirt: **Niendorf** Basisstation: **Uelzen**

	Sa. 07.09.	So. 08.09.	Mo. 09.09.	Di. 10.09.	Mi. 11.09.	Do. 12.09.	Fr. 13.09.	Sa. 14.09.	So. 15.09.	
	<----	Rückblick			---->	Vorhersage				---->
<b>Niederschlag (mm)</b>										
Tagessumme:	0.1	1.3	17.8	5.6	8	0	0	2	7	
<b>Penman Verdunstung</b>										
mm:	4.5	2.2	1.2	1.5	0.3	2.0	1.0	2.3	2.2	
<b>Wasserverluste bei Beregnung (%)</b>										
tagsüber:	11.7	5.5	3.2	3.9	0.5	4.7	5.0	6.0	5.8	
nachts:	4.7	3.8	1.8	2.0	1.7	2.4	1.5	1.1	3.4	
<b>Niederschlag Nachbarstationen</b>										
West/ Ost:	2/0	0/0	25/23	15/6	6/1	<1/0	1/1	5/3	10/7	
Nord/ Süd:	0/0	<1/<1	19/18	16/7	4/20	0/<1	0/0	2/2	9/8	
<b>Windrichtung / Windgeschwindigkeit (m/s)</b>										
07 Uhr:	O/2	O/3	NW/4	O/3	C/0	N/3	W/2	SW/2	SW/2	
13 Uhr:	O/3	SO/3	W/4	S/5	S/1	N/2	W/3	SW/3	SW/4	
19 Uhr:	N/3	NW/3	NO/3	SW/4	NO/3	NW/2	W/2	SW/2	SW/3	
<b>Schlag: Zuckerrueben M 1 LS 08.09. 22 mm (5)</b>										
reale Verdunstung:	0.4	2.0	1.0	1.4	0.2	1.8	0.6	1.6	2.5	
Bodenfeuchte (%nFK):	21	41	58	60	69	67	67	66	70	
Wasserdefizit:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Schlag: Zuckerrueben M 2 S 08.09. 24 mm (5)</b>										
reale Verdunstung:	0.3	2.0	1.0	1.4	0.2	1.8	0.6	1.6	2.5	
Bodenfeuchte (%nFK):	10	49	78	82	96	93	91	90	96	
Wasserdefizit:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Schlag: Zuckerrueben M a LS 08.09. 19 mm (5)</b>										
reale Verdunstung:	0.3	2.0	1.0	1.4	0.2	1.8	0.6	1.6	2.5	
Bodenfeuchte (%nFK):	16	33	50	52	61	59	59	58	62	
Wasserdefizit:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Schlag: Zuckerrueben M a S 08.09. 18 mm (5)</b>										
reale Verdunstung:	0.4	2.0	1.0	1.4	0.2	1.8	0.6	1.6	2.5	
Bodenfeuchte (%nFK):	11	39	68	72	86	83	82	81	87	
Wasserdefizit:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Schlag: Zuckerrueben M b LS 08.09. 26 mm (5)</b>										
reale Verdunstung:	0.8	2.0	1.0	1.4	0.2	1.8	0.6	1.6	2.5	
Bodenfeuchte (%nFK):	26	50	67	69	78	76	76	75	79	
Wasserdefizit:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Schlag: Zuckerrueben M b S 08.09. 25 mm (5)</b>										
reale Verdunstung:	0.9	2.0	1.0	1.4	0.2	1.8	0.6	1.6	2.5	
Bodenfeuchte (%nFK):	16	57	85	90	103	99	97	95	101	
Wasserdefizit:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Schlag: Zuckerrueben M S unberechnet</b>										
reale Verdunstung:	0.2	0.4	1.0	1.4	0.2	1.8	0.6	1.6	2.5	
Bodenfeuchte (%nFK):	0	1	27	31	45	42	41	40	46	
Wasserdefizit:	0	0	0	0	20	21	22	23	19	

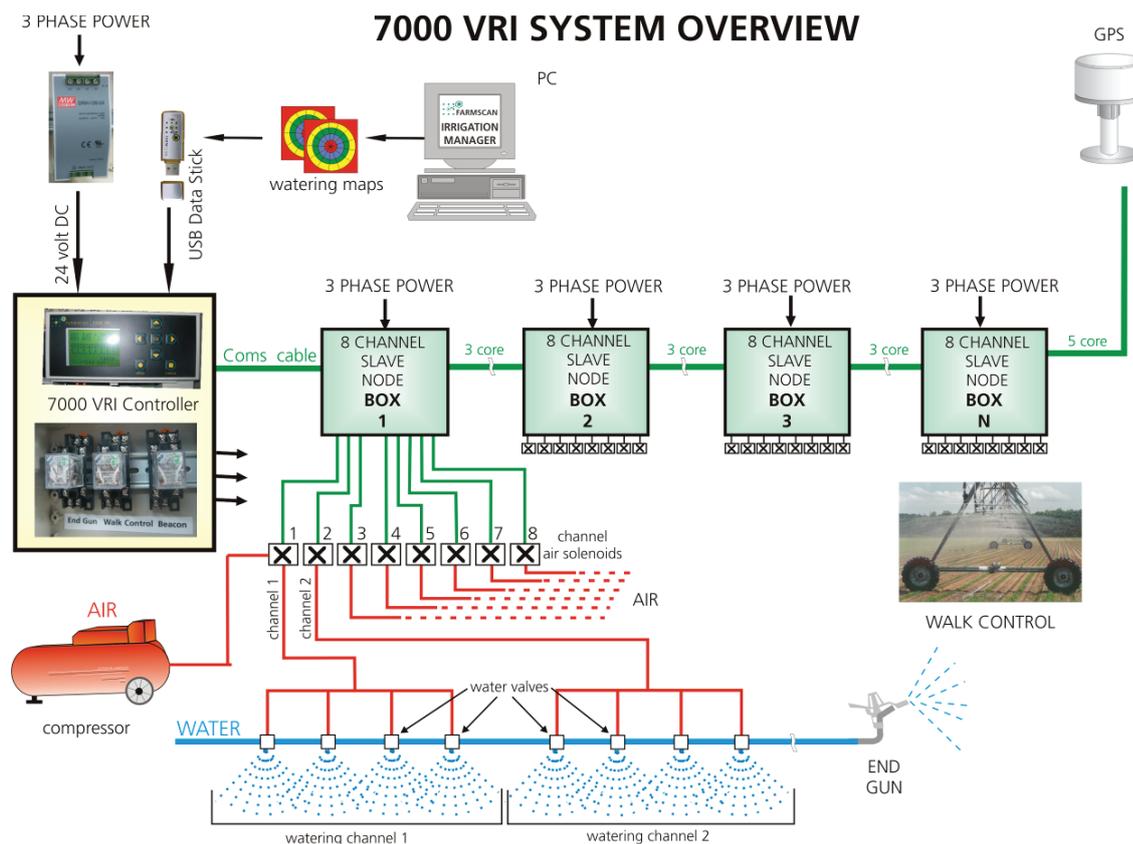


Abb. 10-5: Funktionsweise der VRI 7000 Steuerung

Quelle: FARMSCAN

Die Applikationsdaten zur Programmierung der Steuerung werden mit der von FARMSCAN bereitgestellten Software „Irrigation Manager“ über eine grafische Oberfläche am PC generiert und mittels USB-Stick in den Controller eingelesen (Abb. 10-6).

Bis zu fünf verschiedene Beregnungsvarianten mit elf unterschiedlich hohen Beregnungsgaben können simultan im Controller vorgehalten und je nach Bedarf über ein Menü am Controller ausgewählt werden. Neben der Festlegung der Beregnungsraten für die in maximal 360 Sektoren von 1° unterteilte Beregnungsfläche werden auch die Dimensionen der Maschine, wie die Koordinaten des Turmes, Anzahl und Position der Düsen, sowie Länge des Auslegers und Position des GPS Empfängers auf dem Ausleger eingegeben. Der GPS Empfänger wird, wie in Abb. 10-5 dargestellt, in möglichst großer Entfernung vom Zentralturm der Kreisberegnungsmaschine angebracht, da so Ungenauigkeiten bei der Positionsbestimmung die geringste Auswirkung auf die Berechnung der Winkellage des Auslegers haben. Im Projekt wird ein DGPS Empfänger mit satellitengestützter Korrektur (EGNOS) verwendet, dessen Genauigkeit sich für die Steuerung als hinreichend erwiesen hat.

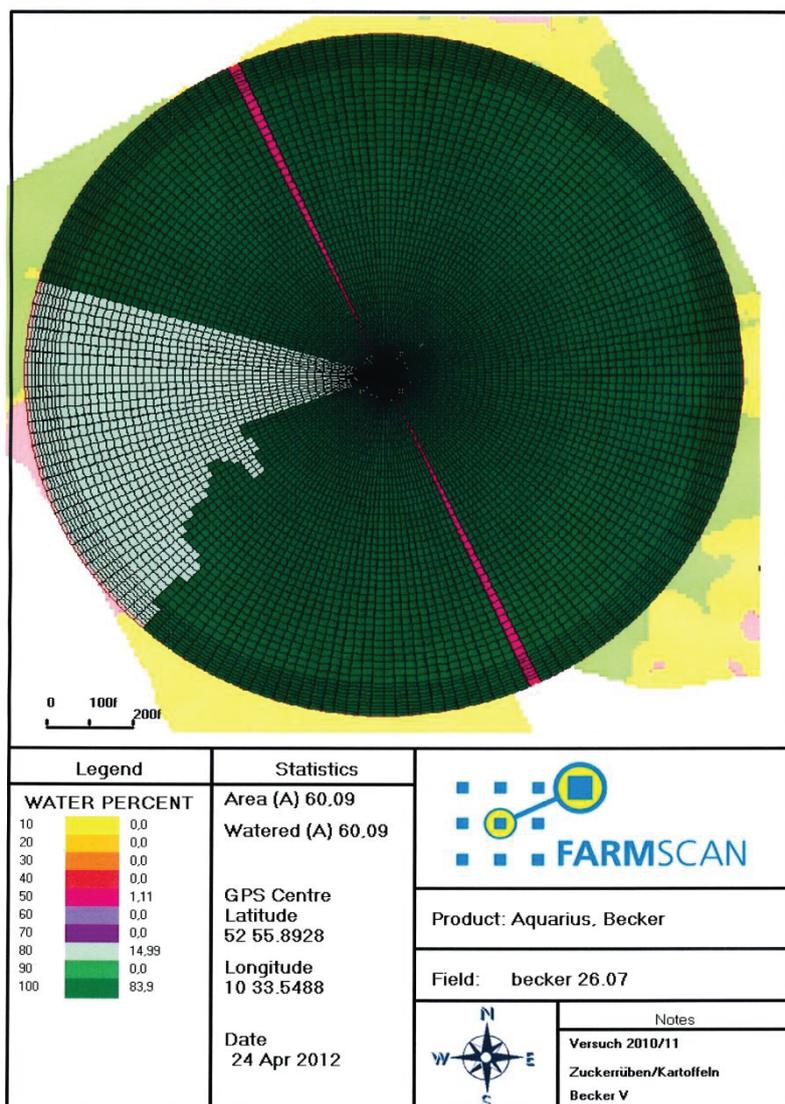


Abb. 10-6: Managementzonen mit unterschiedlichen Beregnungshöhen

Die Installation der Steuerungskomponenten an der Kreisberegnungsanlage war unproblematisch. Die Unterverteiler zur Ansteuerung der Magnetventile wurden in wasserdichten Schaltkästen am Ausleger jeweils im Bereich der Fahrtürme angebracht, so dass auf Kosten optimierter Kabellängen zu den Ventilen keine zusätzliche Leiter bei Wartungsarbeiten benötigt wird (Abb. 10-7). Außerdem konnte auf diese Weise die Starkstromzuleitung vom Verteilerkasten der Beregnungsmaschine (schwarze Gehäuseplatte) kurz gehalten werden. Nach anfänglich marginalen Problemen, die durch ein Update der Betriebssoftware per USB-Stick gelöst werden konnten, arbeitet das Steuerungssystem störungsfrei.

Die erforderliche Beregnungshöhe wird zur Beregnung mit dem vorhandenen Prozenttimer am Zentralturm eingestellt, so dass die im Controller vorgegebene unterschiedliche Wassermenge in den Managementzonen ohne Zusatzeinstellung ausgebracht wurde.



Abb. 10-7: Unterverteilung für die Magnetventile am Fahrturm

Zur Ermittlung der aktuellen Bodenfeuchte wurde in den Managementzonen an drei Monitoringpunkten jeweils eine Messstation installiert (Abb. 10-8). Eine Messstation besteht aus zwei EasyAG-Bodenfeuchtesonden und einer kompakten Datenübertragungseinrichtung.

Die verwendeten EasyAG-Sonden der Firma Sentec sind ca. 60 cm lang und haben einen Messbereich von 0-50 cm Tiefe. Die einzelnen fest installierten Sensoren befinden sich dabei an einer Montagेशchiene in 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm und 50 cm Tiefe. Zum Schutz der elektronischen Bauteile wird zum Einbau in den Boden die Montagेशchiene in ein PVC-Rohr eingesteckt und anschließend vertikal in den Boden installiert.

Die Sensoren nutzen zum Messen der Bodenfeuchte die elektrische Kapazität. Dabei wird ein hochfrequentes elektrisches Feld um jeden Sensor erzeugt. Aus diesem Feld wird die Bodenfeuchte gemessen und für die verschiedenen Bodentiefen per Datenfernübertragung in das Betriebsleiterbüro übermittelt.

Die Energieversorgung für die Sensoren und die Datenübertragung wird mit einem Solarmodul und einer Speicherbatterie, die an dem Tragegestell montiert sind, bereitgestellt.

Die übertragenen Daten werden mit dem Programm ProView, der Firma Phytex aus Braunschweig bearbeitet und dem Anwender zur Berechnungssteuerung als Einzelwerte in relative Vol. % oder als Summenwerte über die gesamte Messsonde in nFk täglich zur Verfügung gestellt.



*Abb. 10-8: Messstation in einer Managementzone*

Zusätzlich zu den Bodenfeuchtedaten werden auch der aktuelle Niederschlag, die Boden- und Lufttemperatur, die Position der Kreisberegnungsmaschine und einige andere technische Parameter täglich übertragen.

Neben den Feldversuchen wurden mit den Bodenfeuchtesonden auch verschiedene Laborversuche durchgeführt.

### **Versuchsergebnisse**

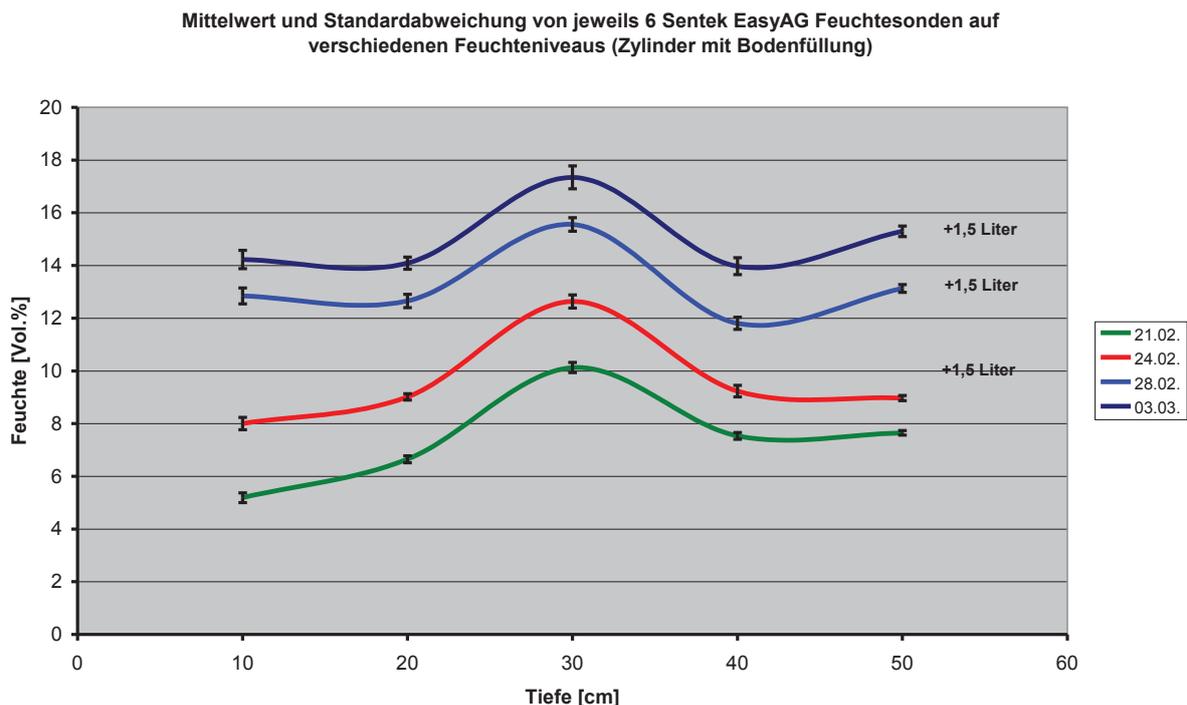
#### **Bodenfeuchtesensoren**

Für die Kalibrierung der Sentec Sensoren wurden die Eckwerte in der Luft und im Wasser ermittelt, so dass anschließend eine Feinjustierung vorgenommen wurde.

Als weiterer Versuch wurden alle sechs vorhandenen Sonden in einer Bodensäule unter gleichen Boden und Bodenfeuchtebedingungen im Labor verglichen.

In Abb. 10-9 sind die Messergebnisse der sechs Sonden aus der Bodensäule aufgetragen.

Über die Tiefe von 50 cm sind die Volumenprozent der Bodenfeuchte bei definierter Zugabe von Wasser dargestellt. Ein gleichmäßiger Verlauf des Mittelwertes der fünf Messsensoren in den sechs Messsonden ist gut zu erkennen.



*Abb. 10-9: Laborversuche unter gleichen Bodenbedingungen*

Die relativ gleichgerichteten Bodenfeuchtemessungen in den Laborversuchen und in den Feldversuchen mit gleichen Bodenarten und Strukturen konnten im praktischen Feldeinsatz nicht erreicht werden.

Obwohl die Sonden S6 (hellblau) und S5 (rot) in der gleichen Bodenart S bzw. die Sonden S3 (dunkelblau) und S4 (grün) im IS in einem Abstand von 5-10 m sehr sorgfältig eingebaut wurden, wichen die Messergebnisse der Bodenfeuchte so stark voneinander ab, dass keine gezielte Beregnungssteuerung möglich war (Abb. 10-10).

Es erwies sich in der Praxis schon nach einer kurzen Zeit, dass die Bodenfeuchtemessungen mit den Sonden nur Punktmessungen sind, die nur für den jeweiligen Einbaustandort die Bodenfeuchtemesswerte wiedergeben. Für heterogene Bodenstandorte bedarf es eine Vielzahl von Messsonden um abgesicherte Steuerwerte zu erhalten. Aus finanziellen Gründen wird dieses aber kaum durchgeführt.

Das größte Problem der unterschiedlichen Messungen, ist die Zusammensetzung des Bodens in der Nähe der Messsonden. Besonders Steine und Verdichtungen beeinflussen hierbei die Messergebnisse. Schwierig ist auch der Einbau der Sonden in Kartoffeldämmen. Beim Einbau der Sonden sind die Dämme meist gut geformt und es befinden sich nur die einzelnen Pflanzkartoffeln im Damm. Im späteren Wachstumsverlauf entwickeln sich die Erntestauden, die teilweise starke Risse im Kartoffeldamm erzeugen und näher zur eingebauten Sonde hin wachsen.

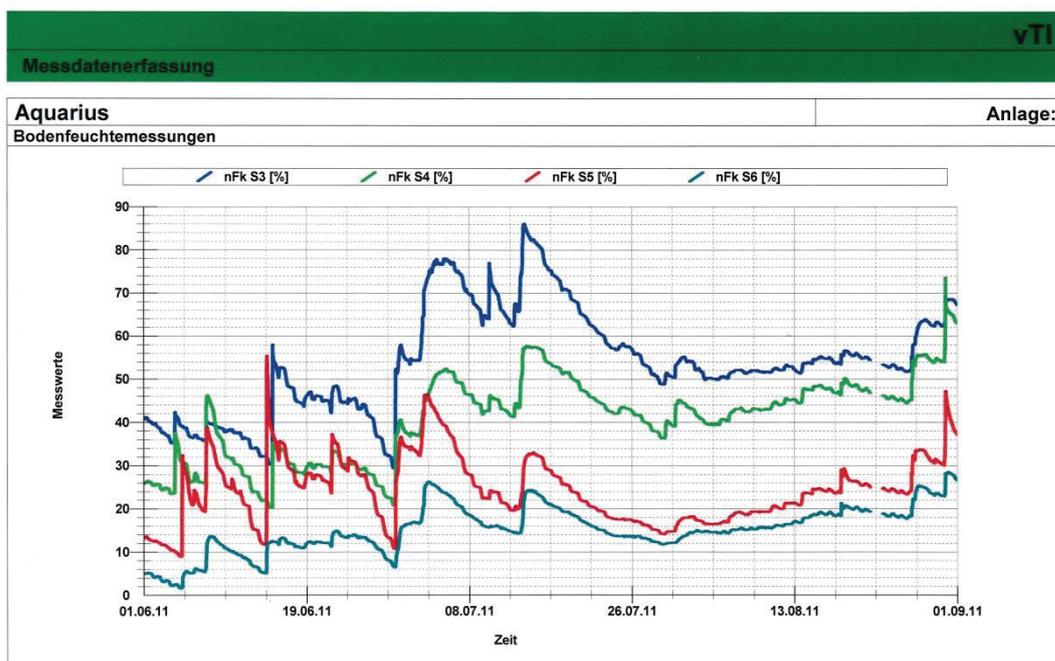


Abb. 10-10: Messergebnisse von Bodenfeuchtesonden bei gleicher Bodenart auf dem Kartoffel-Versuchsfeld 2011 in % der nFK (Messtiefe 0-50 cm)

Diese normalen Wachstumsbedingungen führen dazu, dass besonders im oberen Messbereich der Messsonden große Unterschiede im Verhältnis Boden-Wasser-Luft entstehen, die dann zu falschen Bodenfeuchtemessungen der Sonden führen.

Um diese Fehlerquellen auszuschließen, wurde bereits im zweiten Versuchsjahr die Beregnungssteuerung auf das Beregnungssteuermodell AMBER vom DWD umgestellt.

#### Wassereinsparung

Bei den Versuchen 2010 in Zuckerrüben wurden im Juli vier Wassergaben verabreicht. Auf Grund der starken Niederschläge im August und September wurde ab dem 01.08. nicht mehr beregnet.

Die Versuche 2011 wurden in Kartoffeln durchgeführt. Auf Grund des hohen Niederschlages in der Vegetationsperiode wurden die Kartoffeln nur zweimal beregnet. 2012 trat eine starke Frühjahrstrockenheit auf, so dass sich auf Grund der geringen Niederschläge im April (30,6 mm) die Bodenfeuchtwerte bis zum Monatsende auf unter 50 % der nFK verringerten. Die erste Beregnungsgabe im Winterweizen war daher bereits am 04.05. dringend erforderlich. Die Trockenheit setzte sich bis zum 23.06. fort, so dass bis zu diesem Zeitpunkt insgesamt vier Wassergaben mit bis zu 98 mm gegeben werden mussten. Auf Grund der anschließenden hohen Niederschläge bis zur Ernte von insgesamt 115,4 mm wurde die Beregnung eingestellt.

Auf den Versuchspartellen wurden 2013 wieder Zuckerrüben angebaut. Das Versuchsjahr war im Mai, Juni und Juli von mehreren Starkregenereignissen geprägt. Am 19. und 20.06. fielen ca. 80 mm Niederschlag. Diese hohe Niederschlagsmenge beeinflusste die Entscheidungsfindung zum Beregnungseinsatz sehr stark. Insgesamt fielen auf dem Versuchsfeld in der Vegetationsperiode 433 mm Niederschlag. Die erste Beregnungsgabe wurde 2013 erst zwei Wochen später wie 2010, am 19.07., gegeben. Im Anschluss folgten bis zum 07.09. noch weitere vier Beregnungsgaben mit insgesamt bis zu 124 mm.

In den vier Versuchsjahren konnte in der teilflächenspezifischen Variante zwar eine geringe Wassereinsparung erzielt werden, von einer wirksamen Wassereinsparung kann aber auf Grund der verschieden hohen Starkregenereignissen und damit verbundenen unterschiedlich langen Beregnungszeiten nicht gesprochen werden.

Tab. 10-2: Beregnungshöhen der Versuchsjahre

Strategie	2010	2011	2012	2013
Projekt	Aquarius	Aquarius	Aquarius/ KLIMZUG-NORD	KLIMZUG-NORD
Beregnungshöhen (mm)				
<b>vTI teilflächenspezifisch</b>				
geringe Bodengüte (25)	85	46	98	116
100 % Wasserausgleich				
mittlere Bodengüte (40)	70	37	78	103
80 % Wasserausgleich				
Differenz	15	9	20	13
<b>unberechnet</b>				
geringe Bodengüte (25)	0	0	0	0
<b>LWK 100 % Wasser (B)</b>				
geringe Bodengüte (25)	70	45	98	119
mittlere Bodengüte (40)	86	45	78	124
<b>LWK 80 % Wasser (A)</b>				
geringe Bodengüte (25)	84	37	98	86
mittlere Bodengüte (40)	81	37	78	92

## Wirtschaftliche Kenndaten der teilflächenspezifischen Beregnung

### Kapitalbedarf

Da die komplette eingesetzte Technik noch keine handelsübliche Ware ist, wurden von verschiedenen Herstellern die Einzelkomponenten zu einer funktionierenden Einheit zusammengestellt.

In der Tab. 10-3 sind die Einzelpositionen incl. Mehrwertsteuer aufgetragen, die für eine einsatzfähige teilflächenspezifische Beregnung erforderlich sind. Der aufgetragene Kapitalbedarf bezieht sich auf die bereits vorhandene Kreisberegnungsmaschine von Herrn Becker, die für eine Fläche von 27 ha ausgelegt wurde.

Die eigentlichen Feldvorbereitungskosten fallen mit 629 € sehr gering aus. Der größte Kostenfaktor mit 49.703 € entstand für die Hard- und Software der Ansteuerung der einzelnen Düsen. Da auf dem deutschen Markt kein geeignetes System vorhanden war, wurde auf ein australisches Produkt zurückgegriffen. Bei der Einfuhr entstanden entsprechende Zoll- und Einfuhrgebühren, die bei einem deutschen Anbieter vermieden werden könnten.

Die Mess- und Sensortechnik für die Erfassung der Bodenfeuchte- und Niederschlagsdaten auf dem Feld ist ebenfalls sehr kapitalintensiv. Dieser Kapitalbedarf kann durch den Einsatz

von einfacheren Bodenfeuchtesensoren in Verbindung mit einem Berechnungssteuerprogramm nach der klimatischen Wasserbilanz reduziert werden.

Insgesamt wurden für die Einsatzfläche von 27 ha 56.931 € investiert. Das bedeutet eine Belastung von ca. 2.108 €/ha. Wenn das gesamte System von einem Hersteller vermarktet wird und es direkt beim Neukauf installiert ist, könnte eine Kapitalbedarfssenkung erfolgen.

Tab. 10-3: Kapitalbedarf der eingesetzten teilflächenspezifischen Berechnung

Material	Feldvorbereitung (€)	Material an der Kreisberechnung (Hard- und Software) (€)	Sensoren auf dem Feld, Messstation (€)
Bodenscannen, pWP	629,00	-	-
Sensoren, Normierung, Sonden	-	-	7.229,00
Datenlogger, Ventile, Installation	-	34.768,00	-
FARMSCAN	-	10.032,00	-
Funkübertragung, Sicherheitsventile	-	4.273,00	-
Summe	629,00	49.073,00	7.229,00

#### Jährliche Verfahrenskosten

Als laufende Kosten entstehen neben den Abschreibungskosten noch die Datenbereitstellungskosten und die Kapitalverzinsung. Der Kapitalbedarf kann nach den eigenen Schätzungen auf eine zwölfjährige Nutzung umgelegt werden. Da für die eingebauten Steuerteile eine Abschreibung von zwölf Jahren berücksichtigt werden kann, tritt durch den Einsatz der teilflächenspezifischen Berechnung eine zusätzliche Abschreibung von 175,67 €/(ha\*a) auf.

Die eingehenden Daten für die Berechnungssteuerung werden an einer zentralen Stelle erfasst, aufbereitet, archiviert und den einzelnen Anwendern über das Internet zur Verfügung gestellt. Für diese Passwort-geschützte Nutzung der Berechnungssteuerdaten, entsteht eine Gebühr von 950 €/a. Dieses entspricht bei der gegebenen Einsatzfläche von 27 ha 35,19 €/(ha\*a).

Die Verzinsung für das eingesetzte Kapital kann unterschiedlich hoch sein. Für diese Kalkulation wurden 6 % vom halben Anschaffungswert zu Grunde gelegt. Bei dem angegebenen Kapitalwert beträgt dann die jährliche Zinslast ca. 1.708 €. Das entspricht bei der vorgegebenen Einsatzfläche eine Zinszahlung von 63,26 €/(ha\*a).

Für die teilflächenspezifische Berechnung ergeben sich insgesamt unter den o.g. Bedingungen zusätzliche Verfahrenskosten in einer Höhe von 274,12 €/(ha\*a). Diesen erheblichen Verfahrenskosten müssen den tatsächlich eingesparten Wasserkosten gegenübergestellt werden. Da die tatsächliche Wassereinsparungen in den Versuchsjahren aber sehr gering waren, wird an dieser Stelle auf eine Wirtschaftlichkeitsberechnung verzichtet.

Eine Berechnungskostensenkung ist derzeit unter den tatsächlichen Bedingungen der Versuchsanstellung nicht gegeben.

### **Fazit**

Da das Projekt Aquarius zum 30.06.2012 beendet war, wurde die Versuchsanstellung im Projekt KLIMZUG-NORD im Versuchsjahr 2013 weitergeführt. Über den gesamten Versuchszeitraum wurden somit vier Versuchsernten durchgeführt. Im Jahr 2010 und 2013 war die Versuchsfrucht Zuckerrüben, im Jahr 2011 Kartoffeln und im Jahr 2012 Winterweizen. Da jedes Jahr die angebaute Frucht wechselte und keine randomisierten Erntewiederholungen durchgeführt werden konnten, ist eine Bewertung der Ernteergebnisse noch nicht möglich. Für eine gesicherte Ertragsbewertung müssten die durchgeführten Versuche über einen längeren Zeitraum, mit mindestens 2-3 maliger Wiederholung der angebauten Früchte, angelegt werden.

Aus den vier Versuchsjahren und dem technischen und finanziellen Input in dieses Projekt, wurde unter den angegebenen Berechnungshöhen kein wirtschaftlicher Erfolg erreicht. Mit der technischen Ausrüstung der Kreisberechnungsmaschine zur Wasserverteilung ist eine teilflächenspezifische Beregnung möglich, so dass neue Erkenntnisse gewonnen werden konnten, die auf vergleichbare Anwendungen in anderen Ländern mit höherem Beregnungseinsatz gut übertragbar sind. Die Verbindung von Bodenfeuchtesensoren zur Steuerung der differenzierten Beregnungshöhe ist kritisch zu betrachten. Die Streuung der Messwerte ist zu groß. Weiterhin ist die Bodenfeuchtemessung teuer und sehr arbeitsintensiv. Eine Steuerung nach der klimatischen Wasserbilanz wird empfohlen.

Aus Sicht der Fragestellung zum Einsatz der teilflächenspezifischen Beregnung in landwirtschaftlichen Kulturen, wäre es sehr zu empfehlen, eine Fortführung der Beregnungsversuche durchzuführen.

### **Danksagung**

Die Autoren danken der EU und dem BMBF für die finanzielle Unterstützung und den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und des DWD Braunschweigs für die gute Zusammenarbeit.

Ein besonderer Dank gilt dem Betriebsleiter Herrn Hartmut Becker für die zur Verfügung gestellten Flächen mit der Kreisberechnungsmaschine. Darüber hinaus war Herr Becker bei der Durchführung der Versuchsanstellung für uns immer eine zuverlässige große Hilfe.

## 10.2 Pflanzenbauliche Aspekte teilflächenspezifischer Beregnung

*Angela Riedel*

### Einführung

Mittels der teilflächenspezifischen Technik wurden verschiedene Strategien der Bewässerungsmenge untersucht. Auf jedem Teilstück der beiden Bodenkategorien wurde je eine niedrige Wassermenge und eine höhere Wassermenge bei jedem Beregnungsdurchgang ausgebracht. Dadurch sollte festgestellt werden, welche Beregnungsmenge sich bei welchem Boden ertraglich am besten auswirkt. Technisch war es jedoch nicht möglich, auf bestimmten Teilstücken gar kein Wasser auszubringen. Es konnte bei vorgegebener Fahrtgeschwindigkeit des Fahrgestells nur die Wassermenge reduziert werden, indem die Düsen durch Magnetventile immer wieder für kurze Zeit geschlossen wurden. Die Ansteuerung der Düsen ist vorher in dem Steuerungscomputer mit Hilfe der Bodenkarte programmiert worden. Die tatsächlich ausgebrachten Wassermengen wurden mittels im Bestand aufgestellter Messbecher gemessen.

Zum Vergleich wurde eine Variante gar nicht beregnet. Diese Fläche musste außerhalb des "Kreises" der Beregnungsanlage liegen. Auf den dafür geeigneten Flächen gab es jedoch keinen Standort der mittleren Bodengüte. Daher konnte nur auf einem Teilstück mit geringer Bodengüte eine unberegnete Variante angelegt werden.

### Ergebnisse

Während der Trockenperiode im Juli und August wurden fünf Beregnungsfahrten durchgeführt. Die Wassermengen betragen insgesamt zwischen 86 mm und 124 mm mit einzelnen Gabenhöhen von 17 bis 25 mm.

Auf dem leichten Boden hat die Beregnung sehr hohe Mehrerträge gegenüber der unberegneten Variante erzielt (über 100 %). Ob das Zusatzwasser auf mittlerem Boden den gleichen Mehrertrag brachte, konnte wegen der fehlenden Parzelle leider nicht ermittelt werden. Theoretisch müsste die Ertragsdifferenz hier geringer sein, weil die Wasserspeicherkapazität auf dem mittleren Boden höher ist und daher weniger bzw. später Trockenstress aufgetreten sein sollte.

Innerhalb der beregneten Flächen erreichte die Bodengruppe "mittel" gegenüber "gering" mit Beregnung einen deutlich höheren Ertrag. Innerhalb der Bodengruppen waren bei den unterschiedlichen Beregnungsmengen nur sehr geringe Ertragsunterschiede festzustellen (Abb. 10-11). Bei "gering" ergibt sich in der Tendenz ein Mehrertrag bei der höchsten Beregnungsmenge, der aber so gering ist, dass er mit hoher Wahrscheinlichkeit innerhalb des Versuchsfehlers liegt. Innerhalb der Bodengruppe "mittel" sinken die Erträge tendenziell mit zunehmender Beregnungsmenge sogar ab. Diese Tendenz ist aber nicht nachvollziehbar und dürfte ebenfalls zufallsbedingt sein (Versuchsfehler bzw. Unterschiede der Bodengüte innerhalb der Varianten der gleichen Kategorie). Der Versuchsfehler konnte nicht ermittelt werden, weil durch die Versuchsanordnung bedingt keine randomisierte Versuchsanlage möglich war. Der Faktor "Beregnungsmenge" ergibt sich aus einer unterschiedlichen Gabenhöhe je Gabe. Obwohl der Unterschied in 2013 mit mehr als 30 mm insgesamt relativ hoch war, wird die Ertragswirkung der unterschiedlichen Menge durch andere Faktoren, wie die Bodengüte überdeckt und lässt sich nicht feststellen.

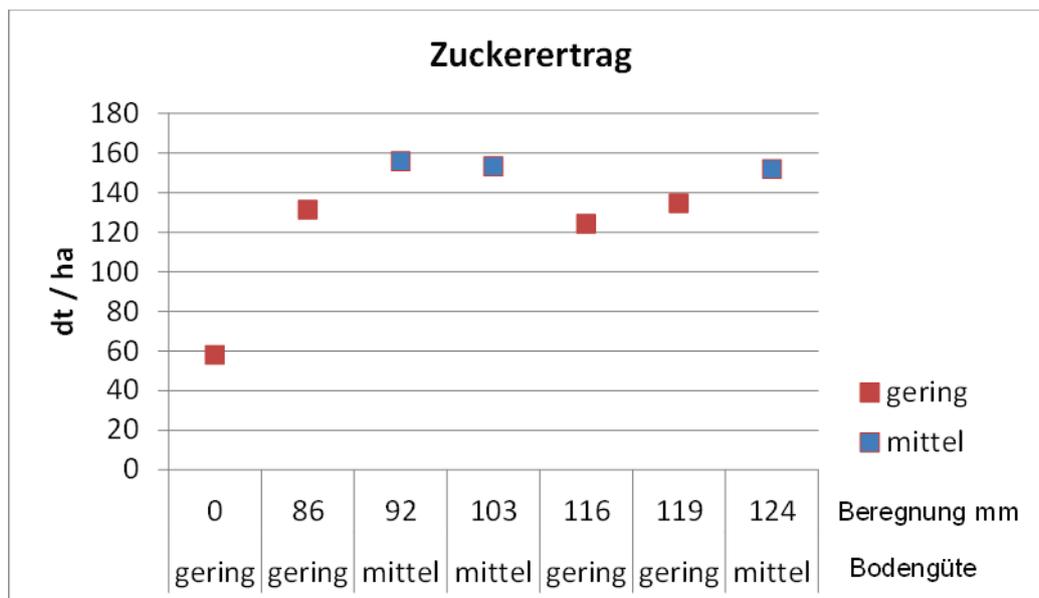


Abb. 10-11: Zuckererträge und Beregnungsmengen bei unterschiedlicher Bodengüten, Zuckerrüben 2013

Im Jahr 2012 ergab sich ein Unterschied in der Beregnungsmenge von 20 mm. Auf dem mittleren Boden wurden Erträge im Mittel der Beregnungsvarianten von 105 dt/ha ermittelt und auf dem leichten Boden von 89 dt/ha. Ohne Beregnung auf dem leichten Boden betrug der Ertrag nur 58 dt/ha (Tab. 10.4). Auch in diesem Jahr ließ sich keine Reaktion der Erträge auf die Beregnungsmengen ableiten, sondern nur Ertragsreaktionen auf die Bodengüte. In der gleichen bodenbedingten Managementzone waren die Erträge bei gleicher Beregnungshöhe unterschiedlich, während Erträge in der gleichen Zone aber mit geringerer Beregnungsmenge höher oder fast gleich ausfielen.

In den Jahren 2010 und 2011 verlief die Witterung für den Versuch so ungünstig, dass gar keine Aussagen über den Bezug von Erträgen zu den Varianten möglich waren, weshalb die Ergebnisse hier nicht dargestellt sind.

Tab. 10-4: Erträge in Winterweizen bei verschiedenen Beregnungsstufen 2012, Erträge mit gleichen hochgesetzten Ziffern sind vom Boden und der Beregnungshöhe her vergleichbar

Varianten	Boden leicht	Boden mittel	Mittel
ohne Beregnung	58,1		58,1
nach schweren Böden ( 78 mm)	96,5	101,1 <sup>2)</sup>	98,8
nach leichten Böden (98 mm)	91,4 <sup>1)</sup>	103,0	97,2
nach vTI-Steuerung (78 mm schwerer Boden, 98 mm leichter Boden)	78,7 <sup>1)</sup>	111,6 <sup>2)</sup>	95,5

### Fazit/Diskussion

Die Ansteuerung der Düsen zur Ausbringung unterschiedlicher Beregnungsmengen auf verschiedenen Teilstücken hat technisch funktioniert. Die Höhe der Beregnungsmenge innerhalb der erreichten Differenz von 30 mm hat jedoch keinen nachweisbaren Einfluss auf den Ertrag gezeigt. Der Rückschluss, dass demnach Wasser eingespart werden könnte, weil

mit geringerer Beregnungsmenge der gleiche Ertrag erzielt wurde, ist so jedoch nicht möglich, weil die Beregnungseffekte durch Effekte der Bodengüte überlagert wurden.

Die Verringerung der Beregnungsmenge ausschließlich über geringere Wassermengen je Gabe ist gerade bei tief wurzelnden Pflanzen wie der Zuckerrübe nicht unbedingt als Vorteil zu sehen. Bei Gabenhöhen unter 25 mm dringt das Wasser bei einer ausgetrockneten oberen Bodenschicht nur in eine geringe Tiefe (unter 25 cm) vor. Der Unterboden trocknet dadurch immer weiter aus, so dass die Pflanzen sich aus dieser Tiefe immer schlechter versorgen können. Besser wäre es, die Beregnung bei verschiedenen Bodengüten auch über unterschiedliche Beregnungszeitpunkte steuern zu können. Ein Boden mit hoher nutzbarer Feldkapazität braucht z.B. nicht so früh beregnet zu werden wie ein sandiger Boden mit geringer Speicherfähigkeit. Dafür können und sollte bei dem besseren Boden die Wassermengen je Gabe etwas höher sein, damit auch die mittlere durchwurzelte Bodentiefe wieder durchfeuchtet wird. Die Technik für eine teilflächenspezifische Beregnung sollte also so ausgelegt sein, dass sie Teilflächen mit gutem Boden zu Beginn gar nicht beregnet, dafür aber später mit einer höheren Menge als auf dem leichten Boden. Sie sollte also Teilflächen nicht nur "weniger" sondern auch "gar nicht" beregnen können. Außerdem sollten die Unterschiede in den Beregnungsmengen bei den jeweiligen Teilstücken für jeden Beregnungsgang separat eingestellt werden können, um eine flexible Reaktion auf wechselnde Anforderungen der Teilflächen während der Vegetationszeit zu ermöglichen.

## 11 Schlussbetrachtung und Zusammenfassung

*Jürgen Grocholl*

In den Jahren 2010- 2013 wurden auf der Versuchsstation Hamerstorf der Landwirtschaftskammer Niedersachsen sowie auf einer Praxisfläche im Landkreis Uelzen in mehreren Versuchen Maßnahmen untersucht, die eine Optimierung der Ackerbausysteme in den Beregnungsbetrieben der Lüneburger Heide im Hinblick auf die effiziente Nutzung des Wassers ermöglichen sollen.

### **Zusammenfassung der Ergebnisse**

Im Folgenden sind die in den Kapiteln 3-10 ausführlich dargestellten Ergebnisse kurz zusammengefasst:

#### Arten und Sorten

Die geprüften Arten und Sorten unterschieden sich hinsichtlich ihrer Reaktionen auf Trockenstress und auf Beregnung. Es konnte jedoch bei keiner Kultur eine besonders trockenheitstolerante Sorte gefunden werden, die ohne Beregnung bei länger andauernder Trockenheit nur einen geringen Minderertrag bei gleichzeitig höherem Ertragsniveau als die Vergleichssorten aufwies.

In einigen Fällen konnten Sortentypen identifiziert werden, die unter trockenen Standortbedingungen bessere Leistungen zeigten als andere. Insgesamt jedoch sollte die Auswahl der Sorten in einem landwirtschaftlichen Betrieb nach ihren nachhaltig, also über mehrere Jahre konstant erreichbaren guten Erträgen an dem betreffenden Standort sowie den erforderlichen Qualitätseigenschaften erfolgen. Sorten, die ihr hohes Ertragspotential nur bei gutem Wasserangebot ausnutzen können, kommen für Standorte mit Trockenheitsrisiko aber ohne Beregnungsmöglichkeit nicht in Frage. Zur Verringerung des Risikos von Ertragseinbrüchen in Trockenjahren kann es sinnvoll sein, mehrere Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften, z.B. verschiedenen zeitlichen Ansprüchen an die Wasserversorgung (früh- und spätreife Sorten), anzubauen.

Neben den Prüfungen mit den etablierten Kulturpflanzen wurde auch die Anbaueignung der äthiopischen Hirse Teff untersucht. Es hat sich gezeigt, dass ihr Anbau auch unter den Bedingungen Nord-Ost-Niedersachsens möglich ist. Bei ausgeprägten Trockenphasen reicht jedoch auch hier die natürliche Wasserversorgung nicht aus. Weitere Forschungen zur Optimierung des Anbauverfahrens sind erforderlich. Allerdings müssen vorher rechtliche Fragen geklärt werden, da Teff-Mehle durch ein Patent geschützt sind.

#### Saatstärke

Hinweise auf eine bessere Effizienz der Wassernutzung bei geringen Saatstärken bzw. Bestandesdichten bei nur geringfügig suboptimaler Wasserversorgung (reduzierte Beregnung) geben die Versuchsergebnisse nicht. Wenn jedoch im Sommer zum Zeitpunkt der Kornfüllungsphase Trockenperioden zu erwarten sind, die nicht durch Bewässerung vermieden werden können, erscheint eine geringere Bestandesdichte vorteilhaft. Die Saatstärke sollte sich daher auf den sandigen, sommertrockenen Standorten im unteren Bereich des standörtlichen Optimums bewegen. Es muss aber sichergestellt werden, dass auch nach härteren Wintern im Frühjahr die erforderliche Mindestanzahl an Pflanzen auf dem Acker steht.

### Stickstoffdüngung

Das Verfahren der CULTAN-Düngung, bei dem einmalig eine Ammonium-Düngerlösung in den Boden injiziert wird, wurde im Vergleich zur konventionellen, geteilten, oberflächlich breitwürfig ausgebrachten Düngung geprüft. Beide Düngeverfahren sind in der Praxis funktionsfähig einsetzbar. Gerade bei trockenem Boden hat die Injektionsdüngung Vorteile für die Pflanzenernährung, was aber unter den Versuchsbedingungen nicht zu signifikanten Mehrerträgen im Vergleich zur oberflächlichen Nitratdüngung geführt hatte. Der Vergleich zwischen oberflächlicher breit gestreuter Nitratdüngung und der CULTAN-Düngung zeigte in den unberegneten Varianten eine leicht erhöhte Stickstoffeffektivität im CULTAN-Verfahren. Dieser Effekt war mit steigenden Beregnungswassermengen nicht mehr deutlich. Die Gefahr der Nitratauswaschung wurde, insbesondere bei geringer Wasserversorgung, verringert.

### Humusanreicherung

Die Ergebnisse bestätigen die aus früheren Versuchen und der Literatur bekannte positive Wirkung einer organischen Düngung und der damit verbundenen Humusanreicherung auf die Ertragsbildung bei sandigen Böden. Inwieweit dieser Effekt durch die Verwendung von Substraten mit einem Gehalt an stabileren Kohlenstoffverbindungen (z.B. Holzkohle) verstärkt werden kann, ist nach diesen ersten Versuchsjahren noch nicht zu beantworten. Obwohl nach Ausbringung der Bodenverbesserer teilweise eine geringfügig höhere Wasserspeicherefähigkeit der Böden festgestellt wurde, zeigten sich im Ertrag keine zusätzlichen Vorteile bei geringer Wasserversorgung.

### Bodenbearbeitung

Mulchsaatverfahren verbessern die Wasserinfiltration und verringern die unproduktive Verdunstung bei unbedecktem Boden. Im Versuch konnten jedoch keine besonderen Vorteile im Hinblick auf die Ertragsbildung bei mangelnder Wasserversorgung festgestellt werden. Unabhängig von der Wasserversorgung waren die Erträge bei Wintergetreide, Zuckerrüben und teilweise Kartoffeln bei Pflugeinsatz und Mulchsaat gleich. In einem Versuchsjahr wies das Verfahren der Schlitzsaat (strip-till) bei Zuckerrüben besondere Vorteile bei verringerter Wasserversorgung auf. Da Mulchsaaten weitere Vorteile, beispielsweise hinsichtlich Erosionsvermeidung aufweisen, sind sie zu empfehlen.

### Beregnungssteuerung

Die Versuche ergaben, dass mit einer optimalen Beregnungssteuerung eine hohe Wassernutzungseffizienz bei gleichzeitig hohem Ertrags- und Qualitätsniveau erreicht werden kann. Dabei bedeutet der höchste Wassereinsatz nicht zwangsläufig den höchsten Ertrag. Auch bestehen Sortenunterschiede bei der Reaktion auf Trockenstress bzw. Beregnung und diese müssen für ein optimiertes Beregnungsmanagement berücksichtigt werden. Für eine hohe Effizienz der Umsetzung des zusätzlich zugeführten Wassers in Ertrag ist zum einen eine möglichst exakte Berechnung des Wasserverbrauchs und des aktuell verfügbaren Wasservorrats im Boden notwendig. Diese Aufgabe haben die beteiligten Modelle gut gelöst. Zum anderen ist jedoch auch die Ermittlung des Wasserbedarfs der jeweiligen Kultur in einem bestimmten Entwicklungsabschnitt wichtig. Hier weisen die Unterschiede beim Beregnungswasserbedarf zwischen den Modellen darauf hin, dass eine weitere Anpassung an die jeweiligen Standort- und Kulturbedingungen erforderlich ist.

### Teilflächenspezifische Beregnung

Mit der technischen Ausrüstung der Kreisberegnungsmaschine zur Wasserverteilung ist eine teilflächenspezifische Beregnung möglich. Dabei wird die ausgebrachte Wassermenge je

Teilstück variiert. Aus pflanzenbaulicher Sicht wäre eine Differenzierung auch beim Beregnungszeitpunkt wünschenswert. Bei den gegebenen Standortbedingungen und erforderlichen Beregnungshöhen war die teilflächenspezifische Steuerung wirtschaftlich nicht vorteilhaft. Die Verwendung von Bodenfeuchtesensoren zur Steuerung der differenzierten Beregnungshöhe ist kritisch zu betrachten. Die Streuung der Messwerte ist zu groß. Weiterhin ist die Bodenfeuchtemessung teuer und sehr arbeitsintensiv. Eine Steuerung nach der klimatischen Wasserbilanz wird empfohlen.

### Fazit

In einem im Hinblick auf eine hohe Effizienz der Wassernutzung optimierten Anbausystem müssen alle Maßnahmen integriert eingesetzt werden. Dies bedeutet,

- Sorten mit einem hohen Anspruch an die Wasserversorgung zu meiden und zur Risikoabsicherung mehrere Sorten mit unterschiedlichen Ansprüchen anzubauen,
- die Bestandesdichte im Vergleich zu Standorten mit ausreichender Wasserversorgung zu verringern und die Saatstärke entsprechend anzupassen,
- die Stickstoffdüngung ggf. platziert auszubringen (CULTAN, Unter-Fuß-Düngung),
- den Humusgehalt durch Einsatz organischer Dünger zu stabilisieren und möglichst anzuheben,
- soweit möglich Mulchsaat- oder strip-till-Verfahren einzusetzen,
- die Beregnungssteuerung durch Nutzung von Berechnungsverfahren an den Pflanzenbedarf anzupassen.

Dennoch können alle diese Maßnahmen gemeinsam nur einen kleinen Beitrag zur Sicherung der Wasserversorgung der Pflanzenbestände in Trockenphasen leisten. Begrenzend wirkt vor allem die geringe Wasserspeicherfähigkeit der Sandböden. Selbst bei weitest gehender Minimierung der unproduktiven Verluste reicht das im Boden pflanzenverfügbar gespeicherte Wasser nur eine eng begrenzte Zeit zur Versorgung der Bestände aus. Auch durch Maßnahmen zur Humusanreicherung kann das Wasserspeichervermögen nur in einem sehr begrenzten Maß gesteigert werden. Danach ist zur Sicherung des Ertrages eine Zusatzbewässerung erforderlich.

Mit dem projizierten Klimawandel wird der Bedarf an Zusatzbewässerung weiter zunehmen. Die Effizienz der Beregnung kann durch den Einsatz wasser- und energiesparender Großregner verbessert werden, diese erfordern aber oftmals eine Anpassung der Agrarstruktur (vgl. Mersch & von Haaren 2014, Landwirtschaft im Klimawandel, Teil 5). Dennoch ist zukünftig für die Sicherung der Flächenproduktivität in der Landwirtschaft in erster Linie eine ausreichende Verfügbarkeit von Beregnungswasser entscheidend. Einen Beitrag hierzu kann auch die Erschließung alternativer Wasserquellen leisten (vgl. Schulz 2014, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung, Teil 6).

## 12 Literatur

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe-Boden (2005):** Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H. (1990):** Anwendung ökophysiologischer Parameter zur Charakterisierung mikrobieller Biomassen im Boden. - Verhandlungen der Gesellsch. f. Ökologie 19/2: 324-329.
- Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, 2009:** Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Frick. Schweiz.
- Bargmann, I., Greef, J. M. & Kücke, M. (2012):** Keimung, Wachstum und Nährstoffdynamik in Boden und Pflanze nach dem Einbringen von Biokohlen aus hydrothermalen Carbonisierung (Hydrochar) und Pyrolyse (Biochar). Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24, S. 60-61.
- Bargmann, I., Martens, R., Rillig, M.C., Kruse, A., Kücke, M. (2014):** Hydrochar amendment promotes microbial immobilization of mineral nitrogen. J. Plant Nutr. Soil Sc., 177, S. 59-67.
- Battermann, H. & Theuvsen, L. (2010):** Feldberechnung in Nordost-Niedersachsen: Regionale Bedeutung und Auswirkungen differenzierter Wasserentnahmeerlaubnisse; Kurzfassung: [http://www.fachverband-feldberechnung.de/pdf/Kurzfassung-BedeutungFeldberechnung\\_FVF2010.pdf](http://www.fachverband-feldberechnung.de/pdf/Kurzfassung-BedeutungFeldberechnung_FVF2010.pdf)
- Baumecker, M. und Ellmer, F. (2009):** Pflanzenbauliche Optionen unter wasserlimitierten Standortbedingungen am Beispiel von Winterroggen, Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 21, 87-88.
- Bischoff, J. (2011):** Wasser fürs Frühjahr sparen. DLG-Mitteilungen, Nr. 9, S. 72-75.
- Boe, A., Sommerfeldt, J., Wynia, R., Thiex, N. (1986):** A preliminary evaluation of the forage potential of teff. Proc. South Dakota Acad. Sci. 65:75-82.
- Breuer, J., König, V., Merkel, D., Olf, H.-W., Steingrobe, B., Stimpfl, E., Wissemeyer, A.H. & Zorn, W. (2003):** Die Pflanzenanalyse zur Diagnose des Ernährungszustandes von Kulturpflanzen, Agrimedia, Bergen.
- Bundessortenamt (2000):** Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. [http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/Richtlinie\\_LW2000.pdf](http://www.bundessortenamt.de/internet30/fileadmin/Files/PDF/Richtlinie_LW2000.pdf)
- Chan K.Y. (2009):** Biochar: Nutrient Properties and their Enhancement in: Biochar for environmental management – science and technology, Lehmann J., Joseph, S. (Eds). earthscan, London 67-84.
- Döhler, H. (2009):** Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Auflage, Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Darmstadt.
- DWD - Deutscher Wetterdienst (2010):** Mittelwerte des Niederschlags für den Zeitraum 1961-1990: [http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&pageLabel=dwdwww\\_suche\\_tref ferliste](http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?nfpb=true&pageLabel=dwdwww_suche_tref ferliste) (Abruf 14.05.2010)
- Ebba, T. (1975):** Tíef (Eragrostis tef) Cultivars: Morphology and Classification. Addis Ababa Univ. College Agr., Dire Dawa, Ethiopia, Expt. Sta. Bul. 69. Part II.
- Eckhoff, J. L. A., Wichman, D. M., Scheetz, J., Majerus, M., Welty, L. E., Stallknecht, G. F., Ditterline, R. L., Dunn R. L., Sands, D. C. (1997):** Registration of 'Bridger' Teff, doi:10.2135/cropsci1997.0011183X003700050048x, Crop Science 1997 37:1671-1671.
- Engel, N. (2012):** Standort- und vegetationsabhängige Berechnungssteuerung mittels eines Bodenwasserhaushaltsmodells (BOWAB); in: Geoberichte 20, Hannover 2012.
- Engel, N., Müller, U., Schäfer, W. (2012):** BOWAB – Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell, in: Geoberichte 20, Hannover 2012.
- Fachverband Feldberechnung (2010-2013):** Hinweise für den Einsatz der Feldberechnung, 2005 - 2009; Fachverband Feldberechnung e.V. Hannover (FVF), Johannsenstr. 10, 30159 Hannover.
- Feistkorn, D., Grocholl, J., Urban, B., Palmu, K. & Rakelmann, U. (2012):** Biokohle und Feldversuche im Verbundprojekt. <http://klimzug-nord.de/index.php/page/2012-05-15-PDM-Mai-2012>.

- Flamm, C., Scheriau, S., Zechner, E. Livaja, M. & Pauk, J. (2013):** Praktische Anwendbarkeit von Trockenstressparametern für die Weizenzüchtung. In: 63. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2012., <http://www.raumberg-gumpenstein.at> (Abruf 04.03.2014).
- Fricke, E. (2008):** Mit Beregnung das Ertragsrisiko senken; top agrar 12/2008, 100-103.
- Fricke, E. & Riedel, A. (2013):** Versuchsbericht 2013 des Fachverband Feldberegnung e.V. in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bericht, Fachverband Feldberegnung e.V., Hannover.
- Fricke, E. & Riedel, A., (2012a):** Beregnung rettet Getreideerträge; Land und Forst 17/2012, 32-34.
- Fricke, E. und Riedel, A., (2012b):** Maiserträge durch Beregnung absichern!; mais 4/2012, 182-185.
- Fricke, E. & Riedel, A. (2012c):** Versuchsbericht 2012 des Fachverband Feldberegnung e.V. in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bericht, Fachverband Feldberegnung e.V., Hannover.
- Fricke, E. & Riedel, A. (2011):** Versuchsbericht 2011 des Fachverband Feldberegnung e.V. in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bericht, Fachverband Feldberegnung e.V., Hannover.
- Gajić, A., Koch, H.-J. & Märländer, B. (2011):** HTC-Biokohle als Bodenverbesserer – Erste Ergebnisse aus einem Feldversuch mit Zuckerrüben. Zuckerindustrie 136 (12), S. 791-799.
- Gajić, A. (2012):** Kann die Anwendung von HTC-Biokohle zur Sicherung der Bodenfruchtbarkeit beitragen? , Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24., pp. 32-33.
- Glaser, B., Kamman, C. & Kern, J. (2012):** Biochar research and technology in Europe – State of the art. In: Fricke, K., C.-G. Bergs, Kamman, C., Qicker, P., Wallmann, R. (Hrsg.): Biokohle im Blick Herstellung, Einsatz und Bewertung, S. 11-15. ORBIT e.V.
- Glaser, B., Lehmann, J. & Zech, W. (2002):** Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. Biology and Fertility of Soils 35, 219-230.
- Grocholl, J. (2011):** Effiziente Wassernutzung im Ackerbau Nord-Ost-Niedersachsens: Möglichkeiten zur Anpassung an den prognostizierten Klimawandel - Literaturübersicht, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen.
- Grocholl, J. (2008):** Untersuchungen zum Einsatz von Bioabfallkompost in der Landwirtschaft - Ergebnisse eines Feldversuchs 1994 – 2005. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, online verfügbar: [www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de), Webcode 01025353 (Abruf Mai 2014)
- Grocholl, J. & Riedel, A. (2012):** Wasserbedarf verschiedener Arten und Sorten. in: Aquarius – Dem Wasser kluge Wege ebnen, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, pp. 89-99. [www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de), Webcode 01012396 (Abruf 15.10.2013)
- Gruber, H., Thamm, U. & Michel, V. (2006):** Einfluss der Saatstärke auf Ertragsmerkmale bei Getreide (Poster), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern [www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA\\_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Oekologischer\\_Landbau/Getreide/Saatstaerke\\_Poster/saatstaerke\\_oekoPoster.pdf](http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Oekologischer_Landbau/Getreide/Saatstaerke_Poster/saatstaerke_oekoPoster.pdf) (Abruf 04.03.2014)
- Harrach, T. & Richter, U. (1994):** Einfluss langjährig differenzierter Bodenbearbeitungssysteme auf die Durchwurzelbarkeit des Bodens und die Stickstoffverlagerung mit dem Sickerwasser, in: Tebrügge, F., Dreier, M. (Hrsg.): Beurteilung von Bodenbearbeitungssystemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristigen Auswirkungen auf den Boden, Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns.
- Helfrich, M., Eibisch, N. & Flessa, H. (2011):** Biokohle in der Landwirtschaft - First INTERREG NSR Biochar conference – „Biochar – Climate Savior or Bluff Package?“ 72. Symposium des ANS.
- Hermann, W. & Pflugfelder, M. (2011):** Strip-Till auf der Versuchsstation Ihinger Hof. Vortrag beim Workshop Streifenlockerung / Strip-Till, Universität Hohenheim, Versuchsstation Ihinger Hof, 18. - 19. Mai 2011.
- Hilber, I. (2009):** Pestizidbindung durch Aktivkohle, Ithaka-Journal, ISSN 1663-0521.
- Hochschule Geisenheim (2014):** die Geisenheimer Bewässerungssteuerung , kc-Werte für die Kulturen <http://www.hs-geisenheim.de/forschungszentren/institut-fuer-gemuesebau/forschung/geisenheimer-steuerung.html>

- Höper, H. & Kleefisch, B. (2001):** Untersuchungen bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Bodenbiologische Referenzwerte und Zeitreihen. Arbeitshefte Boden 2001/4.
- Kammann, C. (2012):** Treibhausgasemissionen und Stickstoffumsetzungsprozesse in Pflanzenkohle-Böden. In: Fricke, K., C.-G. Bergs, Kammann, C., Qicker, P., Wallmann, R. (Hrsg.): Biokohle im Blick Herstellung, Einsatz und Bewertung, S. 97-110. ORBIT e.V. 2012.
- Kammann, C. (2010):** Biokohle in Böden: C-Sequestrierungsoption und Veränderung der N<sub>2</sub>O-Emissionen nach Pflanzenkohleapplikation, in: Wulf, S. (Ed.), Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden, KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany.
- Kammann, C., L. Grünhage, D. Busch, Ch. Müller, G. Dörger, K. Hanewald & Th. Schmid (2010):** Biokohle: Ein Weg zur dauerhaften Kohlenstoff-Sequestrierung. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 1-8.
- Kuck, A. (2014):** Einfluss und Wirkung von organischen Bodenverbesserern auf sandige Ackerböden. Dipl.-Arbeit, in Vorbereitung.
- Kücke, M. (2007):** Ergebnisse und laufende Forschungsarbeiten in der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig, Vortrag in Straelen am 10.1.2007.
- Ketema, S. (1997):** Tef. *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 12. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Ketema, S. (1989):** Production trends, germplasm resources, breeding, and varietal improvement of small millets, with special emphasis on Tef in Ethiopia. In: Seetharam A., Riley K.W. and Harinarayana G. (Hrsg.) "Small millets in Global Agriculture". IDRC, Oxford and IBH Co. India, ISBN 978-81-204-0434-2.
- Kruse, J. (2013):** Untersuchungen zum Anbau von *Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter am Standort Hamerstorf im Rahmen des Projektes KLIMZUG-NORD Bachelorarbeit, unveröffentlicht.
- Kuzyakov Y, Subbotina I, Chen H, Bogomolova I. & Xu X (2009):** Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by 14c labeling. *Soil Biology & Biochemistry* 41, 210-219.
- 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.
- LBEG (2014):** Anwendung des Modells BOWAB zur Bewässerungssteuerung. <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/>
- Libra, J.A., Ro, K.S., Kammann, C. Funke, A. Berge, N. D., Neubauer, Y., Titirici, M-M., Fühner, C.; Bens, O., Kern, J. & K.H. Emmerich (2011):** Hydrothermal carbonisation of biomass residuals: a comparative review of chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolyses; In: *Biofuels* 2, S. 71-106.
- LWK (2013):** Empfehlungen 2013 Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Hannover.
- LWK (2012a):** Aquarius – Dem Wasser kluge Wege ebnen, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, 2012. [www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de), Webcode 01012396 (Abruf 15.10.2013)
- LWK (2012b):** Empfehlungen 2012 Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Hannover.
- LWK (2011):** Empfehlungen 2011 Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Hannover.
- LWK (2010):** Empfehlungen 2010 Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Pflanzenschutzamt, Hannover.
- Maretzi, J. (2014):** Voruntersuchungen zum Einsatz von HTC-behandelten Maisgärresten (Pflanzenkohle) auf sandigen Ackerstandorten der Lüneburger Heide. Diplomarbeit, Leuphana Universität Lüneburg, unveröffentlicht.
- Michel, R. (2013):** Beregnungsstrategien zur Erzeugung von Qualitätskartoffeln; *Kartoffelbau* 5/2013, 44-47.

- Michel, R. (2010):** Das Simulationsmodell ZEPHYR zur Bewässerungssteuerung – kurze Beschreibung der wissenschaftlichen und weiteren fachlichen Grundlagen, Ingenieurbüro Dr. R. Michel Boden und Bodenwasser, Bad Freienwalde.
- Michel, R. & Günther, R. (2014):** Berechnungs- und Messverfahren zur Bewässerungssteuerung; in: Michel, R., Sourell, H. (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft, Erling Verlag 2014.
- Nitzsche, O., Schmidt, W. & Richter, W. (2000):** Minderung des P-Abtrags von Ackerflächen durch konservierende Bodenbearbeitung. Mittlg. Bodenkdl. Gesellsch. 92, S. 178-181. zit nach: Umweltbundesamt, Texte 35/04.
- Norddeutscher Klimaatlas (2010):** Mittel der Modelle, Prognosezeitraum 2036-2065, Metropolregion Hamburg <http://www.norddeutscher-klimaatlas.de>
- Otterpohl, R. (2012):** Bioenergie und Bodenproduktivität: Synergien von Holzverstromung, Karbon-Kompost und Biokohlen aus nassen Abfallstoffen. Vortrag. [http://www.kiwi-kiel.de/fileadmin/user\\_upload/Presse/PDFs/2012/2012-08-14\\_Biomasse\\_Otterpohl.pdf](http://www.kiwi-kiel.de/fileadmin/user_upload/Presse/PDFs/2012/2012-08-14_Biomasse_Otterpohl.pdf)
- Page, A. L., Miller, R. H., Kennedy, D. R., Baker, D. E., Ellis, R. & Rhoades, J. D. (Hrsg.) (1982):** Methods of Soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison (Soil Science Society of America).
- Paschold, P.-J. (2010):** Steuern und Regeln der Bewässerung; in: Paschol, P.-J. (Hrsg.): Bewässerung im Gartenbau, Ulmer Verlag 2010.
- Paschold, P.-J., Kleber, J., Mayer, N. (2002):** Geisenheimer Bewässerungssteuerung; Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 37, 2002, 5-15.
- Richter, V. & Kücke, K (2010):** Reduzierung der Nitratbelastung durch das CULTAN-Düngeverfahren im Trinkwasserschutzgebiet Meyenburg sowie Etablierung eines Monitoringkonzeptes durch Sickerwassersammler (PCAPS) zur Erfolgskontrolle (04UM011), Abschlussbericht Julius-Kühn-Institut Braunschweig.
- Sander, G. (2011):** Schlitzsaat (Strip-Till) in Zuckerrüben. Vortrag beim Workshop Streifenlockerung / Strip-Till, Universität Hohenheim, Versuchsstation Ihinger Hof, 18. - 19. Mai 2011.
- Schäfer, B.C. & Merker, C. (2013):** Auswirkungen von Saatstärke, Saattermin und Sorte auf den Ertrag von Winterweizen. Vortrag auf der 44. DLG-Technikertagung. [www4.fh-swf.de/media/downloads/fbaw\\_1/dlg\\_technikertagung/2013\\_tt\\_vortraege/36\\_TT13\\_FHSWF\\_Merker\\_WWxST\\_POSTER.pdf](http://www4.fh-swf.de/media/downloads/fbaw_1/dlg_technikertagung/2013_tt_vortraege/36_TT13_FHSWF_Merker_WWxST_POSTER.pdf) (Abruf 04.03.2014)
- Schilling, G. (2008):** Einfluss der Klimaänderungen auf Vorgänge bei der Ertragsbildung und Konsequenzen für die Pflanzenernährung und Düngung, Vortrag auf der 5. Pflanzenbau-Fachtagung: Was den Pflanzenbau bewegt!, Altwarmbüchen 25.01.2008.
- Schmelmer, K., Urban, B. (2014):** Kohlenstoffdynamik und organische Substanz in Ackerböden. In: Urban, B., Becker, J., Mersch, I., Meyer, W., Rottgardt, E. (Hrsg.): Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Bd. 6, Klimawandel in der Lüneburger Heide - Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Kap. 4.2.1. TuTech Verlag Hamburg.
- Schmelmer, K., Urban, B., Feistkorn, D., Grocholl, J. (2012):** Zur Wirkung organischer Bodenverbesserer auf Boden und Nutzpflanzen. In: Wallmann, R. (Hrsg.): ANS-Tagungsband, ORBIT e.V., Weimar, S.48.
- Schönberger, H. (2009):** Ertragsbildung des Getreides, Getreide Magazin, 14, 220-225
- Schörling, B. (2013):** Das Bewässerungsmanagementsystem Irrigama. [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/06\\_Bewaesserungsmanagement\\_IRRIGAMA\\_Schoerling.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/06_Bewaesserungsmanagement_IRRIGAMA_Schoerling.pdf)
- Schrader, S., Anlauf, R. & Fründ, S. (2004):** Auswirkungen konservierender Bodenbearbeitung auf Bodeneigenschaften und Nitratausträge, Fachhochschule Osnabrück, Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur. <http://orgprints.org/4296>
- Schumacher, H.-J. (2009):** CULTAN-Düngung – Ertrags- und Qualitätsvorteile für Braugerste, LOP Landwirtschaft ohne Pflug 1/2009, S. 26-28.
- Senger, M. (2011):** Grubber, Pflug und Spatenmaschine im Vergleich, Kartoffelbau 61 (3), 38-40.

- Smernik R.J. (2009):** Biochar and Sorption of Organic Compounds. in: Biochar for environmental management – science and technology, Lehmann J, Joseph S (Eds). earthscan, London 289-300.
- Sommer, K. (2005):** CULTAN-Düngung, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen-Buer.
- Sommer, K. & Scherer, H.W. (2007):** Source-Sink-Relationships in Plants as Depending on Ammonium as „CULTAN“, Nitrate or Urea as Available Nitrogen Fertilizers, Vortrag in Königsberg 2007, deutsche Übersetzung, Uni Bonn.
- Sommer, K. (2008):** Bestandesführung beim Getreide nach dem CULTAN-Verfahren, Sonderdruck aus Getreide Magazin 2/2008.
- Sonderheft CULTAN (2006):** Zusammenfassung Workshop CULTAN Straelen 2006, 11 Artikel, diverse Autoren.
- Steinbeiss S, Gleixner G, Antonietti M. (2009):** Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry 41(6), 1301-1310.
- Thies Je, Rillig Mc. (2009):** Characteristics of biochar: Biological properties. In: Biochar for environmental management: Science and technology, Lehmann J, Joseph S (Eds). Earthscan, London, U.K. 85-105.
- Thörmann, H.H., Nolting, K., Kraft, M. & Sourell, Dr. H. (2012):** Möglichkeiten von Precision Irrigation. In: Aquarius – Dem Wasser kluge Wege ebnen, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, pp. 89-99.  
[www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de), Webcode 01012396 (Abruf 15.10.2013)
- Tititrici, M.-M., Thomas, A. & Antonietti, M. (2007):** Back in the black: hydrothermal carbonization of lant material as an efficient chemical process to treat the CO2 problem? New Journal of Chemistry, 31. Jahrgang.
- Urban, B., Grocholl, J. & M. Shaban (2008):** Verwendung von Kompost zur Erhöhung der Wasserhaltefähigkeit von Böden. In: NoRegret – Genug Wasser für die Landwirtschaft?!- EU-Projekt NoRegret, Abschlussbericht S. 191-204. LWK Niedersachsen, Hannover, Uelzen.
- Urban, B., Grocholl, J., Feistkorn, D., Schmelmer, K. & Palmu, K. (2012):** Zur Wirkung organischer Bodenverbesserer auf Boden und Nutzpflanzen. 72. ANS-Tagung Berlin (Posterbeitrag).
- Urban et al. (in prep.):** Off- und on-site Versuche mit organischen Bodenverbesserern sandiger Böden der Lüneburger Heide.
- van Zwieten L, Singh B, Joseph S, Kimber S, Cowie A. & Chan Ky (2009):** Biochar and emissions of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases from soil. In: Biochar for environmental management – science and technology, Lehmann J, Joseph S (Eds). earthscan, London 227-249.
- VDLUFA (1991):** VDLUFA-Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden, Grundlieferung 1991, Ergänzungen 1997, 2002, 2004, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- Wallmann, R. (2011):** First INTERREG NSR Biochar conference – „Biochar – Climate Savior or Bluff Package?“ 72. Symposium des ANS e.V. S. 7 Berlin.
- Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW, Rillig MC (2007):** Mycorrhizal responses to biochar in soil – concepts and mechanisms, Plant and Soil, 300, 9-20.
- Weimar, S. (2006):** CULTAN-Verfahren im Ackerbau -Grundlagen, Anwendung und Versuchsergebnisse, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Vortrag.
- Wenkel, K. (2013):** Von BEREST zu IRRIGAMA.net, Neue Möglichkeiten für das Bewässerungsmanagement durch ein Web-basiertes Entscheidungsunterstützungssystem  
[http://tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_forst\\_geo\\_und\\_hydrowissenschaften/fachrichtung\\_wasserwesen/ifhm/hydrologie/forschung/Projekte/saphir/workshop\\_2013f/vortrag\\_wenkel.pdf](http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_wasserwesen/ifhm/hydrologie/forschung/Projekte/saphir/workshop_2013f/vortrag_wenkel.pdf)