



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Neue Techniken im Ackerbau



Schriftenreihe

7

2014

ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising
E-Mail: TierundTechnik@LfL.bayern.de
Telefon: 08161/71-3450

1. Auflage: November 2014

Druck: ES-Druck, 85356 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 15,00 Euro

© LfL

Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Meinung der Autoren wieder.
Bildquellen Titelfotos: LfL-IAB, LfL-ILT, ALB, Werkfoto: Fa. Fritzmeier



Neue Techniken im Ackerbau

**Landtechnische Jahrestagung
am 26. November 2014
in Deggendorf**

Dr. Georg Wendl (Hrsg.)

Tagungsband

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Pflanzenbau in Bayern – Wohin geht die Reise?	9
<i>Dr. Robert Schätzl und Christian Stockinger</i>	
Erosion im Ackerbau – ein Zustandsbericht	23
<i>Robert Brandhuber, Michael Kistler und Dr. Harald Maier</i>	
Technik für erosionsmindernde Bestellverfahren.....	37
<i>Dr. Markus Demmel und Hans Kirchmeier</i>	
6-jährige Erfahrungen mit Streifenbodenbearbeitung in Reihenkulturen.....	51
<i>Jörg Schulze-Wext</i>	
Mit Sensoren die Bestände besser führen?	63
<i>Dr. Franz-Xaver Maidl, M. Sc. Andreas Spicker und Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen</i>	
Praktische Erfahrungen mit einem Stickstoff-Sensor	75
<i>Sara und Max Stürzer</i>	
Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen (Bedarf, Verfahren, Internet- gestütztes Bewässerungsmodell)	83
<i>Dr. Martin Müller und Dr. Markus Demmel</i>	
GIS- und GPS-gestützte Logistiklösungen am Beispiel der Substraternte für Biogasanlagen	99
<i>Christian Weiß</i>	

Vorwort

Der Ackerbau hat für die bayerische Landwirtschaft eine sehr große Bedeutung, was an den beiden folgenden Zahlen deutlich wird. Etwa zwei Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche Bayerns (ca. 2 Mio. ha) werden ackerbaulich genutzt, wobei auf fast 50 % der Ackerfläche Winterweizen und Silomais angebaut werden. Auf alle pflanzlichen Erzeugnisse entfallen etwa 43 % des gesamten Produktionswertes der bayerischen Landwirtschaft.

Ein nachhaltiger Ackerbau verlangt eine kostengünstige, schlagkräftige und ressourcenschonende Mechanisierung. Die Landtechnik ist in einem ständigen Prozess der Weiterentwicklung. Nicht nur „breiter – größer – schneller“ ist ein Entwicklungstrend, sondern die Maschinen werden auch immer „intelligenter“. Die sensor- und satellitengestützte Landwirtschaft hat schon in einigen Ackerbaubetrieben Eingang gefunden, wenngleich noch einige Detailprobleme zu lösen sind. Aber der Trend in Richtung präzise Techniken und Vernetzung der unterschiedlichen Techniken in Feld und Hof werden weiter zunehmen.

Neue Bewirtschaftungsformen wie die Streifenbodenbearbeitung werden Eingang finden, um die positiven Eigenschaften der Direktsaat (minimaler Eingriff in die Bodenstruktur) mit intensiver Bearbeitung im Bereich der Kulturpflanzen zu verbinden. Aktuelle Herausforderungen wie Bodenschutz, Umweltschutz, Klimawandel, Biodiversität, gesellschaftliche Akzeptanz u. a. verlangen nach Innovationen und technischen Weiterentwicklungen, um den Ackerbau effizienter und nachhaltiger betreiben zu können.

In diesem Umfeld will die diesjährige landtechnische Jahrestagung aufzeigen, wie sich der Ackerbau in Bayern als Betriebszweig möglicherweise entwickeln wird. Die Tagung will daneben zu den Themen Erosion, Streifenbodenbearbeitung, Stickstoff-Sensor, Feldberegnung/-bewässerung und EDV-gestützte Logistiklösungen neue Erkenntnisse vorstellen. Berichte von zwei Ackerbauern und aus dem überbetrieblichen Maschineneinsatz bereichern die Fachvorträge und zeigen die Umsetzung in die Praxis.

Die Vortragstagung wird gemeinsam vom Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft und der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern (ALB) in Zusammenarbeit mit dem Kuratorium Bayerischer Maschinen- und Betriebshilfsringe veranstaltet.

Wir wollen mit dieser Tagung neue technische und organisatorische Lösungen für den Ackerbau aufzeigen und Hilfen bei der Umsetzung geben. Allen Teilnehmern wünschen wir eine interessante Veranstaltung, viele fachliche Anregungen und gute Gespräche.



Dr. Georg Wendl
Institutsleiter

Pflanzenbau in Bayern – Wohin geht die Reise?

Dr. Robert Schätzl und Christian Stockinger

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebswirtschaft und
Agrarstruktur, Menzinger Straße 54, 80638 München

Zusammenfassung

Die in der vergangenen Dekade wirksamen Rahmenbedingungen führten in Bayern zur Ausdehnung der Mais- und Winterweizenfläche, während Gerste, Hackfrüchte und Winterraps in ihrer Bedeutung abnahmen. Seit dem Jahr 2007 bewegen sich nicht nur die Erzeugerpreise für Getreide und Ölsaaten auf einem merklich höheren Niveau als in den Vorjahren, sondern auch die Preise wichtiger Betriebsmittel wie Dünger und Saatgut. Gleichzeitig verstärkten sich die Preisvolatilitäten. Die im Durchschnitt der Jahre verbesserten Deckungsbeiträge im Marktfruchtbau sind eine wichtige Ursache für den Anstieg der Flächenpachten. Trotz der gestiegenen Kosten verbesserte sich für die meisten Marktfruchterzeuger der unternehmerische Erfolg maßgeblich.

Es ist allerdings fraglich, ob sich die positive Entwicklung der vergangenen Jahre auch in näherer Zukunft fortsetzen wird. Zum einen gibt es weltweit Potential zur Ausdehnung der Anbauflächen und zur Steigerung von Erträgen. Zum anderen wird im Fall zunehmender Erlöse die Wirtschaftlichkeit durch Zuwächse auf der Kostenseite gebremst. Dabei werden die Preise für Gebäude, Maschinen und landwirtschaftliche Flächen stark von gesamtwirtschaftlichen, globalen Konjunkturbewegungen bestimmt. Auch aus dem Anbau nachwachsender Energieträger ist zunächst kein größerer ökonomischer Schub für den bayerischen Pflanzenbau zu erwarten. Sollten die Preise für fossile Energieträger aufgrund der umfangreichen Fracking-Aktivitäten zunehmend unter Druck kommen, so könnte sich dies vielmehr auch in fallenden Agrarpreisen niederschlagen. Derzeitig extrem niedrige Zinssätze verstärken für finanzstarke Betriebe den Anreiz zu außerlandwirtschaftlichen Investitionen. Regelungen im Bereich des Umwelt- und Klimaschutzes werden voraussichtlich in den kommenden Jahren eine noch größere Bedeutung bekommen. Aus den Fortschritten in der Landtechnik wird in Zukunft vor allem eine präzisere Arbeitserledigung möglich.

1 Einleitung

Die erfolgreiche Führung eines landwirtschaftlichen Unternehmens verlangt neben aktuellem Handeln auch die Einschätzung zukünftiger Entwicklungen. Diese hat je nach Aufgabenstellung kurz-, mittel- oder auch langfristig zu erfolgen. Für die Anbauplanung der kommenden Saison ist eine vergleichsweise kurzfristige Vorausschau ausreichend. Dagegen reichen die Überlegungen bei Anstehen der Hofnachfolge oder von Investitionen in Gebäude oder Maschinen weiter in die Zukunft. Mit wissenschaftlichen Methoden lässt sich die Zukunft nicht exakt vorhersagen, es können jedoch gewisse Trends ermittelt werden. Als Basis dient hierbei die Analyse der vergangenen Jahre. Die Aussichten des Pflan-

zenbaus in Bayern werden unter anderem durch die Entscheidungen der EU-Agrarpolitik seit 2003 immer stärker von weltweiten Entwicklungen beeinflusst.

2 Entwicklung der Anbauflächen in Bayern

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Bayern als Grundlage des Pflanzenbaus verringert sich kontinuierlich (siehe Tab. 1). Eine wichtige Ursache hierfür ist die Inanspruchnahme für Verkehrswege und Siedlungsflächen. Obwohl viele Grünlandflächen zu Acker umgebrochen wurden, geht daher nicht nur die Dauergrünlandfläche, sondern tendenziell auch die Ackerfläche zurück.

Für die kommenden Jahre ist zu erwarten, dass sich der Rückgang des Grünlandes verlangsamt. Hintergrund ist die Tatsache, dass in vielen Regionen bereits ein großer Teil des ackerfähigen Grünlands umgebrochen wurde. Außerdem reglementieren ab dem Jahr 2014 Cross-Compliance-Vorgaben [8] den Grünlandumbruch. Bei weiter abnehmender landwirtschaftlich genutzter Fläche wird sich deshalb in Zukunft die Reduzierung der Ackerflächen beschleunigen.

Tab. 1: Landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) und Anbaufläche ausgewählter Fruchtarten in Bayern und deren Entwicklung (Quelle: DESTATIS (div. Jahre a) [2], INVEKOS (div. Jahre) [6])

Nutzung	Fläche im Jahr 2014 (ha) ¹⁾	Anteil an der Ackerfläche ¹⁾	Veränderung gegenüber 2004
LF	3.160.200		- 4 %
Ackerfläche	2.087.600		- 2 %
Dauergrünland	1.057.000		- 8 %
Winterweizen	530.700	25 %	+ 10 %
Wintergerste	239.200	11 %	- 19 %
Sommergerste	100.300	5 %	- 38 %
Körnermais	132.200	6 %	+ 3 %
Kartoffeln	40.900	2 %	- 21 %
Zuckerrüben	60.000	3 %	- 8 %
Winterraps	122.900	6 %	- 11 %
Sojabohnen ²⁾	4.300	0,2 %	+ 729 %
Silomais	427.400	20 %	+ 37 %
Stilllegung	44.900	2 %	- 60 %

1) Daten mit Ausnahme von Sojabohnen aus Agrarstatistik, Stand September 2014

2) Daten aus InVeKoS, Stand Juni 2014

Die Erzeugung von Silo- und Körnermais gewann in den vergangenen Jahren an Bedeutung. Dabei steht die starke Zunahme des Silomaisanbaus in engem Zusammenhang mit dem Bau und der Erweiterung von Biogasanlagen [9]. Durch die Einführung eines „Maisdeckels“ und die Beschränkung der Bemessungsleistung von Biogasanlagen im Rahmen von Novellierungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in den Jahren 2012 und 2014

[4, 5] ist diese Dynamik ab dem Jahr 2012 deutlich gebremst, weil sich eine Ausdehnung der Silomaisproduktion für Biogasanlagen schlichtweg nicht mehr lohnt.

Winterweizen, die Ackerfrucht mit dem größten Flächenumfang, hatte in der vergangenen Dekade weitere Zuwächse zu verzeichnen. Prozentual nahm die mit Sojabohnen bestellte Fläche rapide zu. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sie sich im Vergleich der konkurrierenden Mähdruschfrüchte noch immer auf einem sehr niedrigen Niveau bewegt.

Die weniger wettbewerbsstarken Getreidearten Sommer- und Wintergerste verloren im Flächenumfang stark. Seit dem Jahr 2010 sind auch signifikante Rückgänge im Winterrapanbau zu verzeichnen. Ein wichtiger Grund hierfür sind mehrjährig ungünstige Wetterverhältnisse in wichtigen Erzeugungsregionen. Die Anbauflächen mit Kartoffeln und Zuckerrüben gingen ebenfalls zurück. Während sich bei Kartoffeln ein langfristiger Trend fortsetzt, gab es bei Zuckerrüben deutliche Einschnitte nach der Zuckermarktreform aus dem Jahr 2006. Deutschlandweit wurden 16,3 % der Zuckerquoten aus dem Markt genommen [10]. Des Weiteren führen steigende Erträge bei fixen Quoten zu einem geringeren Flächenumfang. Der starke Rückgang an Stilllegungsflächen ist vor allem im Zusammenhang mit dem Aussetzen bzw. der Abschaffung der konjunkturellen Flächenstilllegung im Jahr 2008 bzw. 2009 zu sehen.

Wachsende Bedeutung kommt dem ökologischen Landbau zu. Zwischen 2003 und 2013 erhöhte sich die ökologisch bewirtschaftete Fläche um zwei Drittel auf über 200.000 ha bzw. 6,3 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche [6].

3 Entwicklung der ökonomischen Kennzahlen im Marktfruchtbau

Die Erzeugerpreise für Getreide und Ölsaaten bewegen sich seit 2007 im Durchschnitt der Jahre auf einem wesentlich höheren Niveau als in den Jahren zuvor. So lag beispielsweise das dreijährige Mittel des Preises für Qualitätsweizen 2004 bis 2006 noch bei 10,80 €/dt, ab 2009 um 5 bis 10 €/dt höher. Das Jahr 2007 war gleichzeitig der Einstieg in eine Periode mit hoher Volatilität der Preise.

Im Unterschied zu den Erzeugerpreisen gab es in den vergangenen zehn Jahren kaum Fortschritte in den Praxiserträgen von Getreide und Ölsaaten. Deutlich besser entwickelten sich dagegen die Erträge von Körnermais und Zuckerrüben.

Die aufgrund des höheren Erzeugerpreisniveaus verbesserten Marktleistungen im Marktfruchtbau zogen höhere Kosten für Betriebsmittel nach sich. Insbesondere Dünger und Saatgut verteuerten sich (siehe Abb. 1). Gleichzeitig nahmen die Schwankungen der Preise für Betriebsmittel deutlich zu.

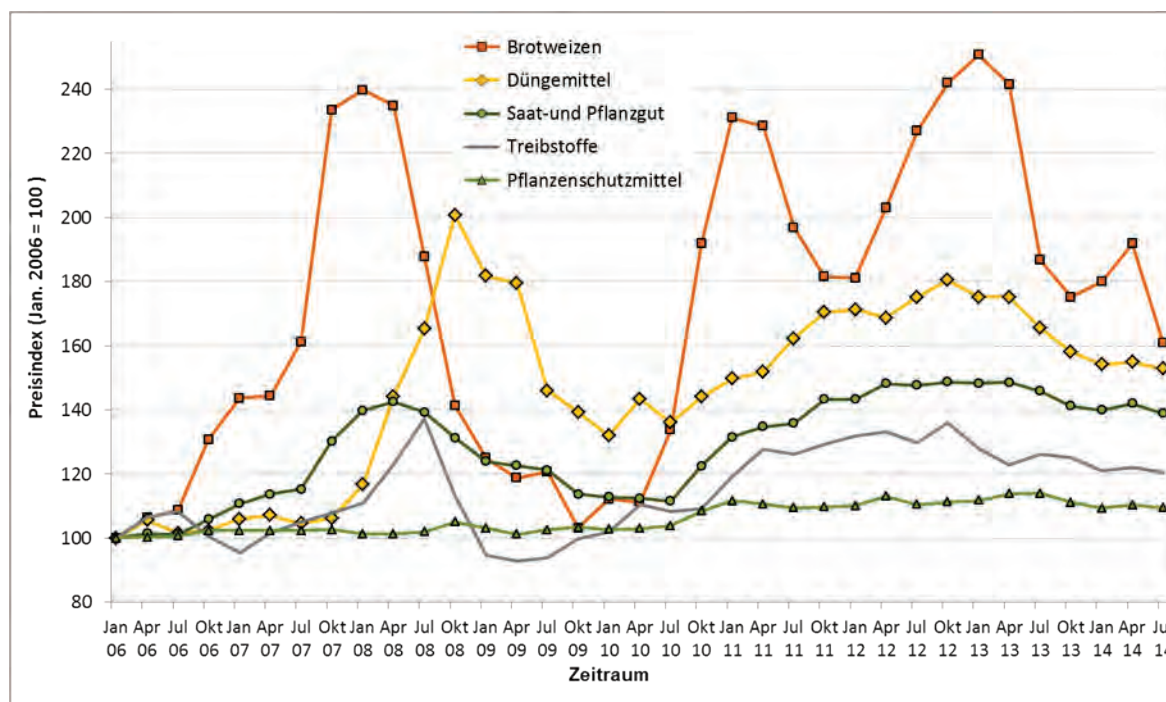


Abb. 1: Preisindizes von Brotweizen und ausgewählten Betriebsmitteln im Vergleich (Quelle: DESTATIS (div. Jahre b) [3])

Trotz der gestiegenen Kosten für Betriebsmittel ergab sich in den vergangenen Jahren eine verbesserte Rentabilität im Marktfruchtbau. So zeigt ein Vergleich der beiden Fünfjahreszeiträume 2001 bis 2005 mit 2009 bis 2013, dass die Deckungsbeiträge der wettbewerbsstärkeren Mähdruschfrüchte (Qualitätsweizen, Körnermais, Winterraps) unter mittleren bayerischen Verhältnissen um 250 bis 400 €/ha zulegten (siehe Abb. 2). Die weniger wettbewerbsstarken Früchte (Sommer-, Wintergerste) hatten geringere Zuwächse zu verzeichnen. Entsprechend der größeren Volatilitäten bei Erzeuger- und Betriebsmittelpreisen schwankten die Deckungsbeiträge stärker als vor dem Jahr 2007. Rund die Hälfte der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Bayern ist gepachtet. Laut Statistik stiegen die durchschnittlichen Pachtpreise für Ackerland zwischen 2007 und 2013 um 24 % auf 338 €/ha an. Mit 53 % Zunahme gab es besonders große Erhöhungen bei Neupachten. Hier lag im Jahr 2013 das Niveau bei durchschnittlich 466 €/ha [1]. Regional können die Verhältnisse von den Durchschnittswerten allerdings deutlich nach oben oder unten abweichen.

Trotz der gestiegenen Kosten konnten spezialisierte Marktfruchtbaubetriebe ihren Gewinn ab 2007 in den meisten Buchführungsjahren deutlich verbessern. Große Unterschiede im Gewinnniveau sind in der betrieblichen Ausrichtung begründet. Während Getreidebaubetriebe im Mittel der Buchführungsjahre 2007/08 bis 2012/13 einen zeitraumechten Gewinn von 450 €/ha realisieren konnten, lagen Kartoffelbau- und Zuckerrübenbaubetriebe mit 850 bis 900 €/ha deutlich darüber (siehe Abb. 3).

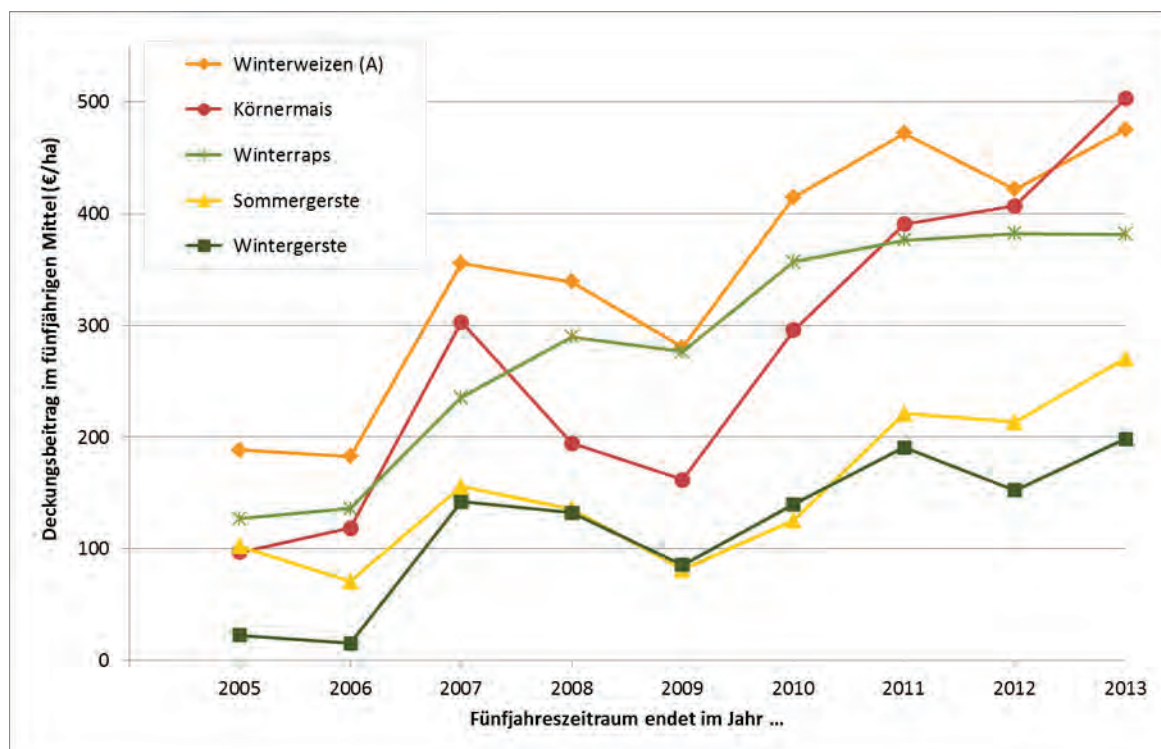
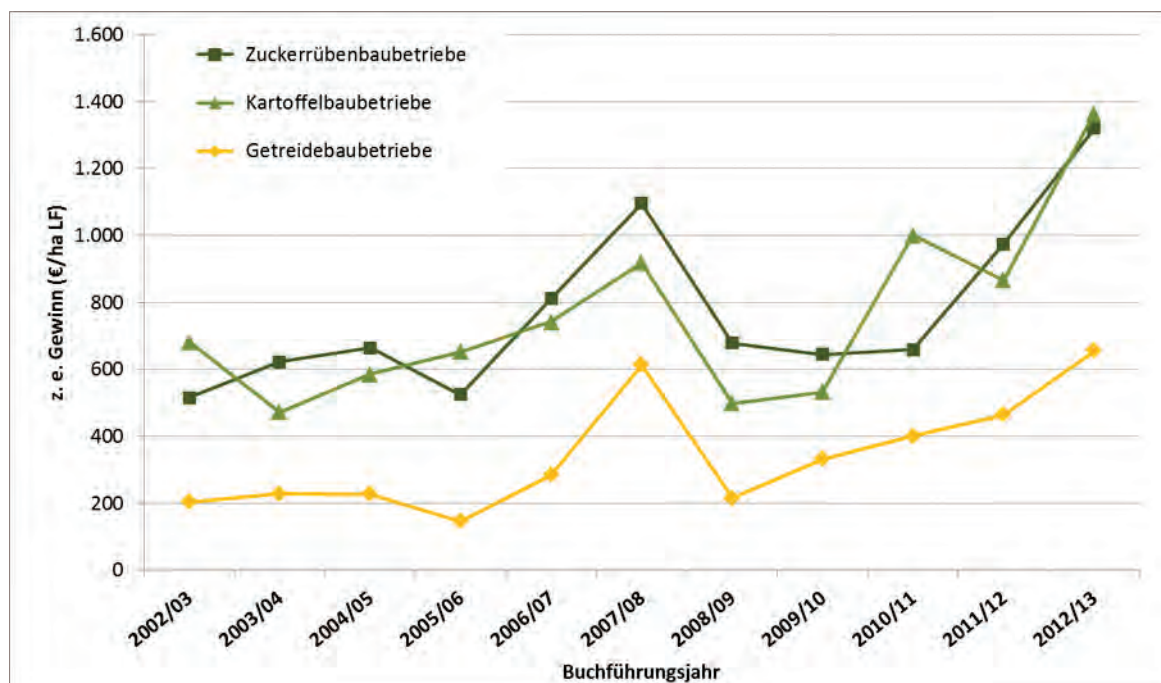


Abb. 2: Entwicklung der Deckungsbeiträge im fünfjährigen Durchschnitt für mittlere bayerische Verhältnisse (Quelle: eigene Berechnungen)



Marktfruchtbaubetriebe: HE, < 3 GV, ohne Öko, AF > 95 % LF, ohne Gemüse u. Sonderkulturen

Zuckerrübenbaubetriebe: Zuckerrüben > 15 % der AF und Kartoffeln < 3 ha

Kartoffelbaubetriebe: Kartoffeln > 10% der AF und Zuckerrüben < 3 ha

Getreidebaubetriebe: Kartoffeln < 5 % der AF und Zuckerrüben < 5 % der AF

Abb. 3: Entwicklung der Gewinne spezialisierter Marktfruchtbaubetriebe zwischen 60 und 150 ha LF in Bayern (Quelle: LFL (div. Jahre) [7])

4 Künftige Rahmenbedingungen

Stark schwankende Märkte mit Tendenz zur Seitwärtsbewegung

Die noch vor kurzem vielfach beschriebenen, sehr euphorischen Preiserwartungen (Lebensmittelknappheit, Energie) weichen einer nüchternen Einschätzung. FAO, OECD und andere gehen übereinstimmend davon aus, dass die künftigen Nachfragezuwächse problemlos produzierbar sind. Dabei werden die Produktionszuwächse vor allem in den Entwicklungs- und Schwellenländern Afrikas und Südamerikas liegen und weniger in den OECD-Staaten, die das Ertragspotential heute schon weitgehend ausschöpfen (siehe Abb. 4).

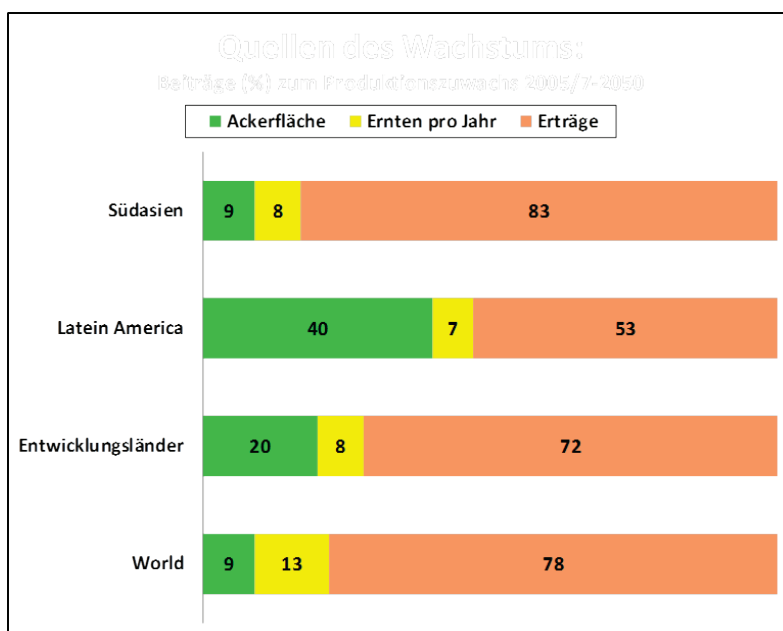


Abb. 4: Quellen des Wachstums (Beiträge (%) zum Produktionszuwachs 2005/7-2050)
(Quelle: SCHMIDHUBER (2014) [11])

Damit setzt sich die Verlagerung der weltweiten Agrarproduktion zu Lasten Europas beschleunigt fort (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Europas Bedeutung als Agrargebiet wird weiter abnehmen
(Quelle: ISERMEYER (2009) [12])

Die Verschiebung in den südamerikanischen und asiatischen Raum ist ganz offensichtlich und wird sich vermutlich weiter fortsetzen.

Die Produktionsentwicklung 1980 bis 2010			
	EU	Südamerika	Asien
• Milch:	-16%	+280%	+150%
• Fleisch	+ 6%	+380%	+ 20%
• Getreide	+ 1%	+100%	+100%

Ergebnis dieser Entwicklung:

- Der Anteil der EU an der Weltagrarproduktion hat sich in den letzten 30 Jahren von 33 % auf 16 % halbiert.
- Der internationale Vergleich bayerischer Getreideerträge zeigt (7 t/3 t) wie produktiv unsere Landwirtschaft ist, aber auch, dass die Reserven und zukünftigen Zuwächse woanders realisiert werden.

Es ist davon auszugehen, dass die Mehrproduktion eine Kombination von weiterer In-Kulturnahme von nutzbarer Agrarfläche und Ertragssteigerung sein muss, mit der eindeutigen Betonung der Realisierung gegebener Ertragspotentiale (Abb. 5).

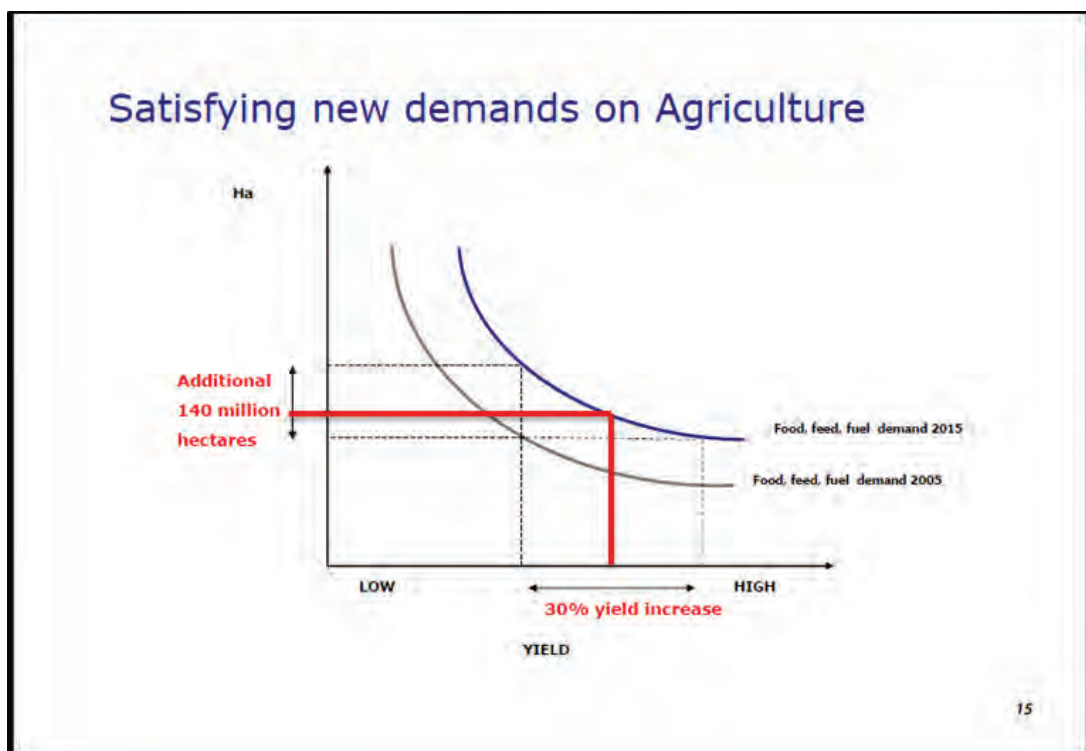


Abb. 5: Nachfragedeckung durch Flächenausdehnung und Intensivierung
(Quelle: BRAND (2011) [13])

Konsequenzen:

- Wir brauchen den Zuchtfortschritt auf den Äckern und in den Ställen.
- Wir brauchen den technischen Fortschritt.
- Wir brauchen den ausgebildeten Fachmann, der in der Lage ist, mit innovativen Produktionsmethoden die Potentiale zu nutzen.
- Wir brauchen das dafür notwendige Kapital.

Stagnation der landwirtschaftlichen Gewinnentwicklung

Selbst wenn sich das Preisniveau erheblich verbessern sollte, ist nach bisherigen Beobachtungen eine weitgehend parallele Veränderung auf der Kostenseite zu erwarten (siehe auch Abb. 1). Dies gilt insbesondere für die ertragssteigernden Betriebsmittel.

Daraus ergibt sich mittel- bis langfristig zumindest inflationsbereinigt ein hochgradig stabiler = stagnierender Verlauf der Rentabilitätsverhältnisse im Ackerbau wie in der gesamten Agrarbranche.

Die Preise für Gebäude, Maschinen und insbesondere landwirtschaftliche Nutzflächen werden davon abweichend offensichtlich weniger von den Marktverhältnissen agrarischer Güter bestimmt als von den gesamtwirtschaftlichen, globalen Konjunkturbewegungen. Hier haben sich starke, annähernd inflationäre Preisentwicklungen durchgesetzt, die solange bestehen werden, als die Nachfrageverhältnisse für die allgemeine Bauwirtschaft

und den industriellen Maschinenbau positiv sind. Aktuell gibt es ernste Signale, dass sich die jahrelang guten bis sehr guten Verhältnisse auch in Deutschland verschlechtern und sich damit die Preise für die Anlagegüter der Agrarwirtschaft wieder stabilisieren.

Angeheizter Bodenmarkt

Anders sind die Verhältnisse im Grundstücksverkehr einzuschätzen. Hier herrschen vermutlich auf Dauer ausgeprägte Knappheitsverhältnisse, die zu weiter steigenden Preisen führen müssen. Dies ist umso mehr zu erwarten, als außerlandwirtschaftliche Kapitalanleger mangels Alternativen auf die sichere Anlageform Grund und Boden zugreifen.

Tab. 3: Kaufwerte für landwirtschaftliche Grundstücke (ohne Gebäude und ohne Inventar) in den Regierungsbezirken Bayerns seit 1998
(Quelle: BAYLFSTAD (2013) [14])

Gebiet	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Veräußerte Fläche der landwirtschaftlichen Nutzung (FdIN) in Hektar (ha)											
Oberbayern	1 073	793	600	1 059	1 058	1 503	1 245	1 288	1 160	857	861
Niederbayern	740	820	963	1 108	1 210	1 401	1 253	1 084	1 113	840	1 046
Oberpfalz	640	797	670	545	959	1 130	997	538	631	913	1 075
Oberfranken	385	511	402	395	475	609	697	804	740	778	756
Mittelfranken	373	401	376	313	447	427	588	619	410	419	582
Unterfranken	886	544	546	806	905	1 004	882	645	678	716	1 075
Schwaben	979	1 123	1 151	1 343	1 255	1 317	1 398	1 064	1 434	1 245	1 193
Bayern	5 076	4 989	4 708	5 569	6 307	7 390	7 059	6 042	6 166	5 768	6 588
Kaufwert je ha veräußerte FdIN (Euro)											
Oberbayern	31 957	30 957	30 707	30 142	31 314	34 136	35 496	36 500	41 972	45 141	58 522
Niederbayern	25 373	26 201	27 350	33 058	31 537	33 197	31 341	30 579	36 595	40 416	59 944
Oberpfalz	21 263	20 961	20 221	21 963	19 675	20 171	21 426	21 427	25 219	27 717	31 608
Oberfranken	14 890	14 670	13 792	13 716	14 187	14 059	13 803	13 918	14 303	16 718	16 698
Mittelfranken	19 631	18 009	14 197	15 017	17 515	18 234	18 616	19 317	23 902	27 349	40 508
Unterfranken	15 875	14 689	17 751	15 105	14 699	18 436	18 995	18 550	19 465	22 129	25 546
Schwaben	22 656	24 091	22 791	24 191	23 738	24 380	24 873	27 712	32 387	36 470	43 122
Bayern	22 848	22 550	22 326	24 294	23 431	25 379	25 052	25 866	30 064	31 841	39 797

Solange das flächengebundene Prämiensystem der EU die Position der Landeigentümer einseitig bestärkt, wird sich das Phänomen **knapper und damit teurer landwirtschaftlicher Nutzfläche auch auf dem Pachtmarkt** dauerhaft einstellen.

Dies wird durch die Tatsache verstärkt, dass gerade in Bayern die Pachtpreisentscheidungen vielfach unter Teilkostenbedingungen getroffen werden und damit weit über den tatsächlich erzielbaren Renditen liegen. Die überdurchschnittlich hohe Stundenverwertung im Ackerbau und die Bereitschaft zur Hobbybewirtschaftung erhöhen die Neigung zu überhöhten Pachtpreiszahlungen.

Regenerative Energie mit unsicherer Zukunft

Die energetische Verwendung von landwirtschaftlicher Nutzfläche wird nicht weiter steigen, da die Wettbewerbsfähigkeit biogener Energienstoffe ohne staatliche Subventionierung auf absehbare Zeit nicht gegeben ist.

Tab. 4: *Installierte Stromleistung erneuerbarer Energien in Deutschland: Entwicklung und Prognose (Werte in GW) (Quelle: DLR, IWES, IFNE (2012) [15])*

	2000	2010	2020	2030	Vergleich 2030 zu 2010
Wasserkraft	4,24	4,40	4,70	4,92	+ 0,52
Windenergie	6,10	27,20	49,00	67,20	+ 40,0
Photovoltaik	0,08	17,30	53,50	61,00	+ 43,7
Biomasse	1,17	6,34	8,96	10,00	+ 3,7
Sonstiges	-	-	1,00	4,60	+ 4,6
Gesamt	11,59	55,24	117,16	147,72	+92,5

Nachrichtlich 2012:
D: 7400 Anlagen, 3200 MW
By: 2400 Anlagen, 700 MW

Der in 2013 einsetzende und 2014 verstärkte Preisrückgang fossiler Energiepreise hat zusammen mit den weltweit erreichten Spitzenernten den Preisdruck auf Agrarprodukte empfindlich erhöht. Abbildung 6 zeigt am Beispiel Weizen, dass der enge Zusammenhang von Energie- und Agrarmärkten entgegen bisheriger Erfahrungen auch negative Auswirkungen haben kann.

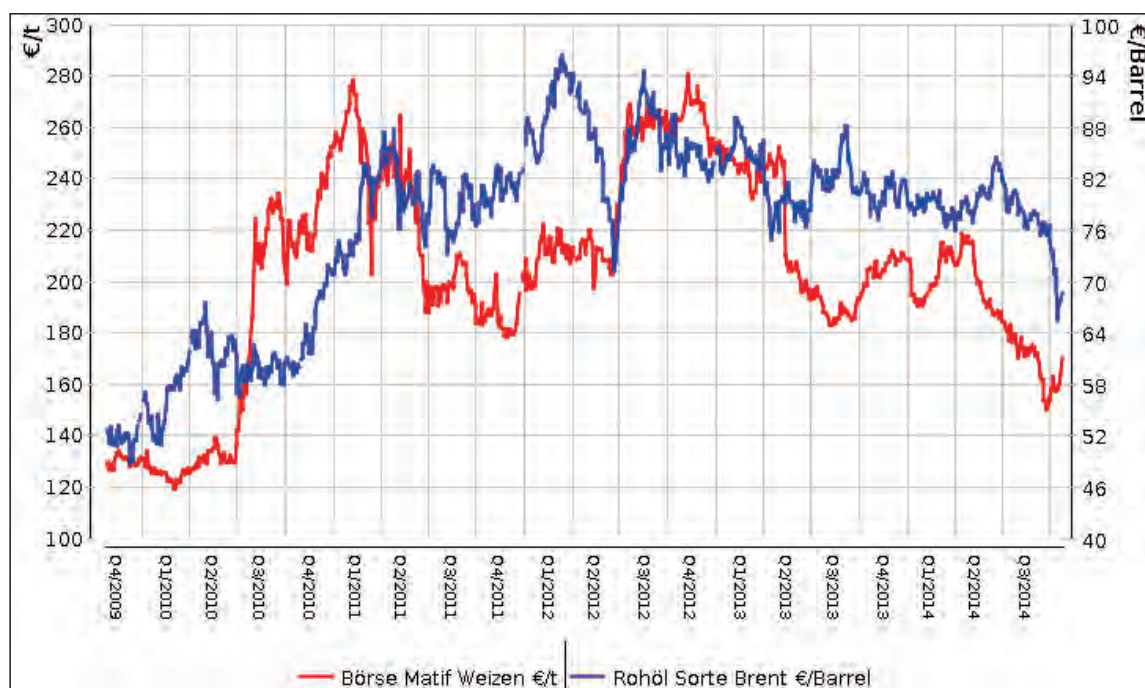


Abb. 6: *Weizenpreise folgen den Ölpreisen (Quelle: LFL-IEM (2014) [16])*

Abbildung 7 zeigt, dass nach Einschätzung der US-Administration die USA wegen der explosiven Ausdehnung der Fracking-Gasgewinnung noch vor 2020 zum Nettoexporteur von fossiler Energie werden.

In diesem Fall gibt es handfeste Gründe für die Annahme, dass die Energiekosten mittelfristig sogar weiter rückläufig sein könnten und damit das Agrarpreisniveau nachhaltig unter Druck gerät.

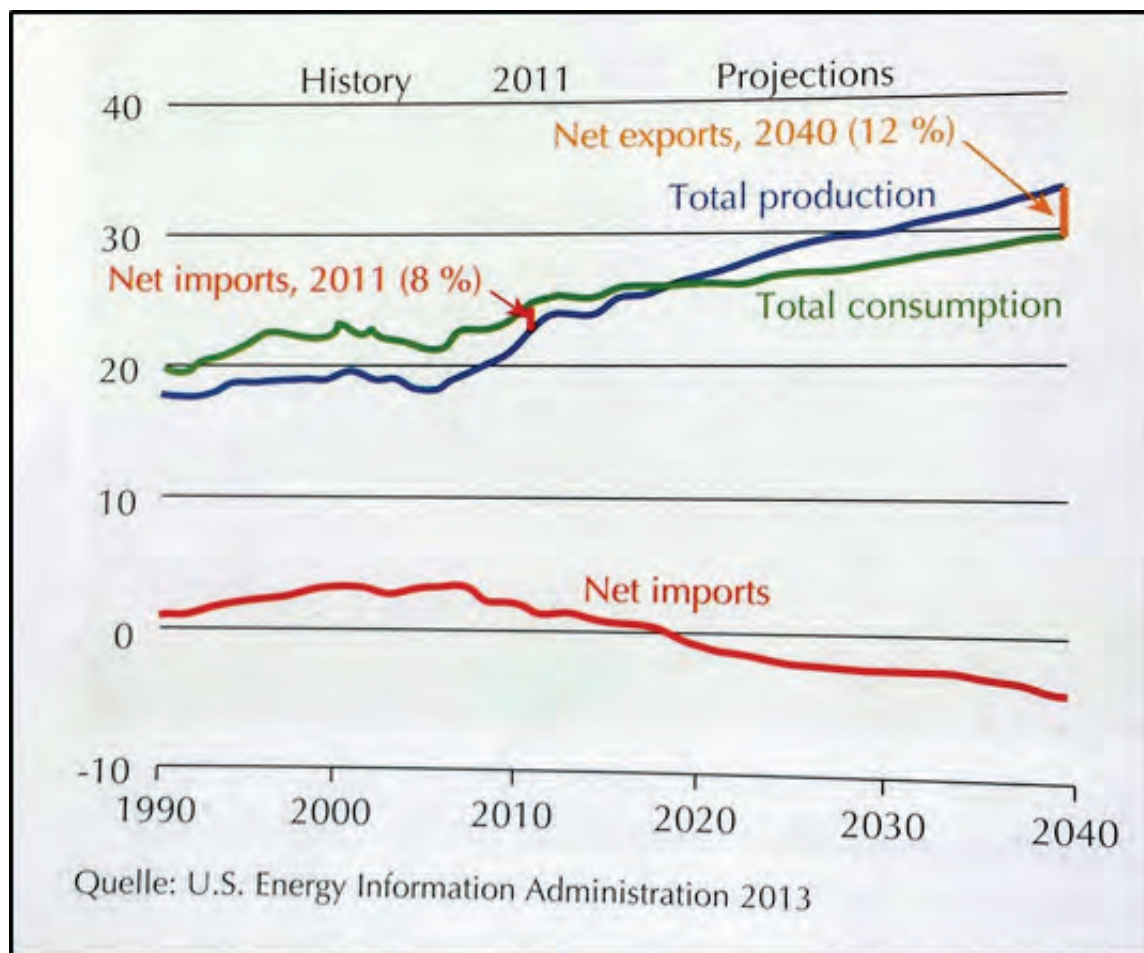


Abb. 7: Produktion, Verbrauch und Nettoeinführen von Erdgas in den USA

Konsequenzen:

- Energie als Preismotor für Agrarprodukte wird weniger oder gar nicht mehr wirksam sein.
- Die positiven Einkommenseffekte aber auch negativen Verknappungseffekte von agrarischer Energieerzeugung werden abnehmen bzw. verschwinden.
- Preisbestimmende Größe der Agrarmärkte wird wie für alle anderen Rohstoffmärkte die Weltkonjunktur sein.

Hohe Bonität und extrem niedrige Zinsen

Die Zinsentwicklung in Deutschland ist seit mehr als 10 Jahren durchgängig abwärts gerichtet (Abb. 8). Mit einem Kapitaldienst von 1.000 €/Monat kann heute bei 20-jähriger Laufzeit ein Darlehen von gut 200.000 € - das ist fast das Doppelte des Jahres 2003 - bedient werden.

Folglich ist ein verstärkter Einstieg finanzstarker Betriebe mit hoher Bonität in nichtlandwirtschaftliche Investitionen anzunehmen und damit eine verstärkte Diversifizierung der bayerischen Landwirtschaft zu erwarten. Die Chance zur Vermögensbildung ist so groß wie noch nie.



Abb. 8: Zinsentwicklung für 10jährige Hypothekendarlehen (Quelle: DR. KLEIN & Co. AG (2014) [17])

Ressourcenschutz und die klimafreundliche Produktion

Alle Staats- und Regierungschefs der 28 EU-Staaten waren sich auf dem EU-Klimagipfel im Oktober 2014 einig, dass die vom Menschen verursachte Erderwärmung eine Bedrohung für den gesamten Planeten ist, und dass der bereits begonnene Klimawandel nur gestoppt werden kann, wenn der Ausstoß von CO₂ und anderen klimaschädlichen Gasen schnell und radikal verringert wird.

Die landwirtschaftliche Bearbeitung des Bodens, Stickstoffdüngemittel und die Tierhaltung sind entscheidende Emissionsquellen für die Treibhausgase Lachgas und Methan. 2012 stammten 53 Prozent der gesamten Methan- und sogar 77 Prozent der Lachgas-Emissionen aus der Landwirtschaft. Effiziente Minderungsmaßnahmen sind daher dringend erforderlich.

In der Folge wird es zu einem weiteren Ausbau der Rechtsbereiche des Tier-, Umwelt- und Klimaschutzes kommen, mit starken Einschränkungen und komplexen Produktionsauflagen für die Landbewirtschaftung. Neben den Boden-, Gewässer- und Tierschutzregelungen werden erheblich verschärfte Vorschriften zur CO₂-Reduzierung besondere Bedeutung haben. Ressourcenschutz und die klimafreundliche Gestaltung von Produktionsprozessen werden zukünftig also wesentlich mehr als heute die Verfahrensabläufe bestimmen.

Die Roboter wandern vom Stall auf das Feld

In der Technik der Außenwirtschaft werden sich die Entwicklungen weniger auf Schlagkraft, Maschinengröße und PS-Leistung konzentrieren als auf Präzisierung, Dosiergenauigkeit, maximale Bodenschonung und optimale Behandlung der Erntegüter.



Abb. 9: Pflorgetechnik von morgen?(Quelle: DE BAËY-ERNSTEN (2012) [18])

Eine sehr vielversprechende Entwicklung sind feldspektroskopische Messungen von Pflanzenbeständen zur Quantifizierung von Erträgen und daraus abgeleitetem Düngbedarf (Abb. 10).



Abb. 10: Erträge messen und Düngermenge bestimmen mit Feldspektroskopie (Quelle: MAIDL (2014) [19])

Versuchsergebnisse aus Praxis zeigen, dass gleich hohe Erträge mit deutlich geringeren Stickstoffgaben zu realisieren sind (siehe Beitrag MAIDL ET AL., S. 63).

5 Literaturverzeichnis

- [1] BAYLfSTAD [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATEN-
VERARBEITUNG] (div. Jahre): Ergebnisse aus der Landwirtschaftszählung 2010
und Agrarstrukturerhebungen 2007 und 2013.
- [2] DESTATIS [STATISTISCHES BUNDESAMT] (div. Jahre a): Bodennutzung der Be-
triebe – Landwirtschaftlich genutzte Flächen.
- [3] DESTATIS [STATISTISCHES BUNDESAMT] (div. Jahre b): Preisindizes für die
Landwirtschaft.
- [4] EEG (2012): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-
Energien-Gesetz – EEG). Konsolidierte (unverbindliche) Fassung des Gesetzes-
textes in der ab 1. Januar 2012 geltenden Fassung. [http://www.bundesanzeiger-
verlag.de/fileadmin/BIV-Portal/Dokumente/eeg_2012_bf.pdf](http://www.bundesanzeiger-
verlag.de/fileadmin/BIV-Portal/Dokumente/eeg_2012_bf.pdf) (22.10.2014).
- [5] EEG (2014): Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-
Energien-Gesetz – EEG 2014). Nicht-amtliche Lesefassung des EEG in der ab 1.
August 2014 geltenden Fassung. [http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/G/
gesetz-fuer-den-ausbau-erneuerbarer-energien,property=pdf,bereich=bmwi2012,
sprache=de,rwb=true.pdf](http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/G/
gesetz-fuer-den-ausbau-erneuerbarer-energien,property=pdf,bereich=bmwi2012,
sprache=de,rwb=true.pdf) (22.10.2014).
- [6] INVEKOS [INTEGRIERTES VERWALTUNGS- UND KONTROLLSYSTEM] (div. Jahre):
Datenauswertung. Unveröffentlicht.
- [7] LfL [BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT] (div. Jahre): Buch-
führungsergebnisse aus dem Testbetriebsnetz. Unveröffentlicht.
- [8] STMELF [BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG,
LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN] (2014): Merkblatt 2014. Genehmigung eines
Umbruchs von Dauergrünland.
[http://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/m_
dauergruenland.pdf](http://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/m_
dauergruenland.pdf) (21.10.2014).
- [9] STROBL, M. (2014): Biogas in Zahlen – Bayern zum 31.12.2013. Auszug aus der
Biogas-Betreiber-Datenbank Bayern (BBD). [http://www.lfl.bayern.de/mam/
cms07/iba/dateien/bbd_biogaszahlen_bayern_20131231_details.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/
cms07/iba/dateien/bbd_biogaszahlen_bayern_20131231_details.pdf)
(22.10.2014).
- [10] VERBAND FRÄNKISCHER ZUCKERRÜBENANBAUER (2007): Geschäftsbericht
2006/2007.
- [11] SCHMIDHUBER, J. (2014): Europas Landwirtschaft 2030: Herausforderungen im
Spannungsfeld Gesellschaft, Markt und Politik (Vortrag).
- [12] ISERMEYER, F. (2009): Milchviehbetriebe 2020. In: DLG-Tagungsband Land-
wirtschaft 2020.
- [13] BRAND, J. (2011): Internationale Perspektiven der Agrarwirtschaft (Vortrag).
- [14] BAYLfSTAD [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATEN-
VERARBEITUNG] (2013): Kaufwerte für landwirtschaftliche Grundstücke (ohne
Gebäude und ohne Inventar) in den Regierungsbezirken Bayerns seit 1998.

- [15] DLR [DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT], IWES [FRAUNHOFER INSTITUT FÜR WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK] , IFNE [INGENIEURBÜRO FÜR NEUE ENERGIEN] (2012): Studie zur Energiegewinnung bis 2050 in Deutschland. In: Agra-Europe 16/2012.
- [16] LfL-IEM [BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, INSTITUT FÜR ERNÄHRUNGSWIRTSCHAFT UND MÄRKTE] (2014): Chartvergleich am 27.10.2014. <http://www.lfl-design3.bayern.de/iem/marktinfo/chart/>
- [17] DR. KLEIN & Co. AG (2014): Zinsvergleich am 27.10.2014. <http://dynamisch.drklein.de/vergleich/drklein/baufinanzierung/zinsbarometer?Laufzeit=10&Zeitdauer=7200>
- [18] DE BAERY-ERNSTEN, H. (2012): Technischer Fortschritt in der Landwirtschaft (Vortrag).
- [19] MAIDL, F. X. (2014): Spektralmessungen an Pflanzen (Vortrag).

Erosion im Ackerbau – ein Zustandsbericht

Robert Brandhuber¹, Michael Kistler¹ und Dr. Harald Maier²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Ökologischen Landbau,
Bodenkultur und Ressourcenschutz, Lange Point 6, 85354 Freising

²Deutscher Wetterdienst, Agrarmeteorologie, Niederlassung Weihenstephan,
Alte Akademie 16, 85354 Freising-Weihenstephan

Zusammenfassung

In den Jahren 2011 und 2012 wurden im bayerischen Tertiärhügelland und untergeordnet in weiteren Gebieten Bayerns Erosionsereignisse mit Hilfe von RADOLAN-Niederschlagsdaten identifiziert und umfassend u.a. mit eigens beauftragten Luftbildern dokumentiert. Für 4.240 Feldstücke mit Ackernutzung liegen umfangreiche erosionsrelevante Daten vor. In 1.952 Fällen sind es Feldstücke mit Maisanbau. Es wurden Auswertungen vorgenommen, wie weit Erosionsschutzmaßnahmen Wirkung zeigten und welche erosionsbestimmenden Faktoren unter welchen Bedingungen besonders zum Tragen kamen.

Die wesentlichen Erkenntnisse sind folgende:

Die mit Abstand meisten Erosionsschäden gehen auf Maisanbau in Hanglagen zurück.

Am häufigsten sind Erosionsschäden auf Maisfeldern ohne erkennbaren Erosionsschutz. Mais-Mulchsaat nach Zwischenfruchtanbau wird zwar häufig praktiziert, der Boden wird aber vor der Maissaat meist zu intensiv bearbeitet, so dass nur noch wenig Mulchmaterial auf der Bodenoberfläche verbleibt. Schutz vor Bodenerosion ist dann während der Starkregenereignissen im Mai/Juni nur mehr eingeschränkt vorhanden.

Unter den häufig angetroffenen Bedingungen bei Maisanbau in Hanglage mit geringer Bodenbedeckung im Mai/Juni nahmen die Erosionsschäden mit zunehmender Hanglänge und Schlaggröße zu. „Quer zum Hang“ war keine allein ausreichende Schutzmaßnahme.

In Hanglagen angebaute Kartoffeln wurden im Projektgebiet nur in geringem Umfang dokumentiert, waren aber häufig von Erosionsschäden betroffen.

Bei frühen Sommerkulturen wurden nur bei sehr frühen Starkregenereignissen (bis Anfang Mai) Erosionsschäden festgestellt. Danach schützt die geschlossene Pflanzendecke vor Bodenabträgen.

Die meisten dokumentierten CC-Erosionsschutzstreifen erwiesen sich so, wie sie angelegt waren, als wenig wirksam. Richtig platziert und gut entwickelt könnten sie einen gewissen Schutz bieten.

Abgetragener Boden gelangt vor allem dort in Gewässer, wo Hänge in ihrer gesamten Länge mit Mais (oder anderen Reihenkulturen) bestellt sind und Tiefenlinien gebündelten Abfluss mit hoher Schleppkraft ermöglichen. Bei starkem Wasserzustrom werden schmale Grünstreifen und auch Ranken und Wege überspült.

Kulturartenwechsel im Hang erwies sich als einfach realisierbare und wirksame Maßnahme, um Erosionsschäden einzugrenzen. Um Erosion ausreichend zu verhindern, müsste aber auf den Maisflächen als Flächenschutz eine Mulchdecke vorhanden sein.

1 Einleitung

Bodenerosion mindert auf Dauer die Ertragsfähigkeit der Böden, trägt wesentlich zur Belastung der Gewässer mit Schlamm und Phosphat bei und kann in Einzelfällen zu erheblichen Schäden und Störungen im Bereich von Straßen und Siedlungen führen. Auslöser von Bodenerosion durch Wasser sind vor allem Starkregenereignisse (AUERSWALD ET AL., 2009; BRANDHUBER, 2012). Der Klimawandel nimmt möglicherweise Einfluss auf Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen (ROUTSCHEK, 2012; WURBS & STEININGER, 2011). Die Weiterentwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zum Erosionsschutz dient der Landwirtschaft selbst, liegt aber im Sinne der Daseinsvorsorge genauso im öffentlichen Interesse (SCHMIDT ET AL., 2013; DWA, 1012).

Landwirte integrieren verschiedene Erosionsschutzmaßnahmen in die Bewirtschaftung ihrer Felder, freiwillige (mit oder ohne Förderung durch Agrarumweltmaßnahmen) und verpflichtende (insb. Cross Compliance Vorschriften).

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde geprüft, wie weit die Ausgestaltung der CC-Erosionsschutzverpflichtungen in Bayern, aber auch einschlägige Agrarumweltmaßnahmen dem Schutz vor Wassererosion dienen. Schwerpunkt des Projektes war die umfassende Dokumentation von möglichst vielen konkreten Erosionsereignissen im Projektzeitraum von April 2011 bis April 2013. Ein umfassender Ergebnisbericht ist als LfL-Schrift veröffentlicht (KISTLER ET AL., 2013).

2 Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet

Für die Feldstudie ist auf Grundlage des „Erosionsatlas Bayern“ (<http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/index.php>) ein Hauptuntersuchungsgebiet ausgewählt worden. Das Erosionsrisiko ist im bayerischen Tertiärhügelland am höchsten, deshalb fiel die Wahl auf dieses Gebiet (AUERSWALD ET AL., 2009; TREISCH & BRANDHUBER, 2012). In die Untersuchung und Auswertung aufgenommen wurden in geringerem Umfang auch Gebiete außerhalb des Tertiärhügellandes.

2.2 Identifikation von Starkregenereignissen mit RADOLAN

Niederschläge werden üblicherweise in Niederschlagsgebern nach Hellmann gemessen. Diese liefern die Niederschlagshöhe- und -intensität an einem Ort („Punkt“) mit hoher Genauigkeit. Die räumliche Repräsentanz ist gering. Wetterradargeräte messen dagegen das Niederschlagsaufkommen flächendeckend. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) betreibt ein Netz von 17 Radarstationen in Deutschland. Um quantitativ korrekte Niederschlagshöhen zu erhalten, ist eine Aneichung mithilfe automatischer Niederschlagsmesser am Boden erforderlich. RADOLAN (RADAR OnLine ANeichung) ist ein vom DWD entwickeltes Verfahren zur Online-Aneichung von Radarniederschlagsdaten. RADOLAN wird vor allem für die Hochwasservorhersage genutzt, erweist sich aber auch für die Loka-

lisierung von Erosionsschäden als hilfreich. Die Intensitätsauflösung liegt bei 0,1 mm, die räumliche Auflösung beträgt 1 km².

Die RADOLAN-Tagesniederschlagssummen stellte der DWD, Niederlassung Weihenstephan als Datensatz und zusätzlich aufbereitet als Bayernkarte zur Verfügung. Im Fokus stand insbesondere die Zeit von Mai bis Juni, wenn konvektive Niederschläge auf Böden mit wenig Bedeckung fallen. Neben Tagesniederschlagsdaten werden mit RADOLAN auch Stunden- und 5-Minutenwerte generiert. Die Stunden- und 5-Minutenwerte erlauben es, die Intensität und damit die Erosivität des Niederschlages einzuschätzen. Abb. 1 zeigt exemplarisch die maximalen Stundenniederschläge am 21.5.2012 im Bayerischen Wald zwischen Roding und Stallwang.

Für die spätere Auswertung ist auch die Jährlichkeit (Wiederkehrzeit) der Niederschlagsintensität von Bedeutung, sie wurde mit Hilfe des KOSTRA-Atlas des DWD (KOSTRA DWD 2000, BARTELS ET AL., 1997) bestimmt. Die erosionsauslösenden Starkniederschläge im Projekt hatten ganz überwiegend eine Wiederkehrzeit von weniger als 10 Jahren.

2.3 Identifikation von Gebieten mit Erosionsschäden

Mit Hilfe digitaler Geodaten der Bayerischen Landesvermessungsverwaltung, der Daten aus dem Erosionsatlas Bayern, den CC-Wassereinstufungen und den Informationen über den Anbau der Kulturen aus INVEKOS konnte für das von Starkregen betroffene Gebiet eine Prognose für Erosionsschäden gestellt werden. Ergab die Prognose eine hohe Wahrscheinlichkeit für Erosionsschäden, so erfolgte in der Regel eine Beurteilung vor Ort.

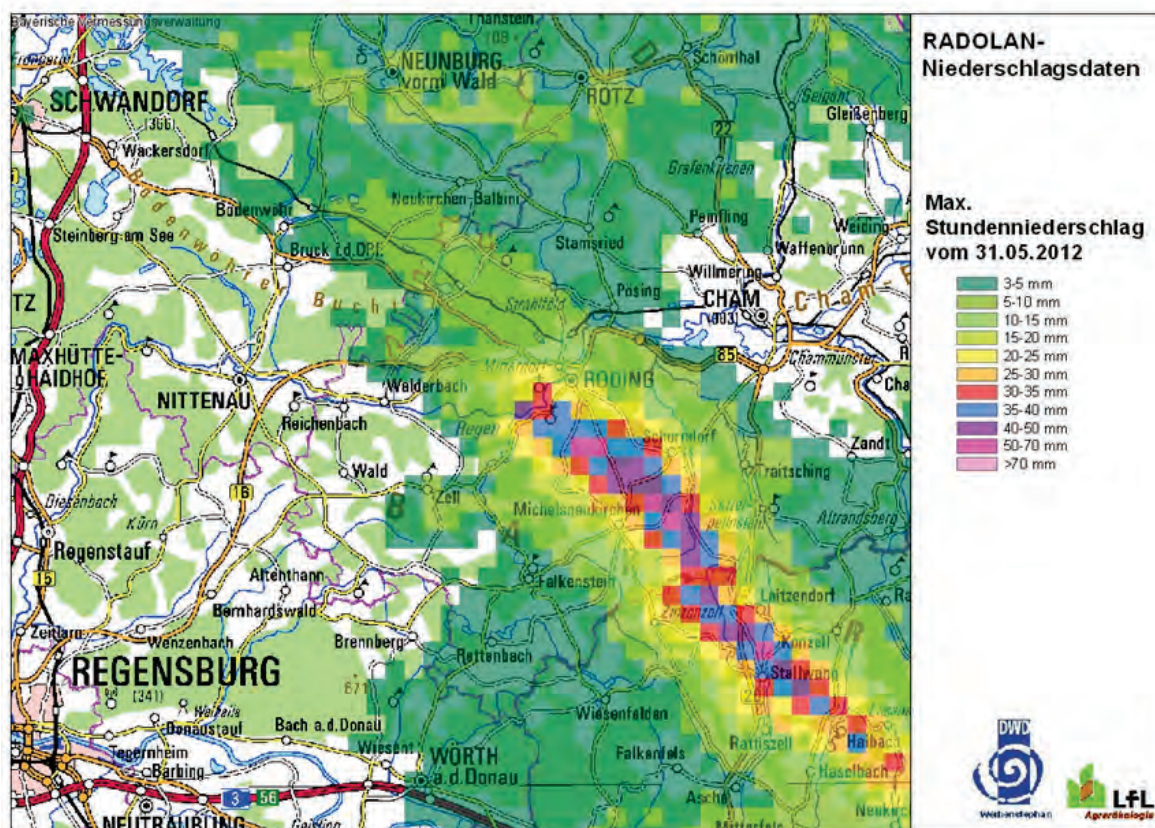


Abb.1: Maximaler Stundenniederschlag am 31.05.2012

2.4 Luftbildaufnahmen in Erosionsgebieten

Wiesen mehrere Flächen Erosionsschäden auf, so wurden von dem betroffenen Gebiet Luftbilder beauftragt. Die Luftbilder wurden in einem Zeitraum von 14 Tagen nach dem Erosionsereignis erstellt. Sie sind nicht entzerrt, aber georeferenziert. Insgesamt entstanden während der Projektlaufzeit ca. 2.500 Luftbilder.

Einen Überblick über alle Gebiete mit Luftbildaufnahmen der Jahre 2011 und 2012 gibt Abb. 2. Die meisten Aufnahmen entstanden im Tertiärhügelland.

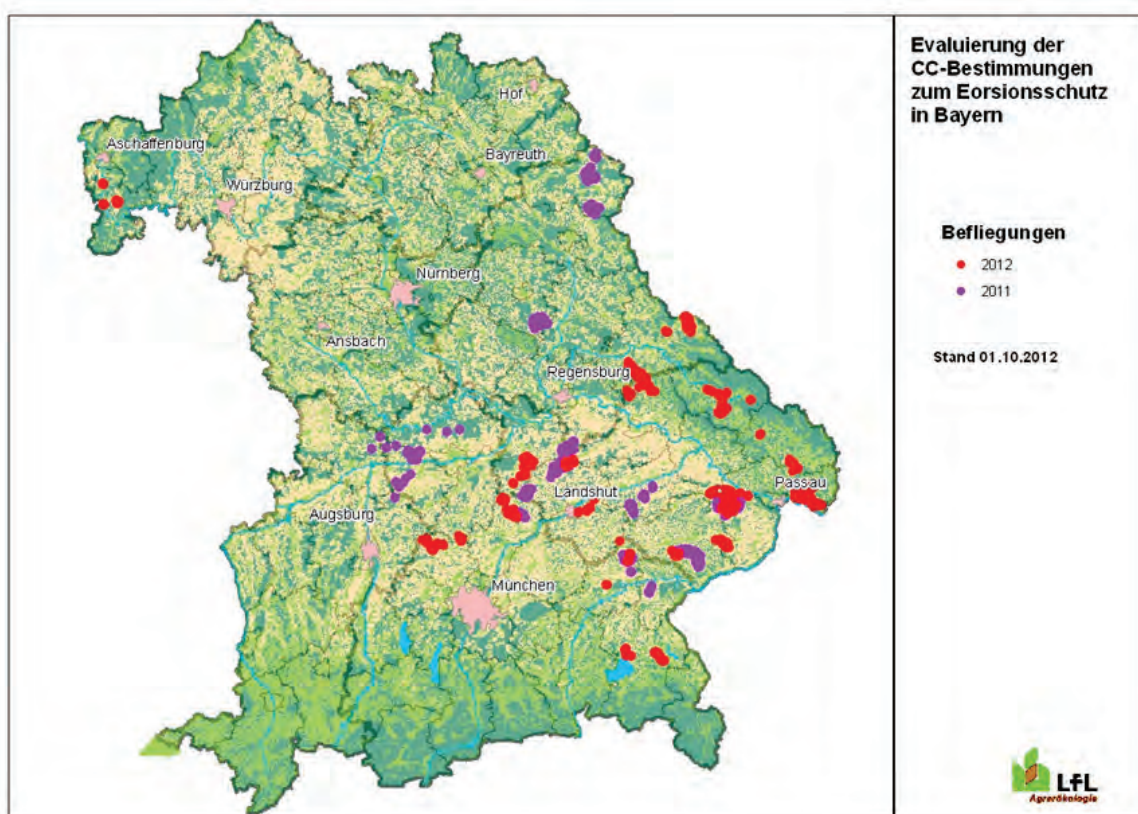


Abb.2: Gebiete mit Luftbildaufnahmen in den Jahren 2011 und 2012

Sobald die Sichtung der Luftbilder abgeschlossen war, wurden als besonders interessant identifizierte Flächen und deren Umfeld im Gelände aufgenommen. Bei der Bestandsaufnahme vor Ort wurden Parameter erfasst, die auf dem Luftbild nicht oder nicht ausreichend genau zu erkennen sind.

2.5 Datenbestand

In einer Tabelle wurden alle Daten zu den Feldstücken in den Erosionsgebieten zusammengefasst: aus dem INVEKOS-Datensatz u.a. die Feldstückgröße, die aktuelle KULAP-Maßnahme und die CC-Wasser-Einstufung, weiterhin die erosive Hanglänge, die Hangneigung, die ABAG-Faktoren, der Erosion auslösende Niederschlag (Tagessumme, maximaler Stunden- und 5-Minuten-Niederschlag) und Daten der Bestandsaufnahmen vor Ort.

Der Erosionsschaden wurde anhand der Luftbilder in vier Klassen eingeteilt: kein Schaden, geringer, deutlicher und erheblicher Erosionsschaden. Die Einstufung orientiert sich an Musterbeispielen.

Der Datensatz ist anonym, Bewirtschafter, Gemeinde und Landkreis werden nicht gespeichert. Insgesamt umfasst die Tabelle 4.240 Ackerfeldstücke. Für 543 Feldstücke liegen Daten aus der Vor-Ort-Ermittlung vor.

2.6 Auswertung der erfassten Daten

In der hier präsentierten Auswertung wird der jeweiligen Faktorenausprägung (z.B. mit und ohne KULAP-Mulchsaat zu Mais) die Anzahl der einzelnen Feldstücke in den vier Erosionsschadensklassen zugeordnet. Das prozentuale Verhältnis der Schadensklassen in den Faktorenausprägungen erlaubt dann einen Vergleich zwischen den Faktorenausprägungen.

3 Ergebnisse

3.1 Von Erosion betroffene Kulturen

Insgesamt sind 4.240 Feldstücke mit Ackernutzung erfasst. Unter Winterungen fallen alle Wintergetreidearten und Raps (1.783 Feldstücke). Frühe Sommerungen (Sommergetreide, Ackerbohnen, Erbsen u.a.) (448 Feldstücke), sonstige Reihenkulturen sind alle Reihenkulturen außer Mais (57 Feldstücke). 1.952 Feldstücke und damit 46 % aller dokumentierten Feldstücke waren mit Mais bestellt. Die Kulturartenverteilung (Abb. 3) spiegelt die Verhältnisse im Hauptuntersuchungsgebiet wider.

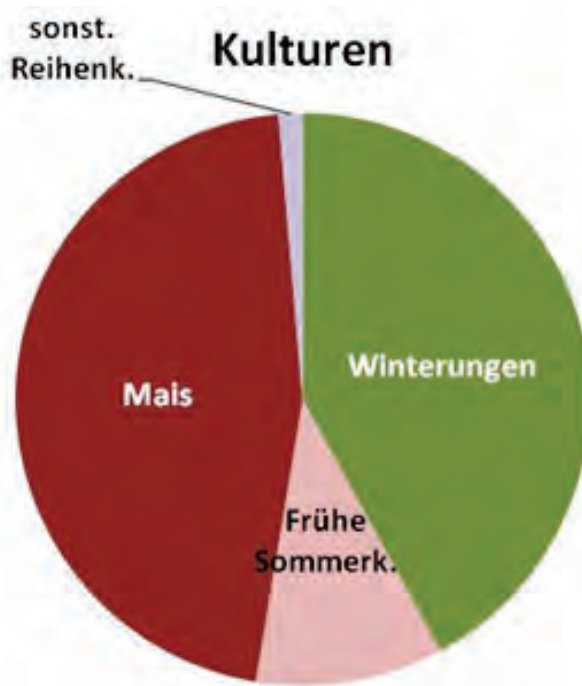


Abb.3: Anteil der jeweiligen Kulturen auf den dokumentierten Feldstücken in Erosionsgebieten im Zeitraum Mai/Juni der Jahre 2011 und 2012

Die Abb. 4 und 5 und geben einen Überblick über die Verteilung der in den Monaten Mai und Juni dokumentierten Feldstücke auf die verschiedenen Kulturen und die Erosionsschadensklassen.

Winterungen wiesen im Zeitraum Mai/Juni keine erkennbaren Erosionsschäden auf. Grund ist die fortgeschrittene Entwicklung der Kulturen im Mai/Juni mit sehr hoher Bodenbedeckung und guter Durchwurzelung.

Ein ähnliches Bild zeigen frühe Sommerkulturen, jedoch mit der Einschränkung, dass einzelne Feldstücke von geringer bzw. deutlicher Erosion betroffen waren.

Dagegen sind über 75 % der Feldstücke mit Maisanbau von Erosion betroffen (siehe dazu die Bodenabtragsberechnungen in Abhängigkeit von der Maisanbaufläche in Bayern: BRANDHUBER & TREISCH 2012). Mit der hohen Anzahl von 1.952 Feldstücken sind bei Mais aussagekräftige Auswertungen mit entsprechenden Klassifizierungen möglich.

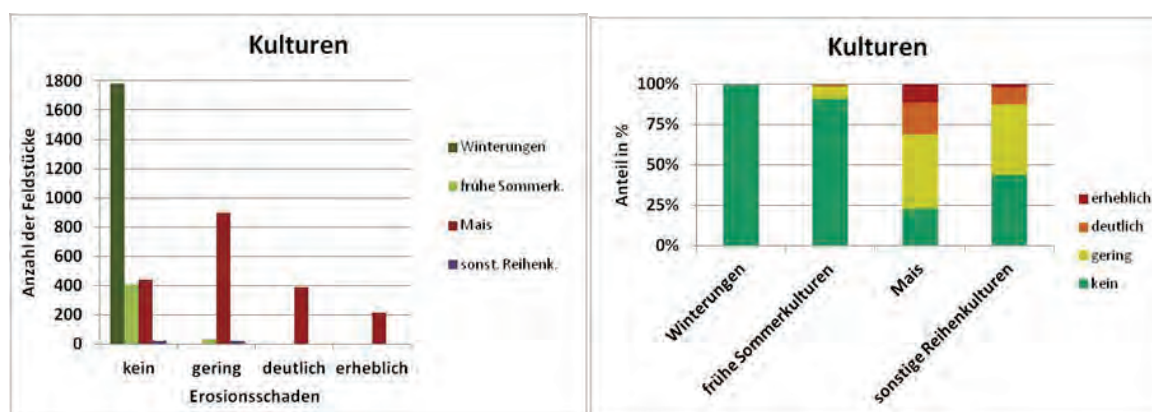


Abb.4: Anzahl der Feldstücke nach Kultur und Erosionsschaden (Mai/Juni)

Abb.5: Kulturen mit den anteiligen Erosionsschäden (Mai/Juni)

Bei sonstigen Reihenkulturen (Kartoffeln, Zuckerrüben) ist die Aussagekraft weiterer Auswertungen aufgrund der geringen Anzahl von nur 57 erfassten Feldstücken begrenzt.

3.2 Mais

Die hohe Anzahl von 1.952 dokumentierten Feldstücken mit Maisanbau erlaubt eine differenzierte Analyse der Effekte verschiedener Erosionsschutzmaßnahmen und erosionsbeeinflussender Faktoren.

3.2.1 Maismulchsaat mit Saatbettbereitung

Die häufigste Erosionsschutzmaßnahme auf Maisflächen ist die Einsaat einer Zwischenfrucht nach der Vorfrucht, die im Frühjahr im Rahmen der Gülleausbringung und Saatbettbereitung mehr oder weniger intensiv eingearbeitet wird (Mulchsaat mit Saatbettbereitung).

Mulchauflagen mit einem Bodenbedeckungsgrad über 15 % (nach der Maissaat) wurden nur in wenigen Flächen angetroffen. Drei Viertel der 128 vor Ort bewerteten Feldstücke mit Mais-Mulchsaat mit Saatbettbereitung wiesen eine Bodenbedeckung von unter 10 % auf. Unterhalb von 10 % Bodenbedeckung fand keine Differenzierung mehr statt.

Gründe für die geringe Mulchauflage können sein

- eine zu späte Zwischenfruchtsaat,
- ungünstige Witterungsbedingungen im Sommer bzw. Herbst,
- intensive und mehrfache Bodenbearbeitung vor der Saat (z.B. mit der Kreiselegge).

Datengrundlage der Abb. 6 und 7 sind alle 128 vor Ort beurteilten Maisflächen, die im Zeitraum Mai/Juni in einem Erosionsgebiet lagen. Die tatsächliche Bodenbedeckung in der Klasse bis 10 % lag bei durchschnittlich ca. 5 %, in der Klasse 10 – 30 % meist nur wenig über 10 %. Eine Bodenbedeckung über 30 % wies nur 1 Feldstück auf. Eine Schutzwirkung der etwas höheren Bodenbedeckung (> 10 % gegenüber < 10 %) ist gegeben, wie die Auswertung zeigt.

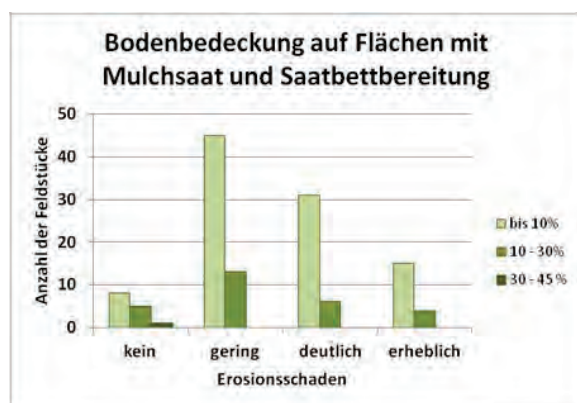


Abb.6: Anzahl der Feldstücke nach Bodenbedeckung und Erosionsschaden

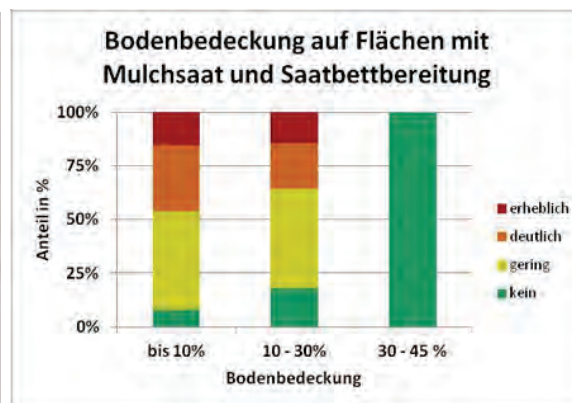


Abb.7: Bodenbedeckung und Erosionsschaden

3.2.2 KULAP-Mulchsaat bei Mais

Im Rahmen des Bayerischen Kulturlandschaftsprogramms (KULAP) wird die Mulchsaat vor Reihenkulturen als Maßnahme zum Erosionsschutz gefördert (A33).

Anhand des umfassenden Datensatzes von 1.952 Feldstücken mit Maisanbau wurde folgende Auswertung vorgenommen. Klassifiziert wurde nach Feldstücken mit und ohne KULAP-Mulchsaat. Mulchsaaten ohne Förderung fallen in die Kategorie „ohne Mulchsaat“. Die Gegenüberstellung der Klassen mit und ohne KULAP-Mulchsaat belegt eine erosionsmindernde Wirkung der KULAP-Mulchsaat. Deutliche und erhebliche Schäden treten weniger häufig auf und dies bei im Mittel etwas höherer Hangneigung und Hanglänge der KULAP-Mulchsaat-Feldstücke.

Dass dennoch viele KULAP-Mulchsaatflächen Erosionsschäden aufweisen, liegt an der geringen Bodenbedeckung. Bei der Vor-Ort-Beurteilung lag der Bedeckungsgrad der 102 KULAP-Mulchsaatflächen in 75 % der Fälle unter 10 % (real im Schnitt bei 5 %). In der Klasse „ohne KULAP-Mulchsaat“ lag der Bedeckungsgrad in 93 % der Fälle unter 10 %.

Festzuhalten bleibt, dass das Potenzial der Mulchsaat zum Erosionsschutz in der Praxis überwiegend nicht ausgeschöpft wird, weil nach intensiver Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung zu wenig Mulchmaterial auf den Flächen verbleibt.

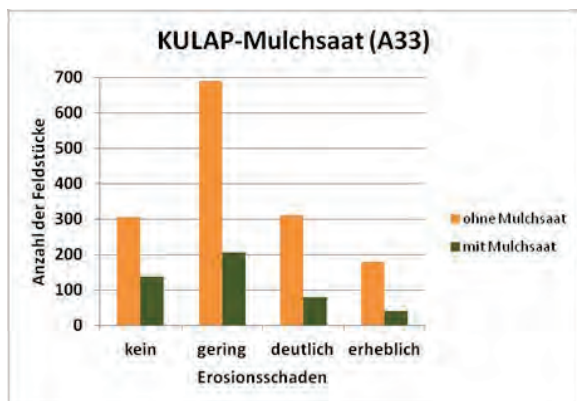


Abb. 8: Anzahl der Feldstücke nach KULAP-Mulchsaat und Erosionsschaden (Maisflächen)

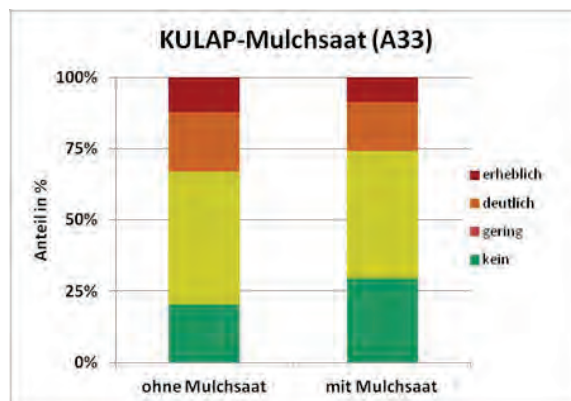


Abb.9: KULAP-Mulchsaat (Maisflächen) und Erosionsschaden

3.2.3 Temporäre Grünstreifen in Maisfeldern: CC-Streifen

Temporäre Grünstreifen in Maisfeldern, die die Kriterien der Cross Compliance-Bestimmungen nach Erosionsschutzverordnung (ESchV) erfüllen („CC-Streifen“), wurden im Rahmen des Projekts nur in geringem Umfang vorgefunden.

Voraussetzung für eine erosionsmindernde Wirkung der Streifen ist zunächst die Platzierung quer zum Hang. Außerdem ist der Aussaatzeitpunkt von Bedeutung. Je früher eingesät wird, umso schneller kann der Streifen eine bremsende Wirkung erzielen. Weiterhin ist ausreichend Saatgut zu verwenden, um einen möglichst dichten Streifen zu erhalten. Bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln im Bestand ist darauf zu achten, dass der CC-Streifen ausgespart wird.

CC-Streifen, die all diese Kriterien erfüllten, waren die Ausnahme. In der Regel waren ein oder mehrere der oben genannten Kriterien nicht erfüllt. Die Wirkung verringert sich dann mit jedem unerfüllten Kriterium.

Auch wenn alle Kriterien erfüllt sind, können die CC-Streifen abgeschwemmten Boden nur in begrenztem Umfang aufhalten. Weil der Streifen nicht mit einer Verringerung der Hangneigung verbunden und vergleichsweise schmal ist, fließt der Oberflächenabfluss durch den Streifen und nimmt dahinter wieder Boden mit. Ist im Feldstück eine Tiefenlinie, in der sich der Wasserfluss konzentriert und trifft dieser auf den CC-Streifen, so hat der Streifen keine Wirkung mehr.

3.2.4 Bewirtschaftungsrichtung

Mit einer Bewirtschaftung quer zum Hang sind die CC-Verpflichtungen auf CC-Wasser 1 Flächen erfüllt. Im Projekt wurde die Saattrichtung erfasst und als Kriterium für die Bewirtschaftungsrichtung verwendet.

Die Auswertung in Abb. 10 und 11 umfasst alle Feldstücke mit Maisanbau ohne Fremdwasserzufluss und ohne ausgeprägte Tiefenlinien auf CC-Wasser 1 - Feldstücken.

Zu beachten ist: Die mittlere Hangneigung ist auf quer eingesäten Flächen höher als auf nicht quer gesäten Flächen (9 % gegenüber 7,8 % Hangneigung im Datensatz aller Mais-

feldstücke). Der Bodenbedeckungsgrad ist bei beiden Saattrichtungen niedrig (weniger als 10 % Bodenbedeckung in ca. 85 % der Fälle im kompletten Datensatz).

Unter diesen Bedingungen (generell geringe Bodenbedeckung, höhere Hangneigung bei Querbewirtschaftung) sind Feldstücke mit Saattrichtung quer zum Hang keineswegs weniger von Erosionsschäden betroffen. Die höhere Hangneigung bewirkt vielmehr einen höheren Anteil an deutlichen und erheblichen Erosionsschäden. Lediglich in der Klasse „geringe Erosionsschäden“ zeigt sich eine gewisse Wirksamkeit.

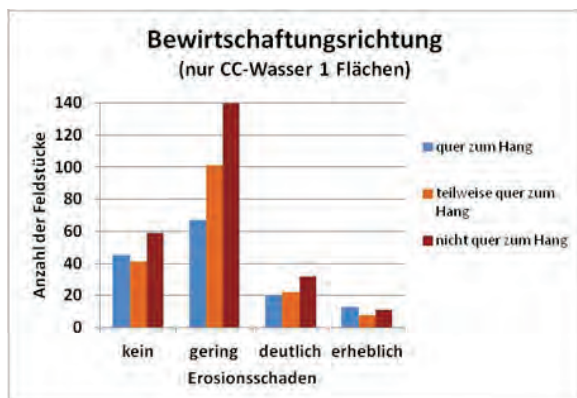


Abb.10: Anzahl der Feldstücke nach Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden, nur CC-Wasser 1 - Flächen

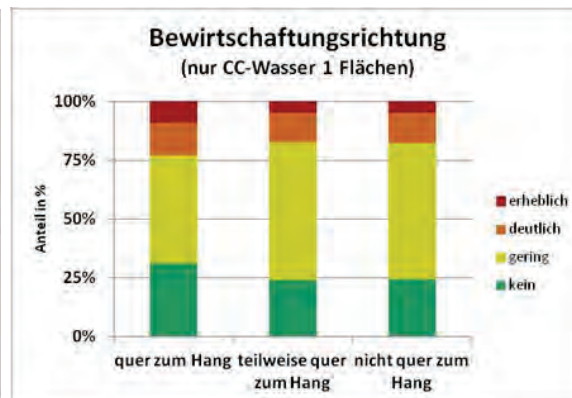


Abb.11: Bewirtschaftungsrichtung und Erosionsschaden, nur CC-Wasser 1- Flächen

Um eine gute erosionsmindernde Wirkung zu erzielen, müsste die Querbewirtschaftung mit Mulchsaat verbunden werden. Der Mulch aus Zwischenfruchtresten vernetzt sich mit den quer angebauten Maispflanzen und vermindert so Fließgeschwindigkeit und Schleppkraft des abfließenden Wassers.

3.2.5 Feldstücksgröße

Je größer das einheitlich bewirtschaftete Feld, desto größer ist i.d.R. die erosive Hanglänge und damit auch die Wassermenge, die in Tiefenlinien konzentriert abfließt. Dieser Effekt wird insbesondere dann wirksam, wenn keine effektiven Maßnahmen zum Flächenschutz ergriffen wurden.

Abb. 12 belegt dies eindrücklich für eine insgesamt 37 ha große, nach zwei Seiten abfallende Maisfläche ohne ausreichenden Erosionsschutz. Die Einzugsgebiete der Hauptabflusslinien sind hier besonders groß. Es kam in diesem Fall zu deutlichen bis erheblichen Erosionsschäden.



Abb.12: Abschwemmungen in einer Maisfläche mit ca. 36,8 Hektar, 18.05.2011

Mit zunehmender Feldstücksgröße nimmt der Erosionsschaden zu, wie die Auswertung der Daten eindrücklich belegt (Abb. 13 und 14). Datenbasis sind wiederum alle Maisflächen, die im Zeitraum Mai/Juni in einem Gebiet mit Starkniederschlag lagen.

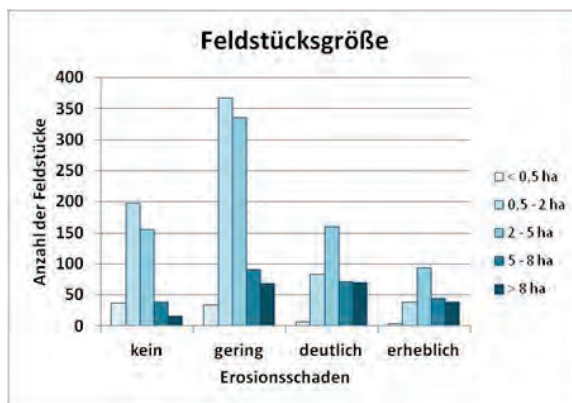


Abb.13: Anzahl der Feldstücke nach Größe und Schadensklasse

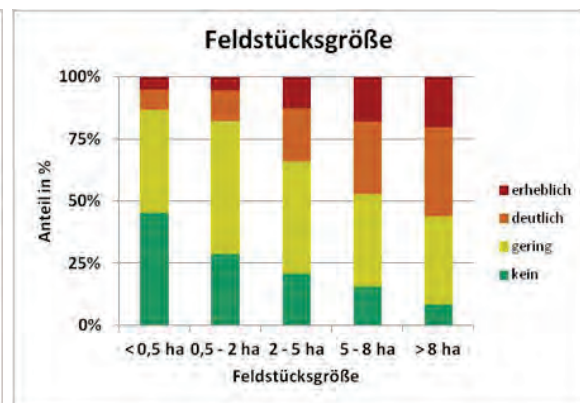


Abb.14: Feldstücksgröße und Erosionsschaden

3.3 Abfluss bremsende Strukturen im Hang

3.3.1 Ranken, Hecken, Wege

Ranken, Hecken und Wege gliedern den Hang. Ober- und unterhalb liegende Flächen besitzen eine geringere Hangneigung (Terrasseneffekt).

Der Ranken selbst kann bei konzentriert auftretendem Abfluss aus größeren oberliegenden Feldern durchflossen werden. Um den Oberflächenabfluss komplett zu stoppen, darf der Niederschlag nur so stark sein, dass das abfließende Wasser von der Furche vor dem Ranken ganz aufgenommen wird.

Feldwege und selbst Straßen mit Wegseitengräben bilden bei Starkregen kein unüberwindbares Hindernis. Im Projekt wurde häufig beobachtet, dass Wege überspült wurden (siehe Abb. 15 und 17).

Dieser Befund sollte aber nicht darüber hinwegsehen lassen, dass Ranken, Hecken und Wege bei den häufigeren kleinen Abfluss- und Erosionsereignissen eine wichtige Rückhaltefunktion besitzen. Um ihr Potenzial für den Wasserrückhalt auszuspielen zu können, muss ein effektiver Flächenschutz vorhanden sein.



Abb.15: Überspülter Feldweg zwischen zwei Maisfeldern, 18.05.2011

3.3.2 Fruchtartenwechsel im Hang

Fruchtartenwechsel im Hang begrenzt Erosionsschäden. Mit dem räumlichen Wechsel von erosionsanfälligen Kulturen wie Mais mit Wintergetreide beschränkt sich der Bodenabtrag auf das Maisfeld. Damit sinkt - bezogen auf den ganzen Hang - der Bodenabtrag und damit auch der Bodenaustrag). Wintergetreideflächen quer zum Hang wirken im Frühjahr und Frühsommer wie ein sehr breiter Grünstreifen.

Abb. 16 verdeutlicht die Wirkung von unterteilten Hangflächen mit Wechsel von Mais und Getreide. Auf der rechten Bildhälfte liegen zwei Feldstücke mit Maisanbau untereinander. Es sind zwei Bewirtschafter, die zufällig im selben Jahr Mais angebaut haben. Die beiden Feldstücke bilden eine Einheit, es ist deutlich die Abflusslinie zu erkennen. Ein Feldrain zwischen den beiden Feldstücken ist nicht vorhanden. Der Bodenabtrag ist als er-

heblich eingestuft. Abgeschwemmter Boden ist aus dem Feld in den Graben, über die Straße in eine Grünlandfläche und in ein Gewässer gelangt.

Auf der linken Bildhälfte herrschen zum Erosionszeitpunkt ähnliche Bedingungen (Niederschlagsintensität, Hangneigung, Bodenart), allerdings mit dem Unterschied, dass die Fläche mit verschiedenen Kulturen bestellt ist. Auf den Maisfeldern ist beginnende Erosion zu erkennen, diese setzt sich aber im Wintergetreide nicht fort. Vergrößert sich die Hanglänge, nimmt die Erosion zu und es kommt zu Bodenaustrag aus der Fläche (grüner Pfeil).



Abb. 16: Effekte von Fruchtartenwechsel im Hang, 10.06.2011

3.4 Grünstreifen entlang von Gewässern

3.4.1 Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz

Im Unterschied zu den temporären Erosionsschutzstreifen handelt es sich bei den Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz aus dem KULAP-Programm um dauerhaft eingesäte, 10 – 30 m breite Grünstreifen entlang von Gewässern, in Geländemulden oder in erosionsgefährdeten Hängen quer zum Hang. Der KULAP-Verpflichtungszeitraum beträgt 5 Jahre. Im Rahmen des Projekts wurden ausschließlich Grünstreifen entlang von Oberflächengewässern (Bäche, Gräben) dokumentiert.

Diese Grünstreifen dienen dem Gewässerschutz, sie verhindern keine Bodenerosion. Ihre Funktion ist, bereits abgetragenen Boden vor dem Eintrag in Gewässer absetzen zu lassen. Nach den Beobachtungen im Projekt gelingt dies dann, wenn der Hang vor dem Gewässer flach ausläuft. So verweilt das Wasser-Boden-Gemisch länger im Grünstreifen, die Schleppekraft des Oberflächenabflusses sinkt und die Bodenteilchen haben Zeit zu sedi-

mentieren. Weist das Gelände ein stärkeres Gefälle zum Gewässer auf, so fließt das Wasser mit weiter hoher Schleppkraft schnell durch den dort platzierten Grünstreifen und gelangt zusammen mit den mitgeschleppten Bodenteilchen ins Gewässer (siehe auch HÖSL ET AL., 2012).

Besonders kritisch sind Geländesituationen mit Tiefenlinien innerhalb von Ackerflächen, die in ein Gewässer münden. Konzentriert sich dort der Oberflächenabfluss, so können Grünstreifen ohne Verringerung der Schleppkraft durchflossen werden, auch wenn sie flach zum Gewässer auslaufen.

3.4.2 Grünland als Puffer

Häufig sind Gräben und Bäche von Dauergrünland flankiert. Auch Tiefenlinien im Gelände werden vielfach als Grünland genutzt. Für den Gewässerschutz sind diese Flächen von großer Bedeutung. Sie sind breiter als im Rahmen von KULAP angelegte Streifen, das Gefälle zum Gewässer hin ist meist gering. Unter diesen Bedingungen können sie Bodenteilchen aufnehmen, bevor diese ins Gewässer gelangen.



Abb.17: Typisches Erosionsluftbild: Abschwemmungen aus Maisfeldern, Anlandung im Grünland, Überspülen selbst von Straßen im Bereich von gebündeltem Abfluss und von dort Kurzschluss zum Gewässer

4 Schlussfolgerungen

Es besteht dringender Handlungsbedarf, die Bodenabträge bei Mais zu verringern. Schlüssel zum Erreichen dieses Ziels ist Zwischenfruchtanbau vor Mais und ein Verzicht auf intensive Bodenbearbeitung vor der Maissaat und zur Maissaat. Im besten Fall wird Gülle im Frühjahr vor Mais im Schlitz- oder Strip-Till-Verfahren in den Boden gebracht, so entfällt die ansonsten notwendige Einarbeitung. Eine anschließende Direktsaat oder die Saat in den gelockerten Streifen der Gülleablage garantiert ein hohes Maß an Erosionsschutz.

Bedarfsgerechte Kalkung, ausreichende Humusversorgung, Untergliederung erosionsgefährdeter Hänge und der Verzicht auf Maisanbau in steilen Lagen sind weitere notwendige Maßnahmen, um Bodenfruchtbarkeit und Gewässergüte langfristig zu sichern.

5 Literaturverzeichnis

- [1] AUERSWALD, K., FIENER, P., DIKAU, R. (2009): Rates of sheet and rill erosion in Germany — A meta-analysis. *Geomorphology* 111, 182-193
- [2] BARTELS, H., MALITZ, G., ASMUS, S., ALBERT, F., DIETZER, B., GÜNTHER, TH., ERTEL, H. (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland – KOSTRA, Deutscher Wetterdienst, Offenbach a.M.
- [3] BRANDHUBER, R. (2012): Starkregen und Bodenerosion – Welches Risiko sollen Schutzmaßnahmen abdecken? *KTBL-Schrift* 492, Management der Ressource Wasser, S.140-149
- [4] BRANDHUBER, R., TREISCH, M. (2012): Bodenabtrag in Abhängigkeit von der Maisanbaufläche in Bayern: Vergleich 2005 mit 2011. Tagungsband zu den 7. Marktredwitzer Bodenschutztagen, S. 136-141
- [5] DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (DWA) (2012): Berücksichtigung der Bodenerosion durch Wasser bei der Maßnahmenplanung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie. Merkblatt DWA-M 910, Hefef, 119 S.
- [6] HÖSL, R., STRAUSS, P., GLADEB, T. (2012): Man-made linear flow paths at catchment scale: Identification, factors and consequences for the efficiency of vegetated filter strips. *Landscape and Urban Planning* 104, 254-252
- [7] KISTLER, M. (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen – Ergebnisse einer Feldstudie. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8 / 2013, 113 S.
- [8] ROUTSCHEK, A. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. Schriftenreihe des LfULG, Heft 29/2012, 139 S.
- [9] SCHMIDT, W., BRANDHUBER, R., BUG, J. (2013): Vorsorge gegen Bodenerosion - Wassererosion. In: Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz (2013), aid infodienst, Bonn, S. 84-107
- [10] TREISCH, M., BRANDHUBER, R. (2012): Neuberechnung des Erosionsatlas von Bayern. Tagungsband zu den 7. Marktredwitzer Bodenschutztagen, S. 185-189
- [11] WURBS, D., STEININGER, M. (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden – Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser, Hrsg. Umweltbundesamt; UBA-Texte 16/2011, Dessau-Roßlau.

Technik für erosionsmindernde Bestellverfahren

Dr. Markus Demmel und Hans Kirchmeier

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Zusammenfassung

Bodenerosion tritt in Bayern überwiegend bei Reihenkulturen, vornehmlich bei Mais auf. Sie führt zu Verlust an wertvollem Oberboden, der vermindert die Bodenfruchtbarkeit und die Ertragsfähigkeit einschränkt. Die wichtigste Maßnahme zur Vermeidung von Erosion und Oberflächenabfluss bei Reihenkulturen ist eine hohe Bodenbedeckung nach der Saat und das Vermeiden intensiver Bodenbearbeitung zumindest im Frühjahr vor der Saat. Das gelingt mit Verfahren dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung. In Pflugsystemen können mit einem erfolgreichen Zwischenfruchtanbau vor der Reihenkultur ähnlich günstige Verhältnisse geschaffen werden. Entscheidend ist jedoch, dass bei der Einarbeitung der flüssigen Wirtschaftsdünger und der Bestellung von Mais die Stabilität des über Winter abgesetzten Bodens nicht stark vermindert und die Bodenbedeckung mit Pflanzenresten nicht stark reduziert wird. Ein hohes Maß an Erosionsschutz bei Starkniederschlagsereignissen wird sichergestellt mit einer wenig intensiven Einarbeitung der Gülle bei geringem Erosionsrisiko, mit der Streifenbearbeitung und Gülleinjektion oder mit dem Einschlitzen der Gülle im Frühjahr in die Zwischenfrucht kombiniert mit Mulchsaat ohne Saatbettbereitung.

1 Einleitung

In der Pflanzenproduktion bilden die Bodenbearbeitung und Bestellung die Grundlage und den Ausgangspunkt für eine sichere Keimung, eine schnelle Jungendentwicklung, das Ausschöpfen des Ertragspotentials von Standort, Sorte und produktionstechnischer Maßnahmen und für eine gleichmäßige Abreife. Die Auswahl des geeigneten Bestellverfahrens und der dazugehörigen Technik für die Bodenbearbeitung und Aussaat ist von entscheidender Bedeutung.

Die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug und die Einsaat in den „reinen“ Tisch sind in weiten Teilen der Welt noch immer das vorherrschende Bestellverfahren. In der heutigen Pflugtechnik steckt die Entwicklung von mehreren Jahrhunderten und der „reine Tisch“ ermöglicht eine einfache und sichere Saatgutablage.

Spätestens seit den 1935-1938 in den USA und Canada aufgetretenen, großflächigen und katastrophalen Winderosionsereignissen, die als „Dust Bowl“ in die Geschichte eingingen und maßgeblich durch das Pflügen des Präriebodens zum Weizenanbau in den Great Plains verursacht wurde, ist klar, dass die wendende Bodenbearbeitung nicht für alle Situationen geeignet ist und oftmals entscheidende Anforderungen nicht erfüllen kann (MONTGOMERY, 2010).

In der Landwirtschaft in Bayern bzw. in den meisten Regionen West- und Mitteleuropas spielt heute nicht die Winderosion, sondern die Wassererosion eine entscheidende Rolle. Sie verzehrt elementares landwirtschaftliches Kapital. Langfristig muss die verminderte Ertragsfähigkeit als Einschränkung für die landwirtschaftliche Produktion angesehen werden. In Gewässern verursachen Bodeneinträge Eutrophierung, Verschlammung und Kontamination mit Pflanzenschutzmittelwirkstoffen. Die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen für Fische und andere aquatische Lebewesen werden eingeschränkt (SCHUBERT ET AL., 2013). Verschlammte Gewässer und nährstoffbefruchtete Ufersäume mindern den Wert von Bächen als attraktiver Erholungsraum in der ländlichen Flur.

Der Bodenabtrag durch Wassererosion ist in vielen bayerischen Ackerbaugebieten zu hoch, insbesondere dort, wo in Hanglagen in größerem Umfang Mais angebaut wird (BRANDHUBER UND TREISCH, 2012). Eine aktuelle Evaluierung zeigte auf, dass die bereits verbreiteten Mulchsaatverfahren zu Mais weiter optimiert werden müssen, d.h. stärkere Schonung der Bodenstruktur und mehr Bodenbedeckung im Mai/Juni (KISTLER ET AL., 2013). In dieser Zeit treffen heftige Gewitterregen auf im Frühjahr bearbeitete, noch nicht abgesetzte und weitgehend unbedeckte Böden. Massive Abschwemmungen können die Folge sein (Abb. 1). Gefährdet sind alle Reihenkulturen, neben Mais also auch Zuckerrüben, Kartoffeln und Sojabohnen.



Abb. 1: Abschwemmungen aus Maisfeldern nach Gewitterregen im Mai (Foto: W. Bauer, Agroluftbild, nach KISTLER ET AL., 2013)

2 Anforderungen an Bestellsysteme

Auf die Auswahl des Bestellverfahrens für eine spezifische Kultur wirkt eine ganze Reihe von Faktoren ein, die teilweise auch starke Wechselwirkungen haben (Abb. 2).

Neben den Standortfaktoren Boden und Klima spielen die betriebliche Situation mit Ertragserwartung, Anbaufläche, Arbeitskräftebesatz, Mechanisierung, Fruchtfolge und Verfügbarkeit von Wirtschaftsdünger ebenso eine Rolle wie das Auftreten von Trockenphasen und ein mögliches Erosionsrisiko.

Vor allem die Interaktionen der in Abbildung 2 aufgeführten Faktoren erschweren die Auswahl der geeigneten Produktions- und Verfahrenstechnik und erfordern nicht selten ein Abwägen zwischen konkurrierenden Anforderungen (z.B. schnelle Bodenerwärmung vs. Erosionsschutz).

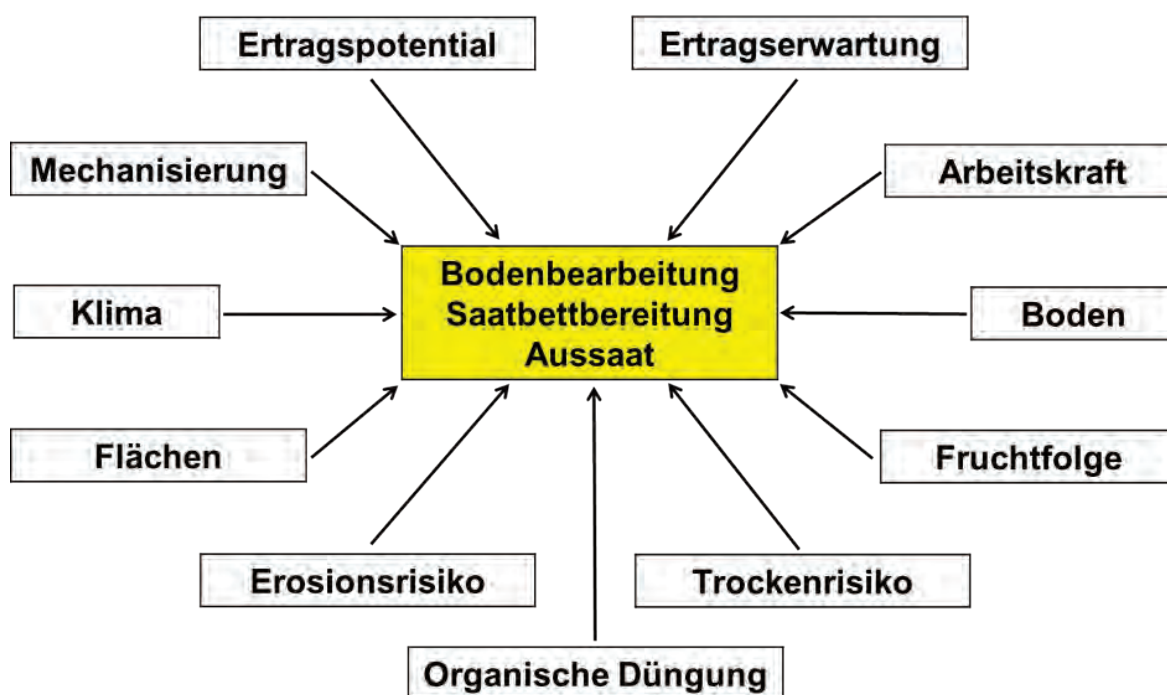


Abb. 2: Einflussfaktoren auf die Auswahl von Bestellverfahren im Pflanzenbau

Folgende grundsätzliche Anforderungen an Bestellsysteme lassen sich ableiten:

- Bereiten eines optimalen Saatbettes zur exakten Ablage des Saatgutes, mechanisches Bekämpfen von Unkräutern, Ungräsern und Schädlingen sowie Krankheitserregern
- Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit durch Sicherstellung einer stabilen Bodenstruktur, Gewährleistung eines ausgewogenen und durchgängigen Porensystems, Förderung der biologischen Aktivität und Vermeidung von Bodenverdichtungen
- Sicherstellung eines ausreichenden Erosionsschutzes bei Erosionsgefahr
- Hohe Schlagkraft bei gleichbleibend hoher Arbeitsqualität und Berücksichtigung von Bodenschutzaspekten, um die begrenzte Zeitspanne für die Bestellung zu nutzen

3 Systematik und Definitionen von Bestellverfahren

Im Jahr 1993 erfolgte eine erste umfangreiche Definition und Einordnung von Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung durch das KTBL, die 2014 umfassend überarbeitet und mit neuen Systemen wie z.B. der partiellen Bodenbearbeitung (Streifenbodenbearbeitung) ergänzt wurde (KTBL, 2014).

Grundsätzlich lassen sich die unterschiedlichen Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung heute folgendermaßen einteilen (Abb. 3).


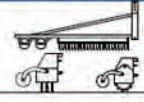



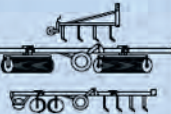

















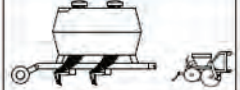
Verfahren	Grundbodenbearbeitung (intensive Lockerung)	Saatbettbereitung	Saat	Ablauf der Arbeitsgänge	
Wendende Bodenbearbeitung				Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt	
				Saatbettbereitung und Saat kombiniert	
				Alle Arbeitsgänge kombiniert	
Nichtwendende Bodenbearbeitung	mit Lockerung				Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt
					Saatbettbereitung und Saat kombiniert
					Alle Arbeitsgänge kombiniert
				partielle Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt	
				partielle Grundbodenbearbeitung und Saatbettbereitung kombiniert, Saat getrennt	
				Alle partiellen Arbeitsgänge kombiniert	
ohne Lockerung				Ohne Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat getrennt	
				Ohne Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat kombiniert	
				Ohne Grundbodenbearbeitung, partielle Saatbettbereitung und Saat getrennt	
					Ohne Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saat kombiniert
Direktsaat				Ohne Bodenbearbeitung Bei der Saat werden weniger als 1/3 der Reihenweite bearbeitet. Die Bearbeitungstiefe ist die Saatgutablagertiefe.	

Abb. 3: Arbeitsgänge und Verfahrenstechnik von Bodenbearbeitungs- und Bestellverfahren (KTBL, 2014)

Das wesentliche Kennzeichen der wendenden (konventionellen) Bodenbearbeitung ist die alljährige Lockerung auf Krumentiefe mit dem Pflug (Grundbodenbearbeitung, Primärbearbeitung), wobei gleichzeitig Pflanzenreststoffe der Vor- oder Zwischenfrucht und Unkraut eingearbeitet werden. Die Pflugarbeit hinterlässt eine von Reststoffen freie Ackeroberfläche als Voraussetzung für die störungsfreie Funktion herkömmlicher Sätechnik zur Drill- oder Breitsaat.

Die nicht wendende Bodenbearbeitung wird durch zwei Grundgedanken gekennzeichnet:

- Die Reduzierung der üblichen Intensität der Bodenbearbeitung nach Art, Tiefe und Häufigkeit des mechanischen Eingriffs; Ziel ist ein stabiles, tragfähiges Bodengefüge durch längere Bodenruhe als vorbeugender Schutz gegen Verdichtung durch nachfolgendes Befahren.
- Das Belassen von Pflanzenreststoffen der Vor- und/oder Zwischenfrucht nahe oder auf der Bodenfläche; Ziel ist eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung über einem intakten Bodengefüge als vorbeugender Schutz gegen Erosion und Verschlammung.

Konservierende Bodenbearbeitung ist ein aus dem Amerikanischen übersetzter Begriff (conservation tillage) und bezeichnet dort jedes Bodenbearbeitungsverfahren, das – relativ zur konventionellen Bodenbearbeitung – Boden- und Wasserverluste vermindert. Als Voraussetzung hierfür wird in den USA (und weltweit) angesehen, dass nach der Bestellung mindestens 30 % der Bodenoberfläche mit Pflanzenresten bedeckt ist.

Die Direktsaat, definiert als eine Bestellung ohne jegliche Bodenbearbeitung seit der vorangegangenen Ernte, wird weltweit auf unterschiedlichen Standorten mit Erfolg durchgeführt. Voraussetzung sind Zinkensäschere oder Scheibenmaschinen, die Säschlitze öffnen, in die das Saatgut abgelegt wird.

In der Literatur beschriebene typische Eigenschaften sind in Tab. 1 aufgeführt.

Tab. 1: *Typische Eigenschaften von Bodenbearbeitungssystemen*

	Wendende Bodenbearbeitung	Nicht wendende Bodenbearbeitung	Direktsaat
Tiefe des Eingriffes	15-35 cm	5-25 cm	2-5 cm (Saattiefe)
Häufigkeit des Eingriffes	hoch	gering-hoch	gering
organische Masse an der Oberfläche	keine	gering-hoch	hoch
Technische Lockerung	hoch	gering-hoch	keine
Biologische Aktivität	gering-mittel	mittel-hoch	hoch
Mischungsintensität	gering-mittel	gering-hoch	keine

Die oben aufgeführten Eigenschaften sind ausschlaggebend für die Wirkungen der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme, die in zahlreichen Untersuchungen national und international beschrieben wurden (z.B. SOMMER ET AL., 1986; TEBRÜGGE UND DREIER, 1994).

4 Technik für erosionsmindernde Bestellverfahren

Das intensive Monitoring von Erosionsereignissen in den Jahren 2012 und 2013 hat gezeigt, dass diese in Bayern beinahe ausschließlich bei Reihenkulturen, dabei besonders beim Mais auftreten (KISTLER ET AL., 2013). Wie bereits oben aufgeführt ist ein Schlüssel für die Verringerung bzw. Vermeidung von Bodenerosion eine höhere Bodenbedeckung

nach der Saat der Reihenkultur und ein Vermeiden intensiver Bodenbearbeitung zumindest im Frühjahr vor der Saat. Das gelingt mit Verfahren dauerhaft konservierender Bodenbearbeitung. In Unterfranken ist die konservierende Bodenbearbeitung weiter verbreitet, im Süden Bayerns jedoch nicht. In Pflugsystemen kann mit Zwischenfruchtanbau vor der Reihenkultur, Einschlitzten der Gülle im Frühjahr und Mulchsaat ohne Saatbettbereitung ein hohes Maß an Erosionsschutz bei Starkniederschlagsereignissen sichergestellt werden.

Jeder Bodenbearbeitungsgang reduziert den Anteil erosionsmindernder Pflanzenrückstände auf der Bodenoberfläche, wobei situationsbedingt deutliche Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsgeräten bestehen. Um Landwirten zumindest einen Anhaltspunkt über die Eigenschaften der Geräte zu geben, beinhalten die neu erstellten KTBL-Beschreibungen der Maschinen und Geräte einzelner Bodenbearbeitungsverfahren Angaben zur Reduzierung des Bodenbedeckungsgrades. Diese Werte wurden von einem Expertengremium aus den Veröffentlichungen vielfältiger Untersuchungen zusammengetragen. In Abb. 4 sind beispielhaft die Beschreibungen der Maschinen und Geräte für die Stoppelbearbeitung aufgeführt. Die Beschreibungen zu den übrigen Verfahren sind im Internetauftritt des KTBL zu finden (KTBL, 2014).

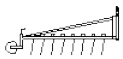


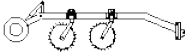
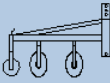
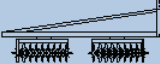

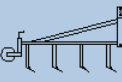
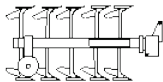
Piktogramm	Bezeichnung	Arbeitsweise
	Striegel	Mischende, sehr flache Stoppelbearbeitung Gleichmäßige Querverteilung der Strohaufgabe
	Rollstriegel	Gerät reduziert Bedeckung der Oberfläche mit organischen Reststoffen um 5%
	Ringschneider	Lockemde und mischende, nichtwendende Stoppelbearbeitung Gerät reduziert Bedeckung der Oberfläche mit organischen Reststoffen um 10 %
	Messerwalze	Quetschende, schneidende und mischende Wirkung auf organische Reststoffe Gerät reduziert Bedeckung der Oberfläche mit organischen Reststoffen um 10%
	(Kurz) Scheibenegge	Mischende, nichtwendende Stoppelbearbeitung
	Spatenrollegge	Gerät reduziert Bedeckung der Oberfläche mit organischen Reststoffen um 40 - 60%
	Feingrubber	Lockemde und mischende, nichtwendende Stoppelbearbeitung (flach) Gerät reduziert Bedeckung der Oberfläche mit organischen Reststoffen um 20 - 30%
	Schwergrubber	Lockemde und mischende, nichtwendende Stoppelbearbeitung (tief) Gerät reduziert Bedeckung der Oberfläche mit organischen Reststoffen um 50-75%
	Schälpflug	Wendende Stoppelbearbeitung Wenig Bedeckung mit Pflanzenresten auf der Oberfläche (<10 % Bodenbedeckung)

Abb.4: Typische Eigenschaften von Bodenbearbeitungssystemen

4.1 Techniken zur erosionsmindernden Gülleinjektion

Der Erfolg der beiden Verfahren - dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung und Mulchsaat von Reihenkulturen ohne Saatbettbereitung bei Pflugeinsatz zur Grundbodenbearbeitung - hängt ab vom sicheren direkten Einbringen der Gülle in den Boden, ohne diesen zu bewegen, und von der Funktionssicherheit der Sätechnik unter diesen Bedingungen.

4.1.1 Mulchsaat nach flächiger Gülleeinarbeitung

Bei gut entwickeltem Zwischenfruchtbestand und nicht zu hoher Erosionsgefährdung am Standort bietet ein Bodenbedeckungsgrad im Bereich von 20 – 30 % (nach der Maissaat) ausreichenden Erosionsschutz. Mit einer einmaligen „groben“ Saatbettbereitung in Kombination mit breitflächiger Gülleeinarbeitung ist dies erreichbar. Die Arbeitsintensität ist jedoch so zu bemessen, dass genügend organische Substanz auf der Bodenoberfläche verbleibt (Abb. 5).



Abb. 5: Direktes Einarbeiten der Gülle mit Kurzscheibenegge (Bild links) und anschließende Maissaat mit Erhalt eines Bodenbedeckungsgrads von 20 – 30 %

Alternative zur Gülleapplikation vor der Maissaat und der ggf. damit verbundenen Bodenbearbeitung kann die spätere Ausbringung in den Bestand sein (mit Schleppschlauch).

4.1.2 Streifenbearbeitung mit Gülleinjektion zu Mais

Die Streifenbearbeitung zu Reihenkulturen wie Mais und Zuckerrüben oder Raps versucht die Vorteile einer intensiven Saatbettbereitung im Bereich der Reihen der Kulturpflanzen mit den Vorteilen der Direktsaat im Bereich zwischen den Reihen (ungestörter Boden und hoher Erosionsschutz) zu verbinden (Abb. 6). Erste Untersuchungen in Deutschland wurden ab 2007 bei Zuckerrüben auf dem Ihinger Hof durchgeführt und ab 2009 auf Mais ausgedehnt (HERMANN, 2008; HERMANN, 2010). Umfangreiche Feldversuche zu Mais, auch in Verbindungen mit der Güllebringung, sind seit 2009 in Bayern (DEMME ET AL., 2012) und Sachsen-Anhalt (BISCHOFF, 2012) etabliert. Hierzu werden spezielle Geräte mit passiven Werkzeugen eingesetzt.



Abb. 6: Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion (links), Maisaussaat mit automatischem Lenksystem etwa 10 Tage später (rechts)

Die Werkzeugeneinheiten bestehen pro Reihe aus einer vorauslaufenden Schneidscheibe zum Trennen des organischen Materials und einem Paar Räumsternen, die das Pflanzenmaterial aus dem Bearbeitungsbereich entfernen. Die eigentliche Lockerung erfolgt im freigeräumten Bereich bis in eine Tiefe von 15-20 cm; typischerweise mittels eines Meißelschars, wobei ein Paar Hohlscheiben verhindert, dass die aufgeworfene Erde aus dem Lockerungsbereich herausgeworfen wird. Alternativ werden auch zwei gewellte und gegeneinander doppelt V-förmig angestellte Schneidscheiben zum Lockern verwendet. Die Werkzeugkombinationen sind als Parallelogramm geführt und weisen Gewichte von 150 - 300 kg pro Reihe auf.

Die bisherigen Untersuchungen zeigen ein großes Potenzial der Streifenbearbeitung als boden- und wasserschonende Alternative zur Mulchsaat mit ganzflächiger Bodenbearbeitung nach flächiger Gülleausbringung auf (Tab. 2).

Tab. 2: Erträge der Streifenbodenbearbeitung mit Gülleinjektion bei Körnermais, LfL-Versuch Wurmannsquick

Variante	Körnermaisertrag 2010 [t/ha]	Körnermaisertrag 2011 [t/ha]	Körnermaisertrag 2012 [t/ha]	Körnermaisertrag 2013 [t/ha]	mittlerer Körnermaisertrag [t/ha]
Strip Tillage mit Zinken (mit Gülle) direkt in Stoppeln	10,2	10,7	11,9	6,4	9,8
Strip Tillage mit Zinken (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	11,3	10,7	13,0	7,7	10,7
Strip Tillage mit Scheiben (mit Gülle) direkt in Stoppeln	9,9	9,7	11,5	5,9	9,3
Strip Tillage mit Scheiben (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	10,0	10,3	11,7	7,4	9,9
Mittelwert Strip Tillage (mit Gülle) direkt in Stoppel	10,1	10,2	11,7	6,2	9,6
Mittelwert Strip Tillage (mit Gülle) nach Stoppelbearbeitung	10,7	10,5	12,8	7,6	10,4
Betriebsüblich – Gülleausbringung mit Einarbeitung (Kurzscheibenegge) + Mulchsaat	9,9*	11,7*	12,5	8,2	10,6

*Betriebsüblich zusätzlich 40 kg/ha N über Harnstoff

Die Erträge sind im Vergleich zur betriebsüblichen Variante identisch, das Erosionsschutzniveau durch den Erhalt eines hohen Bodenbedeckungsgrades jedoch deutlich höher. Zudem kommt es zu keinen gasförmigen Ammoniakverlusten und Geruchsbelästigungen bei der Wirtschaftsdüngerausbringung durch die Ablage des Güllebandes in etwa 15 cm Tiefe (Abb. 7).



Abb. 7: Hohe Bodenbedeckung nach der Streifenbearbeitung mit Gülleinjektion (links), Gülleband im Boden (rechts)

Bei der technischen Umsetzung sind noch Fragen offen, beispielsweise nach geeigneten bzw. optimalen Werkzeugkombinationen und Geräteführungen. Die Möglichkeit der Kombination mit einer mineralischen oder organischen Unterfuß- oder Unterflurdüngung eröffnet zudem neue Wege bei der gezielten Platzierung von Pflanzennährstoffen. Zukünftige Untersuchungen sollen diesen Fragen gezielt nachgehen.

4.1.3 Mulchsaat ohne Saatbettbereitung nach Gülleinjektion

Um auch ohne Streifenbearbeitung ein sehr hohes Erosionsschutzniveau sicherzustellen (Bodenbedeckungsgrad nach der Saat > 30%), muss auf eine Saatbettbereitung im Frühjahr verzichtet werden (Mulchsaat ohne Saatbettbereitung). Eine Wirtschaftsdüngerausbringung vor der Saat in die abgestorbene Zwischenfrucht kann dann nur mit Hilfe von Schlitzinjektoren erfolgen. Dieses Verfahren wurde in den Jahren 2010-2013 auf den Versuchsstationen Puch und Achselschwang erfolgreich untersucht (Abb. 8).



Abb. 8: Flächige Ausbringung von flüssigem Wirtschaftsdünger in abgefrorene Zwischenfruchtbestände mit einem Scheibenschlitzverteiler

Überraschender Weise ergaben sich bei der Gülleapplikation mit Schlitzinjektoren vor der Maisaussaat 2014 Schwierigkeiten. An zwei Standorten (Achselschwang/Oberbayern und Oberpfälzer Wald) führte die sehr lockere und voluminöse Zwischenfrucht zu schwerwiegenden Verstopfungen der (unterschiedlichen) Schlitzinjektoren. Diesen Schwierigkeiten soll im kommenden Jahr gezielt nachgegangen und die Probleme sollen gelöst werden.

Darüber hinaus stellt die Mulchsaat ohne Saatbettbereitung zur sicheren Ablage und Einbettung der Saatkörner die höchsten Ansprüche an die Technik für die Einzelkornsaat (siehe Kap. 4.3).

4.2 Streifenbearbeitung bei Zuckerrüben und Raps

Vor Zuckerrüben bietet das absätziges Verfahren mit Streifenbearbeitung im Herbst und Saat in den gelockerten und abgesetzten Streifen im Frühjahr ein hohes Maß an Bodenbedeckung und Erosionsschutz bei gegenüber der klassischen Direktsaat verbesserten Auflaufbedingungen (Abb. 9).



Abb. 9: LfL-Versuch am Standort Wittenfeld; linkes Bild: Zuckerrüben nach Auflaufen: Mulchsaat mit Saatbettbereitung neben der Strip-Till-Variante (nach Alexandri-nerklee); rechtes Bild: Strip-Till Rüben (nach Alexandriner Klee)

Versuche an zwei Standorten haben zu differenzierten Ergebnissen geführt (Tab. 3).

Streifenbodenbearbeitung direkt in die Getreidestoppel (ohne Stoppelbearbeitung) führte auf beiden Betrieben zu niedrigeren Zuckererträge, im Jahr 2010 auf Betrieb 1 auch zu hohen Pflanzenverlusten durch Schneckenfraß. Auf Betrieb 1 wurden bei Streifenbodenbearbeitung generell niedrigere Zuckererträgen festgestellt als bei betriebsüblicher Mulchsaat mit Saatbettbereitung (pfluglos). Demgegenüber erreichten die Varianten der Streifenbodenbearbeitung nach Stoppelbearbeitung und Zwischenfruchtsaat auf dem Betrieb 2 identische oder höhere Zuckererträge als die Mulchsaat mit Saatbettbereitung.

Die Ergebnisse zeigen, dass vor Zuckerrüben eine Stoppelbearbeitung zu empfehlen ist, um das Ertragspotenzial auszuschöpfen. Unter diesen Bedingungen kann die absätziges Streifenbodenbearbeitung zu gegenüber ganzflächiger konservierender Bodenbearbeitung gleichwertigen Erträgen führen bei noch höherem Niveau an Erosionsschutz. Offene Fragen bestehen noch hinsichtlich des Einflusses der Bodenbeschaffenheit. Vermutlich reagieren manche Böden (wie bei Betrieb 1) eher mit Mindererträgen, wenn die Bearbeitung auf die Streifen reduziert wird. Belastbare Aussagen dazu sind derzeit noch nicht möglich.

Tab. 3: *Bereinigter Zuckererträge der Herbst - Streifenbodenbearbeitung bei Zuckerrüben, LfL-Versuche Wittenfeld (Landkreis Eichstätt) und Dittenfeld (Landkreis Neuburg a.d.D.)*

Variante	bereinigter Zuckerertrag 2010 [t/ha]		bereinigter Zuckerertrag 2011 [t/ha]		bereinigter Zuckerertrag 2012 [t/ha]		bereinigter Zuckerertrag 2013 [t/ha]		mittl. bereinigter Zuckerertrag [t/ha]	
	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 1	Betrieb 2
	Strip Tillage mit Zinken direkt in Stoppeln	10,6	10,6	12,9	12,9	---	---	---	9,5	11,8
Strip Tillage mit Zinken nach Stoppelbearbeitung	11,9	10,5	14,4	14,0	14,1	16,5	11,3	9,6	12,9	12,6
Strip Tillage mit Scheiben direkt in Stoppeln	7,0	10,6	12,9	14,1	---	---	---	9,8	10,0	11,5
Strip Tillage mit Scheiben nach Stoppelbearbeitung	11,0	12,9	15,0	12,9	14,8	16,7	12,4	9,5	13,3	13,0
Mittelwert Strip Tillage direkt in Stoppel	8,8	10,6	12,9	13,5	---	---	---	9,7	10,9	11,3
Mittelwert Strip Tillage nach Stoppelbearbeitung	11,5	11,7	14,7	13,5	14,5	16,6	11,9	9,5	13,1	12,8
Betriebsüblich – Mulchsaat mit Saatbettbereitung	12,3	11,0	16,8	14,3	15,6	16,7	12,9	7,0	14,4	12,2

Ertragsausfall durch extremen Schneckenfrass

Auch Rapssaaten sind Ende August bei Gewitterregen stark erosionsgefährdet. Mit Strip-Till Verfahren bei Raps könnte ein hohes Maß an Erosionsschutz in diesem kritischen Zeitfenster sichergestellt werden (Abb. 10). Für dieses Verfahren in Kombination mit der Einzelkornsaat sind noch pflanzenbauliche Untersuchungen erforderlich.



Abb. 10: *Strip-Till Raps Anfang September und Ende Juni mit Strohresten der Getreide-Vorfrucht*

4.3 Mulch- und Direktsaat taugliche Einzelkornsätechnik

Alle Hersteller von Einzelkornsägeräten bieten heute Mulch- und Direktsaat taugliche Modelle an. Diese sind sehr stabil aufgebaut und durchgehend mit Doppelscheibenscharen ausgestattet. Zur exakten Tiefenführung auch unter variierenden Einsatzverhältnissen sind seitlich neben den Scharscheiben breite, gummierte Tiefenführungsrollen angebracht. Anstelle einer breiten Andruckrolle werden zwei V-förmig angestellte Andruckrollen eingesetzt. Die maximale Scharbelastung schwankt zwischen 100 und 325 kg. Um diese hohen Kräfte möglich zu machen, müssen die Aggregate über ein entsprechend hohes Eigengewicht verfügen und in der Lage sein, durch Federn, Hydraulikzylinder oder Luftbälge Gewicht vom Geräterahmen auf die Aggregate zu übertragen. Mit diesen Geräten ist unter vielfältigen Einsatzbedingungen eine erfolgreiche Mulchsaat auch ohne Saatbettbereitung möglich.

Dennoch kann es unter ungünstigen Bedingungen vorkommen, dass die Ablagetiefe nicht eingehalten oder der Saatschlitz nicht ausreichend geschlossen wird. Zur Verbesserung der Saatgutablage bei der Mulchsaat und der Direktsaat werden vor allem in Nordamerika vor den Scheibenscharen Räumsterne oder Kombinationen aus vorauslaufendem Scheibensech und Räumsternen und zusätzlich strukturierte Andruckrollen eingesetzt (Abb. 11). Sie sollen Pflanzenrückstände aus dem Bereich der Saatsfurche entfernen und so die optimale Ablage und Einbettung des Maiskorns sicherstellen. Diese Zusatzausrüstung wird in Europa nur von wenigen Herstellern angeboten und fand bisher kaum Verbreitung. Um die möglichen Effekte dieser Zusatzaggregate unter unseren Einsatzbedingungen festzustellen, ist eine detaillierte Untersuchung geplant.



Abb. 11: Räumsterne bzw. Kombination aus (gewelltem) Scheibensech und Räumsternen für verbesserte Ablage und Einbettung bei Mulch- und Direktsaat.

5 Diskussion und Ausblick

Unbestritten ist die Notwendigkeit, den Ackerbau so zu gestalten, dass die Böden langfristig fruchtbar bleiben und die gesellschaftlichen Ansprüche an Gewässergüte, Biodiversität, Landschaftsbild und Klimaschutz ausreichend Berücksichtigung finden. Mit dem Bedürfnis, mit geringstem Aufwand höchste Erträge zu erwirtschaften (Effizienz), stehen diese

Ziele nicht immer im Einklang. Es sind Lösungen gefragt, die wirtschaftlich tragbar, funktionssicher und umwelt- und ressourcenschonend sind.

Um Bodenerosion zu vermeiden, kann der Landwirt heute auf ein Portfolio von Verfahren und technischen Lösungen zugreifen.

Im Bemühen um Erosionsschutz gilt es vor allem, die Eingriffe in den Boden vor der Saat von Reihenkulturen zu minimieren. Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung als ansonsten anerkanntes Mittel der Wahl ist in engen Maisfruchtfolgen nicht einfach zu etablieren. So gilt es in Pflugsystemen vor Reihenkulturen Zwischenfrüchte (oder Untersaaten) anzubauen, die dann eine Mulchsaat mit hohem Bedeckungsgrad nach der Saat der Hauptkultur ermöglichen. Als wesentliche Herausforderung muss die technische Detailgestaltung der Aggregate für die Ablage der Saat und von Gülle bei unterschiedlichen Feuchte- und Festigkeits- bzw. Bodenbedingungen angesehen werden. Akzeptanz und weitere Verbreitung von Sä- und Gülleapplikationsverfahren abseits des „reinen Tisches“ hängen wesentlich von deren Funktionssicherheit ab. Mit dem Strip-Till Verfahren hat sich in jüngster Zeit der Fächer der Möglichkeiten mit einer vielversprechenden Variante weiter geöffnet. Die unter allen Bedingungen funktionssichere Lösung wird es allerdings nicht geben, dazu sind die Standortbedingungen speziell in Bayern zu vielfältig. Der Landwirt wird in Zukunft vermehrt auswählen können und müssen, welches Verfahren und welche Technik für seinen Betrieb und seinen Standort die passenden sind.

6 Literatur

- [1] BISCHOFF, J. (2012): Weite Reihen – tiefe Wurzeln? LOP Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 3, 2012, S. 29-25.
- [2] BRANDHUBER, R., TREISCH, M. (2012): Bodenabtrag in Abhängigkeit von der Maisanbaufläche in Bayern: Vergleich 2005 mit 2011. Tagungsband zu den 7. Marktredwitzer Bodenschutztagen, S. 136-141.
- [3] DEMMEL, M. UND H. KIRCHMEIER (2012): Streifenbodenbearbeitung und Gülleapplikation – Strip Tillage ermöglicht neue Strategien. In: LOP, Nr. 12, S. 12-18
- [4] HERMANN, W. (2008): Strip-Till: Streifenlockerung bei Zuckerrüben, Raps und Mais -Alternative zur Mulch- und Direktsaat. In: LOP Landwirtschaft ohne Pflug, Heft 7, S. 31-34
- [5] HERMANN, W., LINK-DOLEZAL, J. UND CLAUPEIN, W. (2010): Nur einzelne Streifen lockern – Strip Till – den Boden nur dort lockern, wo Maisreihen stehen. dlz, Heft 4, S. 38-41
- [6] KISTLER, M. (2013): Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen – Ergebnisse einer Feldstudie. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 8 / 2013, 113 S.
- [7] KTBL (1993): Definition und Einordnung von Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung. KTBL Arbeitsblatt 236. KTBL, Darmstadt, 4 S.
- [8] KTBL (2014): Definition und Einordnung von Verfahren der Bodenbearbeitung und Bestellung. KTBL Darmstadt.
<https://www.ktbl.de/inhalte/themen/pflanzenbau/themen/bodenbearbeitung/>

- [9] MONTGOMERY, D. (2008): *Dirt: The Erosion of Civilizations*. (Deutsch: *Dreck: Warum unsere Zivilisation den Boden unter den Füßen verliert*, oekom, München, 2010).
- [10] SCHUBERT, M., KLEIN, M., LEUNER, E., KRAUS, G., WENDT, P., BORN, O., HOCH, J., RING, T., SILKENAT, W., SPEIERL, T., VORDERMEIER, T., WUNNER, U. (2013): *Fischzustandsbericht 2012*. LfL-Information, 45 S.
- [11] SOMMER, C., ZACH, M. UND DAMBROTH, M. (1986). *Konservierende Bodenbearbeitung – ein Konzept für strukturlabile, erosionsgefährdete Böden*. In: *Bodenbearbeitungs-systeme in der Diskussion*. Manuskript, DLG, Frankfurt.
- [12] TEBRÜGGE, F. UND M. DREIER, HRSG. (1994): *Beurteilung von Bodenbearbeitungs-systemen hinsichtlich ihrer Arbeitseffekte und deren langfristige Auswirkungen auf den Boden*. Hrsg.: Tebrügge, F. und M. Dreier. Wissenschaftl. Fachverlag Dr. Fleck, Langgöns

6-jährige Erfahrungen mit Streifenbodenbearbeitung in Reihenkulturen

Jörg Schulze-Wext

S&W Agrar GmbH, Genthiner Straße 21, 39307 Bergzow, Sachsen-Anhalt

Zusammenfassung

Die S&W Agrar GmbH betreibt auf etwa 1500 ha Ackerbau im nordöstlichen Sachsen Anhalt mit durchschnittlich 440 mm Niederschlag pro Jahr. Neben dem Ackerbau gehören noch eine Milchviehherde mit 450 Milchkühen plus Nachzucht und eine Biogasanlage zum Betrieb. Die Böden sind sandig mit 25-35 Bodenpunkten. Die Trockenheit ist das größte Problem auf dem Betrieb, es gilt so viel Wasser wie möglich zu speichern und für die Pflanzen verfügbar zu halten.

Deshalb hat der Betrieb schon vor geraumer Zeit vom klassischen Ackerbauverfahren mit Pflug und intensiver Saatbettbereitung zu 100% mulchender Bestellung und Direktsaat mit intensivem Zwischenfruchtanbau gewechselt. Ziel ist die Vermeidung von Wind- und Wassererosion, die Förderung einer günstigen Bodenstruktur mit möglichst viel Humus und damit einhergehend Ertragssteigerungen.

Zu diesen Zielen und in die eingeschlagene Strategie passt auch die Streifenbodenbearbeitung, Strip Tillage, zu Reihenkulturen, die auf dem Betrieb seit 2009 erprobt wird und heute fester Bestandteil der Bewirtschaftung ist. Sie wird immer separat, also getrennt, in der Regel 10-14 Tage vor der Aussaat durchgeführt. Damit die Saat auch exakt in den gelockerten Streifen erfolgen kann, sind hochgenaue Lenksysteme bei beiden Arbeitsschritten erforderlich. Während die Streifenbearbeitung in den ersten Jahren nur mit einer mineralischen Düngung unter Flur kombiniert war (300 kg/ha schwefelsaures Ammoniak SSA), wird sie seit 2012 alternativ auch mit flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern (Gülle, Gärsubstrat, teilweise stabilisiert mit Nitrifikationshemmer) kombiniert. Damit können die Wirtschaftsdünger umweltschonend zu Mais in den Boden gebracht werden, ohne die schützende Mulchschicht ganzflächig zu zerstören. Bei den pflanzenbaulichen Fragestellungen besteht eine wissenschaftliche Begleitung durch die Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen Anhalt (Dr. Bischoff).

Im Laufe der vergangenen Jahre konnten Streifenbodenbearbeitungsgeräte von unterschiedlichen Herstellern eingesetzt werden. Es zeigte sich, dass eine gute Boden Anpassung der einzelnen Aggregate (Reihen) für eine exakte Tiefenführung notwendig ist. Gleiches gilt für die Sternräumer. Daraus ergeben sich vielfältige Verstellmöglichkeiten, die bei wechselnden Böden und unterschiedlichen Zwischenfrüchten notwendig, aber oft auch umständlich und aufwändig einzustellen sind.

Auch nach 6 Jahren gibt es bei der Streifenbodenbearbeitung noch Verbesserungspotential. Die aktuellen Herausforderungen sind eine einfachere Einstellung der Geräte, die sichere Arbeit in unterschiedlichen Zwischenfrüchten und die exakte Ablage der flüssigen organischen Wirtschaftsdünger. Für den Trockenstandort Bergzow ist die Streifenbodenbearbeitung zu Mais ein ideales Verfahren. Es minimiert den Eingriff in den Boden bei in-

tensiver Lockerung in den Reihen und der Möglichkeit einer mineralischen oder organischen Unterflurdüngung und hinterlässt den Boden zwischen den Reihen ungestört und bedeckt mit Pflanzenmaterial und hält so das Wasser im Boden.



ERFAHRUNGEN MIT
MULCH-,
STREIFEN- UND
DIREKTSAAT

EIN BERICHT
AUS DER PRAXIS

Jörg Schulze Wext
S&W Agrar GmbH Bergzow



...anders kann auch gut sein...



Vorstellung des Familienbetriebes

3

- 450 Milchkühe plus Nachzucht
- 1400 ha Ackerland
- 150 ha Grünland
- 3 Betriebe in Vollbewirtschaftung
(100 ha ökologisch,
250 ha konventionell)
- Biogasanlage
- 16 Mitarbeiter; 3 Lehrlinge



Jörg Schulze Wext

Winderosion in Sachsen Anhalt

4



Jörg Schulze Wext

Start Strip Tillage 2009

5



Jörg Schulze Wext

6



Jörg Schulze Wext

Strip-Till zu ZR



Jörg Schulze Wext

Strip-Till zu Raps



Raps auf 75cm; Herbst

Jörg Schulze Wext

Der Schlüssel zu allem

9

Zwischenfrüchte in Mischung



- immer in einem Gemenge
- so wenig Bodenbearbeitung zur Zwischenfrucht wie möglich
- der Aufwuchs der Grünmasse muss auf den Feldern verbleiben
- mein persönlicher Schlüssel zum erfolgreichen Ackerbau auf unseren Standort

Jörg Schulze Wext

10



Herbst 2011 → für Mais 2012



Jörg Schulze Wext

11



Strip Till mit mineralischer Düngung zu Mais (Frühjahr)

- 11-13 km/h
- 300kg SSA



Jörg Schulze Wext

Mais legen Ende April

12



Jörg Schulze Wext

Bodenfeuchte konserviert

13



Jörg Schulze Wext

14



Jörg Schulze Wext

Herbst 2011

15



Jörg Schulze Wext

31. Oktober 2012 → 20m³ Gärs substrat

16



Jörg Schulze Wext

17



Jörg Schulze Wext

18




Jörg Schulze Wext



Fazit Strip Till

19

- keine Winderosionen
 - keine Wassererosionen
 - höheres Ertragsniveau
 - stabilere Erträge
 - sehr geringer N Bedarf für die jeweilige Kulturpflanze (Depotdüngung)
 - geringere Arbeits-erledigungskosten
 - Strukturaufbau
- sehr stark wetterabhängiges System
 - große Anforderungen an den Betriebsleiter
 - immer größere konzentrierte Arbeitsspitzen
 - bei Bodenschadverdichtung muss reagiert werden
 - mineralische oder organische Düngung muss in einer optimalen Depotform erfolgen 

Jörg Schulze Wext

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

20



Für mich ist der Boden, den ich bearbeiten darf, wie ein großes Dorf mit einem Gefüge Lebensraum und einer Symbiose untereinander und diese darf ich nicht immer wieder auf den Kopf stellen.



Jörg Schulze Wext

Mit Sensoren die Bestände besser führen?

Dr. Franz-Xaver Maidl, M. Sc. Andreas Spicker und Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen

Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann-Straße 2, 85350 Freising-Weihenstephan

Zusammenfassung

Reflexionsmessungen ermöglichen eine schnelle und berührungslose Analyse des Stickstoffstatus von Pflanzenbeständen. Wichtig dabei ist ein technisch einwandfrei funktionierendes Gerät, ausgestattet mit einer Software für detailgenaue Vegetationsindices sowie nach Zielgröße und Pflanzenart entsprechend angepasste Mess- und Applikationsalgorithmen. Mit einer Teilschlagdüngung, welche auf dem Nährstoffstatus der Pflanze aufbaut und zugleich die Ertragsfähigkeit des Standorts berücksichtigt, lassen sich erhebliche Vorteile gegenüber einheitlicher Düngung erzielen. Reflexionssensoren werden künftig ein wichtiges „Analysegerät“ für den Landwirt darstellen.

1 Einleitung

Unsere Ackerflächen weisen eine mehr oder weniger hohe Bodenheterogenität auf (Abb. 1). Diese Bodenheterogenität führt zu unterschiedlichem Pflanzenwachstum, unterschiedlichen Erträgen und stark variierenden Nährstoffentzügen. Flächeneinheitliche Düngung führt auf heterogenen Flächen zu mehr oder minder großen Nährstoffüber- bzw. -unterbilanzen auf Teilflächen. Weder Über- noch Unterbilanzen sind ökonomisch noch ökologisch sinnvoll. Mit der Zunahme der Schlag- und Betriebsgrößen verschärft sich dieses Problem. Aus Arbeitsgründen ist es nicht möglich, teilflächenspezifisch Bodenproben für eine Düngebedarfsermittlung zu nehmen.

In Betrieben mit intensiver Viehhaltung ergeben sich weitere Probleme. Zum einen besteht das Problem der Unkenntnis der Nährstoffgehalte in den organischen Düngern. Ferner variieren in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen die Verluste während der Ausbringung sehr stark. Nicht zuletzt führt die unterschiedliche Jahreswitterung zu einer großen mengenmäßigen und zeitlichen Variation der Nährstoffverfügbarkeit aus organischen Düngern.

Berührungslos arbeitende Pflanzensensoren ermöglichen eine schnelle und zerstörungsfreie Bestimmung der Nährstoffaufnahme der Pflanzen. Auf diese Weise lassen sich Unterschiede im Nährstoffangebot aufgrund von Bodenheterogenitäten und/oder aus der organischen Düngung sowie eine zeitliche Variation des Nährstoffangebots, verursacht durch jährlich schwankende Witterungsbedingungen, erfassen.

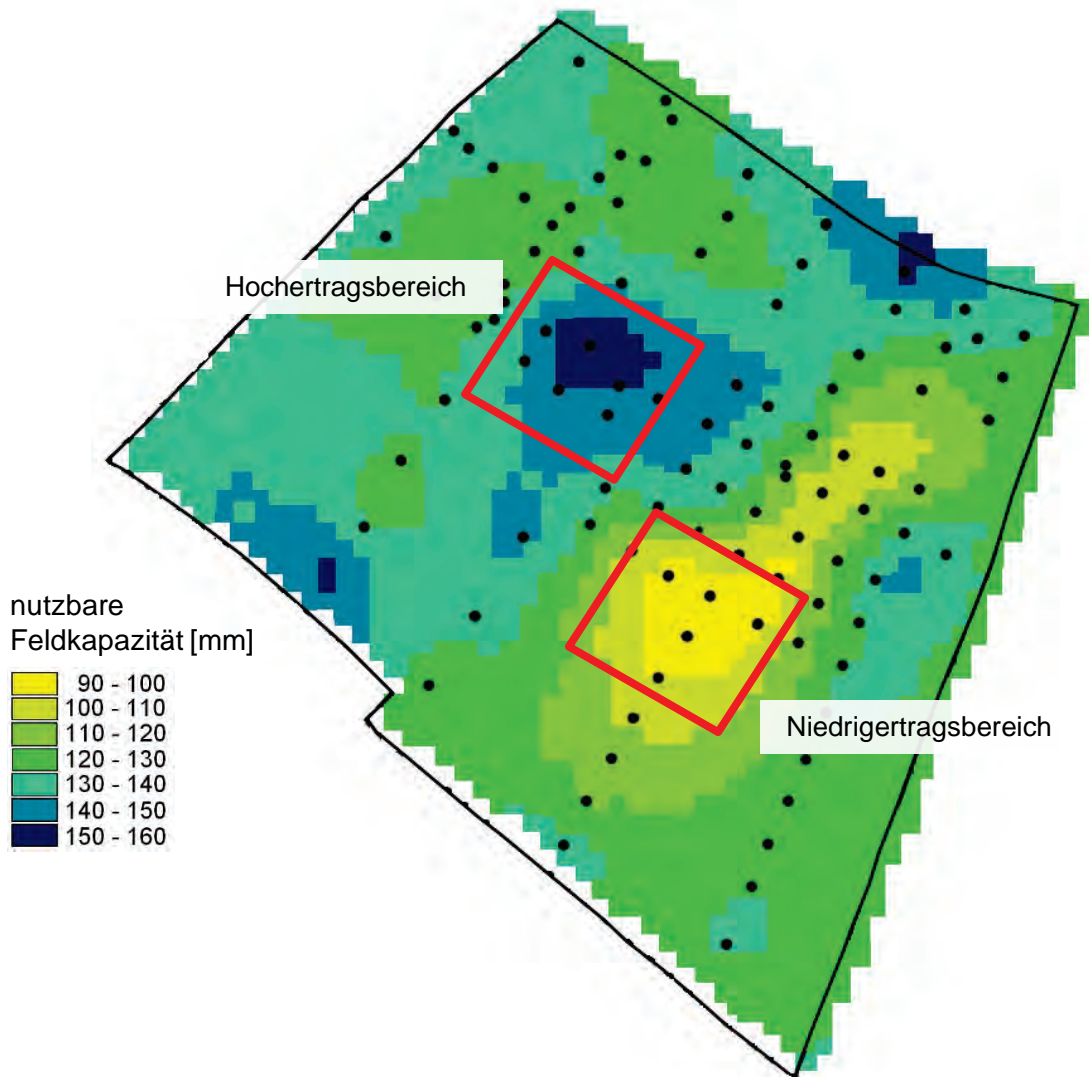


Abb. 1: Heterogenität der Bodeneigenschaften und der Ertragsbildung

2 Funktion von Pflanzensensoren

Man unterscheidet bei den Pflanzensensoren drei Funktionsprinzipien: Lasersensoren, Ultraschallsensoren und Reflexionssensoren. Zur Bestimmung des Nährstoffstatus der Pflanzen werden heute überwiegend Reflexionssensoren verwendet. Innerhalb der Gruppe von Reflexionssensoren ist noch zu unterscheiden zwischen passiv und aktiv arbeitenden Sensoren. Passive Sensoren verwenden das Sonnenlicht, können also nur am Tag eingesetzt werden. Aktive Sensoren sind mit einer eigenen Lichtquelle ausgestattet und erlauben damit auch Messungen während der Nacht.

Abbildung 2 zeigt die Reflexionsspektren verschieden mit Stickstoff gedüngter Winterweizenbestände. Im Bereich sichtbaren Lichts (< 670 nm) ist die Reflexion gering. Dieses Licht wird für die Photosynthese genutzt. Je höher die N-Düngung desto höher der Chlorophyllgehalt in der Pflanze und damit die Photosynthese. Das Ergebnis ist eine Abnahme der Reflexion im sichtbaren Bereich (< 670 nm) mit steigender Stickstoffversorgung. Im Nahinfrarotbereich (> 720 nm) sind die Reflexionsverhältnisse gerade umgekehrt. Nahinfrarotlicht wird von den Pflanzen reflektiert und vom Boden verschluckt. Je höher die

Stickstoffdüngung, desto größer die Biomasse, um so mehr Nahinfrarotlicht wird reflektiert. Aus der Höhe der Reflexion in bestimmten Wellenlängenbereichen kann so auf den Stickstoffstatus der Pflanzen geschlossen werden. Derartige Messungen lassen sich mit hoher Frequenz durchführen (300 – 1000 Messungen pro Sekunde), so dass diese während der normalen Traktorüberfahrt ausgeführt werden können.

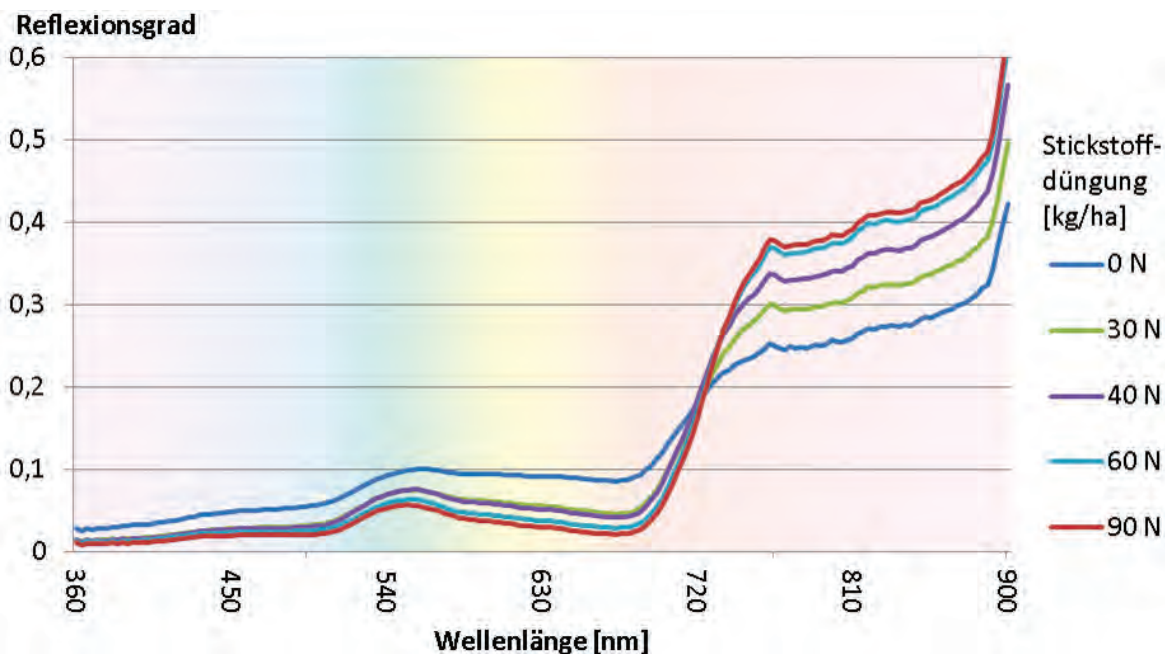


Abb. 2: Reflexionsspektren unterschiedlich gedüngter Winterweizenbestände (EC 32)

Das in Abbildung 2 dargestellte Reflexionsspektrum entstammt einem Gerät für die Forschung. Kommerzielle, dem Landwirt heute angebotene Geräte messen lediglich 2 bis 4 schmale Wellenbereiche aus dem gesamten Wellenlängenspektrum. Die Geräte der verschiedenen Hersteller unterscheiden sich in Art und Umfang der erfassten Wellenlängenbereiche.

Die Reflexionsdaten bei den erfassten Wellenlängen werden zu sogenannten Vegetationsindices verrechnet. Bekannte Vegetationsindices sind NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SRI (Simple Ratio), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), REIP oder HWP (Red Edge Inflection Point oder Hauptwendepunkt) u.a. um nur einige zu nennen. An die Vegetationsindices sind vielfältige Anforderungen zu stellen. Einige wichtige seien hier genannt:

- gute Abbildung der Messgröße (z.B. des Stickstoffstatus)
- großer Messbereich
- große Stabilität gegenüber Umwelteffekten (Strahlung, Nässe, ...)
- Sortenunabhängigkeit

Als Maß für die Güte der Abbildung der Messgröße kann das Bestimmtheitsmaß (R^2 -Wert) der Regression zwischen Vegetationsindex und Messgröße verwendet werden (Abb. 3). Eine wichtige Zielgröße bei der Bemessung der Stickstoffdüngung ist die N-Aufnahme der Pflanzen. Bei kleinen Pflanzen ist bei allen Vegetationsindices das Bestimmtheitsmaß wegen des Bodeneinflusses auf die Reflexion geringer als bei großen

Pflanzen (vgl. EC 30 mit EC 49). Aber auch bei großen Pflanzen zeigen sich gewisse Unterschiede einzelner Vegetationsindices hinsichtlich der Messgenauigkeit der Stickstoffaufnahme wie die unterschiedlichen R^2 -Werte zeigen. Gegen Vegetationsende nehmen, wegen des Blattabwurfs, die Bestimmtheitsmaße wieder ab.

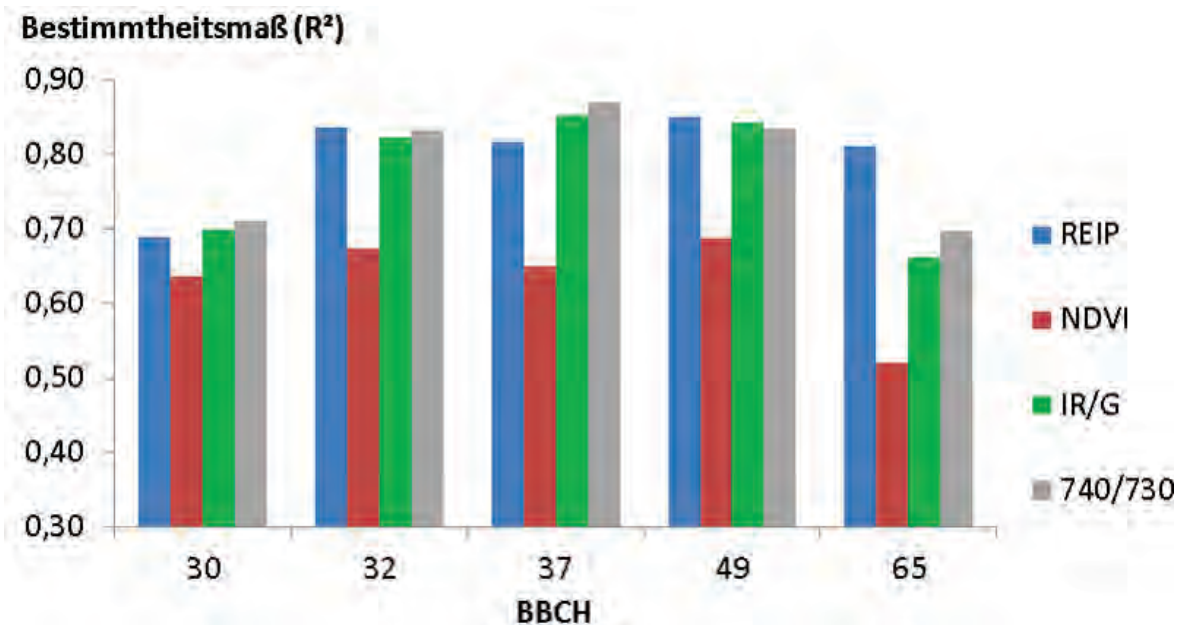


Abb. 3: Bestimmtheitsmaße verschiedener Vegetationsindices zur N-Aufnahme von Winterweizen zu unterschiedlichen EC-Stadien

Die verschiedenen Sorten einer Art können sich in der Blatthaltung und Blattfarbe (Chlorophyllgehalt) unterscheiden. Beides kann Auswirkungen auf den Vegetationsindex haben. Günstig sind Vegetationsindices, welche unabhängig von den genannten Sorteneigenschaften den N-Status der Pflanzen beschreiben. Auch der Sonnenstand beeinflusst die Reflexion bestimmter Wellenbereiche (z.B. Grünbereich). Für eine Messung unter allen Belichtungsbedingungen sollte ein Vegetationsindex derartige Wellenlängen daher nicht enthalten.

Ein weiteres besonders wichtiges Kriterium für die Qualität eines Vegetationsindexes ist der Messbereich. Die Stickstoffaufnahme der Pflanzen wird im Bereich niedriger Nährstoffgehalte von vielen Vegetationsindices gut abgebildet. Im Bereich optimaler Nährstoffversorgung zeigen sich jedoch bei zahlreichen Vegetationsindices ausgeprägte Sättigungseffekte, so dass eine Unterscheidung zwischen optimaler und suboptimaler N-Versorgung nicht immer möglich ist. Als Beispiel sei in Abbildung 4 die Beziehung des NDVI und des REIP zur N-Aufnahme von Weizen dargestellt. Während beim Vegetationsindex REIP die Beziehung zur N-Aufnahme nahezu linear verläuft, zeigen sich beim NDVI ausgeprägte Sättigungseffekte. Nur wenige Vegetationsindices gewährleisteten im Bereich optimaler N-Versorgung eine ausreichend gute Differenzierung.

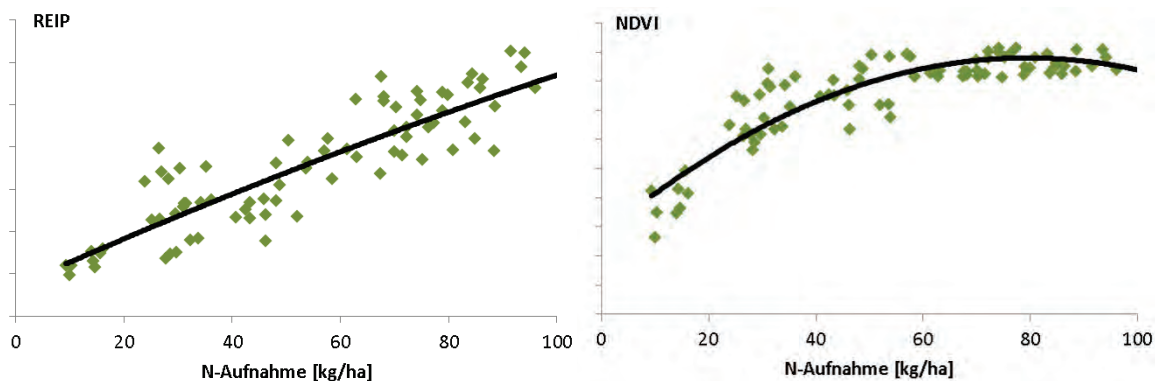


Abb. 4: Vergleich der Beziehung zwischen Stickstoffaufnahme von Winterweizen zu EC 32 und den Vegetationsindices REIP und NDVI

3 Messalgorithmen

Bei Reflexionsmessungen handelt es sich um indirekte Messungen. Die Umrechnung der Vegetationsindices in pflanzenbaulich relevante Größen (Biomasse dt/ha oder Stickstoffaufnahme kg N/ha) erfolgt mittels entsprechender Algorithmen. Diese Umrechnungsformeln werden als Messalgorithmen bezeichnet. Zu beachten ist bei Reflexionsmessungen, dass mit zunehmender Pflanzengröße der Beitrag der unteren Blätter und Stengel eines Pflanzenbestandes an der Reflexion sinkt. Je nach Pflanzengröße bedeutet daher ein und derselbe Sensorwert eine unterschiedliche Stickstoffaufnahme (Abb. 5). Für eine genaue Abschätzung entsprechender Zielgrößen ist daher eine möglichst starke Aufgliederung der Entwicklungszeit der Pflanzen in viele stadienspezifische Messalgorithmen notwendig.

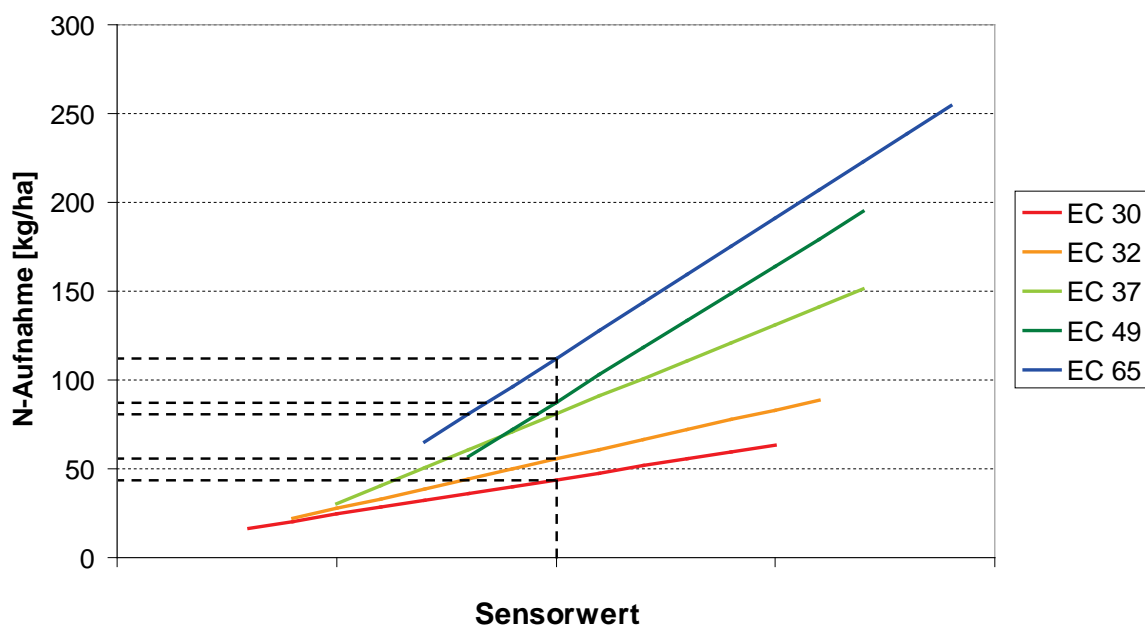


Abb. 5: Stadienabhängigkeit der Messalgorithmen

4 Verfahren der teilschlagspezifischen Düngung

Man unterscheidet drei verschiedene Verfahren der Teilschlagdüngung: Mapping, Online und Online mit Map-Overlay. Unter dem Begriff Mapping-Ansatz wird die Steuerung der Düngung mittels historischer Schlaginformationen zusammengefasst. Als Basis zur Düngerbemessung dienen Boden- und Ertragskarten. Die Planung kann bereits in der Winterzeit im Büro durchgeführt werden, wobei die N-Düngung je nach Ertragspotential des Teilschlages, z.B. hoch, mittel, niedrig, eingeteilt wird. Nachteil bei diesem Verfahren ist allerdings, dass die aktuelle Pflanzenentwicklung nicht berücksichtigt wird. Es ist aber auch kein Sensor notwendig.

Beim Online-Verfahren dagegen erfolgt die Düngung ausschließlich entsprechend dem Versorgungszustand der Pflanzen. Schwach ernährte Pflanzen werden stark, kräftig ernährte Pflanzen mäßig gedüngt. Dabei wird die Pflanzenreflektion in Echtzeit in einen Düngewert umgerechnet und dieser Wert an den Düngerstreuer weiter gegeben.

Die beiden eben beschriebenen Möglichkeiten der teilflächenspezifischen Düngung können zu einem dritten Verfahren zusammengefasst werden, genannt Online mit Map-Overlay. Bei diesem innovativen Ansatz erfasst der Sensor bei der Überfahrt den Ernährungszustand des Pflanzenbestandes. Gleichzeitig werden über vorhandene historische Ertrags- oder Bodendaten weitere Information für die schlagspezifische Düngung bereitgestellt. Über den Mapping-Ansatz wird das mögliche Ertragspotential (hoch, mittel, niedrig) als „Basis“ festgelegt und dann mit der vom Sensor gemessenen jeweiligen N-Aufnahme entsprechend korrigiert.

5 Düngealgorithmen

Von uns auf verschiedenen Standorten unterschiedlicher Ertragsfähigkeit durchgeführte Untersuchungen zur optimalen Stickstoffaufnahme zeigten, dass in Abhängigkeit des Ertragspotentials des Standorts ganz charakteristische optimale N-Aufnahmewerte zu den verschiedenen Entwicklungsstadien von Winterweizen anzustreben sind (Abb. 6). In frühen Entwicklungsstadien war der Effekt des standortspezifischen Ertragspotentials hinsichtlich der notwendigen N-Aufnahme gering, mit zunehmendem EC-Stadium kam es jedoch zu deutlichen Differenzierungen. Selbstverständlich unterscheiden sich die optimalen N-Aufnahmekurven auch entsprechend dem angestrebten Proteingehalt im Korn bzw. der Qualitätsstufe von Weizen (hier aus Platzgründen nicht dargestellt).

Grundlage für das Bemessen der Stickstoffdüngermenge bilden die für die einzelnen Ertragsniveaus und Qualitätsstufen ermittelten optimalen N-Aufnahmekurven, anhand derer sich die für das weitere Wachstum benötigte Stickstoffdüngermenge errechnet (Abb. 6). Zusätzlich wird die für jedes Entwicklungsstadium optimale N-Aufnahme mit der tatsächlichen, vom Sensor gemessenen, verglichen. Eventuelle Fehlbeträge werden auf die Düngeempfehlung aufgeschlagen, während bei einer Überversorgung eine Reduktion der ausgebrachten N-Menge erfolgt. In die aktuelle Düngeempfehlung gehen zudem die Wirkungsdauer des Düngers, die N-Immobilisierung und N-Mineralisierung sowie die Düngerausnutzungsraten mit ein (MAIDL, 2011).

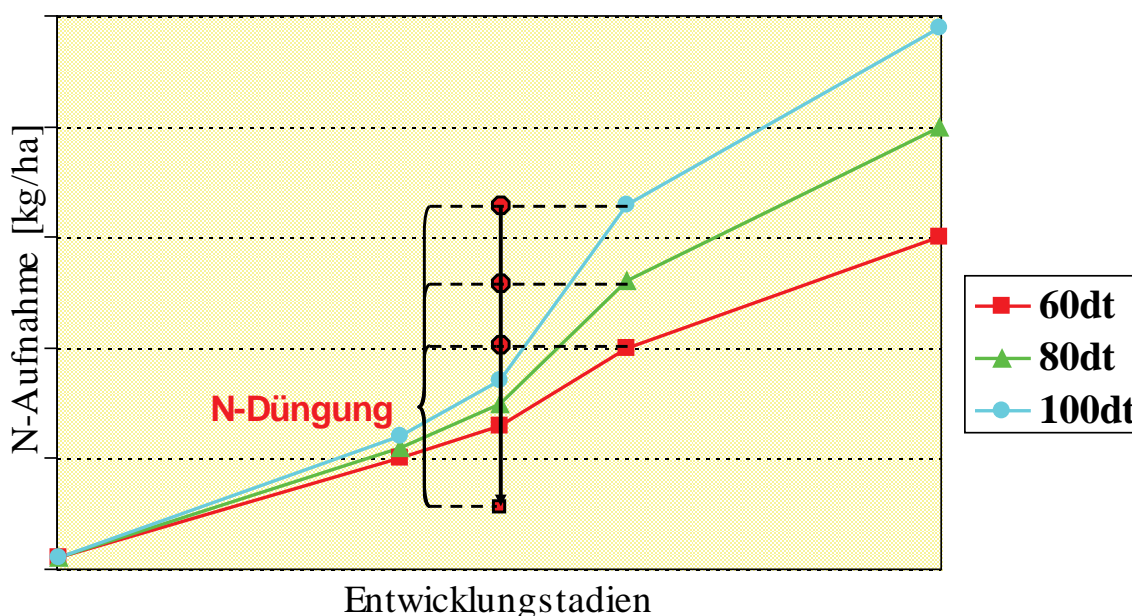


Abb. 6: Verlauf der optimalen N-Aufnahme von Brotweizen auf Teilschlägen unterschiedlicher Ertragfähigkeit

6 Vergleich verschiedener Düngungsverfahren

In zweijährigen Streifenversuchen wurden auf verschiedenen Versuchsstationen der TU München-Weihenstephan Vergleichsversuche zu Winterweizen durchgeführt, in denen ein Mapping-Ansatz, die von uns entwickelten Algorithmen für ein System Online mit Map-Overlay und ein Onlinesystem integriert waren. Als Vergleich diente eine schlageinheitlich gedüngte Variante. Die Ertragsniveaus der Teilschläge bewegten sich auf diesen Versuchsfeldern zwischen 80 dt/ha und 110 dt/ha.

Wie aus den Versuchsergebnissen hervorgeht, waren die Verfahren Online mit Map-Overlay und Mapping der schlageinheitlichen Düngung überlegen (Abb. 7). Die N-Düngermenge der Varianten einheitlich, Mapping und Online mit Map-Overlay bewegte sich im Bereich von 197 bis 206 kg N/ha. Der höhere Ertrag der beiden Teilschlagvarianten Mapping und Online mit Map-Overlay muß demzufolge aus einer besseren N-Verteilung auf die verschiedenen Ertragszonen resultieren. Die reine Sensordüngung (Online) erzielte keine höheren Erträge als die einheitliche Düngung. Die Ursache hierfür ist in der besonders kräftigen Düngung der Niedrigertragszonen zu suchen. Die kräftige Düngung der Niedrigertragszonen führte dem Liebigschen Minimum-Gesetz folgend zu einer geringen Effizienz. Dementsprechend zeigte die Variante Online auch etwas höhere N-Überbilanzen als die anderen Systeme (Abb. 8). Die beiden Systeme Mapping und Online mit Map-Overlay erreichten weitgehend ausgeglichene N-Bilanzen.

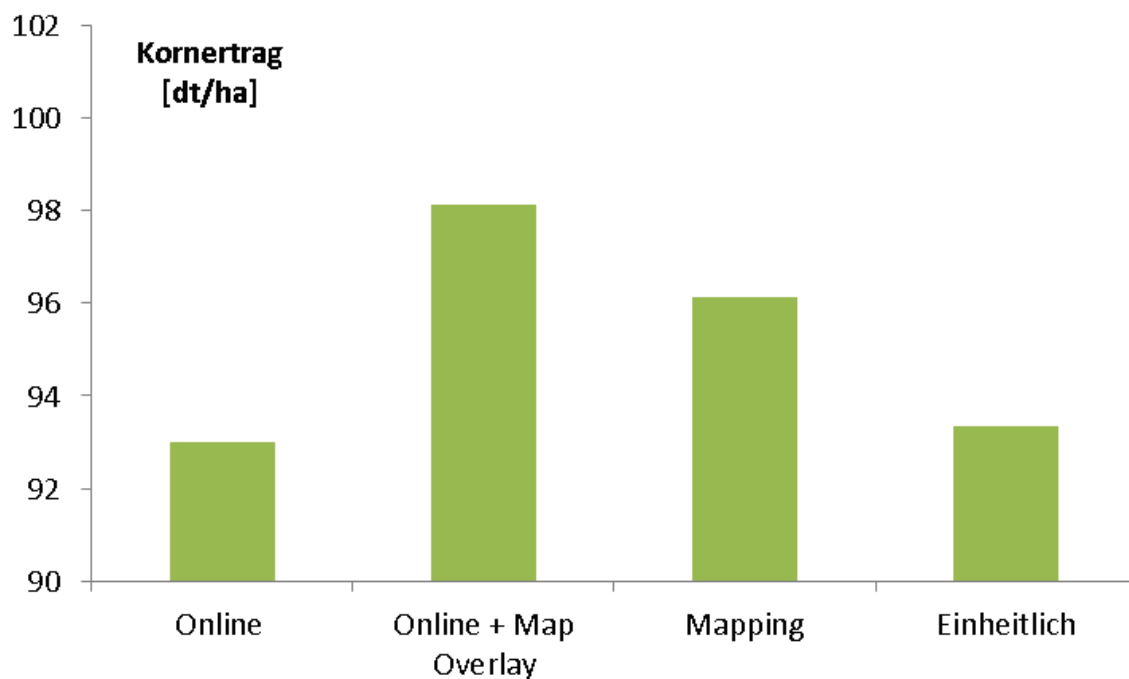


Abb. 7: Kornerträge von Winterweizen auf heterogenen Standorten nach flächeneinheitlicher Stickstoffdüngung und verschiedenen Verfahren der teilflächenspezifischen N-Applikation

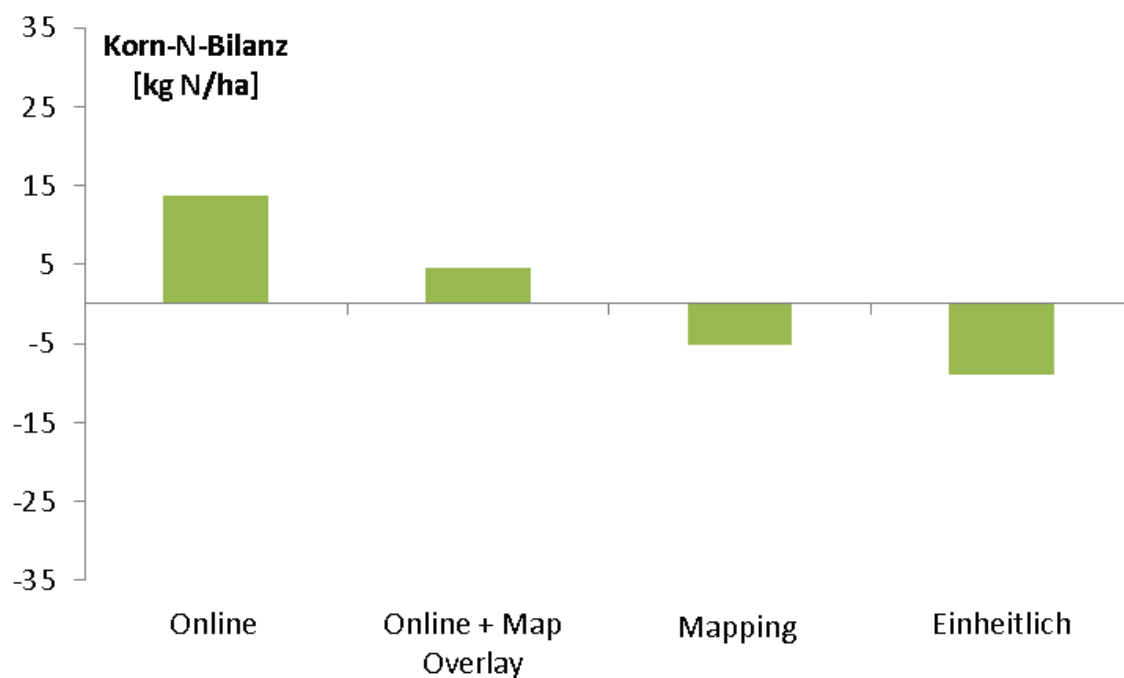


Abb. 8: Korn-N-Bilanzen von Winterweizen auf heterogenen Standorten nach flächeneinheitlicher Stickstoffdüngung und verschiedenen Verfahren der teilflächenspezifischen N-Applikation

Ähnliche Untersuchungen wurden zu Wintergerste auf unserer Versuchsstation Roggenstein durchgeführt. Verglichen wurde hier eine schlageinheitliche Düngung nach Officialberatung (DSN) mit einem Mapping-Ansatz und dem Sensor-Ansatz Online mit Map-Overlay. Die Erträge aller drei Varianten unterschieden sich nicht (Abb. 9). Die aufgewandte N-Düngermenge unterschied sich erheblich. Wurden auf der Variante einheitlich nach DSN 190 kg N/ha ausgebracht, so waren es beim Mapping-Ansatz 167 kg N/ha und nach Online mit Map-Overlay lediglich 140 kg N/ha. Die reduzierte N-Düngung bei gleichem Ertrag blieb nicht ohne Wirkung auf die Stickstoffbilanz (Abb. 10). Beim Verfahren Online mit Map-Overlay (Sensor Abb. 10) betrug die N-Überbilanz lediglich 13 kg N/ha und lag damit 40 kg N/ha unter der einheitlichen Düngung.

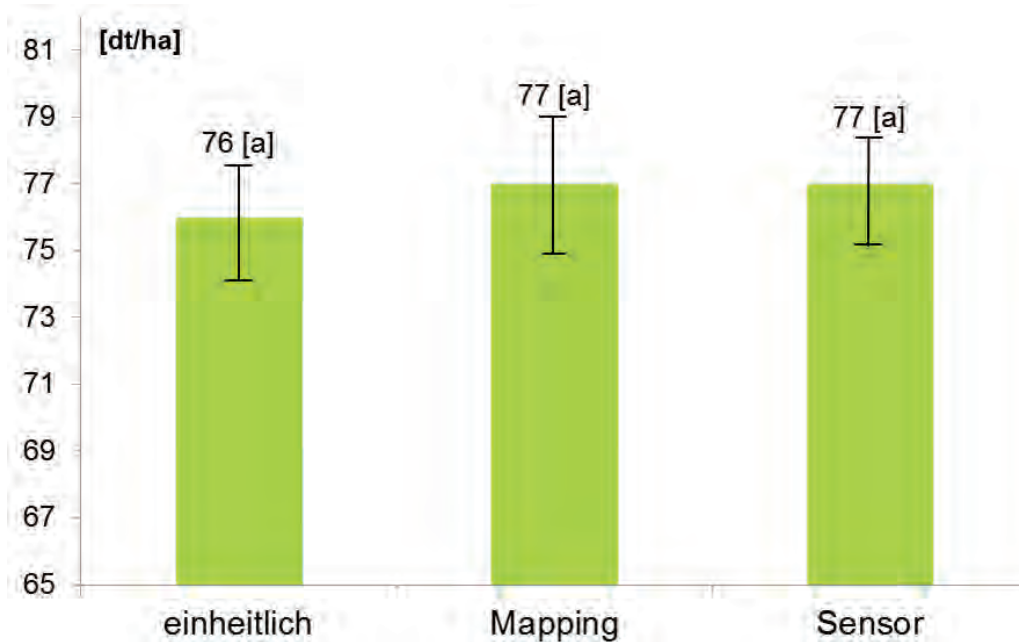


Abb. 9: Wintergerstenerträge bei teilflächenspezifischer N-Düngung

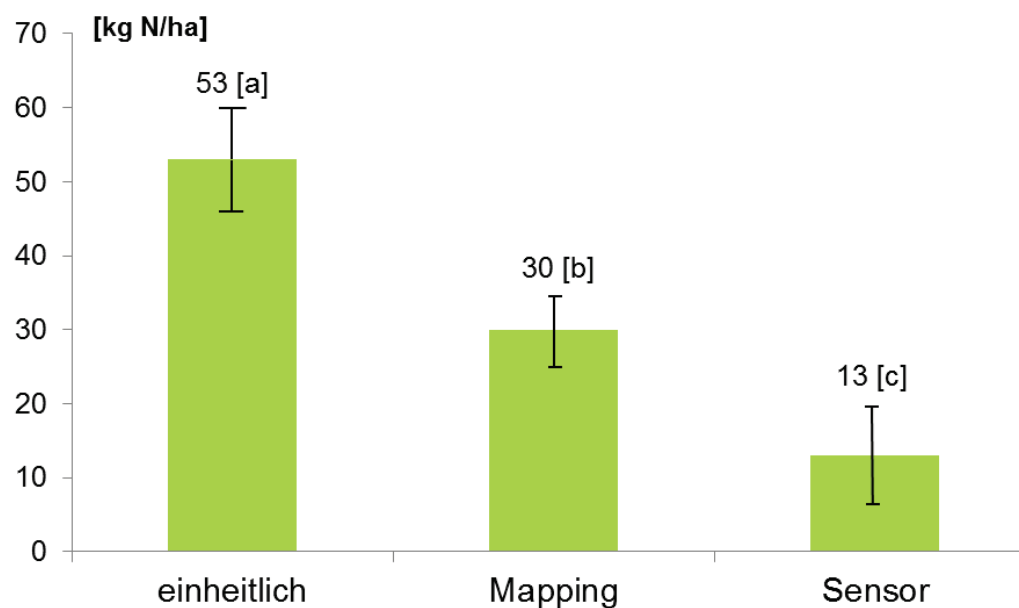


Abb. 10: N-Bilanzen zu Wintergerste nach einheitlicher und teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung

7 Am Markt angebotene Sensoren

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die derzeit in Europa am Markt angebotenen Pflanzensensoren und ihrer Charakteristika. Alle Sensoren arbeiten nach dem Reflexionsprinzip. Mit Ausnahme eines Sensors, Yara N-Sensor, handelt es sich um aktive Sensoren mit eigener Lichtquelle. Aktive Sensoren sind Tag und Nacht einsatzfähig. Wesentliche Unterschiede bestehen in den verwendeten Wellenlängen, den verwendeten Vegetationsindices und besonders hinsichtlich der Ausstattung mit Mess- und Applikationsalgorithmen. Bei Systemen ohne Mess- und Applikationsalgorithmen hat der Anwender die Aufgabe, diese selbst festzulegen. Bei Systemen mit Mess- und Applikationsalgorithmen bekommt der Anwender entsprechendes Know-how geliefert. Weitere Unterschiede bestehen in der Größe des Messfeldes, der Bedienbarkeit der Sensoren und der Anbringung am Traktor (Abb. 11).

Tab. 1: Charakteristika verschiedener auf dem Markt befindlicher Reflexionssensoren

Sensor	Funktionsprinzip	Vegetationsindices	verwendete Wellenlängen	Algorithmen	Düngeverfahren
Yara N-Sensor	passiv	S1, S2	Firmengeheimnis	ja	Online
Yara ALS	aktiv	S1	730, 760	ja	Online
CropCircle 430	aktiv	NDVI, WDWI	670, 730, 780	nein	Online
GreenSeeker	aktiv	NDVI	656, 774	nein	Online
Isaria	aktiv	IRMI	Firmengeheimnis	ja	Online und Online mit Map-Overlay



Abb. 11: Einige am Markt angebotene Sensorsysteme (links oben: Yara ALS, rechts oben: GreenSeeker, links unten: CropCircle, rechts unten: Isaria)

8 Literaturverzeichnis

- [1] HOLLAND, D., MAIDL, F.-X. (2013): Charakterisierung der N-Aufnahme und Biomasseentwicklung von Pflanzen mit Hilfe des Spektrolsensors „OpSeN“. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 25, 307 – 308.
- [2] KERN, A., MAIDL, F.-X. (2012): Optimierung der Wintergerstendüngung unter Berücksichtigung des Biomasseaufwuchses. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 24, 245 – 246.
- [3] LIEBLER J. (2003): Feldspektroskopische Messungen zur Ermittlung des Stickstoffstatus von Winterweizen und Mais auf heterogenen Schlägen. Diss TUM, Arbeitsgruppe Maidl.
- [4] LIMBRUNNER, B., F.-X. MAIDL (2006): Non-contacting measurements of the actual nitrogen status of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) canopies by laser-induced chlorophyll fluorescence. ECPA Proceedings.
- [5] MAIDL, F.-X., G. HUBER, J. SCHÄCHTL (2004): Strategies for site specific nitrogen fertilisation in winter wheat. 7th Int. Conf. Prec. Agric. Page 1938-1948, Minnesota/USA.
- [6] MAIDL F.-X. (2011): Verfahren zur Bestimmung des Düngerbedarfs, insbesondere des Stickstoff-Düngerbedarfs und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. Dt. Patentamt DE 10 2011 050 877
- [7] MAIDL, F.-X., SPICKER, A, KERN, A. (2012): Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung – Untersuchungen an Weizen. Getreide 3, 34 – 38.
- [8] MAIDL, F.-X., SPICKER, A. (2012): Optimierte N-Düngung durch Frischmassebestimmung und Sensoreinsatz. Raps 4, 27 – 31.
- [9] MAIDL, F.-X. (2012): Voraussetzungen für eine sensorgesteuerte teilflächenspezifische N-Düngung. GI-Edition 2012, 199-202.
- [10] MAIDL, F.-X., J.-N. MAIDL (2012): Charakterisierung der Trockenmassebildung und der Stickstoffaufnahme landwirtschaftlicher Kulturpflanzen mit dem Sensor Crop Circle 210. GI-Edition 2012, 203-206.
- [11] SCHMID A. (2008): Erfassung des aktuellen Stickstoffstatus von Kulturpflanzen mit berührungsloser Sensorik zur Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung. Diss. TUM, Arbeitsgruppe Maidl.
- [12] SCHÄCHTL, J. (2004): Sensorgestützte Bonitur von Aufwuchs und Stickstoffversorgung bei Weizen- und Kartoffelbeständen. Diss. TUM, Arbeitsgruppe Maidl.
- [13] STRENNER, M., MAIDL, F.-X. 2011: The Effect of Wavelength and Mathematical Formula on the Result of Measurement with different Vegetation Indices. Agri-Sensing 2011, Haifa, Israel, page 112-114.
- [14] SPICKER, A., MAIDL, F.-X. (2012): Optimierung der Winterrapsdüngung unter Berücksichtigung des Biomasseaufwuchses. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 24, 255 – 256.
- [15] SPICKER, A., MAIDL, F.-X. (2013): Möglichkeiten einer sensorbasierte, teilflächenspezifische N-Düngung zu Winterraps. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 25, 98 – 99.

- [16] SPICKER, A., MAIDL, F.-X. (2014): Optimierung der N-Bilanz von Winterraps durch Einsatz von Pflanzensensoren. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 26, 298 – 299.
- [17] SPICKER, A., MAIDL, F.-X. (2014): Optimierung der Düngung von Wintergerste durch Einsatz von Pflanzensensoren. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 26, 72 – 73.

Praktische Erfahrungen mit einem Stickstoff-Sensor

Sara und Max Stürzer

Gut Schwaige, Starnberg und Gut Hüll, Gilching, Oberbayern

Zusammenfassung

Die Familie Stürzer bewirtschaftet südwestlich von München einen Ackerbaubetrieb mit 330 ha LN. Die Betriebsflächen an zwei 12 km voneinander entfernten Standorten liegen auf 580-650 m ü N.N. Der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 1.000 mm; in den vergangenen Jahren hat er mehrmals 1.250 mm überschritten. Auf Böden mit Bodenzahlen zwischen 40 und 65 Bodenpunkten (1/3 Pararendzinen über Kalkschotter, 1/3 Parabraunerden, 1/3 stark wechselnde Alt-/Jungmoränenböden) werden Raps, Weizen und Braugerste angebaut. Die Bestellung erfolgt überwiegend nicht wendend, situationsbedingt wird der Pflug eingesetzt. Die Maschinen sind für maximale Bodenschonung ausgewählt und mit Niederdruckbreitreifen oder Gummibandlaufwerken ausgerüstet.

Der Betrieb nutzt intensiv Werkzeuge des Precision Farming. Seit 1998 erfolgt Ertragsermittlung im Mähdrescher mit Ertragskartierung, seit 2010 sind alle Schlüsselmaschinen mit hochgenauen automatischen Lenksystemen ausgestattet. Zwischenzeitlich wurden für alle Schläge und Arbeitsgänge optimierte Fahrwege mit dem Ziel vorgeplant, die Fahrwege, die überrollten Flächen und die Wendezeiten zu minimieren.

Im Jahr 2008 wurde erstmals ein Pflanzensensor eingesetzt. Die Messergebnisse und darauf aufgebauten Kartierungen bestätigten die Erfahrungen des Betriebsleiters, brachten aber auch die eine oder andere überraschende Information hervor, die sich bei intensiverer Analyse (Bodenproben, Aufgraben, ...) als richtig erwies. Besonders der Vergleich identischer Kulturen auf mehrjährig gleich bewirtschafteten Schlägen war sehr interessant.

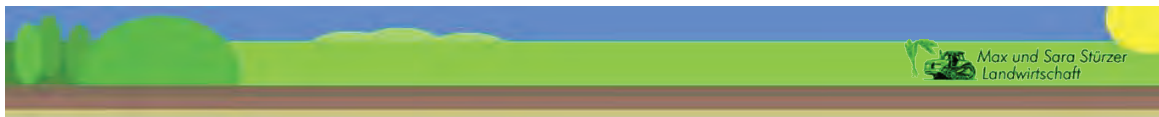
Seit dem Jahr 2012 werden mehrere identische Sensoren verteilt über die Arbeitsbreite der Pflanzenschutzspritze (30 m AB) kontinuierlich eingesetzt. Bisher erfolgt die Anwendung immer „Off-Line“, das heißt, die Messwerte werden bei jeder Überfahrt aufgezeichnet, kontrolliert und dann erst ausgewertet. Dies hat den Vorteil, dass abrupte und unerklärlich Abweichungen in Arbeitsrichtung und besonders auch über die Arbeitsbreite zwischen den Sensoren korrigiert und mit verfügbarem Wissen abgeglichen werden können, bevor die Informationen in Stickstoff-Düngungsvorgaben umgesetzt werden.

Die Familie Stürzer will weiterhin Pflanzensensoren einsetzen, da sie davon überzeugt ist, dass diese wertvolle zusätzlich Informationen liefern, sicher und schnell auf Problemzonen hinweisen und darüber hinaus die intensive Auseinandersetzung mit den Grundlagen und Feinheiten des Pflanzenbaus fördern und fordern. Da das Vertrauen in die Zuverlässigkeit und absolute Höhe der Messwerte noch nicht ausreicht, persönliche Erfahrungen in die Stickstoff Düngung einfließen sollen und noch nicht alle acker- und pflanzenbaulichen Zusammenhänge bei der Stickstoffdüngung am Standort klar sind, soll das System auch in naher Zukunft „Off-Line“, also absätzig eingesetzt werden. Auch wenn noch nicht alles so funktioniert wie von den Herstellern versprochen, möchte die Familie Stürzer auf das Hilfsmittel Pflanzensensoren nicht verzichten.



Betriebsübersicht Gut Schwaige und Gut Hüll

- 15 km südwestlich von München
- 330 ha Ackerbaubetrieb
- Geologische Lage auf Seiten und Endmoränen
- Dadurch bedingt inhomogene Böden
- 580 bis 650 m über NN
- 900 bis 1100 mm Jahresniederschlag
- Ackerzahlen von 40 bis 65 BP

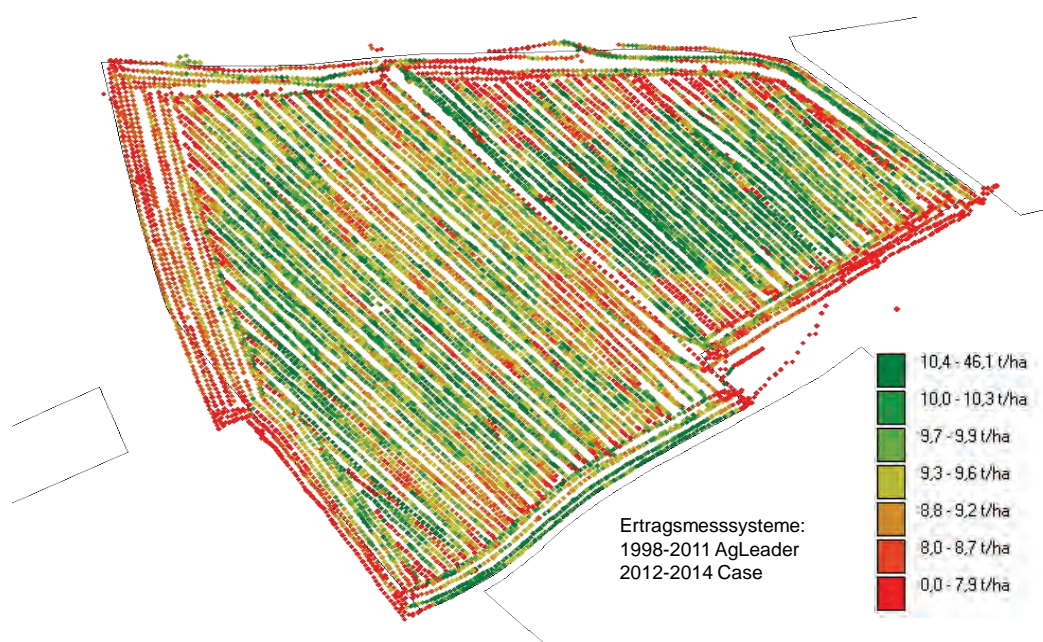


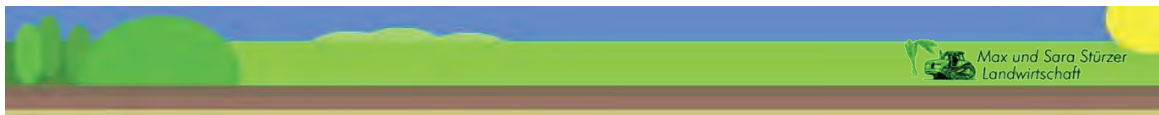
Kennzahlen des Ackerbaues

25%	Raps	ca. 50 dt/ha
25%	Weizen	ca. 90 dt/ha
50%	Sommergerste	ca. 70 dt/ha

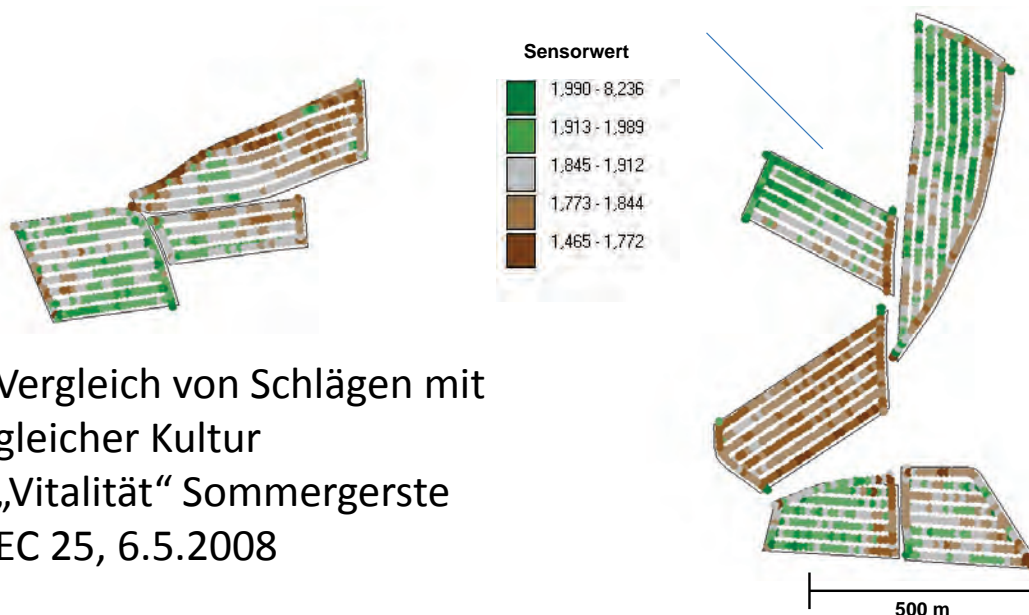


Durchgehend Ertragskartierung seit 1998

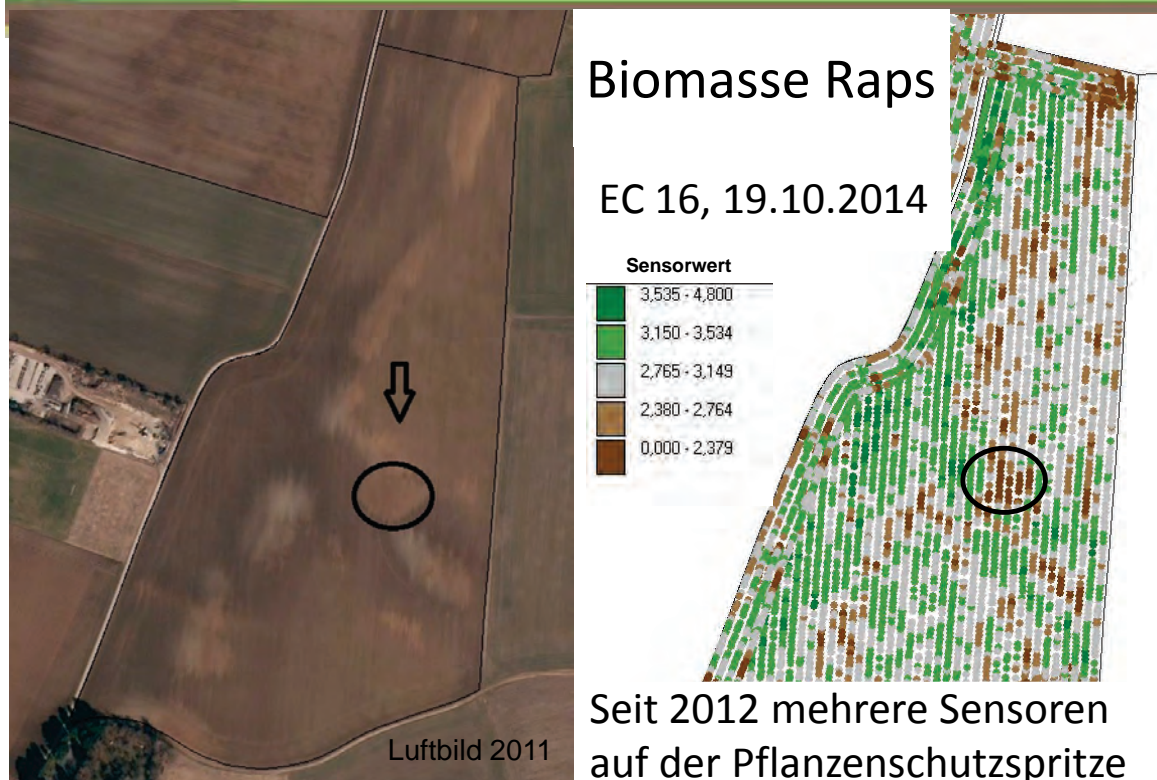




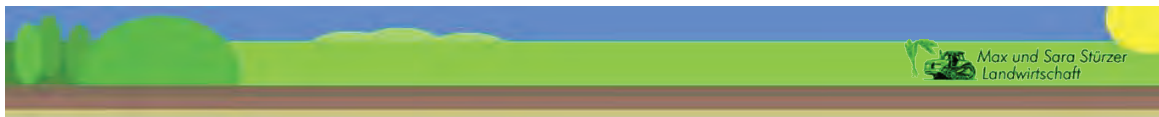
Erste Versuche mit Pflanzen-Sensoren 2008



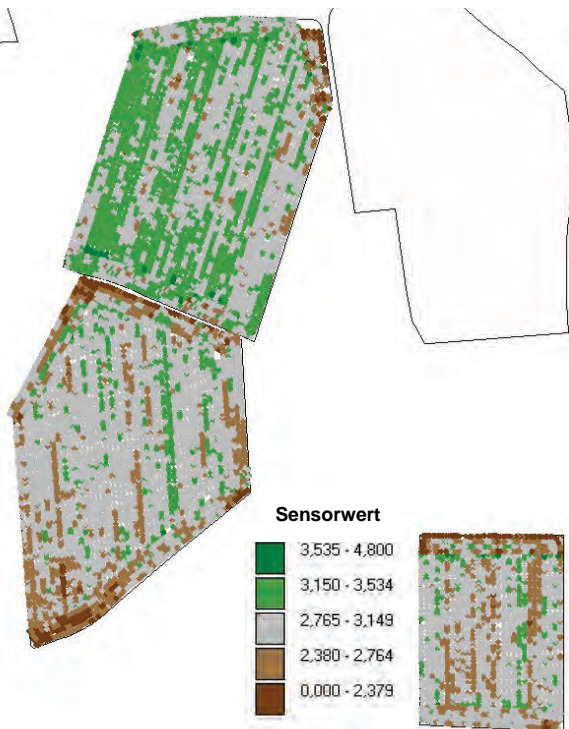
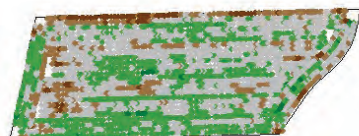
Vergleich von Schlägen mit gleicher Kultur
„Vitalität“ Sommergerste
EC 25, 6.5.2008



Seit 2012 mehrere Sensoren auf der Pflanzenschutzspritze



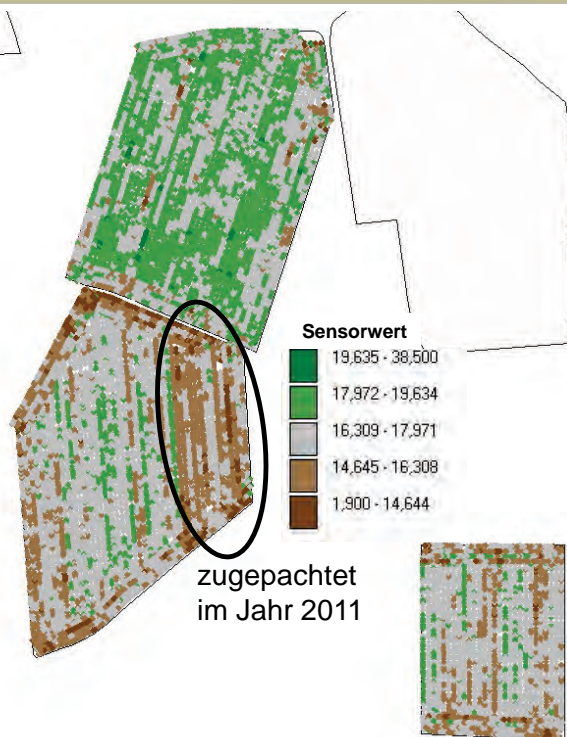
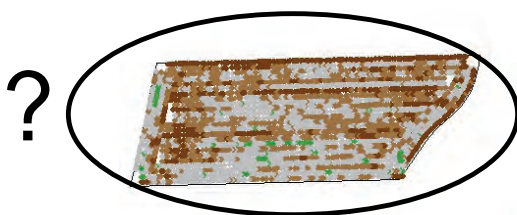
Biomasse Raps



Vergleich mehrerer Schläge
 EC 16, 19.10.2014
 Langjährig identisch
 bewirtschaftet



N-Versorgung Raps



Vergleich mehrerer Schläge
 EC 16, 19.10.2014
 Langjährig identisch
 bewirtschaftet



N-Versorgung W-Weizen

Vergleich mehrerer Schläge

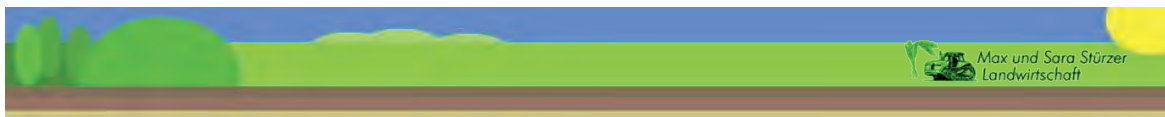
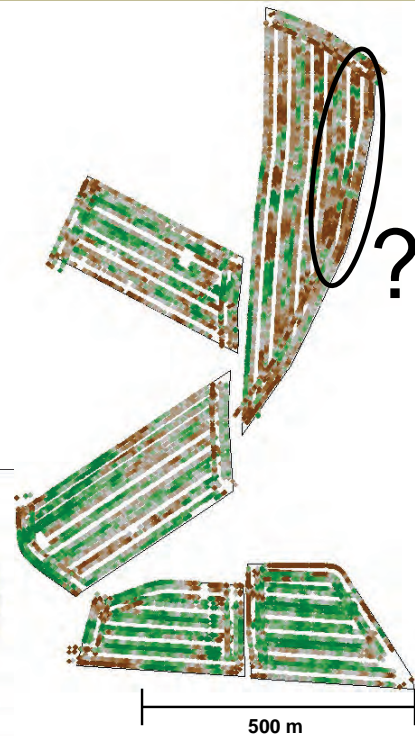
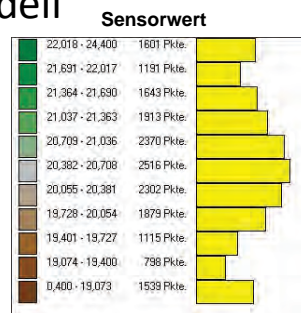
EC 29, 12.04.2014

langjährig identisch

bewirtschaftet

Kritisches Stadium

„Roggensteiner Modell“



N-Versorgung W-Weizen

Vergleich mehrerer Schläge

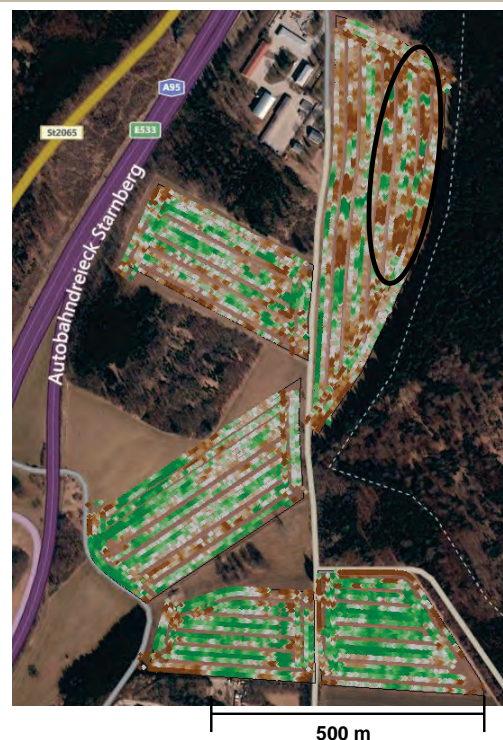
EC 29, 12.04.2014

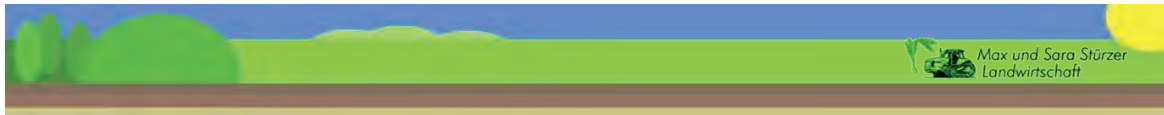
langjährig identisch

bewirtschaftet

- Lage neben Wald
- Höhenunterschiede
- Kaltluftsenken

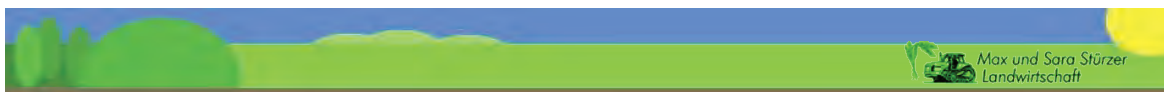
Nur wenige Meter machen großen Unterschied!





Erfahrungen mit N-Sensoren 2008-2014

- Positiv:
- zusätzliche wertvolle Informationen
 - Hinweise auf Problemzonen
 - Förderung + Forderung Pflanzenbauwissen
- Negativ:
- Großer Interpretationsbedarf
 - Zuverlässigkeit, Unsicherheit (Diskrepanz zwischen baugleichen Sensoren)
- Zukunft:
- Weiterhin Off-Line Betrieb!
 - Hoffentlich bald sicherer On-Line Betrieb



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen (Bedarf, Verfahren, Internet-gestütztes Bewässerungsmodell)

Dr. Martin Müller¹ und Dr. Markus Demmel²

¹Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.,
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung,
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Zusammenfassung

In vielen Fällen ist Wasser für die pflanzliche Erzeugung der limitierende Faktor. Mit Bewässerung lassen sich Trockenphasen überbrücken. Dies trägt zu einer insgesamt gleichmäßigeren Ertragsbildung während der Vegetationsperiode bei und verbessert die Düngereffizienz, beschleunigt die Fruchtentwicklung, erhöht die Ertrags- und Qualitätssicherheit und bewirkt eine Verringerung der Nitratauswaschung, weil aufgrund höherer Erträge zu Vegetationsende weniger Restnitrat im Boden verbleibt.

Es ist davon auszugehen, dass Bewässerung in Bayern und anderen Teilen Deutschlands weiter zunehmen wird. Hierbei steht die Sicherung des Betriebseinkommens und der Wertschöpfung im ländlichen Raum im Vordergrund.

Bewässerung ist teuer in der Anschaffung und aufwändig in der Handhabung. Deshalb ist es für einen erfolgreichen Einsatz entscheidend, entsprechende Technik möglichst effizient zu nutzen. Mit dem Bodenwasser-Modell Weihenstephan lassen sich Maßnahmen der Bewässerung situationsbezogen planen und durchführen.

1 Einleitung

Pflanzenbau ist auf Wasser angewiesen. Im Freiland hängt die Verfügbarkeit für die Kulturbestände von den klimatischen Standortbedingungen, den Speichereigenschaften der Böden und dem Aneignungsvermögen der Pflanzen ab.

Durch den Klimawandel werden häufigere Trockenperioden im Sommer und mehr Regen in frostarmen Wintern erwartet. Während der Vegetationsperiode sollen Starkregenereignisse auf Kosten einer gleichmäßigen Niederschlagsverteilung zunehmen. Es wird mit stärkerer Sonneneinstrahlung und steigenden Temperaturen gerechnet (KARTSCHALL ET AL. 2007). Das erhöht die Verdunstung und damit den Wasserverbrauch auf bewachsenen Böden.

Ackerbausysteme müssen an die sich ändernden Bedingungen angepasst werden. Bewässerungsmaßnahmen werden zunehmend erforderlich. Diese sollten bei knappem Angebot an Wasser effizient und wassersparend erfolgen.

2 Berechnungsbedarf

Die Notwendigkeit zu beregnen / bewässern variiert in Abhängigkeit von den natürlichen Standortbedingungen, der Art und Intensität der Bewirtschaftung und dem marktwirtschaftlichen Rahmen. In welchem Maße der angebaute Kulturbestand seinen Wasserbedarf über Niederschläge decken kann, resultiert aus den Faktoren Boden, Klima und Pflanze.

2.1 Faktor Klima

Die Niederschlagsmengen unterscheiden sich zwischen einzelnen Anbauregionen Bayerns in erheblichem Maße (Tab. 1).

Tab. 1: Durchschnittliche Niederschläge (NS), Globalstrahlung (GS), Temperatur (T) und Wind (W) in unterschiedlichen Anbauregionen Bayerns, Mittelwerte aus 20 Jahren (1994-2013)

Standort	NS / mm	GS / (Wh/m ²)	T / °C	W / (m/s)
Obersteinbach (LfL-Wetterstation, Lks. Roth – Mittelfranken)	702	3.048	9,2	1,2
Köfering (LfL-Wetterstation, Lks. Regensburg – Oberpfalz)	677	3.009	8,7	1,0
Roggenstein (LfL-Wetterstation, Lks. FFB – Oberbayern)	913	3.088	8,6	1,3

verdunstungsrelevant

Allgemein lässt sich sagen, dass die Regenmengen mit zunehmender Nähe zu den Alpen wegen steigender Gewitterneigung vor allem in den Sommermonaten stark zunehmen. Zudem ist eine Abnahme der Niederschläge von West nach Ost zu verzeichnen. Hinsichtlich der verdunstungsrelevanten Klimafaktoren wie Globalstrahlung, Temperatur und Wind gibt es zwischen den in Tabelle 1 dargestellten Anbauregionen hingegen keine wesentlichen Unterschiede. Der Wasserbedarf einzelner Kulturarten, d. h. die Verdunstung ist in diesen Gebieten jeweils ähnlich hoch (Abb. 1).

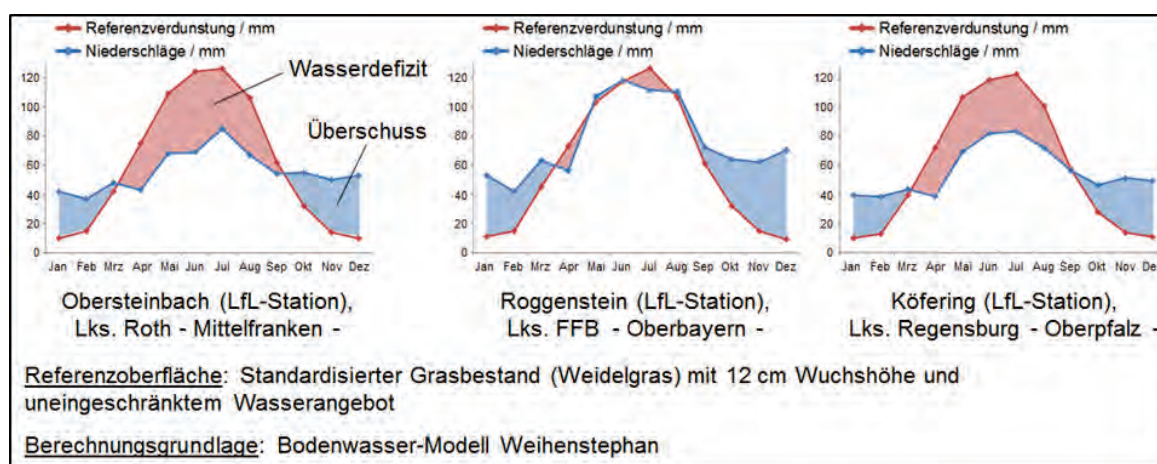


Abb. 1: Niederschläge und Verdunstung in unterschiedlichen Anbauregionen Bayerns, Mittelwerte aus 20 Jahren (1994-2013)

Neben der Gesamtmenge an Niederschlag pro Jahr ist die Regenverteilung im Jahresverlauf maßgeblich. Zwar regnet es in den Sommermonaten überproportional viel. Trotzdem übersteigt laut Klimabilanz der Jahre 1994 bis 2013 die Verdunstung ab April in Mittelfranken und der Oberpfalz die Höhe der Niederschläge. Daraus resultiert ein Wasserdefizit, aber auch eine ausgeglichene vieljährige Klimabilanz während der Vegetationsperiode (z.B. Landkreis Fürstentfeldbruck in Oberbayern) ist im Einzeljahr keine Gewähr für ausreichenden Niederschlag (Abb. 2).

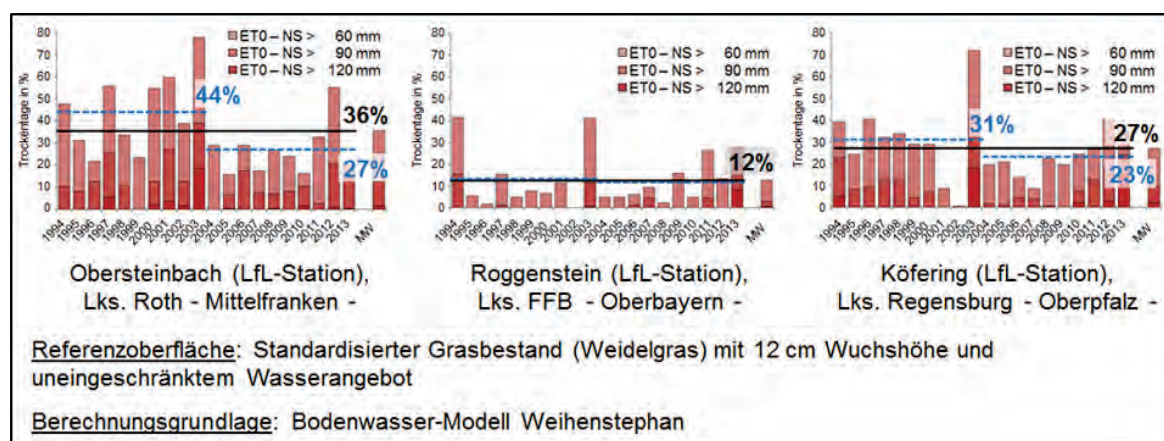


Abb. 2: Trockenphasen in unterschiedlichen Anbauregionen Bayerns, Mittelwerte aus 20 Jahren (1994-2013) (ET0 Grasreferenzverdunstung, NS Niederschlag)

Berechnungen zufolge gingen demnach selbst am „Feuchtstandort“ Roggenstein im 20-jährigen Mittel 12% aller Tage von April bis September Trockenphasen voraus, während derer es innerhalb von 30 Tagen mindestens 60, 90 oder 120 Millimeter weniger als die Höhe der Referenzverdunstung regnete.

Zwischen 2004 und 2013 war es an den betrachteten Standorten, speziell in Mittelfranken, feuchter als im Durchschnitt der vergangenen 20 Jahre (Abb. 2). Dies lässt für die Jahre ab 2014 im Mittel trockenere Bedingungen erwarten, als es zwischen 2004 und 2013 der Fall war.

Am Standort Obersteinbach schwankte das Auftreten von Trockenphasen in den vergangenen 20 Jahren mit einem Variationskoeffizient von 48% wesentlich weniger stark als am Standort Roggenstein (Var.-Koeff. = 98%). Schreibt man die Unterschiede in die Zukunft fort, ist in der Region um Roggenstein eher flexibel einsetzbarer Technik der Vorzug zu geben, mit dem Ziel, die Erträge in einzelnen trockenen Jahren zu sichern, während in der Region um Obersteinbach Bewässerungstechnik tendenziell verstärkt mit dem Ziel angeschafft und eingesetzt werden kann, die Erträge und Qualitäten in jedem einzelnen Jahr zu steigern.

2.2 Faktor Boden

Die Fähigkeit von Böden, Wasser pflanzenverfügbar zwischenspeichern, ist stark von der jeweiligen Bodenart abhängig. Grundsätzlich ist die Speicherfähigkeit von Lehmböden größer als von Sand- oder Tonböden. Trocknen Böden ab, sinkt die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser. Außerdem steigen ab einem gewissen Grad der Abtrocknung, je nach Bodenart, die Saugkräfte, mit denen das verbleibende Wasser im Boden festgehalten wird, sehr stark an (Abb. 3). Im selben Maß wie der Anstieg der Saugkräfte

erhöht sich der Energieaufwand, den Pflanzenbestände aufbringen müssen, um sich dieses Restwasser anzueignen. Deshalb ist es grundsätzlich nicht sinnvoll mit der Bewässerung zu warten, bis Böden weitgehend ausgetrocknet sind. An heißen Sommertagen wären die Pflanzen dann nicht in vollem Umfang in der Lage, die für die Wasseraufnahme benötigte Energie aufzubringen. Das während der Mittagshitze zur Verfügung stehende Zeitfenster wäre hierfür zu kurz. Die Folge wären trockenstressbedingte Wachstumsstörungen mit Ertrags- und Qualitätsverlusten und / oder Wachstumsverzögerungen. Auf sandigen Böden ist ab einer Bodenfeuchte < 50 % der nutzbaren Feldkapazität mit Wachstumsverzögerungen zu rechnen, auf schweren Böden liegen die Grenzwerte höher.

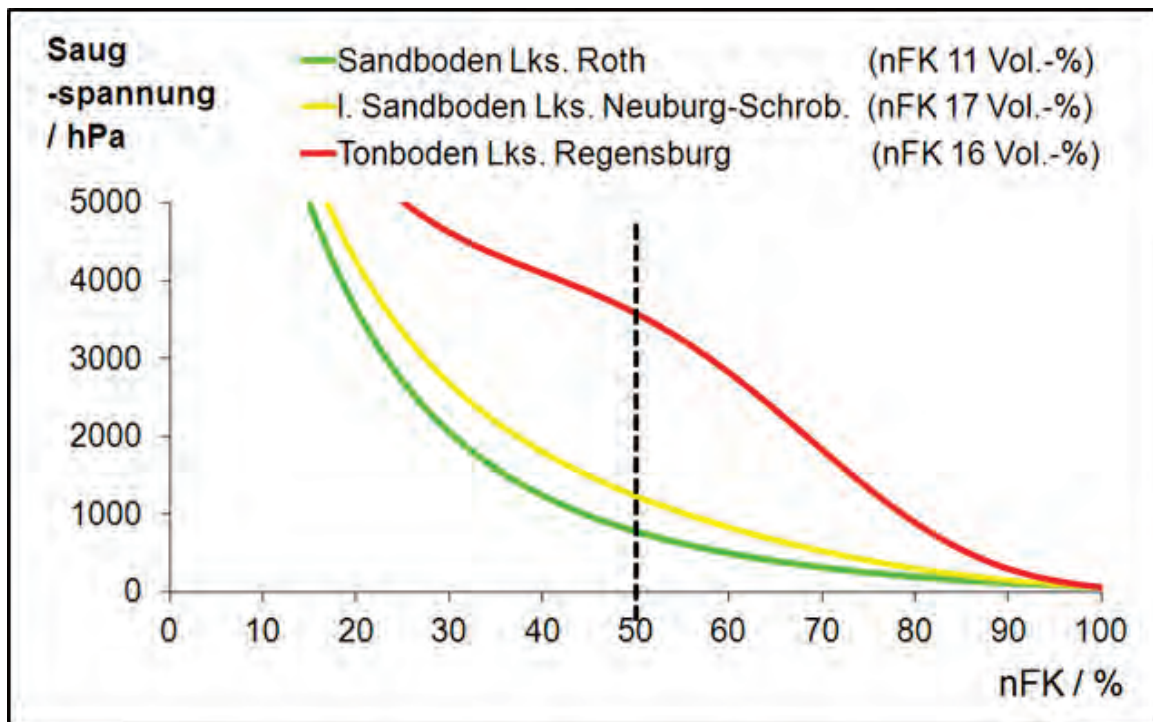


Abb. 3: Verfügbarkeit des Bodenwassers in Abhängigkeit von der Bodenart (Quelle: LfL-Projekt Agroklima-Bewässerung, 2011)

2.3 Faktor Pflanze

Zwischen Biomassebildung und Wasserverbrauch besteht ein enger Zusammenhang. Bei Wassermangel kommt es zu einer Einschränkung der Transpiration und damit zu einer Verminderung des Stoffumsatzes. Zwischen den Kulturarten gibt es große Unterschiede im Wasserverbrauch, die auch von der Wachstumszeit und der Wachstumsdauer abhängig sind. Wintergetreide wachsen auch in der kühleren Jahreszeit im Herbst und Frühjahr und haben deshalb einen geringeren durchschnittlichen Tageswasserbedarf als die entsprechenden Sommergetreidearten. Blattfrüchte haben wegen ihrer langen Vegetationszeit in den Sommermonaten einen höheren Wasserbedarf als Getreide. Den höchsten Wasserbedarf hat Grünland (CHMIELEWSKI, 2011) (Tab. 2).

Tab. 2: Wasserbedarf und Wassernutzungseffizienz verschiedener Feldfrüchte (HUNGER 2014, KNOBLAUCH 2009, verändert)

Feldfrucht	Wasserbedarf / mm	Vegetationsdauer / (d/a)	Transpirationskoeffizient / (l/kg TM)	Kritische Stadien
W. Weidelgras	700	350	360	
Winterraps	650	320	300	Blüte, Kornausbildung
Winterweizen	550	280	350	Schossen, Blüte - Kornfüllung
Zuckerrübe	450	180	250	Ab Reihenschluss
Kartoffel	400	120	250	Knollenansatz, Knollenbildung
Silomais	350	140	200	Blüte
Sommergerste	350	130	350	Schossen, Blüte - Kornfüllung

Darüber hinaus ist der Wasserbedarf in hohem Maße vom Entwicklungsstand der jeweiligen Kulturart abhängig. In Tabelle 3 ist der relative Wasserbedarf beispielhaft für Kartoffeln anhand ausgewählter Entwicklungsstadien dargestellt.

Tab. 3: Relativer Wasserbedarf in Abhängigkeit von der Entwicklung des Kartoffelbestandes, abgeleitet aus Freilandversuchen der Jahre 2009 bis 2014 (Quelle: LfL-Projekt Agroklima-Bewässerung)

Entwicklungsstadium	Relativer Wasserbedarf
Auflaufen	55 %
Wuchshöhe der Pflanzen 15 cm	90 %
Bestandesschluss	100 %
Laubfärbung, Beginn	80 %
Vergilbung, 50 %	45 %

Die Pflanzen können nur das Wasser im durchwurzelten Bodenraum erschließen. Tiefwurzeln Pflanzen, z.B. Winterraps und Zuckerrüben, können Wasser auch aus tiefen Bodenzonen bis etwa einen Meter aufnehmen, Kartoffeln hingegen nur bis maximal 60 cm.

Speisekartoffeln haben im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen die mit Abstand größte Bewässerungswürdigkeit. Deshalb sind Kartoffeln bei begrenzten Kapazitäten ggfs. bevorzugt zu bewässern. Ertragssicherheit, Ertragsniveau, Knollenansatz, Sortierung und weitere äußere bzw. innere Qualitätsmerkmale lassen sich auf diese Weise bei Trockenheit positiv beeinflussen. Hierzu gilt es, die Kartoffeldämme während der Hauptwachstumsphase mittels Bewässerung dauerhaft feucht und kühl zu halten. Auch die Geschwindigkeit der Ertragsbildung lässt sich mit Bewässerung in Trockenjahren steigern, was speziell bei der Erzeugung von Frühkartoffeln von Bedeutung ist.

An Grenzstandorten (z.B. Münchner Schotterebene) oder bei guten Erzeugerpreisen kann sich die Bewässerung auch im Getreide, ebenso bei Zuckerrüben, Mais und Raps rechnen.

Grundsätzlich gilt: je höher das Kompensationsvermögen einzelner Kulturarten nach vorübergehenden Trockenphasen ist, desto geringer ist die Bewässerungsbedürftigkeit.

Mais und Zuckerrüben haben ein besonders hohes Kompensationsvermögen (tiefreichende Wurzeln, hohe Wassernutzungseffizienz, bis zu einem gewissen Grad an Trockenheit die Fähigkeit zur reversiblen Anpassung des Blattapparats zur Senkung der Transpiration, lange Hauptvegetationsperiode mit der Möglichkeit trockenheitsbedingte Wachstumsverzögerungen bei nachfolgenden Niederschlägen zu kompensieren). Deshalb ist für Mais und Zuckerrüben eine Intensität der Bewässerung sinnvoll, die unterhalb der optimalen Wasserversorgung liegt.

Mit gleicher Tendenz verhält es sich bei Winterraps, Sommer- und Winterweizen, Winterroggen und Triticale.

Lediglich bei Sommer- und Wintergerste ist bei Trockenheit den Ergebnissen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zufolge eine zeitige und intensive Bewässerung besonders wirtschaftlich. Hierdurch lässt sich eine Reduktion der Bestandesdichte und Zwiewuchs wirksam vermeiden. Die Beregnung von Getreide, Mais, Zuckerrüben und Raps ist häufig nur dann wirtschaftlich, wenn die Fixkosten vollständig den besonders beregnungswürdigen Kulturarten, z.B. Kartoffeln, zugeordnet werden und freie Beregnungskapazitäten damit ohnehin vorhanden sind (FRICKE, 2013).

3 Bewässerungsverfahren

Grundsätzlich stehen verschiedene Techniken zur Verfügung. Die Auswahl der Beregnungstechnik orientiert sich im Einzelfall nach den örtlichen Gegebenheiten, der Verfügbarkeit bzw. den Bereitstellungskosten von Wasser (Brunnenleistung) und der Größe und Form der Schläge. Ziel ist grundsätzlich eine ausreichende Wasserversorgung während Trockenphasen und eine gleichmäßige Verteilung des Wassers zu möglichst geringen Gesamtkosten.

3.1 Rohrberegnung

Bei der Rohrberegnung werden verzinkte Stahlrohre bzw. Aluminiumrohre mit Schnellkupplungen in gleichmäßigen Reihenabständen verlegt (Abb. 4). Die Regner werden dann in regelmäßigen Abständen an diese Leitungen montiert. Wegen des hohen Arbeitsaufwandes wird die Rohrberegnung im Frühjahr meist fest verlegt und erst am Ende der Vegetationsperiode wieder abgebaut (KTBL, 2013). Durch Überlappung der Wasserstrahlen der Regner ist die Verteilgenauigkeit im Vergleich zu anderen Verfahren relativ schlecht. Der große Vorteil ist, dass mit der Rohrberegnung auch sehr kleine Wassermengen mit geringen Beregnungsintensitäten ausgebracht werden können. Deshalb wird die Rohrberegnung häufig im intensiven Gemüsebau verwendet, wenn bei geringen Wurzeltiefen nach der Saat oder nach dem Pflanzen der Oberboden dauerhaft feucht gehalten werden soll.



Abb. 4: *Rohrberegnung: besonders geeignet für kleine und flächige Wassergaben*

3.2 Kreisberegnung

Der Einsatz der Kreisberegnung (Abb. 5) setzt Schlaggrößen von mindestens 30 ha und möglichst Kulturarten mit häufigem Beregnungseinsatz voraus. Deshalb kommt dieses Verfahren in Bayern aktuell nicht zum Einsatz. Der Vorteil dieser Technik wäre eine gleichmäßige Wasserverteilung, Automatisierbarkeit und die Möglichkeit der teilschlag-spezifischen Bewässerung.



Abb. 5: *Kreisberegnung für großflächige Strukturen*

3.3 Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug

Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug (Abb. 6) können mit relativ geringem Aufwand und von einer Person betrieben werden. Beim Beregnen wird der Wagen mit der Rohrtrommel am Feldrand platziert. Das Ausziehen des PE-Rohrs, an dem sich der Regner befindet, erfolgt mit einem Schlepper. Beim anschließenden Beregnen wird das Rohr wieder hydraulisch aufgewickelt, wobei dadurch der Regner mit gleichmäßig geringer Geschwindigkeit durch den Bestand gezogen wird. Die Einzugs-geschwindigkeit lässt sich verändern und auf diese Weise die Gabenhöhe festlegen. Diese ist außerdem von der Arbeitsbreite und der Wassermenge je Zeiteinheit abhängig. Wegen der hohen Flexibilität und Mobilität ist der Einsatz von Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug in Bayern weit verbreitet. Häufig wird erst zu einem Zeitpunkt bewässert, zu dem das Wurzelwerk der zu bewässernden Kulturen bereits in der Tiefe ausgebildet ist. Das ermöglicht Einzelgaben bis 30 mm. Die Gefahr großer Verluste besteht bei starkem Wind in Form von Abdrift und

ungleichmäßiger Verteilung (streifenweise Versickerung bei Überlappung). Der Arbeitszeitbedarf ist unter bayerischen Verhältnissen bei einer Wasserentnahme mit einer Saugpumpe mit Dieselmotor aus einem Flachbrunnen mit etwa 10 Akh/ha und Jahr (4 Gaben à 25 mm) zu veranschlagen. Insgesamt ergeben sich daraus unter Berücksichtigung der Maschinenkosten jährliche Gesamtkosten von etwa 450 €/ha (KTBL, 2013).



Abb. 6: Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug: flexibel und mobil einsetzbar

3.4 Tropfbewässerung

Tropfbewässerung (Abb. 7) hat sich bisher vor allem in Dauerkulturen und bei großen Reihenabständen durchgesetzt. Das Wasser wird über Schläuche direkt den Pflanzen zugeleitet. Die Wassergaben lassen sich entlang der Pflanzenreihen exakt dosieren und gleichmäßig verteilen. Die Ausbringerverluste sind sehr gering. Deshalb weist Tropfbewässerung die höchste Wassereffizienz auf.



Abb. 7: Tropfbewässerung: besonders wassereffizient durch exakte Dosierung und gleichmäßige Verteilung

Der Einsatz von Tropfbewässerung wird in Kartoffeln seit mehreren Jahren diskutiert und von einigen Landwirten praktiziert.

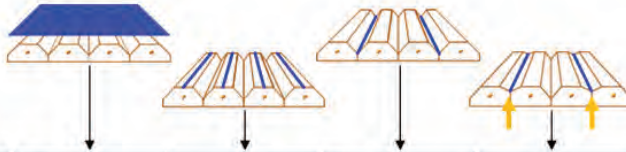
Bei der Tropfbewässerung von Kartoffeln wird das Wasser mit max. 2,5 bar Eingangsdruck in die Tropfschläuche gepumpt. Der Energieaufwand hierfür ist vergleichsweise gering. Entlang der Schläuche fällt der Druck auf bis zu 0,4 bar ab. Die Tropfer sind in regelmäßigen Abständen von 30 bis 80 cm an die Innenwände der Schläuche geschweißt. Das gewährleistet gleichmäßig verteilte Wassergaben bis 750 Meter Schlauchlänge.

Bei Tropfbewässerung werden nur die Bereiche unter den Tropfstellen durchfeuchtet. Mit zunehmender Schwere der Böden nehmen seitlich wirkende Saugkräfte zu, so dass sich das Wasser auf horizontaler Ebene ausbreitet. Die Durchfeuchtungszonen werden breiter und es können Schläuche mit größeren Tropferabständen zum Einsatz kommen. Nur ein Teil der Bodenoberfläche wird befeuchtet, das Kraut bleibt trocken. Deshalb ist nach Tropfbewässerung die direkte Verdunstung über die Boden- und Krautoberfläche geringer als nach flächendeckender Beregnung oder nach natürlichen Niederschlägen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die Pflanzenbestände noch kein geschlossenes Blattdach ausgebildet haben. Die eingestrahelte Energie wird in diesem Fall nicht vollständig über verdunstendes Wasser abgeführt, sondern zum Teil an der trockenen Bodenoberfläche reflektiert. Es verdunstet weniger; diese Wassermenge lässt sich einsparen. Bei geschlossenem Blattdach sind weitere Einsparungen möglich, weil nach einer Trockenperiode mit laufender Tropfbewässerung die Böden Starkniederschläge jederzeit besonders gut aufnehmen können. Dies vermindert Oberflächenabfluss und Sickerwasserbildung (MÜLLER, 2011).

Die Schläuche werden auf die Dämme oder zwischen jeden zweiten Damm gelegt. Beim Dammkronenverfahren wird der Hauptwurzel- und Knollenbildungsbereich unmittelbar durchfeuchtet und gekühlt. Das ist der wesentliche Vorteil dieser Schlauchposition. Beim Zwischendammverfahren liegen die Schläuche tiefer. Entsprechend geringer ist dann auch die durchwurzelte Bodensubstanz unter den Tropfern, die Wassergaben pflanzenverfügbar zwischenspeichern kann (Tab. 4).

Tab. 4: Maximal mögliche Einzelwassergabe, die ein voll entwickelter Kartoffelbestand in Abhängigkeit vom Bewässerungsverfahren im durchwurzelten Bodenhorizont aufnehmen kann (Legende: DKV Dammkronenverfahren, ZDV Zwischendammverfahren, ZMDV Zwischen-M-Dammverfahren)

Beispiel:
Wasserspeicherkapazität eines Sandbodens (nFK = 10 Vol.-%, Bewässerungsstart bei 50 % nFK)



Kenndaten		Beregnung	DKV	ZDV	ZMDV
Tropferabstand	/ cm	-	30	30	30
Anzahl Tropfstellen	/ m ²	-	4,4	2,2	2,2
Durchfeuchtung- ϕ am Tropfer/ cm		-	30	30	30
Wurzeltiefe in Feuchtezone	/ cm	60	60	45	52
Anteil durchfeuchteten Bodens / %		100	31	12	14
Mögliche Einzelwassergabe	/ mm	30	9	3,5	4,3 (+25%)

Bei schweren Böden werden die Wassergaben zum Teil in die Dämme gesaugt. Das Zwischendammverfahren hat nur die Hälfte an Tropfstellen pro Flächeneinheit. Dadurch verringert sich die Bodenpufferkapazität nochmals deutlich. Einzeltagesgaben von mehr als 4-5 mm sind ohne Sickerwasserbildung auch auf schweren Böden nicht möglich. Deshalb wurde ein Verfahren erprobt, bei dem jeder zweite Zwischendamm, in dem ein Tropfschlauch liegt, erhöht ist. Hierdurch vergrößert sich der pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher um etwa 25 %.

Am Standort Dürrenmungenau (Trockenstandort in Mittelfranken) wurden bei unterschiedlichen Kartoffel-Speisesorten durch Tropfbewässerung während der Versuchsjahre 2010 – 2014 Mehrerträge zwischen 10 dt/ha und 470 dt/ha erzielt. Im Schnitt der 5 Jahre betragen die Ertragseffekte bei Bewässerung im Dammkronenverfahren 250 dt/ha und bei Bewässerung im Zwischendammverfahren 175 dt/ha (Tab. 5). Die Abreife wurde grundsätzlich nicht vorzeitig durch Krautminderung eingeleitet, so dass die unbewässerten Bestände in den Jahren 2010, 2011 und 2014 in den auf die jeweiligen Trockenphasen folgenden Niederschlagsperioden ausreichend Zeit hatten, gegenüber den bewässerten Varianten einen Teil der Ertragsrückstände wieder aufzuholen. Entsprechend war in diesen Jahren die Abreife gegenüber den bewässerten Varianten um teils mehrere Wochen verzögert. In Jahren mit Frühsommertrockenheit hatte Bewässerung zudem einen deutlich positiven Effekt auf den Knollenansatz und auf die Anzahl vermarktungsfähiger Knollen (bis +70% im Jahr 2011). Als ökologisch positiven Effekt bewirkte die Bewässerung eine Verringerung der Nitratauswaschung, weil aufgrund höherer Erträge und einer damit einhergehenden höheren Nährstoffabfuhr zu Vegetationsende weniger Restnitrat im Boden verblieb.

In Kombination mit Tropfbewässerung lässt sich auch flüssig düngen - die sogenannte Fertigation. Das Verfahren bringt aber weder höhere Erträge noch kommt der Dünger zum richtigen Zeitpunkt. Außerdem würden die Maßnahmen hohe Zusatzkosten verursachen. Deshalb sollte bei Tropfbewässerung von Kartoffeln auf Fertigation verzichtet werden (MÜLLER ET AL., 2013).

Tab. 5: Ertragseffekte durch Tropfbewässerung bei Speisekartoffeln, Standort Dürrenmungenau (Quelle: LfL-Projekt Agroklima-Bewässerung, 2011)

Jahr	Trockenheit	Abreife Δ Kontrolle	Schlauchposition	Ertrag dt/ha	Ertragseffekt dt/ha %	
2010	Ab Mitte Juni (Blüte) 40 Tage	- 25 Tage - 20 Tage	unbewässerte Kontrolle	470		
			Dammkrone	680	210	45
			Zwischendamm	605	135	28
2011	Bis Mitte Juni (Blüte) 60 Tage	- 30 Tage - 20 Tage	unbewässerte Kontrolle	730		
			Dammkrone	820	90	12
			Zwischendamm	740	10	1
2012	Ab Mitte Mai 40 Tage und ab Mitte Juni 30 Tage	- -	unbewässerte Kontrolle	500		
			Dammkrone	970	470	95
			Zwischendamm	845	345	70
2013	Ab 10. Juni (Blüte) 50 Tage	- -	unbewässerte Kontrolle	230		
			Dammkrone	520	290	130
			Zwischendamm	440	210	90
2014	Ab Ende Mai 40 Tage	- 20 Tage - 10 Tage	unbewässerte Kontrolle	625		
			Dammkrone	825	200	30
			Zwischen-M-Damm	790	165	25
Mittelwert			Dammkrone		250	
			Zwischendamm		175	

Allerdings ist der Einsatz von Tropfbewässerung zu Kartoffeln sehr arbeitsaufwändig und kapitalintensiv. Eine Arbeitszeitanalyse aufgrund einer Abschätzung des Zeitaufwands auf dem Landwirtschaftsbetrieb in Dürrenmungenau ergab für Tropfbewässerung im Dammkronenverfahren mehr als 60 Akh je Hektar und Jahr und im Zwischen-M-Dammverfahren etwas unter 50 Akh je ha und Jahr (Tab. 6). Die Gesamtkosten je Hektar und Jahr beliefen sich damit für Tropfbewässerung im Dammkronenverfahren auf etwa 2.300 € und im Zwischen-M-Dammverfahren auf ca. 1.600 € (Tab. 7).

Tab. 6: Arbeitsschritte und Arbeitszeitbedarf zu Tropfbewässerung von Kartoffeln, 2014

Arbeitsschritte (Betrieb Dürrenmungenau 2014: 4 Schläge mit 2 x 3,6 ha, 2,4 ha und 1,0 ha = insg. 10,6 ha)	Arbeitszeitbedarf / Akh	
	DKV	ZMDV
Tropfschläuche auslegen (mehrfährig, gebraucht)	8	6
Verteilleitungen auslegen und Tropfschläuche anschließen	6	4
Spülen und Verschluss der Schlauchenden	4	3
Bewässern – 11 Teilstücke (Zeitraum: insg. 5 Wochen)	15	23
Entwässern, Verbindungen lösen, Zuleitungen bergen	3	2
Schläuche bergen (anheben, wickeln, einlagern)	27	9
Summe	63	47

Tab. 7: Kosten der Tropfbewässerung von Kartoffeln (zinsfreier Ansatz), 2014

Kostenposition (Betrieb Dürrenmungenau 2014: 4 Schläge mit 2 x 3,6 ha, 2,4 ha und 1,0 ha = insg. 10,6 ha)	Kosten / €/(ha*a)	
	DKV	ZMDV
Kopfstation (500 € auf 10 Jahre)	50	50
Zuleitung (300 € auf 10 Jahre)	30	30
Verteilleitung und Verbinder (500 € auf 5 Jahre)	100	100
Tropfschläuche 2.700 € auf 3 Jahre (DKV)	900	450
Arbeiterledigung 15 € / Akh (63 Akh/ha DKV, 47 Akh/ha ZMDV)	945	705
Zusatzwasser, kalkulatorisch: 2,00 € / mm, Gaben: insg. 130 mm	260	260
Summe	2.285	1.595

4 Internet-gestütztes Bewässerungsmodell

4.1 Rahmenbedingungen und Zielsetzungen des Berechnungsbetriebs

Grundsätzlich wird die Bewässerung an den Bedarf der Pflanzenbestände und an die freien Wasserspeicherkapazitäten der Böden angepasst. Nur bei dieser Vorgehensweise können die Wassergaben in der Durchwurzelungszone vollständig pflanzenverfügbar gehalten werden, ohne dass Sickerwasser entsteht. In der Regel wird der Bewässerungsstart bei Unterschreitung der Bodenfeuchte in Höhe von 50% der nutzbaren Feldkapazität empfohlen. Die Höhe der Einzelgaben soll nicht größer sein als die freien Speicherkapazitäten

der Böden, und maximal 30 mm betragen. Unter Berücksichtigung der einzelbetrieblichen Situation sind häufig noch weitere Faktoren maßgeblich, die auf die Art des gewählten Bewässerungskonzepts Einfluss haben.

Begrenzte Beregnungskapazitäten: Reichen die Kapazitäten nicht aus, um alle Pflanzenbestände zum geeigneten Zeitpunkt zu bewässern (ist der Regelfall), kann durch einen zeitigen Start der Bewässerungskampagne, z.B. ab einem Bodenwassergehalt in Höhe von 70% der nFK, ein Puffer geschaffen werden, um einen abzusehenden Engpass zu einem späteren Zeitpunkt zu vermeiden. In diesem Fall werden zunächst reduzierte Wassermengen verabreicht, wobei die Gabenhöhe dann täglich entsprechend dem Wert der Verdunstung des Vortags angepasst wird, bis Mengen von maximal 30 mm pflanzenverfügbar möglich sind.

Begrenzte Brunnenleistung: Ist die Brunnenleistung gering, empfiehlt sich ein Bewässerungskonzept, bei dem sich die Maßnahmen über einen möglichst langen Zeitraum erstrecken. Auch in diesem Fall wird zeitig mit dem Bewässern gestartet, etwa bei 70% nFK. In regelmäßigen Abständen werden kleine Gaben verabreicht, die den Wasserbedarf der Pflanzen jedoch nicht vollständig decken können. Diese Vorgehensweise bietet sich besonders beim Einsatz von Tropfbewässerung an, da bei diesem Verfahren auch geringe Einzelgaben ausreichend tief in den Wurzelraum eindringen, sofern die Anzahl an Tropfstellen je Quadratmeter auf die Bodenart und die Gabenhöhe abgestimmt ist. Das Konzept zielt darauf ab, dass auch während Trockenphasen immer wieder Niederschläge fallen, die den Bodenspeicher zusätzlich füllen. Der Bewässerungsrhythmus wird nach Niederschlägen allerdings nicht unterbrochen, solange der ursprüngliche Grenzwert zu Bewässerungsstart nicht wieder erreicht ist. Diese Vorgehensweise funktioniert umso besser, je größer die nutzbare Feldkapazität der Böden ist.

Begrenztes Wasserangebot: Ist die zur Verfügung stehende Wassermenge limitiert oder sind die Bereitstellungskosten für Wasser sehr hoch, können verhaltene und regelmäßige Wassergaben während Trockenphasen vor allem dem Ziel dienen, akute Trockenschäden zu vermeiden. In diesem Fall wird bewässert, solange der Bodenfeuchtegehalt etwa 50 % der nFK unterschreitet. Pflanzenentwicklung und die Ertragsbildung sind während dieser Phasen aufgrund der geringen Gabenmengen zwar vorübergehend gehemmt. Im Anschluss an Regenfälle können diese Entwicklungsrückstände im Vergleich zu unbewässerten und deshalb deutlich stärker gestressten Beständen jedoch teilweise oder sogar weitgehend aufgeholt werden. Die Abreife kann sich hierbei im Vergleich zu optimal mit Wasser versorgten Kulturen um mehrere Tage bis wenige Wochen verzögern.

4.2 Bodenwasser-Modell Weihenstephan

Um Praxisbetriebe bei der Planung, Umsetzung und Dokumentation von Bewässerungsmaßnahmen zu unterstützen, wurden zwei Online-Anwendungen entwickelt. Ausgangspunkt der Betrachtung ist bei beiden Anwendungen jeweils der Beregnungsbetrieb mit seinen spezifischen Rahmenbedingungen, seinen Möglichkeiten und individuellen Zielsetzungen. Darauf aufbauend können vom Anwender geeignete Bewässerungskonzepte erarbeitet werden. Darüber hinaus dienen die Programme als Werkzeug zur Bewertung der Bodenfeuchte, der Bewässerungsbedürftigkeit der Pflanzenbestände und der Höhe geeigneter Wassergaben. Entscheidungen (Termine, Gabenmengen) werden vom Anwender getroffen.

Mit der **Bewässerungs-App** lässt sich der Vorrat des im Boden pflanzenverfügbaren Wassers berechnen. Die tägliche Verdunstung wird mit Rechenmodellen bestimmt und die je-

weils ermittelte Verdunstungsmenge vom Bodenwasserwert des Vortags abgezogen. Wird ein zuvor festgelegter Bodenfeuchtegrenzwert unterschritten, erfolgt die Empfehlung zu bewässern. Beregnungsgaben und gefallene Niederschläge werden dem Bodenwasser hinzu addiert, sofern diese vom durchwurzelteten Boden pflanzenverfügbar zwischengespeichert werden können. Wassereinträge, die darüber hinaus gehen, werden als „versickert“ gewertet.

Die Bestimmung des täglichen Wasserbedarfs geschieht auf Grundlage der mit Wetterdaten berechneten Grasreferenzverdunstung (ALLEN ET AL., 1998). Mit Hilfe von Entwicklungsstadien abhängigen Verdunstungsfaktoren wird von dieser Referenzverdunstung der tatsächliche Wasserbedarf des jeweiligen Kartoffelbestands abgeleitet. Die Bewässerungs-App wurde anhand zahlreicher seit dem Jahr 2009 in Bayern laufender Versuche „geeicht“. Demnach hat ein leistungsfähiger und voll entwickelter Kartoffelbestand an heißen Sommertagen einen Wasserbedarf von etwa 7,5 Millimeter (= 7,5 Liter je Quadratmeter). An den meisten Tagen allerdings ist der Wasserbedarf deutlich geringer.

Dem Grundmodell nach Penman-Monteith liegt die Annahme zugrunde, dass der betrachtete Feldbestand zu jedem Zeitpunkt reichlich mit Wasser versorgt ist. Die Bewässerungs-App wurde in der Weise erweitert, dass die Berechnungen zur Verdunstung den Sachverhalt auch dann beschreiben, wenn die Böden mehr oder weniger stark austrocknen. Insofern funktionieren die Berechnungen auch bei oberflächlicher Abtrocknung der Böden bzw. bei zunehmend austrocknenden Böden.

Die Fähigkeit von Böden, Wasser pflanzenverfügbar zwischenzuspeichern, ist abhängig von den Eigenschaften der Böden, der Wurzeltiefe der jeweiligen Feldkultur und der Art der Wasserzufuhr (flächig oder punktuell bei Tropfbewässerung). Werden die Speicherkapazitäten z.B. bei Starkniederschlägen überschritten, wird das überschüssige Wasser der Schwerkraft folgend entlang den Grobporen allmählich in tiefere Bodenschichten verlagert. Mittels Modell wird berechnet, ab welchem Zeitpunkt und ggfs. in welchem Maße Wasser aus dem durchwurzelteten Horizont in tiefere Bodenschichten sickert und dadurch nicht mehr pflanzenverfügbar ist.

Modellempfehlungen zu Bewässerungsterminen und zur Höhe von Einzelwassergaben sind so konzipiert, dass empfohlene Zusatzwassergaben zum Zeitpunkt des Verabreichens vom Boden immer vollständig pflanzenverfügbar, also im durchwurzelteten Bodenhorizont, aufgenommen werden können. Pauschale Nutzervoreinstellungen zur Höhe der beabsichtigten Einzelwassergaben werden mit der zum Zeitpunkt des Bewässerungstermins bestehenden freien pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität des Bodens abgeglichen.

- Die Bewässerungs-App beinhaltet folgende Schritte:
- Festlegung der Ausgangsfeuchte des Bodens
- Ermittlung des täglichen Wasserbedarfs
- Berechnung der pflanzenverfügbaren Wasserspeicherkapazität des Bodens
- Bestimmung der Bewässerungstermine (vom Nutzer korrigierbar)
- Ermittlung der jeweiligen Höhe der Einzelwassergaben (vom Nutzer korrigierbar)

Stehen die vorhandenen Bewässerungskapazitäten (Brunnenleistung in Kubikmetern je Stunde, Flächenleistung in Hektar je Woche, von der Behörde genehmigte Gesamthöhe an Zusatzwassergaben in Millimeter pro Jahr) bereits fest, können Nutzer die Empfehlungen der Bewässerungs-App darauf abstimmen. Die Festlegung des Bodenfeuchtegrenzwerts,

ab dem bewässert wird, die Wahl der Höhe der beabsichtigten Einzelwassergaben, die Nennung des kapazitätsbedingten Mindestzeitabstands zwischen zwei Beregnungsmaßnahmen und die Wahl der beabsichtigten Intensität der Erzeugung/ Bewässerung geben Nutzern Spielraum. Mit Hilfe der Auswertung von Wetterdaten vergangener Jahre lässt sich die Bewässerungs-App zudem in der Weise „eichen“, dass die aus Brunnen entnommenen Wassermenge die beabsichtigte Höhe im Mittel der vergangenen 5, 10, 15 oder 20 Jahre nicht überschritten hätte.

Registrierte Nutzer können alle vorgenommenen Einstellungen und Zwischenergebnisse schlagspezifisch speichern und darauf zu nachfolgenden Terminen zurückgreifen. Ergebnisse lassen sich durch das Erstellen einer Dokumentation als druckfähige Version zusammenfassen und dienen als Nachweis für Bewässern/ Beregnen nach guter fachlicher Praxis. Zusätzlich zu Kartoffeln (Abb. 8) wurde die Anwendung auf Basis von Versuchsergebnissen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen für fünf weitere landwirtschaftliche Kulturarten „geeicht“.

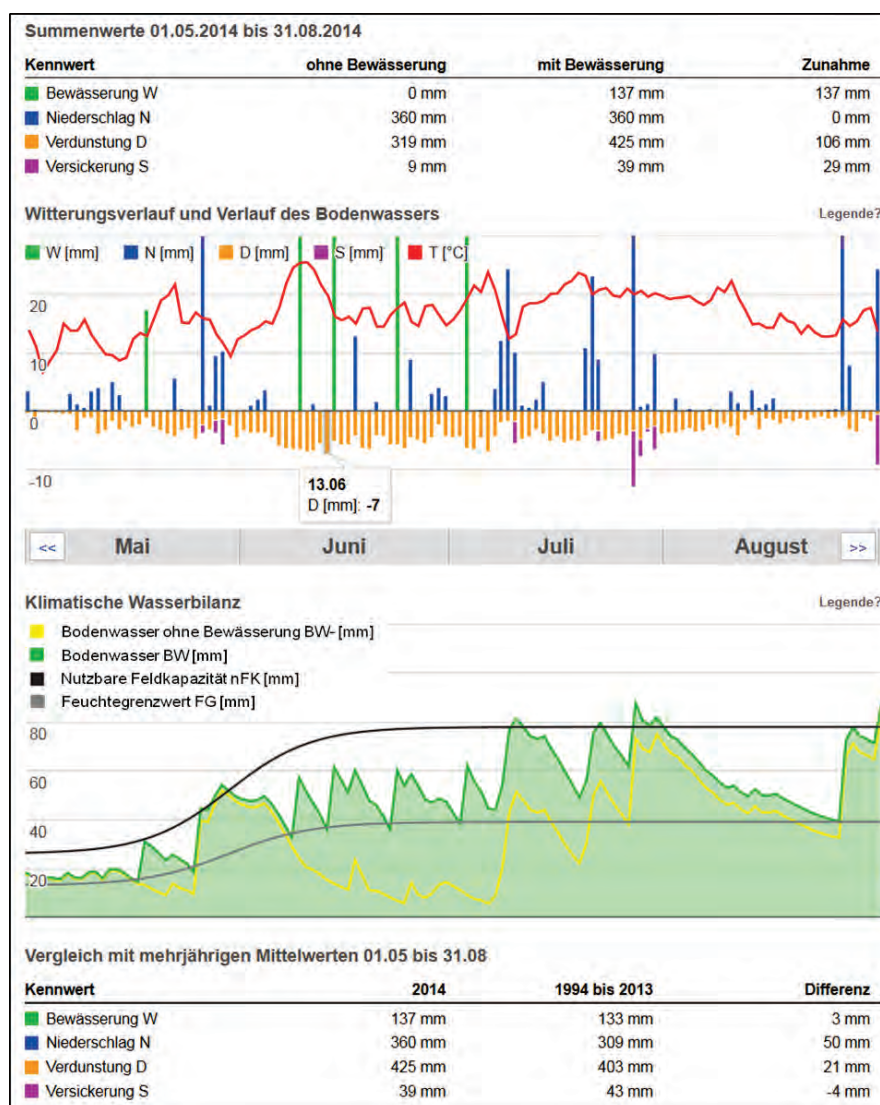


Abb. 8: Beispiel für eine Bewässerungssteuerung nach dem Bodenwasser-Modell Weihenstephan (Bewässerungs-App): Beregnung von Kartoffeln am Standort Obersteinbach, Feuchtegrenzwert 50% nFK, Höhe der Einzelwassergaben angepasst an die Wurzeltiefe (max. 30 mm)

Die Auswertung von Wetterdaten vergangener Jahre ermöglicht es, Standorte bzw. Anbausysteme im Hinblick auf eine grundsätzliche Bewässerungsbedürftigkeit zu bewerten oder miteinander zu vergleichen. In Abhängigkeit von spezifischen Nutzereinstellungen (z.B. Standort der Wetterstation, Bodeneigenschaften, Überkopfberegnung oder Tropfbewässerung, Festlegung der Intensität der Erzeugung/ Bewässerung) lässt sich anhand der bayernweit verteilten 130 LfL-Wetterstationen ermitteln, wie groß der Zusatzwasserbedarf im Einzeljahr (1994-2013) oder im Mittel der vergangenen 5, 10, 15 oder 20 Jahre gewesen wäre. Diese rückblickende Betrachtungsweise ermöglicht konkrete Schlüsse auf den zu erwartenden Zusatzwasserbedarf für die kommenden Jahre. Die Auswertung kann Neueinsteigern und Beratern eine Hilfe sein, um die erforderlichen Bewässerungskapazitäten situationsbezogen zu planen oder anzuschaffen. Die Online-Anwendung ist frei zugänglich und ermöglicht eine Bewertung für landwirtschaftliche Kulturen und eine Grasreferenzfläche.

Die **Einzelgaben-App** ist eine Spezialanwendung und dient der Ermittlung der maximalen Höhe von Einzelwassergaben, die vom durchwurzelten Bodenraum gerade noch vollständig aufgenommen werden können, damit kein Sickerwasser entsteht. Es werden die Bodeneigenschaften, kulturartspezifische Faktoren zum Wurzeltiefenwachstum und Kennzahlen zur verwendeten Bewässerungstechnik berücksichtigt. Kennwerte der Tropfbewässerung finden besondere Beachtung. Die Anwendung zu Gemüse- und Obstarten wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Gemüsebau der Hochschule Geisenheim entwickelt und umgesetzt. Insgesamt steht die Anwendung für 21 Fruchtarten zur Verfügung.

5 Fazit

In unterschiedlichen Anbauregionen Bayerns führen Trockenphasen immer wieder zu Engpässen bei der Wasserversorgung der Pflanzenbestände. Diese Trockenphasen sind vor allem in Norden, aber auch im Westen Bayerns deutlich ausgeprägter als im Südwesten.

Bewässerung kann in allen Regionen zur Sicherung der Erträge und Qualitäten beitragen. Aus Kostengesichtspunkten ist dem Einsatz von Beregnungsmaschinen mit Regneinzug gegenüber Tropfbewässerung häufig der Vorzug zu geben. Tropfbewässerung zu Kartoffeln empfiehlt sich vorrangig an Standorten mit begrenztem Wasserangebot bei zugleich kleinen und unförmigen Feldstrukturen. Das Bodenwasser-Modell Weihenstephan kann als Instrument zur Planung, Berechnung und Dokumentation von Bewässerungsanlagen und der Bewässerung verwendet werden.

6 Literaturverzeichnis

- [1] ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M., 1998: Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [2] FRICKE, E., RIEDEL, A. (2013): Berechnung lohnt sich. In Bauernblatt, Ausgabe 25. Mai 2013, S. 28-30.
- [3] KARTSCHALL, K., MÄDER, C., TAMBKE, J. (2007): Klimaänderungen, deren Auswirkungen und was für den Klimaschutz zu tun ist. Umweltbundesamt.
- [4] KNOBLAUCH, S. (2009): Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen. Vortrag anlässlich des Berechnungstags am 24. November 2009 in Reinholdshain.
- [5] KTBL Freilandbewässerung (2013): Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen, Vertrieb KTBL, Darmstadt
- [6] CHMIELEWSKI, F.-M. (2011): Wasserbedarf in der Landwirtschaft, in Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle? 3.Auflage (2011). Hrsg. Lozán, J. L. H. Graßl, P. Hupfer, L. Karbe & C.-D. Schönwiese.
- [7] HUNGER, R. (2014): Bewässerung: bedürftig heißt noch nicht würdig. In: Schweizer Landtechnik, Heft 6/7 2014, S. 16-17.
- [8] MÜLLER, M. (2011): Ganz nah dran. In dlz agrar magazin, Heft 6/2011, S. 39-42
- [9] MÜLLER, M., DEMMEL, M., KELLERMANN, A. (2013): Tropfgenaues Düngen lohnt nicht. In dlz agrar magazin, Heft 5/2013, S. 42-46

GIS- und GPS-gestützte Logistiklösungen am Beispiel der Substraternte für Biogasanlagen

Christian Weiß

Maschinen- und Betriebshilfsring Schwandorf e.V., Grünwaldstraße 4, 92421 Schwandorf

Zusammenfassung

Bei der Ernte von Feldfrüchten müssen mitunter sehr große Erntemengen, bei Zuckerrüben oder Silomais z. T. deutlich über 50 t/ha, über mehr oder weniger weite Entfernungen transportiert werden. Diese Transportarbeiten werden je nach Fruchtart zunehmend überbetrieblich erledigt. Beim Zuckerrübentransport kommen seit vielen Jahren sehr durchorganisierte Logistiksysteme zum Einsatz. Aufgrund der starken Zunahme von Biogasanlagen in den letzten Jahren wurden auch dafür IT-gestützte Biomasseerntelogistiksysteme entwickelt und eingesetzt. Nachfolgend wird die GIS- und GPS-gestützte Logistiklösung im MR Schwandorf vorgestellt.

Für die 4,2 MW_{el}-Bioerdgasanlage der Bioerdgas Schwandorf GmbH werden jährlich rund 80.000 t Biomasse benötigt. Die Belieferung mit Gras, Getreide-GPS, Mais und weiteren nachwachsenden Rohstoffen hat eine Liefergemeinschaft von derzeit etwa 200 Landwirten übernommen. Der Maschinenring Schwandorf nimmt in Dienstleistung Logistikaufgaben wahr und führt die Abrechnung durch. Die Planung der Erntelogistik erfolgt mit Hilfe von MR Logistik. Zum Auffinden und Abarbeiten der gemeldeten Schläge in der Fläche wird mobGIS eingesetzt, eine GIS-gestützte, internetbasierende Softwarelösung. Die entwickelte Logistiklösung wird seit 6 Jahren erfolgreich eingesetzt.



Mobile GIS-gestützte Biomasselogistik im Praxiseinsatz

1. Kurzporträt MR Schwandorf
2. Chronologie
3. MR Logistik Zentrale
4. mobGIS



Landkreis Schwandorf

- 2.100 Landwirtschaftliche Betriebe; 58.000 ha IF
 - durchschnittl. Betriebsgröße im Landkreis 28 ha
 - Nebenerwerbsquote 63%
 - 47 Biogasanlagen mit 15 MW
 - Maisanbau im Landkreis Schwandorf im Zeitraum 2000 bis 2014 von knapp 7.000 ha auf über 11.000 ha gestiegen



MR Schwandorf

- 1.450 Mitgliedsbetriebe
- Milchviehhaltung, Ackerbau
- Schwerpunkt Betriebshilfe
- Jahresumsatz 2013 rund 7,0 Mio. €



Chronologie

- Bau einer 625 kW-Anlage durch Fa. Schmack Biogas
- Gründung einer Liefergemeinschaft mit etwa 100 LW
- „Rumpf“-Ernte 2005 (rund 6.000 t)
- Erste „normale“ Ernte 2006 (rund 14.000 t)
- MR Logistik Kartenlösung



Chronologie

- Ausweitung der Erntemengen für Bioerdgasanlage 2007 (4,2 MWel.): ca. 30.000 t
- Einsatz mobGIS als Pilotversuch
- Ernte 2008: rund 60.000 t mit MR Logistik und mobGIS
- Ernte 2009 und Folgejahre: je rund 80.000 t



Abbildung:
Bioerdgasanlage
Schwandorf
Quelle: Schmack
Biogas AG



MR Logistik Zentrale

- Orthophotos für den Landkreis Schwandorf (alternativ Nutzung von bing-maps)
- TK 50
- Luftbildkarte
- Flächenimport aus INVEKOS-Daten



MR Logistik Zentrale

- Zunächst Verknüpfen der INVEKOS-Daten (nur Flächeninformation) mit den MR-Mitgliederdaten
- Jetzt: direktes Einlesen aus MFA-online-Daten mittels xml-Datei (Freischalten durch den Landwirt)
- Tourenplanung

Maschinenringe



MR Logistik Zentrale

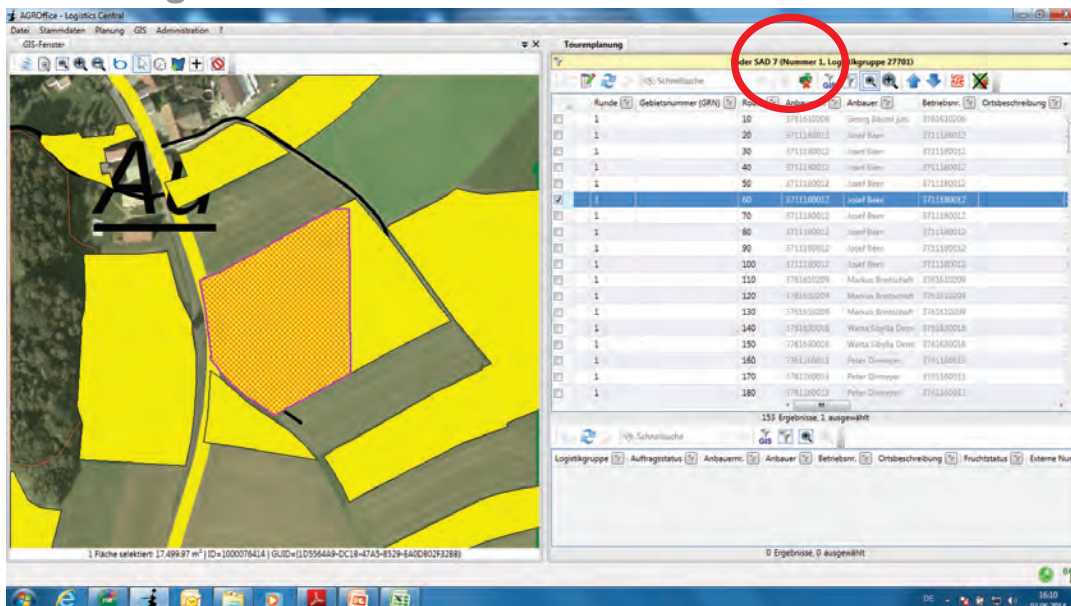


Abbildung:

MR Logistik
Zentrale

Landtechnische Jahrestagung Deggendorf 26.11.2014

| 10 |

Maschinenringe



mobGIS

- Notebook mit 12 V-Adapter
- GPS-Maus
- Internetverbindung
- Externer Server

Landtechnische Jahrestagung Deggendorf 26.11.2014

| 11 |



Maschinenringe



Abbildung:
Notebook am
Schlepper

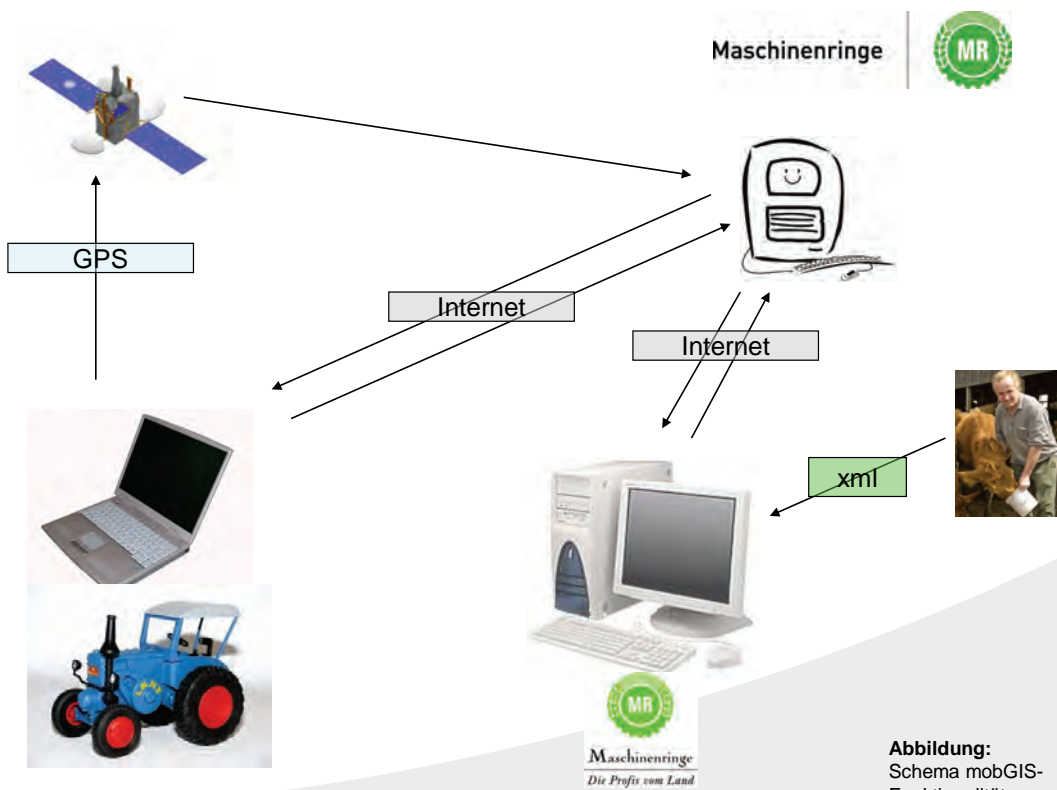


Abbildung:
Schema mobGIS-
Funktionalität

Maschinenringe



mobGIS

- Datenaustausch
- Echtzeitinformationen

Landtechnische Jahrestagung Deggendorf 26.11.2014

| 14 |

Maschinenringe



mobGIS

- Hersteller- und Systemunabhängig
- Flexibel einsetzbar für verschiedene Tätigkeiten (Feldbestellung, Pflanzenschutz, Ernte, Düngung, Klärschlammlogistik)

Landtechnische Jahrestagung Deggendorf 26.11.2014

| 15 |

Maschinenringe



Abbildung:
Transportgespanne

Landtechnische Jahrestagung Deggendorf 26.11.2014

| 16 |

Maschinenringe



Einsatzleitung

- Zentral
- Vor Ort

Landtechnische Jahrestagung Deggendorf 26.11.2014

| 17 |



mobGIS

- Keine Manipulationsmöglichkeiten am externen Terminal
- Kein Datenverlust (Internet, externer Server)
- Abbildung des jeweiligen Erntestatus
- Nachsenden von Schlägen online



Fazit

- System aus der Zuckerrübenlogistik heraus entwickelt
- Anpassungen für Biomasselogistik (mehrere Verfahrensschritte)
- 10 mobile Einheiten im Einsatz
- Flexible Handhabung durch Nachsenden von Schlägen online und Bing Maps