

# Teilflächenspezifische Düngung als Werkzeug einer nachhaltigen Landwirtschaft

*Armin Werner, Jürgen Schwarz und Frank Dreger, Müncheberg*

## **Zusammenfassung**

Die teilflächenspezifische Düngung ist Teil der Technologie des Precision Farming (PF). Die ‚Präzisions-Techniken‘ ermöglichen ein gezieltes, ortsspezifisches Management von Ressourcen der Pflanzenproduktion. Der Einsatz dieser Techniken basiert im Wesentlichen auf räumlich bzw. zeitlich hoch aufgelösten Informationen zu Standort und Pflanzenbestand. Diese Techniken werden gegenwärtig schrittweise in der Praxis eingeführt.

Für die teilflächenspezifische Düngung stehen in der Praxis verschiedene Techniken zur Verfügung. In der Mehrzahl der Fälle ist die teilflächenspezifische Düngung wirtschaftlich. Dies gilt insbesondere für die Stickstoffdüngung und oft auch für die Grunddüngung. Des Weiteren sind ökologische Leistungen in Form reduzierter Nitratausträge (bis zu 25 %) sowie durch exakte Einhaltung von Abstandsauflagen bzw. Ausparung ökologisch sensibler Teilbereiche der Schläge belegt.

Der Einsatz von Techniken des Precision Farming kann zu wirtschaftlichen Vorteilen führen, aber auch die ökologischen Ansprüche und Potenziale von Standorten berücksichtigen sowie positive soziale Effekte erbringen. Zudem kann von diesen Techniken die Kommunikation der Primärproduktion mit der Wertschöpfungskette profitieren. Die PF-Techniken sind für alle Bewirtschaftungsweisen der pflanzlichen Erzeugung geeignet. Aus diesen Gründen wird die Technologie des Precision Farming als eine zentrale Größe in der Entwicklung nachhaltiger Landnutzungssysteme angesehen.

Eine objektive Einstufung von Precision Farming oder gar von teilflächenspezifischer Düngung hinsichtlich ihrer Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung ist – wie für jede Technologie oder Bewirtschaftungsweise – aufgrund ihrer vielfältigen Einzelwirkungen nur möglich, wenn zuvor die anzustrebenden Ziele definiert werden. Dies fehlt bisher als Gesamtkonsens. Aus Sicht von lenkenden Politiken können mit PF-Techniken angestrebte Umweltqualitätszustände voraussichtlich schneller erreicht werden, als mit alternativen Bewirtschaftungsverfahren.

## **Schlüsselbegriffe**

Landnutzung, nachhaltige Entwicklung, Düngung, Teilflächenmanagement, Precision Farming

# 1 Einführung in die Informationsgeleitete Pflanzenproduktion

## Grundlagen

Für die Landbewirtschaftung werden in den nächsten Jahren die Techniken des Precision Farming (Synonyme: Präzisionspflanzenbau, precision agriculture, Teilflächenwirtschaft) zu einer grundlegenden Technologie. Besonders die gut wirtschaftenden, unternehmerisch geführten landwirtschaftlichen Betriebe werden diese einsetzen, um in der Pflanzenproduktion ihre Wirtschaftlichkeit durch besseres Informationsmanagement, bessere Nutzung vorhandenen Wissens sowie Einsatz spezieller Techniken zu stärken. In Form der Teilflächenwirtschaft erfolgt dies zuerst in den größeren Betrieben und schrittweise auch in kleinstrukturierten Gebieten, unterstützt insbesondere durch überbetriebliche Einsatzformen (Auernhammer et al. 2000, Werner 2003).

Precision Farming (PF) ist ein Sammelbegriff für neue Produktionstechniken im Pflanzenbau, die intensiv und häufig sehr umfassend spezifische Daten über den Standort und den Pflanzenbestand nutzen (Hufnagel et al. 2004). Dabei liefern spezielle Erhebungen, Sensoren sowie Ortungstechniken zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Informationen von Boden und Pflanzenbestand. Diese fließen durch besondere computerunterstützte Informationssysteme zusammen und können dabei aufgrund speziell entwickelter Methoden und Techniken in einer bisher nicht möglichen Form analysiert und inhaltlich verknüpft werden.

Der Landwirt nutzt derartige Informationen direkt oder indirekt bei seinen pflanzenbaulichen Aktivitäten und kann damit für seine strategischen, taktischen wie operativen Entscheidungen auf sehr weitgehende und umfassende Daten sowie deren Interpretationen zurückgreifen. Precision Farming stellt damit die Gesamtheit aller Erkenntnisse, Methoden und technischen Entwicklungen dar, die eine ackerbauliche Produktion informationsgeleitet umfassend und in bisher noch nicht verfügbarer Form unterstützen können. Die Möglichkeiten der gezielten Erbringung von Umweltleistungen sowie die einfache Dokumentation von Maßnahmen erlauben zudem in hohem Maße die Berücksichtigung von Ansprüchen aus der Gesellschaft im Allgemeinen und der Wertschöpfungskette im Speziellen (Rimpau 2003).

Werden bei dieser Entwicklung die relevanten Informationen inhaltlich und organisatorisch auf der Betriebsebene über alle Flächen, Produktionsverfahren und Fruchtfolgen verknüpft, dann dient der Begriff des *Precision Farming* bzw. der Teilflächenwirtschaft zur Bezeichnung einer *INFORMATIONSGELEITETEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN PFLANZENPRODUKTION*. Es wird dabei in der Praxis immer deutlicher erkennbar, dass Teilflächenwirtschaft nicht eine spezielle Technologie bzw. der Einsatz einer spezifischen Technik ist, sondern Teilflächenwirtschaft stellt eine Vielfalt von Pfaden und Optionen in der Analyse, Entscheidungsfindung und Gestaltung der pflanzenbaulichen Maßnahmen auf den genutzten Flächen dar. Teilflächenwirtschaft wird damit ein umfassendes Managementsystem in der Pflanzenproduktion. Der pflanzenbauliche Kern dabei ist die teilflächenspezifische Produktion (Hufnagel et al. 2004). Diese informationsgeleitete Unterstützung der Erzeugung ist dabei in jeder Bewirtschaftungsweise des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus einsetzbar.

## Pflanzenbau der Teilflächenwirtschaft

Die Teilflächenwirtschaft (Precision Farming) unterscheidet sich von den bisherigen Produktionstechniken im Pflanzenbau darin, dass sehr viele spezifische Daten über

den Standort und den Pflanzenbestand vorliegen, erhoben und auch genutzt werden. Dabei werden zur Beschreibung der Standorte vorwiegend Daten verwendet, die sich nur sehr langsam, d. h. über mehrere Vegetationsperioden, Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte ändern (Boden, Relief, grundlegende unterirdische Wasserversorgung, (kleinräumiges) Klima ...). Die Eigenschaften der Pflanzenbestände (und einiger Bodenmerkmale) werden dagegen mit Daten beschrieben, die sich in kurzen Zeitabschnitten (innerhalb einer Vegetationsperiode) ändern.

Solche Daten über die Standorteigenschaften der Teilflächen und die Daten zu den Pflanzenbeständen können zukünftig in einer bisher nicht möglichen Form mit Sensoren, Kartierungen durch Dritte, Fernerkundungsverfahren (flugzeug- oder satellitengetragen) usw. erfasst werden. Manche derartige Daten können in den nächsten Jahren zunehmend über Dienstleister im Auftrag des Landwirts erhoben werden. Andere Daten zu den eigenen Flächen der Landwirte werden über Anbieter von Geo-Daten erwerbbar sein („Geo-Datenbroker“, öffentliche und private Geo-Informationsdienste usw.).

Die Möglichkeit, kleinräumige<sup>1</sup> Unterschiede von Standort und Pflanzenbestand innerhalb von Schlägen gezielt zu berücksichtigen, die Teilflächenwirtschaft also, stellt somit eine zusätzliche Dimension an Genauigkeit und eine inhaltlich ergänzende Entscheidungsebene in der Pflanzenproduktion dar. Zudem bietet diese Technik besondere Voraussetzungen, unvermeidbare Umweltwirkungen zu beeinflussen sowie gezielt Umweltleistungen in der Produktion zu erbringen. Für alle diese Potentiale ist eine umfangreiche Informationsbeschaffung, eine diesbezügliche Datenhaltung sowie Informationsverarbeitung erforderlich. Diese wird insgesamt zu einer neuen Qualität der Entscheidungsfindung und Dokumentation in den landwirtschaftlichen Betrieben führen (Auernhammer et al. 1995, Auernhammer 1999). Damit wird Precision Farming der Ausgangspunkt und zukünftig eine wesentliche Teilmenge der sich allgemein abzeichnenden informationsgeleiteten Pflanzenproduktion. Auch für Cox (2002) stellt die Informationstechnologie die Schlüsselrolle zu Precision Farming, aber insbesondere zur Nachhaltigkeit der Landwirtschaft, dar.

## **2 Stand von Forschung und Praxisanwendung zur Teilflächenwirtschaft**

### **Wirtschaftlichkeit der Teilflächenwirtschaft**

Die Zahl an ökonomischen Analysen zu Teilflächenwirtschaft in Forschungs- und Entwicklungsprojekten sowie entsprechender Erhebungen in der Praxis ist nicht gering (siehe u. a.: Lambert und Lowenberg-DeBoer 2000, Bongiovanni und Lowenberg-DeBoer 2004). Die meisten dieser Arbeiten belegen mindestens gleiche, oft sogar positive ökonomische Leistungen der Teilflächenwirtschaft gegenüber einer konventionell-flächeneinheitlichen Bewirtschaftung (u. a.: Ancev et al. 2004, Bongiovanni und Lowenberg-DeBoer 2000, Bullock et al. 2003, Pawlak 2003, Lambert und Lowenberg-DeBoer 2000). Gleiches gilt auch für Untersuchungen in Deutschland (Dabbert und Kilian 2002, Gandorfer et al. 2003). Alle diese auf ökonomische Aspekte ausgerichteten Arbeiten leiden aber darunter, dass sie nur einzelne Arbeitsgänge, einzelne Verfahren, einzelne Fruchtarten bzw. einzelne Techniken der Teilflächenwirtschaft betrachten.

<sup>1</sup> kleinräumig = Größenordnung von einigen Dezimetern bis nur wenige hundert Meter, d. h. Maßstabsebene deutlich unterhalb der üblichen Ausmaße von Feldern (= topische Dimension des Raumes: die betrachteten Arealen werden dabei als stofflich homogen betrachtet, d. h. weisen gleiche Struktur und gleiches Wirkungsgefüge auf)

Die meisten der international durchgeführten Studien (u. a. zusammengefasst von Lambert und Lowenberg-DeBoer 2000) deuten auf positive ökonomische Effekte von Einzelverfahren mit den Techniken des Precision Farming (s. Tabelle 1). In der Regel weisen nur weniger als ein Viertel aller Untersuchungen negative ökonomische Effekte bei der Anwendung von Techniken der Teilflächenwirtschaft („PF-Techniken“) im Vergleich zu flächeneinheitlicher Bewirtschaftung auf.

Naturale Ertragsvorteile einer Teilflächenwirtschaft liegen in der Praxis je nach eingesetzter PF-Technik (insbes. N-Düngung mit einem ‚N-Sensor‘) zwischen 1-4 % des Flächenertrages (Leithold 2004). Kostenvorteile entstehen durch Einsparungen an Betriebsmitteln (Dünger, Pflanzenschutzmittel, Saatgut, Wachstumsregler, Treibstoff etc.). Die monetären ökonomischen Bewirtschaftungsvorteile (Deckungsbeiträge) sind somit verfahrensabhängig oft gering bis mittel und bewegen sich im europäischen Bereich zwischen wenigen Euro / ha bis zu max. 100 Euro / ha (Dabbert et al. 2003; s. a. Tabelle 1).

Diejenigen landwirtschaftliche Betriebe, die diese Technik einsetzen bzw. einsetzen wollen, sehen unabhängig von den direkten monetär bewertbaren Effekten große Vorteile in der Verbesserung ihres Managements in der Produktion (Gumpertsberger und Jürgens 2003). International ist ein Trend erkennbar, in dem sich neue landwirtschaftliche Produktionstechniken besonders dann durchsetzen, wenn sie die organisatorische Belastung des Betriebsleiters nicht weiter erhöhen bzw. ihn möglichst entlasten. So werden solche Verfahren eher von der Praxis angenommen, die ‚bequem‘ in der Produktion sind, also die den Betrieb im Management entlasten (Lowenberg-DeBoer 2003). Dies gilt insbesondere für diejenigen Landwirtschaftsbetriebe, die aufgrund ihrer Betriebsorganisation (Nebenerwerbslandwirte, Veredlungsbetriebe etc.) oder aufgrund schlechter unternehmerischer Leistungen den organisatorischen Aufwand stark minimieren. Unternehmerisch erfolgreiche Betriebe setzen dagegen informationsgestützte Systeme gezielt zur Verbesserung ihrer internen Betriebsorganisation ein.

Tab. 1: Ökonomisch ausgerichtete Vergleiche von Teilflächenwirtschaft mit einheitlicher Bewirtschaftung in verschiedenen Studien

[Quelle: Lambert und Lowenberg-DeBoer (2000), es sind nur ausgewählte Techniken zur Teilflächenbewirtschaftung aufgeführt, nach Strecker et al. (2004a)]

*Comparison of site specific farming with uniform crop management on economic indicators.*

*[source: Lambert und Lowenberg-DeBoer (2000), selected techniques, from Strecker et al. (2004)a]*

| untersuchte Teilschlagtechnik | Anteil der Studien mit             |                                    |                                | Anzahl der untersuchten Studien |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|                               | positiven ökonomischen Ergebnissen | negativen ökonomischen Ergebnissen | keinen eindeutigen Ergebnissen |                                 |
| Stickstoffdüngung             | 63 %                               | 15 %                               | 22 %                           | 27                              |
| Grunddüngung (P, K)           | 71 %                               | 29 %                               | 0 %                            | 7                               |
| Kalk                          | 75 %                               | 0 %                                | 25 %                           | 4                               |
| Stickstoff- & Grunddüngung    | 75 %                               | 8 %                                | 16 %                           | 24                              |
| Herbizide & Pflanzenschutz    | 86 %                               | 14 %                               | 0 %                            | 7                               |
| Saat                          | 83 %                               | 17 %                               | 0 %                            | 6                               |

## Teilflächendüngung

Die nach Bedarf von Standort (Boden) und / oder Pflanzenbestand ausgerichtete Düngung ist die wohl am besten entwickelte und untersuchte Form der gezielten, ‚präzisen‘ Bewirtschaftung von Boden und Pflanze. Dies gilt für die Grunddüngung, die Stickstoffdüngung, die Bodenkalkung sowie zukünftig auch die Düngung von Mikronährstoffen und sogar Pflanzenstärkungsmitteln. Die verschiedenen Techniken zur Gewinnung von Entscheidungsinformationen sowie der Steuerung von Geräten sollen hier nicht dargelegt werden. Ausführlich erfolgt eine solche Darstellung u. a. bei Hufnagel et al. 2004, Ludowici et al. 2002.

Die durch Techniken der Precision Farming mögliche teilflächenspezifische Düngung führen zu arbeitswirtschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Vorteile. Die teilflächenspezifische N-Düngung kann in einigen der in der Literatur zu findenden Untersuchungen aus internationalen Erhebungen positive ökonomische Effekte zeigen, die teilflächenspezifische Grunddüngung wird dagegen oft als eher unwirtschaftlich eingestuft. Einige Untersuchungen in Deutschland zeigen aber auch schon jetzt positive ökonomische Effekte von räumlich differenzierter Grunddüngung (Leithold 2003).

Die als unwirtschaftlich eingestuften Systeme teilflächenspezifischer Grunddüngung basieren oft auf hohen Kosten für die Ertragskartierungen oder gar flächenhafte Bodenanalyse, auf denen in den meisten dieser Verfahren die Bedarfsanalyse für die Grunddüngung erfolgt. Sinken die Kosten für die Ertragskartierung (bei zunehmender Serienausstattung von Erntegeräten mit diesbezüglichen Sensoren teilweise bis auf Null), so ergibt sich durchaus eine angemessene Wirtschaftlichkeit der teilflächenspezifischen Grunddüngung.

In den USA weisen die Verfahren der teilflächenspezifischen Grunddüngung vorwiegend positive ökonomische Effekte auf (Tab. 2).

Tab. 2: Übersicht über Anteil von Studien zur Wirtschaftlichkeit teilflächenspezifischer Grunddüngung in den USA

[Quelle: Lambert und Lowenberg-DeBoer (2000), nach Strecker et al. (2004a)]

*Survey on studies concerning site specific farming on the economy of crop production*

[source: Lambert und Lowenberg-DeBoer (2000), from Strecker et al. (2004a)]

| Kultur     | Dünger            | Anteil der Studien, die über Gewinne mit teilflächenspezifischer Grunddüngung berichten | Gewinnerhöhung durch teilflächenspezifische Grunddüngung | Anzahl der Studien |
|------------|-------------------|---|--|--------------------|
| Mais       | P, K              | 60 %  | -2 bis 41 \$/ac (-6 bis 82 €/ha)                         | 5                  |
| Mais       | CaCO <sub>3</sub> | 100 %   | 2 bis 7 \$/ac (4 bis 14 €/ha)                            | 3                  |
| Kartoffeln | P, K              | 100 %   | 10 bis 15 \$/ac (20 bis 30 €/ha)                         | 1                  |
| Weizen     | P, K              | 100 %   | 10 \$/ac (20 €/ha)                                       | 1                  |

## Betriebsgröße

Die Betriebsgröße bzw. die bewirtschafteten Flächen haben auf die Einführung von PF-Techniken nur indirekten Einfluss. Größere Betriebe können aufgrund der ausreichenden Auslastung die PF-Techniken wirtschaftlich selber beschaffen (Dabbert und Kilian 2002). Kleinere Betriebe können den Einsatz der PF-Techniken durch überbetriebliche Strukturen ermöglichen. So benötigt die Sensortechnik für N-Düngung bei einer 10 %igen Einsparung von Dünger gegenüber flächeneinheitlicher Düngung eine Einsatzfläche von mindestens ca. 300 ha pro Jahr (Dabbert und Kilian 2002), um wirtschaftlich zu sein. Größere Einsparungen an auszubringender Düngermenge – gegenüber flächeneinheitlicher N-Düngung - erscheinen pflanzenbaulich nicht sinnvoll (Ertragsverluste). Aufgrund der Degression von Managementkosten bei größeren Bewirtschaftungseinheiten (Betriebe, Einzelflächen) neigen eher größere Betriebe dazu, managementintensive PF-Techniken einzusetzen (Lewenberg-DeBoer 2003). Im überbetrieblichen Bereich bieten erst die PF-Techniken die Möglichkeit zur Minderung der Auswirkungen des Strukturwandels für die kleineren Betriebe durch die freiwillige Zusammenlegung von Flächen und deren gemeinschaftliche Bewirtschaftung bei gleichzeitiger Beibehaltung von unternehmerischen Freiheiten des einzelnen Flächenbesitzers (Gewannwirtschaft, „virtuelle Flurbereinigung“: Auernhammer et al. 2000, Werner et al. 2001).

## Umweltwirkungen einer Teilflächenwirtschaft

Die meisten Arbeiten zu den ökologischen Wirkungen der Techniken der Teilflächenwirtschaft beschränken sich auf den Bereich der unbelebten Umwelt. Dazu verwenden diese Untersuchungen gezielte Potenzialabschätzungen anhand von Analogieschlüssen, vorkalkulierten Ausbringungsmengen oder den Salden von kleinräumig differenzierten Nährstoffbilanzen (siehe u. a.: Gandorfer et al. 2003, Reiche et al. 2002, Werner 2003). Äußerst wenige Arbeiten können Messergebnisse über tatsächliche Umweltwirkungen der Teilflächenwirtschaft bzw. ihrer Einzeltechniken in Form von stofflichen Belastungen von Grund- und Oberflächengewässern bzw. anderen Nachbarökosystemen der Äcker sowie in Form von direkten Effekten auf abiotische oder biotische Ressourcen vorlegen; (s. a. Kersebaum und Lorenz 2002, Reiche et al. 2002, Plachter und Janßen 2002). Systematische Vergleiche der ökologischen Effekte von PF-Einsatz mit einer flächeneinheitlichen Bewirtschaftung fehlen zudem fast immer.

Für dieses Defizit in der Forschung zur Teilflächenwirtschaft sind als Gründe anzuführen:

- die Umweltwirkung von pflanzenbaulichen Maßnahmen ist äußerst komplex und auch bei den bisher üblichen flächeneinheitlichen Anbausystemen nur wenig quantitativ und oft unzulänglich kausal untersucht,
- die Ermittlung von ökologischen Wirkungen darf in der Regel nur integrativ über eine Reihe von Indikatoren erfolgen, um Artefakte oder die vorrangige Interpretation von unklaren Einzelwirkungen zu vermeiden; dies ist sehr aufwändig und methodisch nicht trivial,
- die pflanzenbaulichen Maßnahmen und Konzepte zur Durchführung der Teilflächenwirtschaft aus pflanzenbaulicher Sicht sind noch nicht ausreichend entwickelt, die zu PF-Anbausystemen mit Ausrichtung auf gezielte Umwelt- und Naturschutzwirkungen fehlen weitestgehend,

- die messtechnische Erfassung ökologischer Wirkungen von Teilflächenwirtschaft ist aufwendig.

Die Wirkungen von Teilflächenwirtschaft auf den Naturhaushalt, also Arten und deren Lebensräume wurden nur in wenigen Fällen abgeschätzt und in noch weniger Fällen auch tatsächlich untersucht (Plachter und Janßen 2002). In der Regel beschränken sich die naturschutzbezogenen Aussagen auf die Betrachtung von Wirkstoffmengen beim Einsatz von Pflanzenschutzmittel, die Minderung der Trophiezunahme von Biotopen durch unerwünschte Nährstoffakkumulation bzw. die Einhaltung von räumlichen Distanzen zu sensiblen Biotopen bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln und Düngern.

## **Ökologische Effekte einer teilflächenspezifischen Düngung**

Mit Hilfe der PF-Techniken sollen die Mengen an Betriebsmitteln entsprechend dem lokalen Bedarf von Boden und Bestand ausgebracht werden (Hufnagel et al. 2004). Dadurch sind Einsparungen aus ökonomischer Sicht und verringerte Belastungen aus ökologischer Sicht möglich.

Die bedeutendsten stofflichen Umweltwirkungen durch Teilflächenwirtschaft werden der Minderung von Nährstoffausträgen an Stickstoff (als Nitrat) aus dem Ackerboden zugeschrieben. Die dabei zugrunde liegenden Ergebnisse basieren in der Regel jedoch nur auf Bilanzkalkulationen, Betrachtung von Frachten und Düngermengen bzw. im besten Fall auf Simulationsergebnissen mit validierten Modellen (Streckler et al. 2004b). Nur wenige Arbeiten untersuchen die entsprechende Wirkung von teilflächenspezifischer Grunddüngung im Vergleich zu flächeneinheitlicher Düngung (Streckler et al. 2004b).

In vielen Gegenden Mitteleuropas haben Teilflächen der Schläge aufgrund ihrer Standorteigenschaften oft ein höheres Versickerungspotential und damit das Risiko höherer Nitrat-austräge als der übrige Schlag. Sollen in diesen austragssensitiven Bereichen der Schläge die N-Austragsmengen verringert werden, so besteht ein Weg darin, die Menge an N-Dünger auf diesen Teilflächen zu senken. Solche Teilflächen können zwar geohydrologisch mit Hilfe von kartierten Boden- und Reliefinformationen identifiziert und räumlich ausgegrenzt werden. Die Teilflächen sind aber für den Landwirt bzw. den Schlepperfahrer nicht visuell erkennbar oder durch andere einfache Ansätze exakt hinsichtlich ihrer Lage auf dem Schlag zuordenbar. Die Teilflächenwirtschaft erlaubt, die Lage dieser sensitiven Flächen in Form digitaler Karten im Bordcomputer zu speichern sowie bei der Überfahrt dann dort eine angepasste N-Zufuhr dieser Teilflächen bei den N-Düngungsmaßnahmen automatisch oder manuell zu berücksichtigen (Werner et al. 1999).

In den Berechnungen zur Tabelle 3 werden die N-austragssensitiven Teilflächen der Schläge in zwei Untersuchungsregionen berücksichtigt. Bei einer Verringerung der N-Düngung auf diesen Teilflächen um 25 %, bzw. 50 % gegenüber der für den Restschlägen einheitlich gegebenen Mengen (Tab. 4), wird mit Hilfe von Simulationsmodellen eine deutliche Senkungen des N-Austrages aus der gesamten Ackerfläche dieser Regionen ermittelt. Wird in der Anbauregion aus Schleswig-Holstein die N-Düngung lediglich auf den austragssensitiven Flächen (dies sind 39 % des Untersuchungsraumes) um 25 % verringert, sinkt der Gesamtaustrag an Nitrat aus der Region um 50 % (Tab. 3). In der niederschlagsärmeren Region in Mecklenburg-Vorpommern wird eine solche deutliche Verringerung des Austrages nicht erreicht, auch bei Senkung der N-Düngung auf den austragssensitiven Flächen (21 % des Untersuchungsraumes) um 50 %. Allerdings beträgt das Gesamtniveau der Nitra-

tausträge in dieser Region ohnehin nur 39 % des in der Region in Schleswig-Holstein ermittelten Wertes.

Tab. 3: Stickstoffhaushaltsgrößen bei teilflächendifferenzierter bzw. flächeneinheitlicher Düngung für Ackerschläge in zwei klimatisch und standörtlich unterschiedlichen Regionen in Deutschland und Gruppierung der Ackerschläge nach dem mittleren Tongehalt in 0-60cm Tiefe (Mittelwerte aus 10-jährigem Simulationszeitraum mit dem Modell WASMOD)  
[aus: Werner (2003); Quelle: Reiche et al. (2002), verändert sowie eigene Berechnungen]

*Components of the nitrogen balance when applying of N-fertiliser with precision farming. Simulations with WASMOD and calculations for two regions in Germany (averages from a simulation period of 10 years)*  
[from: Werner (2003); Source: Reiche et al. (2002), adapted and own calculations]

| Tongehalt in 0 – 60 cm Bodentiefe (%)   | Flächenanteil (%) | Teilflächendifferenzierte N-Düngung                        |   | Flächeneinheitliche N-Düngung                              |   |
|---|-------------------|--|---|--|---|
|   |                   | N-Düngereintrag (kg N *ha <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> ) | N-Sickerverluste (kg N *ha <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> ) | N-Düngereintrag (kg N *ha <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> ) | N-Sickerverluste (kg N *ha <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> ) |
| Standort: nördliches <i>Mecklenburg-Vorpommern</i><br>(Größe Untersuchungsraum: 3.009 ha)<br>(Niederschlagsmenge: 586 mm * a <sup>-1</sup> ; 1987 - 1997) |                   |  |   |  |   |
| 3   | 41                | 184  | 55  | 199  | 72  |
| 10  | 42                | 199  | 22  | 199  | 34  |
| 16  | 12                | 214  | 11  | 199  | 12  |
| 12  | 5                 | 198  | 10  | 199  | 10  |
| flächengewichtete Mittelwerte   |                   | 194,5  | 33,6  | 199  | 45,7  |
| Relativwerte  |                   | 97,7   | 73,5  | 100,0  | 100,0   |
| Standort: nordöstliches <i>Schleswig-Holstein</i><br>(Größe Untersuchungsraum: 6.647 ha)<br>(Niederschlagsmenge: 841 mm * a <sup>-1</sup> ; 1985 - 1995)  |                   |  |   |  |   |
| 4   | 22                | 184  | 39  | 199  | 52  |
| 7   | 29                | 199  | 44  | 199  | 58  |
| 17  | 15                | 214  | 59  | 199  | 64  |
| 21  | 34                | 230  | 23  | 199  | 23  |
| flächengewichtete Mittelwerte   |                   | 208,5  | 38,0  | 199,0  | 45,7  |
| Relativwerte  |                   | 98,5   | 83,2  | 100,0  | 100,0   |

Der mögliche Beitrag von PF-Techniken zur Minderung von Nährstoffausträgen (insbes. mineralischer Stickstoff) ist damit als ‚mittel‘ einzustufen. Dabei sind mit einer Stickstoffdüngung unter Einsatz von PF-Techniken die Kosten für die Vermei-

dung von Nitrat-Austrägen geringer als bei flächeneinheitlicher Bewirtschaftung (Strecker et al. 2004b).

Tab. 4: Stickstoffhaushaltsgrößen bei Reduktion der N-Düngermenge ausschließlich auf den für N-Austrag sensitiven Flächen mit teilflächendifferenzierter Düngung für Ackerschläge in zwei klimatisch und standörtlich unterschiedlichen Regionen in Deutschland (Mittelwerte aus 10-jährigem Simulationszeitraum mit dem Modell WASMOD)

[aus: Werner (2003); Quelle: Reiche et al. (2002), verändert sowie eigene Berechnungen]

*Components of the nitrogen balance when reducing amount of N-fertiliser with precision farming specifically on areas of higher leaching risks within fields. Simulations with WASMOD and calculations for two regions in Germany (averages from a simulation period of 10 years)*

[from: Werner (2003); source: Reiche et al. (2002), adapted and own calculations]

| Nutzung der für Nitrataustrag sensiblen Flächen:<br>(Eintragsmengen an Stickstoff über die Düngung)   |                                       | N-Düngereintrag<br>(kg N *ha <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> ) | N-Abfuhr mit<br>Ernteprodukten<br>(kg N *ha <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> ) | N-Sickerverluste<br>(kg N *ha <sup>-1</sup> *a <sup>-1</sup> ) |
|---|---------------------------------------|---|--|--|
| <b>Standort: nördliches Mecklenburg-Vorpommern</b><br>(Größe Untersuchungsraum: 3.009 ha;<br>davon austragssensible Flächen: 620 ha)<br>(Niederschlagsmenge: 586 mm * a <sup>-1</sup> ; 1987 - 1997)  |                                       |   |  |  |
| A)  | wie sonstige Ackerflächen             | 219,9   | 160,5  | 25,7   |
| B)  | 25 % Reduzierung gegenüber Variante A | 165,0   | 133,5  | 12,2   |
| C)  | 50 % Reduzierung gegenüber Variante A | 110,0   | 70,0   | 18,7   |
| <b>Standort: nordöstliches Schleswig-Holstein</b><br>(Größe Untersuchungsraum: 6.647 ha;<br>davon austragssensible Flächen: 2.604 ha)<br>(Niederschlagsmenge: 841 mm * a <sup>-1</sup> ; 1985 - 1995) |                                       |   |  |  |
| A)  | wie sonstige Ackerflächen             | 208,0   | 128,3  | 65,6   |
| B)  | 25 % Reduzierung gegenüber Variante A | 156,0   | 101,2  | 25,8   |
| C)  | 50 % Reduzierung gegenüber Variante A | 104,0   | 63,3   | 32,6   |

Andere Wirkungen der PF-Techniken auf Arten und Lebensraumqualität ergeben sich durch die Minderung der eutrophierenden Wirkung von *vagabundierenden* Nährstoffen, Minderung von Störungen auf einzelne Arten (u. a. gezielte teilflächenbezogene, brutvogelschonende Bodenbearbeitung, räumlich differenzierte Aussparung von Düngestoffen im Amphibienschutz etc., (siehe u. a.: Plachter und Janßen 2002). Die damit bei PF-Techniken im Integrierten Landbau potenziell möglichen naturschutzfachlichen Schutzeffekte oder Leistungen dürften größer sein, als durch Ökologischen Landbau (hier: ohne PF-Techniken) gegenüber dem konventionellen Landbau erreichbar ist. Erhebungen oder gezielte Untersuchungen oder gar Experimente dazu liegen allerdings in der Literatur nicht vor.

### 3 Entlastungspotenzial für die Umwelt durch Teilflächendüngung

Die Umweltwirkungen von PF-Techniken sind noch nicht vollständig untersucht. Bisher lassen sich aber durchgehend positive Effekte auf Stoffausträge, Energienutzung und Bodenschutz belegen.

Leistungen für die Umwelt bzw. den Naturhaushalt durch Precision Farming sind durchaus gefunden worden und in der Literatur dokumentiert. Die ermittelten Effekte sind bedeutend, im Hinblick auf die Möglichkeiten anderer Techniken bzw. die Unterschiede von Bewirtschaftungsweisen. Die Effekte sind teilweise geringer ausgefallen als ursprünglich von den Protagonisten der PF-Techniken erwartet. Dennoch können mit Teilflächenwirtschaft - im Vergleich zu flächeneinheitlicher Bewirtschaftung - Unterschiede gefunden werden, die in etwa den Unterschieden zwischen üblicherweise als Referenz verwendeten Bewirtschaftungsweisen<sup>2</sup> hinsichtlich der Umwelteffekte gefunden werden (Bsp.: Nitrataustrag).

Nach den o. a. Untersuchungen von Reiche et al. (2002) können mit den Techniken der Teilflächenwirtschaft Minderungspotentiale im Nitrat-Austrag von ca. 17 % - 25 % bei standortgerechter Düngung (Tabelle 3) und 28 % - 50 % bei gezielt reduzierter Düngung (Tabelle 4) erreicht werden. Diese Reduktionspotenziale entsprechen dabei denjenigen Werten, die beim Wechsel von Konventioneller Pflanzenproduktion zu Ökologischem Landbau in der Praxis und in Simulationsrechnungen erreicht werden: je nach Standort und Bewirtschaftung zwischen 25 % - 43 % (u. a.: Brandhuber und Hege 1991, Heß et al. 1992, Wurbs et al. 2000).

Als Urteil lässt sich aus der Erörterung der vorhandenen Literatur ableiten, dass die Förderung und Einführung von Precision Farming bzw. der Teilflächenwirtschaft oder einzelner Techniken eine sinnvolle Maßnahme zur Verbesserung der Umweltwirkungen der Pflanzenproduktion im Allgemeinen sowie zur Förderung der nachhaltigen Landwirtschaft im Speziellen ist. Dies gilt auch im Hinblick auf eine vergleichende Betrachtung der Umweltleistungen durch Precision Farming (auf Basis des Integrierten Landbaus) im Vergleich mit dazu alternativen Bewirtschaftungsweisen und -technologien. Aufgrund des hohen Flächenumfangs der konventionell bzw. integriert wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland wäre dort eine Anwendung der PF-Techniken hoch wirksam für die Umweltentlastung<sup>3</sup>.

Als Erläuterung dieser These soll eine sehr vereinfachte, beispielhafte Berechnung dienen<sup>4</sup>. Es wird aufgrund der Befunde in der Literatur angenommen, dass bei einer Anwendung von PA-Düngung<sup>5</sup> im Konventionellen / Integrierten Landbau eine mittlere Minderung des Nitrataustrages um 15 kg N / ha / a entsteht<sup>6</sup>. Verglichen wird diese PF-Bewirtschaftung mit Ökologischem Landbau, dem optimistisch ein mittleres Minderungspotenzial von 40 kg N / ha / a unterstellt wird (s. a. Heß et al. 1992, Wurbs et al. 2000). Wird die PF-Düngung zu Stickstoff auf 25 % der jeweils konventionell bzw. integriert bewirtschafteten Fläche durchgeführt, entsteht durch Ökologischen Landbau (OL) eine gleiche Minderung der Umweltbelastung erst bei einer Zunahme des Anteils an OL von gegenwärtig ca. 4 % Anteil an der Landnutzungsfläche in Deutschland auf ca. 8,5 % (Abb. 1). Bei einer Erhöhung des Umfangs der PF-Düngung auf 50 % der jeweils konventionell bzw. integriert bewirtschafteten

<sup>2</sup> als Referenzen gelten hier: *flächeneinheitlicher Integrierter Pflanzenbau, Ökologischer Landbau*

<sup>3</sup> s. a. ähnliche Diskussion zur flächenhaften Umsetzung von Integriertem Pflanzenbau versus Ökologischem Landbau bei Piore und Werner (1998)

<sup>4</sup> Diese Überschlagskalkulation berücksichtigt nicht die standörtlichen bzw. betrieblichen Unterschiede in der Praxis.

<sup>5</sup> Konzept s. oben, Tab. 3 und Tab. 4 sowie Erläuterungen dazu im Text

<sup>6</sup> tatsächliche Werte sind standort-, regions- und betriebsspezifisch unterschiedlich, höhere mittlere Minderungswerte sind durchaus möglich (s. Kap. 3, s. a. Reiche et al. 2002, Strecker et al. 2004b)

Fläche würde die dabei erreichte aus dem Boden geringer ausgetragene Nitrat-N Fracht so groß sein, wie die Minderung der Austragsfracht bei ca. 15,5 % des Flächenumfangs an Ökologischem Landbau (Abb. 1).

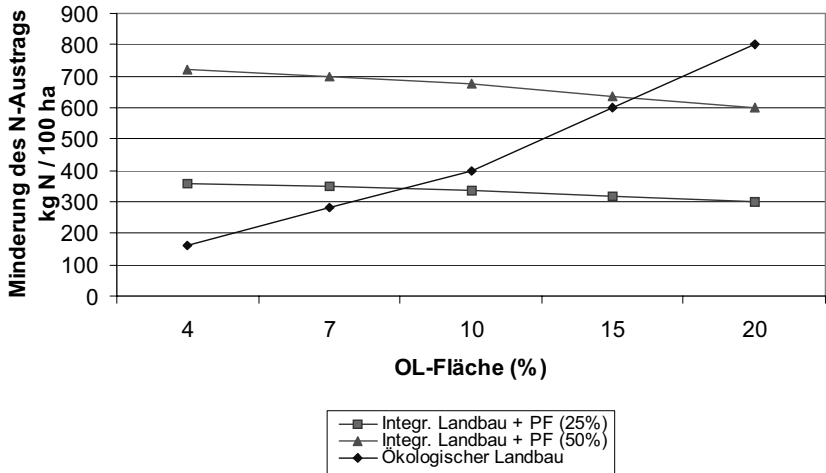


Abb. 1: Minderung der Fracht an Nitrat N-Austrag in einer 100 ha-Region mittlerer Standorteigenschaften für unterschiedliche Anteile an Fläche für Ökolandbau bei den Bewirtschaftungsweisen Integrierter Landbau mit Precision Farming (IL + PF) sowie Ökologischer Landbau (OL). Umfang an Fläche für IL+PF: (i) 25 % bzw. (ii) 50 % der IL-Fläche (theoretische Analyse: Berechnungen anhand Flächenumfang und angenommenen absoluten Minderungen an Nitratsaustrag bei IL+PF: 15 kg N / ha / a; OL: 40 kg N / ha / a)  
[Quelle: eigener Entwurf]

Reduction in nitrate leaching from agriculture in a 100 ha region when assuming different proportions of areas with organic farming (OF). The rest of the area is managed according to integrated farming systems (IF) and applying (i) 25 % of the IF with precision farming techniques (PF) in fertilisation or 50 % of the IF with precision farming techniques in fertilisation. (theoretical analysis: calculations based on assumed reduction of nitrate leaching with: IF+PF: 15 kg N / ha / a; OF: 40 kg N / ha / a; agricultural region with average site quality)  
[source: own calculations]

## 4 Ausblick

### Dokumentation der Prozessqualität mit Precision Farming

Zunehmend werden seitens der aufnehmenden Hände sowie aufgrund von Anforderungen seitens Umwelt- und Naturschutz von den Pflanzenproduzenten die Darlegung der in der Produktion durchgeführten Maßnahmen, also der Prozessqualität abverlangt. Dementsprechend wird die Bedeutung der Informationstechnologien für die Pflanzenproduktion zunehmen.

Eine verbesserte Erfassung von Aktivitäten in der landwirtschaftlichen Praxis für die eigene betriebliche Entscheidungsfindung, wie die Dokumentation des Produktionsprozesses gegenüber Dritten, kann sich aber nur dann durchsetzen, wenn eine einfache, insbesondere automatisierte Dokumentation von wichtigen, möglichst allen Maßnahmen der Produktion auf der Fläche sowie der dazugehörenden vor- und nachbereitenden Maßnahmen innerhalb des Betriebes erfolgt. Dabei sind deren zeitliche und räumliche Zuordnung sowie die Maßnahmenart bzw. die jeweiligen Intensitäten (Grad der Bodenbewegung, ausgebrachte Mengen je Flächeneinheit, Nährstoff-, Massen- und Energieströme etc.) zu erfassen und in geeigneter Form zu speichern. Die Techniken des Precision Farming bieten diese Voraussetzungen.

### Soziale Aspekte einer Teilflächenwirtschaft

Die sozialen Effekte einer flächenhaft eingeführten Teilflächenwirtschaft sind noch nicht vollständig untersucht worden. Durchaus kritisch zu sehen ist die langfristig arbeitsplatzmindernde Wirkung einer solchen Technik (wie fast jeder anderen auf Effektivität ausgerichteten neuen Gerätetechnik). In den nächsten Jahren dürften diese informationsgeleiteten und damit in der Regel managementintensiveren Techniken noch einen etwas höheren, mindestens aber gleichen Arbeitskräftebedarf haben, wie die konventionellen, flächeneinheitlichen Bewirtschaftungen.

Nicht unerhebliche positive soziale Effekte sind bei Einsatz von PF-Techniken durch Bedarf an höherem Ausbildungsniveau bei Landwirten, Dienstleistern und teilweise auch dem Bedienpersonal zu sehen. Auch die Attraktivität eines High-Tech-Berufes kann positive soziale Effekte auf die Beschäftigungssituation im ländlichen Raum haben.

### Forschungsbedarf für die Teilflächendüngung

Die teilflächenspezifische Düngung bedarf noch weiterer Forschung und technischer Entwicklungen. Insbesondere sind zu erarbeiten:

- Kriterien für die betriebs- und evtl. schlagbezogene Analyse hinsichtlich der pflanzenbaulichen und wirtschaftlichen Vorzüglichkeit des Einsatzes von PF-Techniken gegenüber flächeneinheitlicher Düngung,
- Grundlagen und Methoden zur Ableitung teilflächenspezifischer Produktionsfunktionen für die naturale und monetäre Ertragswirksamkeit von Düngungsmengen bzw. –strategien,
- Entwicklung von Modulen zur teilflächenspezifischen Düngung unter gesamtbetrieblichen Aspekten,

- Methodik zur Bestandesbegründung und Bestandespflege relevanter Fruchtarten in Fruchtfolgen bei unterschiedlichen Bewirtschaftungsstrategien bzw. Bewirtschaftungsweisen,
- Methodik zur Ableitung von unterschiedlichen Bewirtschaftungsstrategien in der teilflächendifferenzierten Pflanzenproduktion im Gesamtbetrieb,
- Methoden zu Design, Anlage und Auswertung von Experimenten und Erhebungen zur kontinuierlichen Beschaffung von Grundlagen und Daten in der Entscheidungsunterstützung von Precision Farming (u. a. On-Farm Experimente).

In der nationalen wie internationalen Forschung ist zur Zeit die Bereitschaft, derart problemorientierte Fragestellungen zu bearbeiten noch nicht ausreichend. Derartige komplexe Themenfelder erfolgreich zu behandeln, setzt integrierte und interdisziplinäre Aktivitäten voraus. Die entsprechenden Voraussetzungen in der Ausbildung von wissenschaftlichem Nachwuchs, sowie der in der landwirtschaftlichen Praxis und Beratung wird sich auch auf diese Anforderungen ausrichten müssen.

### **Techniken der Teilflächenwirtschaft bei flächeneinheitlicher Bewirtschaftung**

Die für die Teilflächenwirtschaft verwendeten technischen Lösungen können auch dann eingesetzt werden, wenn, wie bisher, ackerbauliche Maßnahmen schlageinheitlich durchgeführt werden sollen. Dies ist deshalb möglich, da zunehmend auch für diese Landwirte solche Informationen über die Standorteigenschaften ihrer Schläge digital bereitstehen, die bisher nur kaum und schwer verfügbar waren. Dies sind zum Beispiel Boden- und Reliefkarten sowie Fernerkundungsdaten für alle Schläge eines Betriebes. Gleichzeitig nimmt – nicht zuletzt gefördert durch die Forschung und Praxis des Precision Farming - das allgemeine pflanzenbauliche Verständnis zu, wie solche Informationen zu den Anbaubedingungen in pflanzenbauliche Entscheidungen umgesetzt werden können. Zunehmend werden auch die Geräte zum flächeneinheitlichen Pflanzenbau genauer gesteuert und ihre Arbeitsqualität besser aufgezeichnet werden.

Die Übertragung derartiger (schlageinheitlicher) Daten in übliche Schlagkarteisysteme werden zukünftig leicht, teilweise automatisiert, möglich sein. Zudem werden verstärkt Softwarelösungen für das Produktionsmanagement der landwirtschaftlichen Betriebe angeboten, deren Basis auf den Erfahrungen sowie technischen Standards der PF-Techniken basieren. Die Techniken, die in der Teilflächenwirtschaft eingesetzt werden und die damit verbundene Datenbereitstellung und allgemeinen Entwicklungen des Pflanzenbaus können also auch Landwirte nutzen, die wenig bis kein Interesse daran haben, die Bewirtschaftung von Teilflächen innerhalb von Ackerschlägen unterschiedlich durchzuführen. Auch befruchtet die Forschung, Entwicklung, öffentliche Erörterung sowie die praktische Einführung der PF-Techniken in erheblichem Maße die Entwicklung von allgemeinen informationsgestützten und zunehmend präziser arbeitenden Techniken und Geräten in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion.

## **5 Abstract**

Several studies indicate higher profitability and lower ecological risks in fertilisation with Precision Farming technologies. Farmers mainly will adapt this technology

when they want to improve their management in crop production and the information flows with the value chain for food production.

The 'precision technologies' will become an essential set of tools for local resource management, especially for fertilisation in agricultural crop production. This approach basically provides information driven management and it is judged as a key technology in developing sustainable land use systems. Not only will it provide site adapted economic land management technologies with exceptional good response to environmental sensitivities and potentials. It also will be very beneficial to link primary production with the value chain for food productions through information flows.

#### Key words

Land use, sustainable development, fertilisation, site specific crop management, precision farming, precision agriculture

## 6 Literatur

- Ancev, T., Whelan, B., McBratney, A. (2004): On the Economics of Precision Agriculture: Technical Information and Environmental Aspects. In: Proceedings of the Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society (AARES), Contributed Papers, Melbourne 2004.
- Auernhammer, H. (1999): Precision Farming for Site-Specific Fertilisation. *Z. Agrar-informatik* 3: 58-66.
- Auernhammer, H., Mayer, M., Demmel, M. (2000): Transborder farming in small-scale land use system. CIGR Tsukuba, Japan 2000.
- Auernhammer, H., Muhr, T., Demmel, M. (1995): GPS and DPGS as a Challenge for Environmentally Friendly Agriculture. *Journal of Navigation* 48(2): 268-278.
- Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2000): Economics of variable rate lime in Indiana. *Precision Agriculture* 2: 55-70.
- Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004): Precision Agriculture and Sustainability. *Precision Agriculture* 5: 359-388.
- Brandhuber R., Hege U. (1991): Nitratbelastung des Sickerwassers unter Acker- und Grünland viehhaltender Betriebe - Ergebnisse von Tiefenuntersuchungen. *VDLUFA Schriftenreihe* 33: 203-208.
- Bullock, D.S., Lowenberg-DeBoer, J., Swinton, S.M. (2003): Adding value to spatially managed inputs by understanding site-specific yield response. *Agricultural Economics* 27: 233-245.
- Cox, S. (2002): Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture* 36 (2-3): 93-111.
- Dabbert, S., Kilian, B. (2002): Ökonomie. In: Werner, A., Jarfe, . [Hrsg.]: *Precision Agriculture - Herausforderung an Integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis*. Darmstadt (KTBL); KTBL-Sonderveröffentlichung 38: 423- 437.
- Dabbert S., Kilian B., Vogel, T. (2003): Ökonomie des Precision Agriculture. In: Werner, A., Bill, R., Wagner, U., Jarfe, A. [Hrsg.]: *Managementsystem für Precision Farming*. Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojektes preagro. CD-ROM, Landwirtschaftsverlag Münster.
- Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A., Heißenhuber, A. (2003): An economic assessment of site-specific and homogenous nitrate fertilization management in consideration

- of environmental restriction. In: Werner, A., Jarfe, A. [Hrsg.]: Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF: 407-408.
- Gumpertsberger, E., Jürgens, C. (2003): Acceptance of precision agriculture in Germany – results of a survey in 2001. In: Stafford, J., Werner, A. [eds.]: Precision Agriculture; Wageningen Academic Publishers, Wageningen: 259-264.
- Heß J., Piorr A., Schmidtke, K. (1992): Grundwasserschonende Landbewirtschaftung durch Ökologischen Landbau? Dortmunder Beiträge zur Wasserforschung, Veröffentlichungen des Institutes für Wasserforschung GmbH Dortmund und der Dortmunder Stadtwerke AG 45, 61 S.
- Hufnagel, J., Herbst, R., Jarfe, A., Werner, A. [Hrsg.] (2004): Precision Farming - Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis. KTBL-Schrift 419, Loseblattsammlung, Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Kersebaum, K.-C., Lorenz, K. (2002): Lokaler N-Austrag. In: Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage 13.-15. März in Bonn. KTBL-Sonderveröffentlichung 038. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt: 369-383.
- Lambert, D., Lowenberg-DeBoer, J. (2000): Precision Agriculture Profitability Review. Staff Paper. Site Specific Management Center, Purdue University, West Lafayette, Indiana: 154 S.
- Leithold, P. (2003): Grunddüngung mit Precision Agriculture. In: Werner, A., Bill, R., Wagner, U., Jarfe, A [Hrsg.]: Managementsystem für Precision Farming. Abschlussbericht des BMBF-Verbundprojektes preagro. CD-ROM, Landwirtschaftsverlag Münster.
- Leithold, P. (2004): persönliche Mitteilungen.
- Lowenberg-DeBoer, J. (2003): Farming or Convenience Agriculture. In: Australian Society of Agronomy, Proceedings of the 2003 Conference.
- Ludowicy, C., Schwaiberger, R., Leithold, P. (2002): Precision Farming. Handbuch für die Praxis. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- Pawlak, J. (2003): Precision Agriculture – economic aspects. In: Stafford, J., Werner, A. [eds.]: Precision Agriculture. Wageningen Academic Publishers, Wageningen: 527-532.
- Piorr, A., Werner, W. (1998): Nachhaltige landwirtschaftliche Produktionssysteme im Vergleich: Bewertung anhand von Umweltindikatoren. Schriftenreihe agrarspektrum Bd. 28, Verlagsunion Agrar, Frankfurt, 111 S.
- Plachter, H., Janßen, B. (2002): Naturschutzziele. In: Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage 13.-15. März in Bonn. KTBL-Sonderveröffentlichung 038. [Hrsg.]: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt: 399-410.
- Reiche, E.-W., Rinker, A., Windhorst, W., Kersebaum, K.-C., Lorenz, K., Plachter, H., Janßen, B. (2002): Untersuchungen zu möglichen ökologischen Auswirkungen teilschlagspezifischer Pflanzenbaumaßnahmen. In: Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage 13.-15. März in Bonn; KTBL-Sonderveröffentlichung 038. [Hrsg.]: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt: 365-368.
- Rimpau, J. (2003): Nachhaltigkeit – ein neues Leitbild für die Landwirtschaft. In: Girnau, M., Hövelmann, L., Wahmhoff, W., Wolf, W., Wurl, H. [Hrsg.]: Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft. Herausforderungen und Chancen in der Wert-

- schöpfungskette. Initiativen zum Umweltschutz, Band 56. Erich Schmidt Verlag, Berlin: 37-49.
- Strecker, O., Heißenhuber, A., Gandorfer, M., Kliebisch, Ch., Meyer-Aurich, A. (2004a): Ökonomische Aspekte von Precision Agriculture. Persönliche Mitteilungen, Juli 2004.
- Strecker, O., Heißenhuber, A., Gandorfer, M., Kliebisch, Ch., Meyer-Aurich, A. (2004b): Auswirkungen von Precision Agriculture auf Natur und Umwelt. Persönliche Mitteilungen, August 2004.
- Werner, A. (2003): Precision Farming als Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Entwicklung der Landnutzung. In: „Bewertung von Umweltschutzleistungen in der Pflanzenproduktion“. KTBL-Schrift 415. Kuratorium für Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), Darmstadt: 116-134.
- Werner, A., Jarfe, A., Roth, R., Pauly, J. (1999): Precision farming, a new Technology in Crop Production - will it enhance Sustainable Development in Land Use? - . In: Natural and technological Problems of Protection and Development of Agricultural and Forest Environment. Roczn. AR Pozn. CCCX, Melior-Inz. Srod. 20, ISSN: 1230-7394, Band I: 327-342.
- Werner, A., Jarfe, A., Roth, R., Haberstock, W. (2001): Gewannebewirtschaftung - eine Chance für Pflanzenbau und Umwelt. KTBL-Sonderveröffentlichung 034: Kuratorium für Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt: 49-59.
- Wurbs, A., Kersebaum, K.-C., Merz, C. (2000): Quantification of leached pollutants into the groundwater caused by agricultural land use: Model-based scenario studies as a method for quantitative risk assessment of groundwater pollution. - In: Lal, R. [Hrsg.]: Integrated watershed management in the global ecosystem: 239-250; Boca Raton (CRC Press).

## Danksagung

Die Forschungsverbundprojekte *pre agro* und *pre agro II* wurden und werden gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Bonn; Fö.-Kz.: 0339740/2). Die Forschungsaktivitäten des Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) werden ermöglicht durch eine Grundfinanzierung seitens des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL, Bonn) sowie durch das Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUV, Potsdam).

## Adressen

Armin Werner

Leiter des BMBF-Forschungsverbundprojektes *pre agro* und *pre agro II*  
Leiter des Institutes für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie

Jürgen Schwarz, Frank Dreger

Wissenschaftliche Koordinatoren des BMBF-Forschungsverbundprojektes  
*pre agro II*

Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. in Müncheberg  
Eberswalder Str. 84; D-15374 Müncheberg, Germany; AWerner@ZALF.de