Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

Holger Lilienthal
Silvia Haneklaus
Ewald Schnug

Immer mehr Daten für jeden Quadratmeter? - was machen wir daraus?

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 274

Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2004

Immer mehr Daten für jeden Quadratmeter – was machen wir daraus?

Holger Lilienthal, Silvia Haneklaus, Ewald Schnug[1]

1 Einleitung

Die Freigabe des militärischen Globalen Positionierungssystems (GPS) für zivile Anwendungen Ende der 80er Jahre (GPS World 2004) eröffnete die Möglichkeit, diese Technologie auch für die Landwirtschaft nutzbar machen zu können und eine völlig neuartige, ressourcenschonende Art der Landbewirtschaftung zu etablieren.

Mit Hilfe der Satellitennavigation sollen Felder kartiert werden, um kleinräumige Unterschiede in Bestands- und Bodenmerkmalen innerhalb des Schlages zu lokalisieren. Die Aufwandmengen, z. B. an Dünge- und Pflanzenschutzmitteln können dieser Variabilität entsprechend gesteuert werden. Die Begriffe *Computer Aided Farming* (CAF) (LAMP und SCHNUG, 1990), *Lokales Ressourcen Management* (MURPHY et al., 1994; SCHNUG, 1996), *teilflächenspezifische Landwirtschaft* (GRIEPENTROP, 1997), *site specific farming* (ROBERT et al., 1995) oder *Precision Agriculture* (PA) (BLACKMORE, 1994) wurden geprägt. Alle diese Begriffe stehen für eine Umorientierung der Landwirtschaft hin zu einem effizienten Einsatz von Ressourcen, in dem Aufwandmengen und Bearbeitungsmaßnahmen der kleinräumlichen Variabilität von Boden- und Bestandsmerkmalen angepasst werden. Auf diese Weise wird, im Gegensatz zu einer einheitlichen Bewirtschaftung von Schlägen, agronomischen und ökologischen Ansprüchen an die Landbewirtschaftung Rechnung getragen.

2 Datenerfassung

Grundlage für den Einsatz von PA ist die Erfassung der räumlichen Variabilität von Boden- und Bestandsmerkmalen innerhalb des Schlages. Die Datenerfassung nimmt deshalb eine zentrale Bedeutung innerhalb des PA-Konzeptes ein. Karteninformationen, wie zum Beispiel die Reichsbodenschätzung in Deutschland, bieten bereits einen ersten Anhaltspunkt zur Lokalisierung von Texturunterschieden des Bodens innerhalb eines Schlages. Mit der Entwicklung der Erdbeobachtung durch Satelliten (Fernerkundung) wurde eine schnelle Datenerfassung von Merkmalen wie z. B. die Variabilität von Böden, Pflanzenvitalität und Wachstumsunterschiede innerhalb von Beständen auch für größere Regionen möglich.

---

[1] Holger Lilienthal, Dr. Silvia Haneklaus, Prof. Dr. Dr. Ewald Schnug, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
E-Mail: holger.lilienthal@fal.de; silvia.haneklaus@fal.de; ewald.schnug@fal.de

Die Nutzung des GPS's ermöglichte zudem ein schnelles Auffinden von Kartenpositionen im Gelände. Parallel zur Entwicklung von GPS-gestützten Sensoren zur Erfassung von Informationen über die räumliche Variabilität (Ertragsmessung, Online-Sensoren für Humusgehalt und Leitfähigkeit etc.) wurde das GPS zum Werkzeug für Kartierungen aller Art. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Meilensteine in der Entwicklung der Datenakquirierung für PA dargestellt.

Tabelle 1: Meilensteine in der Akquirierung von Daten für Precision Agriculture

seit	
1934	Bereitstellung flächendeckender Bodeninformation durch die Reichsbodenschätzung in Deutschland
1977	Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Ertragsvorhersage (Colwell et al., 1977)
1989	Beginn der GPS-gestützten On-the-go-Sensorik (Ertragskartierung, Ableitung von Equifertilen) (Hansen, 1990; Schnug et al., 1994)
1990	Nutzung von Fernerkundungsdaten zur Klassifikation von Bodentypen und Bestimmung der räumlichen Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit (Humusgehalt, Textur, Geomorphologie) (Henderson et al., 1989; Thamm, 1990; Cary, 1990)
1991	On-the-go Sensor für Humus (Sudduth und Borgelt, 1993)
1998	On-the-go-Sensor für Leitfähigkeit, Self-surveying, Directed sampling (Davis et al., 1997; Haneklaus et al., 1998)
2000	Monitorpedozellen (Haneklaus et al., 2000; Panten, 2002; Panten et al., 2002)

Neben den Verfahren zur Erfassung der Variabilität spielt die räumliche Auflösung und Positionsgenauigkeit der Daten eine wichtige Rolle. Die räumliche Auflösung bei der Datenerhebung konnte durch leistungsfähigere Sensoren kontinuierlich verbessert werden (zu beachten ist hier allerdings, dass sich bei einer Verdopplung der Auflösung die Datenmenge um den Faktor vier erhöht), so dass auch flächenmäßig kleinste Einheiten angesprochen werden können. Die Steuerung variabler Verfahren bei der Landbewirtschaftung erfolgt in sog. Management-Zonen (FLEMING et al., 1999) oder kontinuierlich, auf der Basis der Arbeitsbreite der Maschinen (LAMP et al., 1999). In Tabelle 2 sind die Positionsgenauigkeiten verschiedener Daten und Technik aufgelistet.

Tabelle 2: Positionsgenauigkeit verschiedener Daten und Technik im Precision Farming (nach HANEKLAUS und SCHNUG, 2004)

Quelle	Positionsgenauigkeit (m)
Satelliten Positionierung	
Standard	2-3
Differentiell	< 1
mit S/A	25
Topographische Information	
Karten (Maßstab 1:5000)	3
Digitale Höhendaten	12,5 horizontal; 0,5 vertikal
Bodeninventur	
Digitalisierung von Kartenmerkmalen	3
Feldgrenzen aus Choroplethen-Karten	15-20
Fernerkundungsdaten	10-20
Ertragsdaten	10-15

3 Variable Ausbringungstechnik

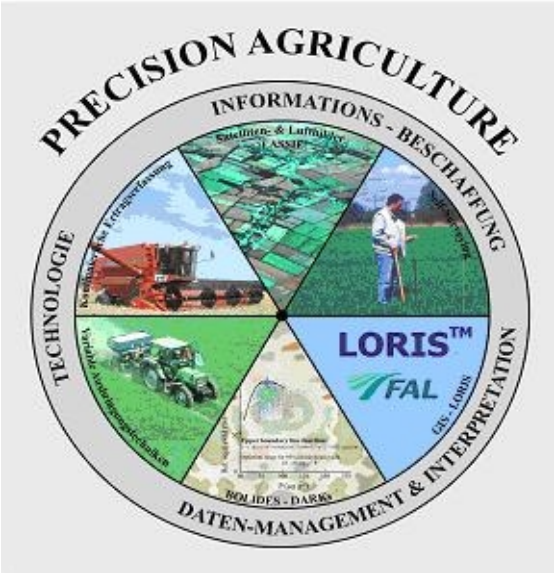
Basierend auf den erhobenen Daten können Managementstrategien abgeleitet werden und mit Hilfe geographischer Informationssysteme (GIS) Applikationskarten erstellt werden. Mit diesen Karten wird der Bordcomputer bestückt und die variable Ausbringungstechnik angesteuert. Die historische Entwicklung in der Ausbringungstechnik ist in Tabelle 3 dargestellt.

Der Begriff *Lokales Ressourcen-Management* (LRM) steht für ein interdisziplinäres Konzept, in dem Informationen über Merkmale der Bodenfruchtbarkeit und Bestände geokodiert erfasst, in Geographischen Informations-Systemen (GIS) gespeichert und mit Hilfe von Entscheidungsmodellen verarbeitet und letztlich in variable produktionstechnische Applikationen umgesetzt werden. LRM ist der pflanzenernährerische und bodenkundliche Teil in „Precision Agriculture“ (PA). Die verschiedenen Module sind in Abbildung 1 graphisch dargestellt. Mit Hilfe von GPS werden die Landmaschinen gesteuert und die Aufwandmengen zielgenau auf den Schlägen ausgebracht. Mit der Ernte-Ertragskartierung kann der Erfolg der variablen Bewirtschaftungsmaßnahmen abgeschätzt werden. Darüber hinaus dienen Ertragskarten als Grundlage zur Ableitung von Equifertilen, d. h. Zonen gleicher Bodenfruchtbarkeit (SCHNUG et al., 1992a, 1994).

Tabelle 3: Meilensteine der technischen Entwicklung von PA

bis 1988	Erste Anwendungen teilflächenspezifischer Bearbeitung in Dänemark, Deutschland und den USA mit variablen Düngerstreuern (AgriMatic (DK); CAF (D); SoilTeq (USA)).
30.06.1988	Erste praktische Demonstration GPS-gestützter, räumlich variabler Düngung auf den DLG-Feldtagen in Schwarzenraben, (CAF Verbund).
1989	Anwendung des ersten GPS gestützten Ertragskartierungssystems ("Yieldometer" von Jeff Claydon, UK) in Osterhof, Schleswig-Holstein auf einem Deutz Mähdrescher (Hansen, 1990).
28.06.1989	Erste praktische Demonstration GPS-estützter, räumlich variabler Herbizidausbringung (Phenmedipham) in Abhängigkeit vom Gehalt an organischer Substanz in Birkenmoor, Schleswig-Holstein durch den CAF Verbund (Agra-Europe, 1989; Bauernblatt/Landpost, 1989; Paulsen, 1989; Preusse, 1989).
07.1991	Erste praktische Anwendung eines GPS-gestützten Ertragskartierungssystems basierend auf der "Gamma ray flow meter" von Dronningborg A/S and T&O A/S, Randers (Denmark) auf einem Case Mähdrescher (Modern Farming, 1991).
1995	Kommerzielle Freigabe von LORIS™ (Local Resource Information System), einer für variable Düngung spezifische Software (Gemeinschaftsentwicklung von Kemira Europe, Wavre, Belgien und PB-FAL (Schroeder et al., 1997)).
1997	Entwicklung von "Surf-eye", später "Lassie" (Low Altitude Stationary Surveillance Instrumental Equipment) als neue Datenquelle für PA-Anwendungen (Schnug et al., 1998; Lilienthal, 2003).

Abbildung 1: Das Konzept des lokalen Ressourcenmanagements landwirtschaftlicher Böden im Precision Agriculture



Die Landmaschinen- und Düngemittelindustrie bietet heute ein umfangreiches Angebot an Zubehör für teilflächenspezifische Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz an. Obwohl die technischen Voraussetzungen für die Anwendung von PA-Technologien prinzipiell gegeben sind, beschränkt sich die betriebliche Umsetzung und Akzeptanz immer noch auf eine begrenzte Anzahl an Pionier- und Pilotbetrieben. Die Identifizierung der Ursachen für die unbefriedigende Nutzung von PA-Technologien ist jedoch von herausragender Bedeutung, um dieser Entwicklung entgegenzusteuern.

4 Probleme bei der Umsetzung

Bei der Umstellung des Betriebes zur teilflächenspezifischen Bearbeitung erwarten den Landwirt nicht nur Umrüstung und Neuanschaffung von Landmaschinen und EDV-Systemen, sondern auch Kontakt mit einer Vielzahl neuartiger und komplexer Daten. Die Verwaltung und Verarbeitung dieser Daten erfordert spezielle Softwarekenntnisse, die vielfach nicht vorhanden sind bzw. erbracht werden können, so dass in diesen Fällen private Dienstleistungsfirmen diese Aufgabe übernehmen müssen, was mit entsprechenden Kosten für den Landwirt verbunden ist. Hier öffnen sich jedoch neue Möglichkeiten durch Aus- und Fortbildung. Je besser die Ausbildung des Landwirtes hinsichtlich PA ist, desto besser wird die Anpassung variabler Düngergaben an die tatsächlichen Bedürfnisse von Boden und Pflanzen sein (HANEKLAUS und SCHNUG, 2004). Eine fundierte Ausbildung in teilflächen-spezifischer Bewirtschaftung ist auch ein Teil des PA-Konzeptes, das sicherstellt, dass das Wissen am effizientesten aus den Büchern in das Feld übertragen wird (HOLT und SONKA, 1995; KRILL, 1997; MANGOLD, 1995). Derzeit gängige Praxis ist, dass der Betriebsleiter entweder selber die teilflächenspezifische Bewirtschaftung durchführt, oder die Aufgaben an einen in der Regel schlechter ausgebildeten Maschinenführer weiter delegiert. Im ersten Fall ist die Auffassungsgabe des menschlichen Gehirns der limitierende Faktor, um die Vielzahl der variablen Arbeitsschritte richtig durchzuführen, im letzten Fall die schlechtere Ausbildung des Maschinenführers. Gut ausgebildetes Personal, das die PA-Technologie richtig einsetzt, führt oft zu einem Wissenstransfer bis auf die Ebene der Feldarbeiter. Die Komplexität der Entwicklung von Handlungsstrategien für PA im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung wird neue Märkte für Dienstleister und Berater schaffen.

Im Idealfall werden PA-Technologien im Bereich des Pflanzenbaus auf sämtliche Maßnahmen wie Aussaat, Düngung, Bearbeitung und Ernte (s. Abbildung 1) angewandt. Für eine großflächige, d. h. statistisch erfassbare Implementierung dieser Technologie ist es hingegen zunächst notwendig, die für den einzelnen Betrieb profitablen Maßnahmen zu erfassen und umzusetzen. Ging man zu Beginn der Entwicklung von PA davon aus, dass über Mehrerträge und Einsparung von Düngemitteln die Rentabilität der notwendigen maschinellen Investitionen und Kosten für die Datenbereitstellung und -auswertung finanziert

werden könnten, so ist festzustellen, dass dies in Einzelfällen zutreffen mag, jedoch nicht pauschal gilt. Ursache hierfür sind niedrige Produkt- und Düngemittelpreise. Die derzeit profitabelste Anwendung dürfte im Pflanzenschutz zu finden sein.

Ein weiteres Problem besteht im Bereich des Datenmanagements. Hier ist nicht nur geschultes Personal auf dem Gebiet der Datenaufarbeitung und -verwaltung erforderlich (s. o.), sondern auch das notwendige Know-how für die Interpretation und letztendliche Umsetzung in variable, standortspezifische Handlungsoptionen. Obwohl im Bereich der Düngung allgemeingültige Algorithmen erarbeitet wurden (SCHNUG et al., 1985; SCHNUG et al., 1992b; SCHNUG et al., 1993; SCHNUG et al., 1996; HANEKLAUS et al., 1997a; HANEKLAUS et al., 1997b; HANEKLAUS und SCHNUG, 1998; SCHNUG und HANEKLAUS, 1998; SCHNUG et al., 1998; HANEKLAUS und SCHNUG, 1999a; HANEKLAUS und SCHNUG, 1999b; HANEKLAUS et al., 1999), bestehen Defizite in anderen Bereichen wie Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz.

5 Lösungsansätze

Lösung für Algorithmen: DIY – Do it yourself

Die meisten Regeln für die Ausbringung von Düngern basieren auf Ergebnissen von Feldversuchen. Die Versuchsstandorte sind aber meist nicht aus Gründen der Variabilität, sondern oftmals rein aus administrativen Gründen gewählt worden (HANEKLAUS und SCHNUG, 2004). Für Testglieder, die unabhängig von den Bodeneigenschaften sind, wie zum Beispiel unterschiedliche Sorten oder der Einsatz von Pestiziden, sind suboptimale Standorte weniger ein Problem, hinsichtlich pflanzenverfügbarer Nährstoffe jedoch hat der gewählte Standort einen sehr großen Einfluss. Je größer die räumliche Distanz zwischen der Versuchseinrichtung, an der Düngevorschläge erarbeitet wurden, und einem landwirtschaftlichen Betrieb ist, der diese Vorschläge in die Praxis umsetzt, desto größer ist die Möglichkeit, dass die Düngeempfehlungen nicht für den Standort geeignet sind.

Früher, als noch keine PA-Technologie verfügbar war, wurden von einer Vielzahl von Versuchsstationen traditionelle Gefäßversuche durchgeführt, um ein möglichst großes ökologisches Spektrum der unterschiedlichen Standortverhältnisse abzubilden.

Die heutige Technologie mit GPS, variabler Ausbringungstechnik und Ertragskartierung erlaubt es, multivariate Experimente mit der ganzen Bandbreite der lokalen ökologischen Variabilität in jedem beliebigen landwirtschaftlichen Betrieb durchzuführen (REETZ, 1997; SCHROEDER und SCHNUG, 1995).

Mit Hilfe des teilflächenspezifischen Managements entwickelt sich der landwirtschaftliche Betrieb in Richtung eines Data warehouses. Mit Hilfe der gesammelten Daten lassen sich

mit derzeit verfügbaren Strategien wie Data Mining, Expertenwissen und Wissensmanagement (NRC 1997; BAUER und GUENZEL, 2001) Regelwerke für die teilflächenspezifische Düngung entwickeln, die exakt auf den lokalen Standort angepasst sind.

Neue Navigationsformen wie selbststeuernde und unbemannte Fahrzeuge werden Einzug in die Landwirtschaft halten und auch hier für einen weiteren Personalabbau sorgen. Gerade für eine automatisierte Landwirtschaft ist die Konzeption von PA unabdingbar, weil die Bordcomputer wissen müssen, was wann wo auszubringen ist.

Generell werden zwei verschiedene autonome Komponenten für die Landwirtschaft benötigt. Erstens autonome Fahrzeuge, die die Landmaschinen schleppen und zweitens intelligente Technik für jeden landwirtschaftlichen Bearbeitungsschritt (Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz) und zwar zur Kontrolle der korrekten Bearbeitung und zur Anpassung der Fahrgeschwindigkeit. Die vielen unterschiedlichen Bearbeitungsgerätschaften erfordern eine Standardisierung der Kommunikation mit dem Schlepper.

Der Einsatz autonomer Fahrzeuge in der Landwirtschaft ist darauf angewiesen, dass die Arbeitsabläufe störungsfrei ablaufen können. Hierbei ergeben sich Probleme, die auch in der herkömmlichen Bewirtschaftung immer noch auftreten, wie zum Beispiel das Verstopfen des Mährdreschers während der Ernte.

Zudem müssen autonome Fahrzeuge auch in der Lage sein, schnell auf unvorhergesehene Ereignisse und schnelle Witterungsänderungen angemessen zu reagieren, um die Funktionsfähigkeit des Systems zu gewährleisten. Aktuelle Informationen über den Zustand des Schlages können durch bodengestützte Fernerkundungssysteme wie z. B. LASSIE gewonnen werden (LILIENTHAL and SCHNUG, 2002). Zusätzlich kann LASSIE als Sicherheitssystem zur Überwachung der Funktionsfähigkeit der autonomen Fahrzeuge eingesetzt werden, beispielsweise zur Aktivierung eines Notschalters, falls die Fahrzeuge ihre geplante Position verlassen haben.

Der Betrieb von unterschiedlichen Maschinen erfordert auch eine aktive Abstimmung untereinander, wie zum Beispiel das automatische Betanken und Entladen von autonomen Mährdreschern.

Der Einsatz komplett autonomer Systeme in der Landwirtschaft hängt von der Entwicklung hoch entwickelter Technologien ab, wobei der größere Serviceaufwand die Rentabilität in Frage stellen kann. Autonome Systeme können mit geringerem Gewicht als herkömmliche Fahrzeuge konzipiert werden und somit einen Beitrag zum Schutz des Bodens vor Bodenverdichtung leisten (BLACKMORE and GRIEPENTROP, 2002).

Neben einer Standardisierung und Vereinheitlichung der PA-Technologien ist es erforderlich, dass es zu einer besseren Vernetzung zwischen Dienstleistern und Landwirten kommt. Die Praktiker verfügen über ein großes Maß an Erfahrungen und Kenntnissen über die Standorte. Dieses Wissen muss mit den Ergebnissen der Sensoren kombiniert und optimale Strategien zur Bewirtschaftung gemeinsam mit Beratern und Landwirten entwickelt werden.

5 Ausblick

Das Konzept des PA ist intrinsisch. Dies bedeutet, dass davon ausgegangen werden kann, dass eine variable Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen nachhaltig ist im Vergleich zu einer einheitlichen Bewirtschaftung, wo einzelne Teilflächen zum Beispiel mit Düngemitteln über- bzw. unterversorgt sind, was weder ökonomisch sinnvoll, noch ökologisch verträglich ist. Die Akzeptanz in der Praxis wird jedoch nur erhöht werden, wenn das Datenhandling und die Auswertung erheblich vereinfacht werden, beziehungsweise die Interpretation in Zusammenarbeit von Service Providern und Praktikern erfolgt. Die technische Umsetzung ist bereits verfügbar und wird sich, ähnlich wie Technologien in der Automobilbranche (z. B. ABS, Airbag), zukünftig bereits als Serienausstattung in Neufahrzeugen befinden.

Sollte sich der Bereich der autonomen Fahrzeuge etablieren, derzeit gibt es vor allem versicherungstechnische Bedenken, so liefert PA die Handlungsanweisung für die selbstfahrenden Landmaschinen.

Der zunehmende Kostendruck in der Landwirtschaft wird Alternativen zur Kosteneinsparung erfordern. Die Einsparung von Betriebsmitteln (Dünger und Pflanzenschutz) konnte bisher die PA-Technologie nicht finanzieren, möglicherweise liefert jedoch die Einsparung von Arbeitskräften durch den Einsatz von autonomen Systemen (SCHNUG et al., 2003) zukünftig finanziellen Spielraum für den Einsatz von PA. Allerdings sind dabei erhebliche soziale Auswirkungen auf den ländlichen Raum zu erwarten.

6 Zusammenfassung

Die Freigabe des militärischen Globalen Positionierungssystems (GPS) für die Öffentlichkeit Ende der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts weckte die Hoffnung, diese Technologie auch für die Landwirtschaft nutzbar machen zu können und eine völlig neuartige Art der Landbewirtschaftung zu etablieren. Diese wurde zunächst als „Computer Aided Farming (CAF)“ eingeführt und ist international nunmehr als „Precision Agriculture (PA)“ bekannt. Ziel dieser Technologie war bzw. ist es, mit Hilfe von GPS Landmaschinen exakt zu steu-

ern und die Aufwandmengen zielgenau auf den Schlägen auszubringen, um ökonomisch und ökologisch effizienter zu wirtschaften.

15 Jahre nach Einführung von PA-Technologien in der Landwirtschaft ist die Euphorie der Anfangstage einer realistischeren Betrachtungsweise gewichen. Obwohl immer neue Sensoren eine Vielzahl unterschiedlichster kleinräumiger, geo-kodierter Informationen über den Schlag liefern, findet die Technologie keinen großflächigen Eingang in die landwirtschaftliche Praxis.

Literaturverzeichnis

AGRA EUROPE (1989) Pflanzenschutzmittel gezielt anwenden. 27/89, 3. Juli 1989

BAUER A, GUENZEL H (2001) Data Warehouse Systeme, Heidelberg; dpunkt Verlag, pp. 1-579

BAUERNBLATT/LANDPOST (1989) Kleine Chips für die Optimierung. Bauernblatt/Landpost 27. Heft, 43./139. Jg., 8. Juli 1989, Rendsburg, pp. 48-49

BLACKMORE BS (1994) Precision farming: An introduction. Outlook on Agriculture 23 (4): 275-280

BLACKMORE BS, GRIEPENTROG HW (2002) A future view of Precision Farming. In PreAgro Precision Agriculture Conference. eds. BERGER D, BORNHEIMER A, JARFE A, KOTTENRODT D, RICHTER R, STAHL K, WERNER A. Muencheberg, Germany, Center for Agricultural Landscape and Land Use Research (ZALF), pp. 131-145

CARY T (1990) Landsat data as a tool for the geosciences. Journal of Geological Education 38 (4): 318-322

COLWELL JE, RICE DP NALEPKA RF (1977) Wheat-yield forecast using Landsat data. Proc. Of the 11th international symposium on remote sensing of environment, 1245-1254

DAVIS J G, KITCHEN N R, SUDDUTH K A, DRUMMOND S T (1997) Using electromagnetic induction to characterize soils. Better Crops Vol. 81 (4) 6-8

FLEMING K L, WESTFALL D G, WIENS D W et al. (1999) Evaluating farmer developed management zone maps for precision farming. Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture, St. Paul, Minnesota, USA, 19-22 July 1998. Part A and Part B. 335-343

GPS WORLD (2004) zu finden in: <http://www.gpsworld.com/gpsworld/static/staticHtml.jsp?id=7956>. [zitiert am 30.06.2004]

GRIEPENTROP HW (1997) Teilflächenspezifische Düngung. Erfahrungen und Ergebnisse. Landtechnik 52 (3): 124-125

HANEKLAUS S, RUEHLING I, SCHROEDER D, SCHNUG E (1997a) Studies on the variability of soil and crop fertility parameters and yields in different landscapes of Northern Germany. In Proceedings 1st European Conf. on Precision Agriculture, ed. J.V. Stafford, Warwick, UK, Vol. 2, pp. 785-792

HANEKLAUS S, SCHROEDER D, SCHNUG E (1997b) Strategies for fertilizer recommendations based on digital agro resource maps. In Proceedings 3rd Int. Conf. on Precision Agriculture, eds. ROBERT PC, RUST RH and LARSON WE, ASA-CSSA-SSSA Madison, pp. 361-368

HANEKLAUS S, SCHNUG E (1998) Impacts of precision agriculture technologies on fertilization. Proceedings 11th Int. Symposium of CIEC „Codes of good fertilizer practice and balanced fertilization“, pp. 95-107

HANEKLAUS S, PAULSEN HM, SCHRÖDER D, LEOPOLD U, SCHNUG E (1998) Self-surveying - A strategy for efficient mapping of the spatial variability of time constant soil parameters. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 29 (11-14), 1593-1601

HANEKLAUS S, SCHNUG E (1999a) Self-surveying and variable N rates. Agroprecise 1 (2): 4-6

HANEKLAUS S, SCHNUG E (1999b) Decision making strategies for the variable rate application of compound fertilizers. Communications of Soil Science and Plant Analysis 31 (11-14): 1863-1873

HANEKLAUS S, SCHROEDER D, SCHNUG E (1999) Decision Making Strategies for Fertilizer Use in Precision Agriculture. In Proceedings of the 4th Int. Conf. on Precision Agriculture, Minneapolis, eds. ROBERT PC, RUST RH, LARSON WE, ASA-CSSA-SSSA Madison, Part A, pp. 1785-1797

HANEKLAUS S, SCHNUG E, PANTEN K (2000) Evaluation of structural coincidences of patterns in remote sensing images and yield maps for the identification of sampling locations. Aspects of Applied Biology 60:37-44

HANEKLAUS S, SCHNUG E (2004) Site specific nutrient management – Objectives, current status and future research needs. In: „Precision Farming - A Global Perspectiver“ Edited by Ancha Srinivasan (accepted)

HANSEN J (1990) EDV-Einsatz in der Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung des Einsatzes im Betrieb Osterhof. Jahresarbeit im Fach Pflanzenproduktion an der Höheren Landschule Rendsburg, angefertigt von Jürgen Hansen aus Oesterdeichstrich 35 Seiten

HENDERSON TL, SZILAGYI A, BAUMGARDNER MF et al. (1989) Spectral band selection for classification of soil organic matter content. Soil Science Society of America Journal 53 (6): 1778-1784

HOLT D A, SONKA S T (1995) Virtual agriculture: developing and transferring agricultural technology in the 21st century. In Proceedings 2nd Int. Conf. on Site-specific Management for agricultural systems, eds. ROBERT PC, RUST RH and LARSON WE, ASA-CSSA-SSSA Madison, pp. 883-898

KRILL T L (1997) Site specific management: educating through coopertaing farmers. In Proceedings 3rd Int. Conf. on Precision Agriculture. ASA-CSSA-SSSA Madison, pp. 1165-1172

LAMP J, SCHNUG E (1990) CAF, Rechnergestützte Pflanzenproduktion - Möglichkeiten, Methoden, Management. *DLG-Tagungsbericht Fulda*, pp. 92-105

LAMP J, CAPELLE A, EHLERT D, JÜRSCHIK P, KLOEPFER F, NORDMEYER H, SCHRÖDER D, WERNER A (1999) Erfassung der kleinräumigen Heterogenität in der teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion. In: Erfassung der kleinräumigen Heterogenität, KTBL/ATB-Workshop 15.-16. Januar 1998 in Potsdam. Münster: KTBL pp 7-32 ISBN 3-7843-1993-9

LILIENTHAL H, SCHNUG E (2002) Ground based remote sensing: a new tool for agricultural monitoring. In Proceedings of the 6th Int. Conf. on Precision Agriculture, ASA-CSSA-SSSA Madison (CD-ROM)

LILIENTHAL H (2003) Entwicklung eines bodengestützten Fernerkundungssystems für die Landwirtschaft. Landbauforschung Völkenrode SH 254

MANGOLD G (1995). How can you transfer site-specific crop management technology to farmers? In Proceedings 2nd Int. Conf. on Site-specific Management for agricultural systems, eds. ROBERT PC, RUST RH and LARSON WE, ASA-CSSA-SSSA Madison, pp. 921-926

MODERN FARMING (1991) Satellite link combine leads quest for lower crop costs. Modern Farming 7 (3): 8-10

MURPHY D P L, OESTERGAARD H, SCHNUG E (1994) Lokales Ressourcen Management - Ergebnisse und Ausblick. Technik für die kleinräumige Bestandesführung. Ziele - Entwicklungsstand - Forschungsbedarf. ATB/KTBL-Kolloquium, 90-101

NRC (1997) Committee on assessing crop yield, site specific farming, information systems and research opportunities. Precision agriculture in the 21st century; Geospatial and information technologies in crop management. Board on Agriculture NRC: National Academic Press, Washington DC, pp. 1-168

PANTEN K (2002) Ein Beitrag zur Fernerkundung der räumlichen Variabilität von Boden- und Bestandesmerkmalen. Braunschweig : FAL, Landbauforsch. Völkenrode SH 232, 147 S.

PANTEN K, HANEKLAUS S, SCHNUG E (2002) Monitor pedo cells derived from remote sending images and yield maps in Northern Germany [CD-ROM]. In: Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, July 14-17, 2002, Minneapolis, MN USA. Madison : ASA-CSSA-SSSA

PAULSEN S (1989) Rechnergestützte Pflanzenproduktion: technisch aufwendig. *Agrarpraxis* 8/89: 42-43

PREUSSE U (1989) Signale aus dem Weltraum. DLG-Mitteilungen, 21-22

REETZ HF (1997) On-farm research opportunities through site-specific management. In Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Precision Agriculture, eds. ROBERT PC, RUST RH and LARSON WE, ASA-CSSA-SSSA Madison, pp. 1173-1176

ROBERT P C, RUST R H, LARSON W E (ed.). (1995) Proceedings of the Second Intern. Conf. on Site-Specific Management for Agricultural Systems. Bloomington / Minneapolis, MN. March 27-30, 1994. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI

SCHROEDER D, SCHNUG E (1995) Application of yield mapping to large scale field experimentation. Aspects of Applied Biology 43: 117-124

SCHRÖDER D, HANEKLAUS S, SCHNUG E (1997) Information management in precision agriculture with LORIS.- Precision Agriculture 1997, Vol. II pp 821-826. IN: Stafford J V (ed) bIOS Scientific Publishers Ltd., UK

SCHNUG E, LAMP J, KNOOP F (1985) Regionale Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit. II. Beispiele, Ursachen und praktische Bedeutung. Mitteilungen Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft 43/II: 679-684

SCHNUG E, EVANS E, HANEKLAUS S (1992a) Importance, evaluation and application of equifertiles to CAF. 9

SCHNUG E, MURPHY D, EVANS E, HANEKLAUS S (1992b) Advanced approaches to local resource management in crop production. In Proceedings 2nd ESA Conf., ed. J.V. Stafford, Warwick, UK, pp. 372-373

SCHNUG E, MURPHY D, EVANS E, HANEKLAUS S (1993) Local Resource-Management in computer aided farming: A new approach for sustainable agriculture. In Optimization of Plant Nutrition, eds. FRAGOSO MAC and VAN BEUSICHEM ML, Dordrecht: Kluwer Acad. Publ. pp. 657-663

SCHNUG E, HANEKLAUS S, MURPHY D (1994) Equifertiles - an innovative concept for efficient sampling in the local resource management of agricultural soils. Asp Appl Biol 37:63-72

SCHNUG E (1996) Quality of soil and plant analyses in relation to sustainable agriculture. Quality of soil and plant analysis in view of sustainable agriculture and the environment. International symposium on soil testing and plant analysis, Wageningen, Netherlands, 5-10 August, 1995. Communications in Soil Science and Plant Analysis 27 (3/4): 277-288

SCHNUG E, ACHWAN F, HEYM J (1996) Establishing critical values for soil and plant analysis by means of the Boundary Line Development System (BOLIDES) Communications of Soil Science and Plant Analysis 27: 2739-2748

SCHNUG E, HANEKLAUS S (1998) Diagnosis of sulphur nutrition. In: Sulphur in Agro-Ecosystems, eds. SCHNUG E and BERINGER H, Vol. 2 of the series ´Mineral Nutrition in Ecosystems´, Dordrecht: Kluwer Academic Publ., pp. 1-38

SCHNUG E, PANTEN K, HANEKLAUS S (1998) Sampling and nutrient recommendations - The future. Communications of Soil Science and Plant Analysis 29 (11-14): 1455-1462

SCHNUG E, LILIENTHAL H, PANTEN K, HANEKLAUS S (2003) Smart Navigation – Salvation for Precision Agriculture? Proceeding of 11th IAIN World Congress, October 21-24, 2003, Berlin Germany, 12 p., CD-ROM

SCHNUG E, PANTEN K, HANEKLAUS S, SCHRÖDER D (1998) Remote Sensing as an Aid for the Spatial Management of Nutrients. Proc. 4th Int. Conf. Prec. Agric., 19-22. July 1998, St. Paul, Minnesota Part A pp 1501-1511

SUDDUTH K A, BORGELT S C (1993) Sensing for variability management. In Proceedings 1st Workshop Soil Specific Crop Management, eds. ROBERT PC, RUST RH and LARSON WE, ASA-CSSA-SSSA Madison, pp. 375-376

THAMM B (1990) Estimation of areal distribution of fine-particle content on arable land in Upper Pleistocene moraine areas using a land appraisal system and aerial photography. Die Ermittlung der arealen Verteilung des Feinanteils auf Ackerschlägen mittels Bodenschatzung und Luftbild in jungpleistozänen Moränengebieten. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 34 (10): 663-671