

## 7 Querschnittsprojekte und Querschnittsaufgaben

### 7.1 Wirtschaftlichkeit des Precision Farming im Gesamtbetrieb (TP 3)

#### Economic viability of precision farming with a whole farm approach

Schneider, M.; Wagner, P.

##### 7.1.1 Extended Summary

Before a new technology is going to be adopted by farmers, the question of economic impact has to be answered. The economics of precision farming (PF) is one example of a new technology discussed at present. A lot of studies have been published during the last years dealing with its profitability. Most of them examine only one precision farming approach with one single crop. Only a very small number of studies are dealing with whole farm approaches.

However, the message of these studies is limited. Often, the examinations of the effects of precision farming are incomplete. Not all concerned costs and benefits of this new technology are taken into account. In addition, the results of a survey are valid only for the region in which they were taken.

On the WIMEX farm in Wulfen (Saxony-Anhalt), some field trials were and will be carried out to compare the uniform with some site specific treatments. For this region, the use of PF technologies will be calculated for a typical farm with the results of these trials. The characterizations of this region are very large farms, often with more than 1,000 hectares. To calculate the effects of PF, it is necessary to take all relevant factors, like costs for data collection, costs for data processing, costs for the application of inputs, costs for additional means of production, monetary evaluation of yield gain, improvement of quality, and the savings in means of production into account.

In the last project year a field trial with a precise nitrogen fertilization and fungicide input was conducted. The uniform treatment was compared with three different PF treatments (online-, offline- and online-approach with map overlay) for the nitrogen fertilization and one online-approach for the fungicide input. With the calculation of the additional PF costs for a farm at the size of 3,500 hectares, all PF treatments produced better results than the uniform comparison treatment. The best result came from the online approach. The additional gain was 59 €/ha.

In the next studies, more field trials with other PF technologies like base fertilization and seeding will be completed. In addition, at the other project farm in Lower Saxony for a second region of Germany, these investigations will be carried out as well.

##### 7.1.2 Problemstellung

Soll sich der Einsatz einer neuen Technologie in der landwirtschaftlichen Praxis behaupten, ist zuerst die Frage nach den ökonomischen Auswirkungen zu klären. Precision Farming (PF), oder teilflächenspezifische Landbewirtschaftung ist eine solche Technologie, die derzeit im Gespräch ist. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl an Untersuchungen zur Einschätzung des Potenzials einer informationsgeleiteten Pflanzenproduktion veröffentlicht. Eine große Anzahl davon führt bis zur ökonomischen Bewertung.

Tabelle 34 fasst eine Auswahl an Literaturquellen zusammen, die sich mit solchen Fragestellungen im europäischen Raum beschäftigt haben.

Tabelle 34: Einschätzungen zum Potenzial von einzelnen Precision Farming Technologien aus der Literatur

Table 34: Assessments of the potential for different precision farming technologies from literature

Technologie	Untersuchungsgegenstand	Ergebnis	Autor
Aussaat	Winterweizen, Wintergerste	Saatguteinsparung (13 %), Mehrertrag von 4 bzw. 2 dt/ha (WW bzw. WG)	JÄGER & MERKEL (Deutschland 2003)
	Körnermais	Erlössteigerung durch Mehrertrag in Höhe von 92 €/ha	REXROTH (Deutschland 2001)
	Weizen, Roggen	Deckungsbeitragssteigerungen in Höhe von 6,9 bis 15,9 €/ha	OSTHEIM (Deutschland 2000)
	Winterweizen, Körnermais	Saatguteinsparung bei Mais in Höhe von 13 €/ha	SCHMERLER & JÜRSCHIK (Deutschland 1996)
Grunddüngung	Phosphor-, Kalium- und Magnesiumdüngung	„Mehrerlös“: 50,97 €/ha Mehrkosten: 34,51 €/ha	KERSCHBERGER et al. (Deutschland 2004)
	Kalium- und Phosphordüngung	zusätzliche Leistung: 14,3 €/ha zusätzliche Kosten: 30,6 €/ha	RUMETSCH (Deutschland 2000)
	Kalium- und Phosphordüngung	höhere Erträge von 9 €/ha (Phosphor) und 1 €/ha (Kalium)	ALBERT & HANNUSCH (Deutschland 1997)
N-Düngung	Winterweizen	Kosten von 3 bis 5 €/ha Leistungen von 31 €/ha	KILIAN (Deutschland 2004)
	Wintergerste	„Vorteile“ zwischen 14 bis 23 £/ha	WELSH (England 2003)
	Winterweizen	Mehrertrag (1,69 dt/ha), erhöhter Proteingehalt (+ 0,14 %)	LUDOWICY et al. (Deutschland 2002)
	Winterweizen	15 bis 27 Prozent Stickstoffeinsparung	van ALPHEN (Niederlande 2000)
	Wintergerste	Einsparung an N-Düngemitteln zwischen 2,58 und 31,75 £/ha	PETERS et al. (England 1999)
Pflanzenschutz	Getreide, Erbsen	Herbizideinsparungen von 24 % der flächeneinheitlichen Vergleichsvariante	DAMMER et al. (Deutschland 2003)
	Winterweizen, Zuckerrüben	Verringerung der Kosten um 36 €/ha (Getreide) und 79 €/ha (Zuckerrüben)	Gerhards & Sökefeld (Deutschland 2003)
	Sommergerste, Winterweizen	Herbizideinsparung zwischen 31 bis 61 % der flächeneinheitlichen Vergleichsvariante	WALTER et al. (Dänemark 2001)
	Winterweizen, Körnermais	Herbizidkosteneinsparung zwischen 8 bis 16 €/ha	WARTENBERG (Deutschland 1997)

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen lässt sich nur begrenzt ein Potenzial dieser Technologien ableiten. Oftmals wurden die Auswirkungen unvollständig betrachtet, die bei Durchführung von teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen entstehen. So beziehen sich manche Studien lediglich auf ausgewählte Kosten- oder Leistungspositionen. Eine vollständige Berücksichtigung und Kalkulation aller Effekte, die durch die Nutzung dieser Technologien entstehen, bleibt aus. Zusätzlich wird bei manchen Untersuchungen nicht dokumentiert, welche Effekte in die

Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einbezogen wurden. Durch diesen Charakter einer Black Box fällt es schwer, die Ergebnisse richtig einzuordnen.

Nur wenige Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit des Precision Farming im gesamtbetrieblichen Kontext sind in der Literatur zu finden. LISSO (2003, Deutschland) entwickelt sein eigenes System zur teilflächenspezifischen Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz. Er kommt zu dem Ergebnis, dass der Nutzen dieses Systems schon nach einem Jahr die Anschaffungskosten der notwendigen Precision Farming Technik vollständig abdecken kann. Die Untersuchung bezieht sich auf einen Betrieb mit 1.560 Hektar.

HASERT et al. (2002, Deutschland) ermitteln aus Feldversuchen und Abschätzungen einen zusätzlichen Gewinn von 90 €/ha für teilflächenspezifische Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz. Die zusätzlichen Kosten, die durch die Nutzung von Precision Farming anfallen, belaufen sich hier nur auf 14 bis 19 €/ha bei Auslastung der Technik auf 2.000 Hektar. SCHMERLER & BASTEN (1999, Deutschland) setzen die Leistungen von teilflächenspezifischer Aussaat und Düngung auf 15 bis 52 €/ha je nach Fruchtart an. Damit werden, bezogen auf eine Bewirtschaftungsfläche von 3.600 Hektar, die Kosten von 25 €/ha im Durchschnitt gedeckt.

Offensichtlich können vorhandene Aussagen zum ökonomischen Potenzial des Precision Farming nicht verallgemeinert werden. Verschiedene Faktoren, wie beispielsweise die Heterogenität eines Standortes, der eingesetzte Precision Farming Algorithmus sowie das bisherige Bewirtschaftungsniveau führen dazu, dass vor Aussagen zum Potenzial der teilschlagbezogenen Bewirtschaftung auf einem Standort, Untersuchungen dazu durchgeführt werden müssen. Eine umfassende Standortsbeschreibung verbunden mit transparent dargestellten Kalkulationen könnte dazu genutzt werden, dass die Ergebnisse einer ökonomischen Bewertung für vergleichbare Standorte erste Hinweise auf das Potenzial geben könnten.

### 7.1.3 Bearbeitungsgegenstände und verwendete Methoden

Auf den beiden *pre agro*-Projektbetrieben in Wulfen (Sachsen-Anhalt) und Groß Twülpstedt (Niedersachsen) werden Feldversuche angelegt. Mit praxisüblicher Technik wird die flächeneinheitliche Bewirtschaftung mit teilflächenspezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen verglichen. Dazu werden auf Schlägen Streifen verschiedener Bewirtschaftung angelegt. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen werden zur Kalkulation der ökonomischen Auswirkungen einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung genutzt. Als Kalkulationsgrundlage dienen regionstypische Modellbetriebe.

Zur ökonomischen Bewertung der teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung werden jeweils die zusätzlichen Kosten und Leistungen verglichen, die auf Basis der schlageinheitlichen Bewirtschaftung durch Precision Farming entstehen. Übersteigt die Summe der zusätzlichen Leistungen die Summe der zusätzlichen Kosten, so ist ein ökonomisches Potenzial vorhanden und der Einsatz dieser neuen Technologien sinnvoll. Dabei ist es wichtig, alle Effekte in die Berechnung mit einzubeziehen. Als zusätzliche Leistungen können Ertragssteigerungen und Qualitätsverbesserungen der Feldfrüchte sowie Einsparungen an Betriebsmitteln direkt monetär bewertet werden.

Abbildung 75 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Kostenpositionen, welche beim Einsatz von Precision Farming anfallen können.

Entstehung	Kosten der Daten-erhebung	Kosten der Daten-verarbeitung	Kosten der Maßnahmen-durchführung	Kosten für zusätzliche Produktionsmittel
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-bottom: 5px;">jährlich</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin-top: 10px;">über-jährlich</div>	Ertragskartierung*	Datenmanagement Entscheidung Beratung		Kraftstoff, Saatgut, Düngemittel
	Bodenbeprobung* Sensoreinsatz*	Software Hardware	Umrüstung der Technik**	

\* Enthält alle Kosten für Maschinen, Bodenbeprobung und Analyse, Arbeitszeit, etc.  
\*\* z.B. Nachrüstung der Dünge-, Drill- und Spritzgeräte mit teilflächenspezifisch ansteuerbarer Technik

Abbildung 75: Einteilung der Precision Farming Zusatzkosten

Figure 75: Classification of the additional costs for precision farming

Die zusätzlichen Kosten, die durch die Nutzung von Precision Farming entstehen, können in vier Gruppen unterteilt werden. In die erste Gruppe fallen alle Kosten die beim Sammeln von Informationen zur Standortheterogenität entstehen, also auf deren Grundlage anschließend die teilflächenspezifische Bewirtschaftungsentscheidung getroffen wird. Hauptsächlich handelt es sich hier um den Einsatz aller Arten von Sensoren, wie beispielsweise eine Ertragskartierung im Mähdrescher, aber auch die Bodenbeprobung oder Leitfähigkeitsmessung. Darauf folgt die Gruppe der Kosten, die bei der Verarbeitung der Daten und anschließenden Entscheidungsfindung entstehen. Wird dieser Schritt im landwirtschaftlichen Betrieb durchgeführt, so ist dafür eine geeignete Software nötig. Es wird Wissen darüber benötigt, wie aus den Daten teilflächenspezifische Bewirtschaftungsrückschlüsse zu ziehen sind. Denkbar ist, dass solche Arbeiten an ein externes Dienstleistungsunternehmen vergeben werden. Anschließend folgt die Umsetzung der geplanten Precision Farming Maßnahmen. Beispielsweise ist ein teilflächenspezifisch ansteuerbarer Düngerstreuer notwendig, um eine Stickstoffapplikation differenziert durchzuführen. Diese Kosten fallen jedoch nur an, wenn eine zusätzliche Ausrüstung der Technik notwendig ist. Verschiedene Landtechnikhersteller bieten auch jetzt schon Maschinen und Geräte an, worin die notwendige Precision Farming Hardware serienmäßig integriert ist. Es wäre denkbar, dass beispielsweise bei einer teilflächenspezifisch durchgeführten Grunddüngung mehrere Feldüberfahrten des Düngerstreuers notwendig werden, da jeder Nährstoff aufgrund von unterschiedlichen Versorgungszuständen einzeln appliziert werden muss. Die Kosten der zusätzlichen Feldüberfahrten würden auch mit in die Gruppe der Maßnahmendurchführung fallen, wenn sie ohne Nutzung von Precision Farming nicht entstehen würden.

Durch die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung könnte eine höhere Aufwandmenge an Düngemitteln appliziert werden, als es bei einer feldeinheitlichen Bewirtschaftung erfolgen würde. Diese durch Precision Farming verursachten Zusatzkosten fallen in die letzte Gruppe der Abbildung 75, die zusätzlichen Kosten für Produktionsmittel.

Sicherlich lassen sich die Precision Farming Zusatzkosten nicht in jedem Fall eindeutig einer einzelnen Kostengruppe zuordnen. Bei einer Steuerung der Stickstoffdüngung nach einem reinen Online-Ansatz würde der Düngerstreuer automatisch vom Sensor gesteuert werden. In diesem Fall ist die Datenerhebung und -auswertung in einem Gerät zusammengefasst.

Manche Kosten entstehen jährlich, während andere in größeren Abständen oder nur einmalig zu Buche schlagen. Notwendigerweise müssen zur Vergleichbarkeit alle Kosten auf eine gemeinsame Berechnungsperiode bezogen werden. In den meisten Fällen wird das ein Jahr sein. Zur Berechnung kann beispielsweise die Annuitätenmethode herangezogen werden. Unter der Annahme einer Nutzungsdauer und eines Zinssatzes der Investition, werden die jährlichen Kosten (Annuität) ermittelt. Unterliegen die Investitionen keiner direkten physikalischen Abnutzung, so jedoch einer Abnutzung durch technischen Fortschritt (z.B. Sensoren, Software, etc.) oder Informationsverlust (z.B. Bodenbeprobungsergebnisse). Im Fall von Abnutzung durch technischen Fortschritt kann erfahrungsgemäß eine Nutzungsdauer von 5 Jahren unterstellt werden. Liegt Abnutzung durch Informationsverlust vor, so muss die Nutzungsdauer individuell festgelegt werden. Bei einer georeferenzierten Bodenbeprobung zur Planung einer teilflächenspezifischen Grunddüngung könnte die Dauer einer Fruchtfolgerotation zugrunde gelegt werden.

#### 7.1.4 Ergebnisse im Jahr 2005 und ihre Diskussion

Aufgrund des Startzeitpunktes des *pre agro II* Projektes und technischen Schwierigkeiten wurde das Versuchsspektrum im Anbaujahr 2004/05 auf die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung begrenzt. Untersuchungen dazu wurden auf Flächen von WIMEX (Sachsen-Anhalt) durchgeführt. Für diese Region soll ein Musterbetrieb zusammengestellt werden, auf dessen Grundlage anschließend die Durchführung einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung zu Winterweizen kalkuliert wird.

Tabelle 35 verdeutlicht die Flächennutzung nach Fruchtarten, wie es für das Ackerland des Landkreises Köthen/Sachsen-Anhalt repräsentativ ist. Diese Region ist durch große Agrarunternehmen mit einer Flächenausstattung von nicht selten über 1.000 Hektar geprägt. Bewirtschaftet werden große Schlägeinheiten mit einer Bodenqualität von 80 bis 100 Bodenpunkten. Die Region gehört mit durchschnittlich 440 mm Niederschlag zum Mitteldeutschen Trockengebiet. In der Vegetationsperiode ist die klimatische Wasserbilanz negativ. Die Bodenwasserspeicherfähigkeit und -verfügbarkeit ist damit ein entscheidendes Kriterium für die Ertragsbildung bei Kulturpflanzen. Der Projektbetrieb verfügt über eine Anbaufläche von 3.500 Hektar.

Tabelle 35: Regionstypische Ackerlandnutzung nach Fruchtarten

Table 35: The typical cultivation pattern of farmland in a region of eastern Germany

Fruchtarten	Anteil relativ	Anteil absolut für einen 3.500 ha Betrieb
Getreide insgesamt	68,92 %	2.412 ha
dav. Winterweizen	30,72 %	1.075 ha
dav. Wintergerste	13,35 %	467 ha
dav. Triticale	7,64 %	267 ha
dav. sonstiges	7,15 %	250 ha
dav. Körnermais	10,06 %	352 ha
Hackfrüchte insgesamt	10,38 %	363 ha
dav. Kartoffeln	2,60 %	91 ha
dav. Zuckerrüben	7,77 %	272 ha
Winterraps	12,45 %	435 ha
Stillelegung	8,25 %	288 ha

Quelle: nach STATISTISCHES BUNDESAMT (1999), Fachserie 3, Reihe 3 (ohne Gemüse und Futterpflanzen)

Auf dem Schlag 432 des WIMEX Betriebes in Wulfen wurde ein Versuch zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung und Fungizidapplikation in Winterweizen in Zusammenarbeit mit den Teilprojekten 9 und 11 angelegt. Die Beschreibung der Versuchsanlage und der Ergebnisauswertung erfolgt aber dennoch hier, da so die Auswertung unmittelbar ökonomisch erörtert werden kann. Der Schlag verfügt über eine Fläche von 93 Hektar. Im Erntejahr 2005 wurden die A-Weizen Sorten Charger und Tataros darauf angebaut. Auf dem Schlag 231 in Wulfen wurde im Berichtszeitraum ein ähnlicher Versuch angelegt. Aufgrund von technischen Schwierigkeiten zur Mähdruschernte findet eine ökonomische Auswertung dieses Versuches vorerst nicht statt.

Abbildung 76 zeigt den Schlag mit dem darauf angelegten Streifen-Versuchsdesign. Drei unterschiedliche teilflächenspezifische Düngestrategien sollten untereinander und mit der flächeneinheitlichen Stickstoffdüngung verglichen werden. Zum ersten Versuchsglied wurde der Yara-N-Sensor als reines Online-Verfahren eingesetzt. Dieser optische Sensor schließt über die Reflektion des eingestrahlichten Sonnenlichtes auf den aufzudüngenden Stickstoffbedarf. Er wurde zur zweiten und dritten Stickstoffgabe eingesetzt. Die erste Gabe erfolgte flächeneinheitlich. Das zweite Versuchsglied wurde als Offline-Verfahren durchgeführt. Dazu ist der Schlag in 3 unterschiedliche Zonen unterteilt. Diese spiegeln dabei das Abreifeverhalten von Mähdruschfrüchten auf diesem Schlag und damit die Ertragsfähigkeit wieder. Zone 1 repräsentiert eine frühe, Zone 2 eine mittlere und Zone 3 eine späte Abreife. Durch diese Einteilung soll die limitierte Wasserverfügbarkeit bei der Düngung Berücksichtigung finden. Der Einteilung dieser Zonen liegen mehrjährige Luftbilder aus dem Zeitraum der Abreife von Druschfrüchten zugrunde. Die Düngemengenbemessung für jede der drei Zonen orientiert sich an den durchschnittlichen historischen Erträgen (DOHMEN 2005, pers. Mitteilungen). Diese Düngestrategie sollte zu allen drei Düngergaben eingesetzt werden. Das Versuchsglied zur dritten teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung erfolgte nach einem hybriden Verfahren. Darin werden die Informationen des Yara-N-Sensors mit denen der 3-Zonenkarte überlagert. Zur zweiten Gabe wurde daher die Sensorempfehlung in der schlechten (besseren) Zone um 15 kg N/ha reduziert (erhöht) gedüngt. Zur dritten Gabe wurde die Sensorempfehlung in der schlechteren (besseren) Zone um 20 Prozent reduziert (erhöht) appliziert.

Die Düngemenge des flächeneinheitlichen Versuchsgliedes wurde nach den regionalen Gewohnheiten bemessen. Dazu ergab die Auswertung der Ackerschlagkartei eines regional ansässigen Beratungsringes eine über 10 Jahre durchschnittliche Düngehöhe auf Schlägen mit 80 bis 100 Bodenpunkten zu Winterweizen von 180 kg N/ha (Grundlage: 26.600 ha Winterweizen).

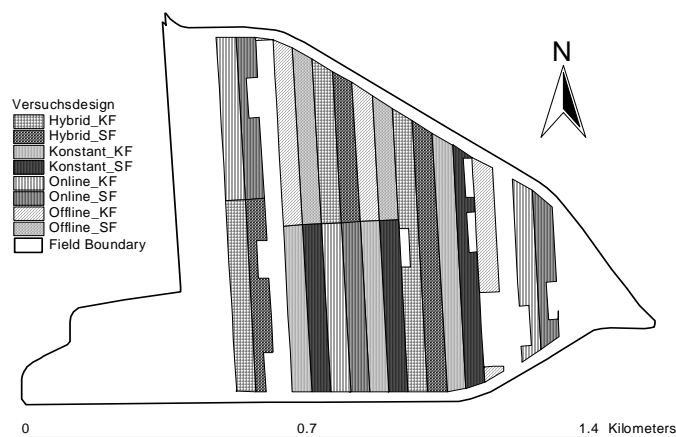


Abbildung 76: Versuchsdesign auf dem Schlag 432 in Wulfen, 2005

Figure 76: Trial design on the experimental field 432 in Wulfen (Saxony-Anhalt), 2005

Zusätzlich wurde zur zweiten Fungizidapplikation innerhalb jedes Versuchsgliedes zwischen flächeneinheitlicher Spritzung und teilflächenspezifischer Spritzung unterschieden. Die differenzierende Variante richtete sich dabei nach der vorhandenen Biomasse, die vom Yara-N-Sensor ermittelt wird. Auf Teilflächen mit hoher Biomasse wurde viel Spritzbrühe appliziert und umgekehrt.

Je Versuchsglied wurden jeweils zwei bis drei Wiederholungen angelegt. Ein Versuchstreifen hatte eine Breite von zwei Fahrspuren. Alle Applikationen wurden mit einer Pflanzenschutzspritze mit 24 m Arbeitsbreite durchgeführt. Dadurch konnten Überstreueffekte vermieden werden, die ein Schleuderdüngerstreuer verursacht hätte. Als Stickstoffdünger kam Alzon (1. Gabe) und AHL (2. und 3. Gabe) zum Einsatz. Die Wirkstoffe der Fungizide „Input“ und „Pronto Plus“ wurden zur Fungizidbehandlung eingesetzt.

Tabelle 36: Applikationsmengen der einzelnen Teilgaben des Systemversuchs bei WIMEX in 2005

Table 36: The amount of applied fertilizer and fungicide for the systems experiment at farm WIMEX in 2005

		„Konstant“		„Online“		„Offline“		„Hybrid“	
		KF*	SF**	KF	SF	KF	SF	KF	SF
N (kg/ha)	1. Gabe	60	60	60	60	61	58	60	60
	2. Gabe	90	90	26	27	90	84	30	26
	3. Gabe	30	30	30	32	0	0	46	43
	<b>gesamt</b>	<b>180</b>	<b>180</b>	<b>116</b>	<b>119</b>	<b>151</b>	<b>142</b>	<b>136</b>	<b>129</b>
* KF: konstant Fungizid; ** SF: sensorgesteuerte Fungizidapplikation									
<u>Streuung:</u>									
„Online“ N1: 0; N2: 20-64 kg/ha; N3: 20-68 kg/ha; „Offline“ N1: 54-60-66 kg/ha; N2: 72-90-99 kg/ha									
„Hybrid“ N1: 0; N2: 6-58 kg/ha; N3: 18-74 kg/ha									
PSM (l/ha)	2. Gabe	200	287	200	282	200	280	200	283
	Steuerung der teilflächenspezifischen Applikation: Biomasseindex des Yara-N-Sensors, vorgegebener Variationsbereich: 168 bis 392 l/ha (+/- 40%) Wirkstoffe: Input (0,8 l/ha), Pronto Plus (0,75 l/ha) auf Basis von 200 bzw. 280 l Wasser/ha								

Zum Versuchsglied „Konstant“ wurde die höchste Gesamtmenge Stickstoff appliziert (siehe Tabelle 36). Zur reinen Online-Düngung durch den Yara-N-Sensor wurde insgesamt die niedrigste Menge Stickstoff im Durchschnitt gedüngt. Der Pflanzenbauleiter des Betriebes entschied sich, zum Versuchsglied „Offline“ nach der 3-Zonenkarte, die 2. und 3. Gabe zusammenzulegen.

Die Spritzmittelaufwandmenge wurde zur teilflächenspezifischen Applikation um 80 l/ha erhöht, wobei die Wirkstoffmenge der flächeneinheitlichen Behandlung beibehalten blieb. Dadurch konnte die absolut applizierte Menge an Spritzbrühe bei einem vorgegebenen Variationsbereich von +/- 40 Prozent gegenüber einer Standardaufwandmenge von 200 l/ha erhöht werden. In Tabelle 36 wird ersichtlich, dass im Durchschnitt also zur teilflächenspezifischen Fungizidspritzung annähernd die gleiche Menge an Wirkstoffen ausgebracht wurde, wie es flächeneinheitlich erfolgte. Der Variationsbereich der Spritzmittelapplikation lag tatsächlich (nach as-applied Karte) in einem Bereich von 260 bis 290 l/ha. Mit dieser geringen Variationsbreite kann der Effekt einer teilflächenspezifischen Applikation vernachlässigt werden. Aufgrund von Erfahrungen auch aus anderen Teilprojekten im Versuchsjahr 2005 (z.B. TP 10), fand keine starke Infizierung der Kulturpflanzenbestände mit Pilzkrankheiten statt. Aus diesem Grund wird bei der weiteren Auswertung auf eine Trennung der Versuchsglieder „Konstant Fungizid“ und „Sensor Fungizid“ verzichtet.

Tabelle 37: Ergebnisse des Feldversuches

Table 37: Results of the field trial

	„Konstant“	„Online“	„Offline“	„Hybrid“
Ertrag (dt/ha)	71,77	83,1	81,81	81,78
Protein (% RP in TS)	14,2	11,9	11,1	11,6
Marktleistung* (€/ha)	718	748	736	736
N-Kosten** (€/ha)	99	65	82	74
NKL*** (€/ha)	619	683	655	662

\* Marktleistung = Ertrag\*Marktpreis; Annahme der Auszahlungspreise für die Region Halle/Saale zur Ernte 2005, Berücksichtigung des Proteingehaltes (bis 12% RP: 9 €/dt; 12 bis 14% RP: 9,5 €/dt; ab 14% RP: 10 €/dt)  
\*\* Alzon Preis (28 % N): 163,47 €/t; AHL Preis (24 % N): 127,5 €/t, ohne Verzinsung des eingesetzten Kapitals  
\*\*\* NKL: stickstoffkostenfreie Leistung (Marktleistung abzüglich der N-Kosten)

Trotz höchster Stickstoffaufwandmenge erreicht das Versuchsglied „Konstant“ den niedrigsten Ertrag (siehe Tabelle 37). Die hohen Düngergaben widerspiegeln sich hier im erhöhten Proteingehalt. Der höchste Ertrag wird mit der Düngestrategie „Online“ erreicht. Daher kommt diesem Versuchsglied auch nach Abzug der Kosten für das Stickstoffdüngemittel die höchste stickstoffkostenfreie Leistung zu. Das Versuchsglied mit flächeneinheitlicher Stickstoffapplikation („Konstant“) erreicht die niedrigste stickstoffkostenfreie Leistung.

Zur Auswertung der Ertragskartierungsdaten wurde keine Klassifizierung der Daten nach einem Heterogenitätsindikator, wie beispielsweise der EM38 Kartierung, vorgenommen. Daher ist nicht auszuschließen, dass eine ungleiche Verteilung der Heterogenitäten unter den Versuchsstreifen dazu führen könnte, dass ein Versuchsglied gegenüber einem anderen übervorteilt ist.

Zum ökonomischen Vergleich der unterschiedlichen Verfahren ist es nötig, die verfahrensspezifischen zusätzlichen Kosten der Precision Farming Maßnahmen von der Leistung abzuziehen. Dazu wird für jede teilflächenspezifische Dünge- und Pflanzenschutzstrategie die Annahme unterstellt, dass der Modellbetrieb auf der gesamten Getreidefläche (ohne Körnermais) Precision Farming einsetzt. Insgesamt werden die Kosten also jährlich auf 2.060 Hektar verteilt.

Es wird angenommen, dass die Pflanzenschutzspritze ohne Umrüstung durch ein Terminal angesteuert werden kann und damit Precision Farming tauglich ist. Weiterhin wird angenommen, dass die zusätzlich notwendige Sensor- und Computertechnik eine Nutzungsdauer von 5 Jahren hat und das gebundene Kapital zu 8 Prozent verzinst wird.

Für die Online-Düngung nach dem Yara-N-Sensor werden zwei komplette Sensorkomplexe notwendig. Da hierdurch die Pflanzenschutzspritze direkt angesteuert werden kann, fallen keine weiteren Kosten an. Beim „Offline-“ und „Hybridansatz“ ist die Erstellung einer 3-Zonenkarte für den Schlag durch ein Dienstleistungsunternehmen notwendig. Dafür fallen einmalige Kosten von 1,5 bis 2 €/ha an. Eine erneute Aktualisierung der Karte wäre für einen Bruchteil der Anschaffungskosten möglich. Zusätzlich ist hier eine Ertragskartierung zur Bestimmung der Zielerträge in den einzelnen Zonen notwendig. Es wird angenommen, dass die Ertragskartierung zu allen Druschfrüchten des Unternehmens eingesetzt wird (insgesamt 2847 ha jährlich, Ausstattung von 5 Mähdreschern) und auch hier von einer Nutzungsdauer von 5 Jahren auszugehen ist. Für die Entscheidung über die Düngerrhöhe nach der 3-Zonenkarte wird zusätzlich eine Software benötigt, die eine Analyse der Ertragskartierung zulässt.

Tabelle 38: Betrachtung der zusätzlichen Kosten der Precision Farming Maßnahmen

Table 38: Examination of the additional costs for Precision Farming

	Datenerhebung	Datenverarbeitung	Maßnahmen-durchführung
„Online“	Yara-N-Sensor mit WTK Terminal: <b>4,95 €/ha</b>		
„Offline“	Erstellung 3-Zonenkarte durch Dienstleister: <b>0,46 €/ha</b> Ertragskartierung: <b>3,46 €/ha</b>	Planung N-Düngehöhe nach Zonen: <b>0,12 €/ha</b>	Terminal mit GPS Empfänger: <b>1,34 €/ha</b>
„Hybrid“	Erstellung 3-Zonenkarte durch Dienstleister: <b>0,46 €/ha</b> Ertragskartierung: <b>3,46 €/ha</b>	Planung N-Düngehöhe nach Zonen: <b>0,12 €/ha</b>	
	Yara-N-Sensor mit WTK Terminal: <b>4,95 €/ha</b>		

Zum direkten Vergleich der verschiedenen Düngestrategien werden die verfahrensabhängigen Zusatzkosten von den stickstoffkostenfreien Leistungen abgezogen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird die Düngestrategie „Konstant“ als Basis genutzt. Die NKL beträgt 619 €/ha. Hier werden keine zusätzlichen Kosten abgezogen.

Tabelle 39: Monetäre Ergebnisse der Varianten nach Abzug der zusätzlichen Verfahrenskosten für Precision Farming

Table 39: Financial Results of the different treatment strategies after deduction of the additional costs for precision farming

	„Konstant“	„Online“	„Offline“	„Hybrid“
NDKL*	619 €/ha	678 €/ha	658 €/ha	652 €/ha
Differenz	0 €/ha	+ 59 €/ha	+ 39 €/ha**	+ 33 €/ha

\*stickstoff- und stickstoffdüngungskostenfreie (prozesskostenfreie) Leistung auf Basis der Variante „Konstant“  
 \*\* zusätzliche Einsparungen einer Feldüberfahrt durch Applikation in nur zwei Gaben

Alle Dünge- und Pflanzenschutzstrategien mit teilflächenspezifischer Bewirtschaftung erzielen ein besseres Ergebnis als die flächeneinheitliche Vergleichsvariante. Die höchste stickstoffdüngungskostenfreie Leistung erzielt der Online Ansatz nach den Empfehlungen des Yara-N-Sensors zur zweiten und dritten Gabe.

Das Ergebnis der Düngestrategie mit der größten Informationsbasis („Hybrid“) erreicht in diesem Fall nicht das höchste Ergebnis. Das könnte an der Einteilung der Zu- bzw. Abschläge liegen. Es fehlen eindeutige Entscheidungsregeln wodurch die Informationen über die Heterogenität des Standortes mit Bewirtschaftungsempfehlungen verbunden werden können.

Aus den Ergebnissen dieses Feldversuches kann ein positives Ergebnis für die teilflächenspezifisch angepasste Bewirtschaftung abgeleitet werden. Der Einfluss der Qualität der Entscheidungsregeln des Precision Farming auf das Ergebnis, also welche Handlungsalternative unter gegebenen Bedingungen auszuwählen ist, wird deutlich.

### **7.1.5 Soll-Ist-Vergleich mit den im Projektantrag angestrebten Ergebnissen bzw. vorgesehenen Meilensteinen**

Die Aktivitäten des ersten Projektjahres bezogen sich auf eine Einarbeitung in die Thematik. Die bereits vorhandene Literatur zur Wirtschaftlichkeit des Precision Farming wurde gesichtet und systematisiert.

Unter Herstellern von Precision Farming Hard- und Software wurde eine Erhebung zur Ermittlung der Investitionskosten durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten des Verbundprojektes, insbesondere des TP 9 sowie des Projektbüros, wurde die Herangehensweise an die Feldversuche erarbeitet, welche auf den beiden Projektbetrieben durchgeführt werden. Erste Untersuchungen konnten im Jahr 2005 in Sachsen-Anhalt durchgeführt und ausgewertet werden. Zur Dokumentation und Überwachung des Versuchsablaufs wurde ein stetiger Kontakt mit dem Projektbetrieb aufgebaut. Erste Ergebnisse sind vorhanden.

Eine Konformität mit der Zeitplanung des Projektantrages ist gewährleistet.

### **7.1.6 Geplante nächste Arbeitsschritte**

Im Erntejahr 2006 soll das Feldversuchsprogramm erheblich ausgeweitet werden. Auf dem Wulfener WIMEX Betrieb in Sachsen-Anhalt wurden bisher Versuche zur teilflächenspezifischen Aussaat von Winterraps und Winterweizen angelegt. Weiterhin wurden auf zwei Schlägen georeferenzierte Bodenuntersuchungen durchgeführt, wonach eine teilflächenspezifische Grunddüngung geplant und durchgeführt wurde. Außerdem sollen differenzierte Aussaatversuche zu Körnermais angelegt werden. Die Untersuchungen zur Stickstoffdüngung werden in Wulfen weitergeführt.

In Groß Twülpstedt wurde ein Versuch zur teilflächenspezifischen Winterweizenaussaat angelegt. Die differenzierte Grunddüngung wird demnächst erfolgen, georeferenzierte Bodenbeprobungen wurden auf zwei Schlägen durchgeführt. Weiterhin sollen Versuche zur teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung angelegt werden.

Alle Planungen zur Durchführung von Feldversuchen laufen in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt 9.

Auf einem Schlag des WIMEX Betriebes in Wulfen soll ein Sensorvergleichsversuch in Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten angelegt werden. Das TP 3 wird die Ergebnisse aus ökonomischer Sichtweise aufbereiten.

Die Analyse des Arbeitszeitbedarfs für Planung, Durchführung und Auswertung des Precision Farming im landwirtschaftlichen Betrieb soll u.a. durch eine Intensivbefragung bei PF praktizierenden Betrieben ermöglicht werden.

### **7.1.7 Erkenntnisse aus den Arbeiten des Jahres 2005 für das Anliegen des Projektbereiches bzw. aus Sicht des Gesamtprojektes**

Es konnte bisher gezeigt werden, dass ökonomische Potenziale von Precision Farming durchaus vorhanden sind. Bei der bisherigen Versuchsplanung fällt jedoch immer wieder das Fehlen von eindeutigen Precision Farming Algorithmen auf, also welche Bewirtschaftungsentscheidung unter gegebenen Voraussetzungen auszuwählen ist.

Das ökonomische Potenzial kann jeweils nur für den Standort ermittelt werden, worauf die Untersuchungen durchgeführt wurden. Eine Übertragbarkeit der Ergebnisse in andere Regionen ist nicht gegeben. Daher ist eine Verallgemeinerung der ermittelten Potenziale kritisch zu sehen.

### 7.1.8 zitierte Literatur/Quellen

- ALBERT, E. & HANNUSCH, L. (1997): Wann teilschlagbezogenes Düngen von Nutzen ist, In: Neue Landwirtschaft, DLV, Heft 5/1997, S. 52-55
- van ALPHEN, B.J. (2000): Precision Nitrogen Fertilization: A Case Study for Dutch Arable Farming, In: ROBERT, P.C., RUST, R.H. & LARSON, W.E. (Hrsg.) 2000: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture and Other Resource Management, Madison, CD Beitrag 192
- DAMMER, K.-H. & PROCHNOW, J. (2003): Pflanzenschutz - In: HASERT, G. et al. (2003): Zukunftsträchtiger Ackerbau, DBV, Berlin, S. 111-129
- GERHARDS, R. & SÖKEFELD, M. (2003): Precision Farming in Weed Control – System Components and Economic Benefits, In: STAFFORD, J. & WERNER, A. (Hrsg.), 2003: Precision Agriculture, Den Haag, S. 229-234
- HASERT, G. & JÜRSCHIK, P. (2003): Betriebswirtschaftliche Beurteilung des Systems, In: HASERT, G. et al. (2003): Zukunftsträchtiger Ackerbau, DBV, Berlin, S. 147-151
- JÄGER, ST. & MERKEL, U. (2003): Aussaat, In: HASERT, G. et al. (2003): Zukunftsträchtiger Ackerbau, Deutscher Bauernverlag, Berlin, S. 77-90
- KERSCHBERGER, M., KERSCHBERGER, E. & LEITHOLD, P. (2004): Bodenuntersuchung und Grunddüngung
- KILIAN, B. (2004): Ökonomische Potenziale von Precision Agriculture in der Getreideproduktion am Beispiel von Winterweizen, In: KTBL (Hrsg.) 2004: Precision Farming – Analyse, Planung, Umsetzung in die Praxis, KTBL-Schrift 419, S. 6-8 bis 6-16
- LISSO, H. (2003): GPS-gestützte Teilflächenbewirtschaftung, In: RKL (Hrsg.): RKL-Schrift 4.1.0, S. 1123-1143
- LUDOWICY, CHR., SCHWAIBERGER, R. & LEITHOLD, P.(2002): Precision Farming, Handbuch für die Praxis, Frankfurt am Main
- OSTHEIM, K.-U. (2000): Empirische Ergebnisse des Pilotprojekts Olfen, In: Prüfung der ökonomischen und ökologischen Vorzüglichkeit einer GPS-gestützten teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung, Münster-Hiltrup
- PETERS, M.W., JAMES, I.T., EARL, R. & GODWIN, R.J. (1999): Nitrogen Management Strategies for Precision Farming, In: Stafford, J. V. (Hrsg.): Precision Agriculture 1999, Volume II, Sheffield, UK, S. 719-728
- REXROTH, E. (2001): Mit „himmlischer Hilfe“ säen und düngen – Teilflächenspezifische Bewirtschaftungssysteme im Mais, In: Neue Landwirtschaft, DLV, Heft 3/2001, S. 34-35
- RUMETSCH, H. (2000): Ökonomische Analyse einer teilflächenspezifischen Grunddüngung mit Phosphor und Kalium, Masters Dissertation, Universität Hohenheim, zitiert In: KILIAN, B. (2000): Economic Aspects of Precision Farming: A German Viewpoint, in: ROBERT, P.C., RUST, R.H. &

- LARSON, W.E. (Hrsg.) 2000: Proceedings of the 5th International Conference on Precision Farming and other Resource Management, Madison, Nr. 249
- SCHMERLER, J. & BASTEN, M. (1999): Cost/Benefit Analysis of Introducing Site-Specific Management on a Commercial Farm, In: STAFFORD, J. V. (Hrsg.): Precision Agriculture 1999, Volume II, Sheffield, UK, S. 959-967
- SCHMERLER, J. & JÜRSCHIK, P. (1996): Teilflächenspezifische Aussaat von Winterweizen und Mais, In: Landtechnik 51, Landwirtschaftsverlag, Heft 6/1996, S. 318-319
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1999): Fachserie 3, Reihe 3
- WALTER, A.M., HEISEL, T. & CHRISTENSEN, S. (2001): Precision Application of Herbicides Using Injection Sprayer Systems, In: GRENIER, G. & BLACKMORE, S. (Hrsg.): Third European Conference on Precision Agriculture 2001, Volume 2, Montpellier, S. 611-616
- WARTENBERG, G. (1997): Perspektiven des teilflächenspezifischen Pflanzenschutzes – Unkrautbekämpfung und FOTOSORTENTECHNIK, In: Getreide Magazin, Heft 4/1997, S. 154-156
- WELSH, J.P., WOOD, G.A., GODWIN, R.J., TAYLOR, J.C., EARL, R., BLACKMORE, S. & KNIGHT, S.M. (2003a): Developing Strategies for Spatially Variable Nitrogen Application in Cereals, Part I: Winter Barley, In: Biosystems Engineering 84, Heft 4/2003, S. 481-494

**Anschrift der Autoren:**

Dipl.-Ing. agr. Martin Schneider  
Prof. Dr. P. Wagner  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre  
06099 Halle  
Telefon: 0345/55223-60, -74  
Telefax: 0345/5527109  
E-Mail: [Martin.schneider@landw.uni-halle.de](mailto:Martin.schneider@landw.uni-halle.de)  
[wagner@landw.uni-halle.de](mailto:wagner@landw.uni-halle.de)