



Hochschule Neubrandenburg  
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Agrarwirtschaft

Prof. Dr. sc. agr. Clemens Fuchs

Prof. Dr. habil Sandra Rose

## **Bachelorarbeit**

# **Sensorgestützte Stickstoffdüngung – technische Beschreibung und ökonomische Analyse**

*urn:nbn:de:gbv:519-thesis:2021-0158-2*

von

*Magnus Natzius*

Neubrandenburg

01.02.2021

## **Inhaltsverzeichnis**

Abbildungsverzeichnis .....	2
Tabellenverzeichnis .....	3
1. Einleitung .....	5
1.1. Problemstellung und Zielsetzung .....	5
1.2. Vorgehensweise .....	5
2. Datengrundlage und Methoden .....	6
3. Betriebsvorstellung .....	7
3.2. Düngerbilanz .....	8
3.3. Kalkaufwand .....	11
4. Entwicklung Stickstoffdüngung .....	16
5. Sensorsysteme Aufbau und Funktion - Vergleich .....	18
5.1 Yara N-Sensor .....	25
5.2 Yara N-Sensor ALS .....	28
5.3 GreenSeeker .....	35
5.4 Isaria CropXplorer .....	39
5.5 Skyfld .....	43
5.6 Yara Atfarm .....	45
6. Chancen, Probleme und Risiken von N-Sensor-Systemen .....	47
7. Zusammenfassung .....	49
8. Fazit .....	51
Literaturverzeichnis .....	52
Anhang .....	54
Eidesstattliche Erklärung .....	66

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Betriebsspiegel des Beispielbetriebes in Poseritz auf Rügen .....	7
Abbildung 2: Online-System für Düngung auf Basis einer Ertragskarte.....	19
Abbildung 3: Sensoren für die Stickstoffdüngung .....	23
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Reflexionsgrad und Wellenlänge bei unterschiedlicher N-Düngungsmenge.....	24
Abbildung 5: Messbreiten verschiedener N-Sensoren (auch anderer Hersteller) .....	26
Abbildung 6: Yara N-Sensor ALS mit Mitteltraverse bei der Düngerausbringung .....	29
Abbildung 7: Yara N-Sensor ALS ohne Mitteltraverse bei der Bestands Bonitur .....	29
Abbildung 8: GreenSeeker im Frontaufbau, <a href="http://www.nextFarming.de">www.nextFarming.de</a> .....	36
Abbildung 9: CropXplorer Basic Isaria Umgebungslichtsensor.....	40
Abbildung 10: Optische Messeinheit, CropXplorer Basic, Isaria .....	40
Abbildung 11: Isaria CropXplorer .....	41

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Raps in Renz in kg/ha .....	9
Tabelle 2: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Raps in Renz 2019/20.....	9
Tabelle 3: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Gerste in Neparmitz-Tech in kg/ha .....	9
Tabelle 4: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Gerste in Neparmitz-Tech 2019/20.....	10
Tabelle 5: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Raps-Weizen in Neparmitz-Splinter in kg/ha.....	10
Tabelle 6: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Raps-Weizen in Neparmitz-Splinter 2019/20.....	10
Tabelle 7: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Stoppelweizen in Datzow in kg/ha .....	11
Tabelle 8: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Stoppelweizen in Datzow 2019/20.....	11
Tabelle 9: Kalkzehrung nach chemischer Verbindung in Düngemittel .....	12
Tabelle 10: Kalkzehrung nach Düngerart.....	13
Tabelle 11: N-Düngung und Kosten für Neparmitz-Splinter.....	13
Tabelle 12: berechnete Menge Kalk in Abhängigkeit von der Stickstoffmenge.....	14
Tabelle 13: berechnete Kalkeinsparung durch reduzierte Stickstoffdüngung .....	14
Tabelle 14: Yara N-Sensor ALS komplett Kostenauflistung.....	30
Tabelle 15: Yara N-Sensor ALS komplett jährliche Kosten und Kosten je Hektar (2602ha) .	31
Tabelle 16: Deckungsbeitragsrechnung für Winterweizen.....	32
Tabelle 17: Veränderungen des Erlöses und DB durch Sensorkosten .....	32
Tabelle 18: Yara N-Sensor ALS komplett Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung .....	33
Tabelle 19: Yara N-Sensor ALS komplett Amortisierung nach Düngerersparnis in % je kg N .....	33
Tabelle 20: Yara N-Sensor ALS aufgelöst Kostenauflistung.....	34
Tabelle 21: Yara N-Sensor ALS aufgelöst jährliche Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha)	34

Tabelle 22: Yara N-Sensor ALS aufgelöst Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung.....	35
Tabelle 23: Yara N-Sensor ALS aufgelöst Amortisierung nach Düngerersparnis in % von kg/ha N .....	35
Tabelle 24: GreenSeeker Kostenpositionen.....	37
Tabelle 25: GreenSeeker Berechnung der jährlichen Kosten und der Kosten je Hektar (2602 ha) .....	38
Tabelle 26: GreenSeeker Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung .....	38
Tabelle 27: GreenSeeker Amortisierung nach Düngereinsparung in % von kg/ha N .....	39
Tabelle 28: Isaria CropXplorer Kostenauflistung .....	42
Tabelle 29: Isaria CropXplorer Berechnung der jährlichen Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha) .....	42
Tabelle 30: Isaria CropXplorer Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung .....	43
Tabelle 31: CropXplorer Amortisierung nach Düngereinsparung in % von kg/ha N .....	43
Tabelle 32: Skyfld Berechnung der jährlichen Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha) .....	44
Tabelle 33: Skyfld Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung.....	44
Tabelle 34: Skyfld Amortisierung nach Düngereinsparung in % von kg/ha N .....	45
Tabelle 35: Yara AtFarm Berechnung jährliche Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha) .....	45
Tabelle 36: Yara AtFarm Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung .....	46
Tabelle 37: Yara AtFarm Amortisierung nach Düngerersparnis in % von kg/ha N .....	46
Tabelle 38: verglichene Sensoren mit ihren jährlichen Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha) .....	49

## **1. Einleitung**

### **1.1. Problemstellung und Zielsetzung**

Diese Bachelorarbeit soll die Rentabilität der sensorbasierten Stickstoffdüngung am Beispiel eines real existierenden landwirtschaftlichen Betriebes erläutern. Dazu werden verschiedene Systeme miteinander verglichen, um das für den Betrieb passende zu bestimmen.

Die Idee und die Entscheidung für dieses Thema erfolgte selbstständig während der Arbeit als Erntehelfer auf dem Beispielbetrieb. Der Betrieb weist eine enorme Fläche auf, und die Varianz des Bodens in den einzelnen Schlägen ist doch enorm hoch. Dies kann auch an der im Anhang beigefügten Abbildung einer Fläche entnommen werden. Es liegen dort lehmige und sandige Teilflächen dicht an dicht. Eine Überdüngung der einen und Unterdüngung der anderen Teilfläche ist daher nicht auszuschließen. Außerdem besteht auf dem Betrieb das Problem der „Roten Gebiete“ und der Trinkwassereinzugsgebiete. Daher ist eine angepasste Düngung von essentieller Bedeutung. Vor allem auch dann, wenn auf Ertrag nicht verzichtet werden mag. So ist festzustellen, dass trotz großer Unterschiede im Boden keine Sensoren auf dem Betrieb vorzufinden sind, obwohl reges Interesse daran besteht.

Daher kam der Entschluss, dieser Thematik nachzugehen und speziell für diesen Betrieb Rechnungen anzufertigen, die beweisen, ab wann und unter welchen Voraussetzungen solch eine Investition sinnvoll ist. Zudem sollen Umweltaspekte aufgezeigt werden, die mit der Stickstoffdüngung einhergehen und durch den Einsatz von einem Sensor verbessert werden können.

### **1.2. Vorgehensweise**

Die Vorgehensweise dabei ist, dass zuallererst Überlegungen stattfanden. Es sollte damit die Frage geklärt werden, welche Sensoren für den Betrieb in Frage kommen. Dann wurden aktuelle Angebote bei verschiedenen Vertriebsstätten eingeholt. Bei der Auswahl der Sensoren wurde auf einheitliche Ausstattung und Funktionsweise geachtet. Nur so kann ein objektiver Vergleich entstehen. Danach wurden allerhand Daten gesammelt und Informationen aus Fachlektüre und Online-Quellen zusammengetragen. Auch fanden regelmäßig Sitzungen mit dem Betriebsleiter statt, um das weitere Vorgehen abzustimmen und erste Informationen anzubringen. Mit dem Erhalt des ersten Angebots konnten Tabellen erstellt werden, die zur Berechnung nötig waren. Sämtliche Tabellen sind so miteinander verknüpft, dass durch Veränderung von gewissen variablen Werten eine Veränderung in jeder Tabelle stattfindet. Dies minimiert Fehler durchs händische Übertragen von Daten. Zeitgleich konnten die ersten Sätze der Ausarbeitung formuliert werden. Mit Erhalt von weiteren Angeboten vervollständigten sich die Tabellen und somit auch die Arbeit selbst. Es wurden dabei viele Tabellen und Rechenschritte angedacht, verworfen oder auch vervollständigt bis eine passende aussagekräftige Tabelle entstand.

## 2. Datengrundlage und Methoden

In diesem Kapitel werden kurz die verwendete Datengrundlage und die angewandten Methoden vorgestellt.

Als Datengrundlage für die Berechnung von Deckungsbeitrag und sonstigen den Betrieb betreffenden Rechnungen wurde stets die Ackerschlagkartei des Betriebes genutzt. Dort konnten beispielsweise Werte für Düngereinsatz und die dazugehörigen heruntergerechneten Kosten entnommen werden.

Für die Berechnung des Deckungsbeitrages wurden die Datensätze aus der Ackerschlagkartei fertig ausgearbeitet in eine Exceltabelle eingefügt. Dadurch war eine Bildung diverser Durchschnitte einfacher und schneller umsetzbar. Als Durchschnitt zählen hierfür beispielsweise Aufwandmengen und Preise für verschiedene Einsätze von Pflanzenschutzmitteln und Düngern. Diese errechneten Werte finden in den Beispieldeckungsbeiträgen ihre Verwendung und tauchen auch noch vereinzelt in den nachfolgenden Düngerberechnungen auf. Auch in der Break-Even-Analyse finden diese Werte Verwendung als Werte für Durchschnittsertrag, Verkaufspreis und Deckungsbeitrag.

Bei Werten rund um die Sensoren und Systeme wurden Angebote eingeholt und Web-Recherchen betrieben. Hierbei galt es, vor allem Herstellerangaben oder wissenschaftliche Ausarbeitungen zu Rate zu ziehen.

Als einfache und sehr effektive Methode der Kostenberechnung wurde die approximative Kalkulation gewählt. Diese zeichnet sich dadurch aus, dass relativ präzise Aussagen ohne viel Aufwand über jährliche Kosten gemacht werden können, da alle relevanten Informationen hereinfließen. So sind Abschreibung, Zins und sonstige jährliche Kosten berücksichtigt.

Im weiteren Verlauf fanden vor allem Break-Even-Berechnungen statt. Hierbei wird der Mindesteinsatz gesucht, um zu zeigen, wieviel Mehrertrag oder Düngerersparnis erzielt werden muss, um eine Investition zu rechtfertigen und die anfallenden Kosten zu decken. Auch Herstellerangaben (soweit vorhanden) gingen in die Berechnung ein. Diese gaben Mehrerträge und Düngerersparnisse an, die dann für eine Berechnung der Einsatzfläche genutzt worden sind.

### 3. Betriebsvorstellung

Als kurzes Vorwort zu der Betriebsvorstellung sei erwähnt, dass der Betrieb ein Mischbetrieb aus Viehwirtschaft und Ackerwirtschaft ist. Die Viehwirtschaft wird zwar als solche erwähnt, hat aber für die folgende Arbeit keine größere Bedeutung. Eventuell auftretende Veränderungen in der Strohzusammensetzung bleiben unberücksichtigt und werden nicht beleuchtet, falls es durch eine veränderte Düngung überhaupt dazu kommen sollte.

Bei der Betrachtung des Betriebsspiegels fällt eine Spaltung in zwei Betriebe auf. Die Ursache sind steuerliche Gründe. Die Bewirtschaftung erfolgt als eine Einheit.

Aus der nachfolgenden Abbildung 1 ist erkennbar, dass der Betrieb fast vollständig eigenmechanisiert ist. So besitzt der Betrieb eine gesamte Traktorenleistung von 3095 PS, welche sich auf 2602 Hektar Anbaufläche verteilen. Lediglich bei der Ausbringung von Mist und der Bergung von Stroh wird ein Lohnunternehmen zu Hilfe genommen. Der Beispielbetrieb hat seinen Sitz in Poseritz auf Rügen und wird durch Herrn Maik Zilian geleitet.

Von der Ausweisung der sogenannten „Roten Gebiete“ ist auch ein Großteil ihrer Flächen betroffen und muss nun mit weiter reduzierter Stickstoffdüngung bewirtschaftet werden. Allerdings wurden eigene Messstationen und Brunnen gebohrt, um sich gegen pauschalisierte strengere Maßgaben zu wehren und eine eigene Datengrundlage zu haben.

*Abbildung 1: Betriebsspiegel des Beispielbetriebes in Poseritz auf Rügen*

#### Agrarprodukt Poseritz GmbH

Poseritz Hof 1a  
gegründet am 17.04.1991

Inhaber:	Maik Zilian Dipl. Agrar. Ingenieur
Tätigkeitsschwerpunkt:	Marktfruchtbau (Anbau siehe LWP GmbH)
Mitarbeiter:	11 Arbeitskräfte und 2 Auszubildende

#### Landwirtschaftsbetrieb Poseritz GmbH

Poseritz Hof 1a  
18574 Poseritz  
gegründet am 16.04.1997

Inhaber:	Maik Zilian Dipl. Agrar. Ingenieur
Tätigkeitsschwerpunkt:	Marktfruchtbau und Milchproduktion
Mitarbeiter:	13 Arbeitskräfte und 2 Azubis
Milchproduktion:	4.669.773 kg Milch WJ 17/18
Tierbestand:	780 Rinder gesamt davon: 463 Milchkühe
Milchleistung (LKV Jahresabschluss):	10.443 bei 3,83% Fett
abgelieferte Milch bei der Molkerei:	10.085 kg / Kuh und Jahr
Pflanzenproduktion 2019:	1159 ha WW 348,2ha WG

	1095,2ha Raps Maisfläche ist aufgrund des Nichteinsatzes des Sensors nicht in der Berechnung enthalten 58,36 ha ÖVF 65,92 ha Grünland
<b>gesamte Druschfläche:</b>	<b>2602 ha</b>
Erträge 2019:	WW: 83,6 dt/ha WG: 95,1 dt/ha WR: 45,3 dt/ha Silomais:420 dt/ha
Betriebszweig Photovoltaik: Jahreserzeugung:	598,84 kWp installiert auf Dachflächen ca. 550.000 kWh davon 140.000kWh Eigenverbrauch im Stall und der Getreideanlage
Maschinenausstattung: gesamt:	eigenmechanisiert 3095PS
Erntetechnik:	3 Claas Lexion 770 12,30m Schneidwerk
Pflegemaßnahmen:	2 Feldspritzen Leeb, 8000l, 36m 1 Anbaudüngerstreuer Rauch Axis 1 Anbaudüngerstreuer Amazone alt – nur für Schneckenkorn 1 gezogener Düngerstreuer Amazone ZGB 1 Rauch AGT Pneumatikstreuer 36m

Die Ausbringungstechnik spielt die wesentliche Rolle in der Umsetzung der Sensormesswerte. Daher ist diese hier auch noch einmal extra aufgeführt. Der ausgebrachte Dünger wird aufgezeichnet und in Relation zu den Pflanzenanforderungen gestellt. Diese Abbildung von Ausbringungsmenge zum Bedarf nennt sich Düngerbilanz und kann im nächsten Abschnitt erlesen werden.

### 3.2. Düngerbilanz

In den nachfolgenden Tabellen sind die Düngerbilanzen erkennbar. Hierbei wurden Bilanzen für Raps, Raps-Weizen, Stoppelweizen und Gerste erstellt. Mais bleibt aufgrund des Nichteinsatzes des Sensors unberücksichtigt. Die Bilanzen stellen dabei die Hauptnährstoffe dar, wobei die Werte in den Bilanzen die Menge an reinem gedüngten Nährstoff angeben. Einen Einblick in die gesamte Düngung pro Kultur kann der zur Bilanz gehörenden Düngertabelle entnommen werden. Die Mengenangabe erfolgt je Düngersorte, für den Dünger selbst und den darin enthaltenen Nährstoff. Hierbei wird immer auf Beispielschläge eingegangen.

In der Kultur Raps (siehe Tabelle1) entstehen Düngungskosten von 264,04 € unter Verwendung von 193 kg Stickstoff. So werden knapp 78 kg Stickstoff unter Bedarf gedüngt.

*Tabelle 1: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Raps in Renz in kg/ha*

Renz / 196,15ha					
Raps	N	P2O5	K2O	MgO	CaO
Bedarf	271	123,2	246,4	49,3	271
Zugang	193	46	100	44,6	236,5
Bilanz	-78	-77,2	-146,4	-4,7	-34,5

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

Für die Kultur Raps ist in der nachfolgend dargestellten Tabelle 2 die gesamte Düngung entnehmbar. Es zeigt sich eine N-Düngung von 193 kg Stickstoff je Hektar. Dabei entstehen Stickstoffkosten je Hektar von 264,04 €. Durch den dickeren Trennstrich und den Farbunterschied in der Tabelle ist der Jahreswechsel zu erkennen. So wurde beispielsweise der Raps vor dem Winter nur leicht angedüngt.

*Tabelle 2: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Raps in Renz 2019/20*

Düngung	bearb. ha	Menge ges. dt	dt/ha	Euro/ha	N in kg
Konverterkalk	196,50	4315,22	22,00	71,50	
Kamex gek.	196,50	490,37	2,50	53,25	
DAP	196,50	196,15	1,00	36,00	18,00
Profi Bor	196,50	294,22	1,50	2,63	
Eps0 Top	196,50	980,73	5,00	1,25	
SSA	196,50	431,52	2,20	34,76	46,00
Harnstoff	196,50	549,21	2,80	57,40	129,00
Profi Bor	196,50	392,29	2,00	3,50	
Eps0 Top	196,50	980,73	5,00	1,25	
Profi Bor	196,50	196,15	1,00	1,75	
Eps0 Top	196,50	588,44	3,00	0,75	
<b>Summe</b>				<b>264,04</b>	<b>193,00</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

In der Kultur Gerste ergibt sich eine Stickstoffbilanz von 50,7 kg im Minus. Das bedeutet, dass auch hier weniger Stickstoff gedüngt wird, als eigentlich notwendig ist. Ablesbar aus der nachfolgenden Tabelle 3.

*Tabelle 3: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Gerste in Neparmitz-Tech in kg/ha*

Neparmitz-Tech/ 52,37ha					
Gerste	N	P2O5	K2O	MgO	CaO
Bedarf	236,2	94,5	236,2	28,3	75,6
Zugang	185,5	0	60	79,9	474,4
Bilanz	-50,7	-94,5	-176,2	51,6	398,8

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

Es wird eine gesamte Stickstoffmenge von 187 kg eingesetzt. Durch die gesamte N-Düngung entstehen Kosten von 148,23 €/ha. Auffällig hierbei ist, dass vor dem Winter kein Stickstoff gedüngt wurde. Dies ist aus der nachfolgenden Tabelle 4 erkennbar.

*Tabelle 4: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Gerste in Neparmitz-Tech 2019/20*

Neparmitz-Tech/ 52,37ha					
Düngung	bearb. ha	Menge ges. dt	dt/ha	Euro/ha	N in kg
Kamex gek.	52,37	78,56	1,50	31,95	
Mangansulfat	52,37	78,56	1,50	1,17	
Epsos Top	52,37	261,86	5,00	3,00	
SSA	52,37	78,56	1,50	23,70	32,00
KAS	52,37	78,56	1,50	24,75	41,00
Mangansulfat	52,37	104,74	2,00	1,56	
Epsos Top	52,37	261,86	5,00	1,25	
KAS	52,37	104,74	2,00	33,00	54,00
Epsos Top	52,37	104,74	2,00	1,20	
Harnstoff	52,37	68,08	1,30	26,65	60,00
<b>Summe</b>				<b>148,23</b>	<b>187,00</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

Im Raps-Weizen ergibt sich eine Bilanz von 22,9 kg im Minus. Dies ist aus der nachfolgenden Tabelle 5 ablesbar. In Tabelle 6 ist die gesamte Düngung dargestellt.

*Tabelle 5: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Raps-Weizen in Neparmitz-Splinter in kg/ha*

Neparmitz  
Splinter /  
94,59ha

Raps-Weizen	N	P2O5	K2O	MgO	CaO
Bedarf	243,6	97,5	212,6	26,6	53,2
Zugang	220,7	0	0	32,1	268,8
<b>Bilanz</b>	<b>-22,9</b>	<b>-97,5</b>	<b>-212,6</b>	<b>5,5</b>	<b>215,6</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

*Tabelle 6: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Raps-Weizen in Neparmitz-Splinter 2019/20*

Düngung	bearb. ha	Menge ges. dt	dt/ha	Euro/ha	N in kg
SSA	91,59	2,84	0,03	0,47	1,00
SSA	91,59	141,88	1,50	23,70	32,00
Harnstoff	91,59	122,96	1,30	26,65	60,00
Harnstoff	91,59	141,88	1,50	30,75	69,00
Mangansulfat	91,59	198,17	2,00	1,56	
Epsos Top	91,59	472,94	5,00	1,25	
Harnstoff	91,59	122,96	1,30	26,65	60,00
<b>Summe</b>				<b>111,03</b>	<b>222,00</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

Abschließend den Stoppelweizen betrachtend (siehe Tabelle 7) ergibt sich eine Bilanz von -78 kg Stickstoff bei einem Zugang von 193 kg/ha.

*Tabelle 7: Düngebilanz der wesentlichen Makronährstoffe und Kalk für Stoppelweizen in Datzow in kg/ha*

Datzow / 134,22ha					
Stoppelweizen	N	P2O5	K2O	MgO	CaO
Bedarf	271	123,2	246,4	49,3	271
Zugang	193	46	100	44,6	236,5
Bilanz	-78	-77,2	-146,4	-4,7	-34,5

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

Für die gesamte Düngung fallen Kosten in Höhe von 150,33 € an (siehe Tabelle 8). Diese Werte werden auch für die nachfolgenden Berechnungen genutzt.

*Tabelle 8: Darstellung der Art und Anzahl der Düngungen für Stoppelweizen in Datzow 2019/20*

Düngung	bearb. ha	Menge ges. dt	dt/ha	Euro/ha	N in kg
Kamex gek.	134,22	201,33	1,50	31,95	
SSA	134,22	201,33	1,50	23,70	32,00
KAS	134,22	268,44	2,00	33,00	54,00
KAS	134,22	268,44	2,00	33,00	54,00
Mangansulfat	134,22	134,22	1,00	0,78	
Epso Top	134,22	671,10	5,00	1,25	
Harnstoff	134,22	174,49	1,30	26,65	60,00
<b>Summe</b>				<b>150,33</b>	<b>200,00</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung

Im Anhang befindet sich eine Bodenkarte für den Schlag „Frankenthal“. Daraus ist entnehmbar, wie unterschiedlich Bodenpunkte auf einem Schlag sein können, obwohl die einzelnen Bodenzonen dicht an dicht liegen.

Durch die anfallende Stickstoffdüngung ist auch die Anwendung von Kalk nötig. Dieser sogenannte Kalkaufwand wird nachfolgend beschrieben und beispielhaft berechnet.

### 3.3. Kalkaufwand

Der Kalkaufwand bezeichnet die Aufwandmenge an Kalk pro Schlag. Die Kalkung wird notwendig, da sowohl Stickstoffdünger als auch Schwefeldünger einem Feld den Kalk entziehen und somit auch den pH-Wert des Bodens beeinflussen. Dies geschieht durch eine Reihe von Umwandlungsprozessen und Wechselreaktionen an den Wurzeln. Die daraus resultierende Kalkzehrung ist von dem Düngemittel abhängig, da unterschiedliche Düngemittel dem Boden unterschiedlich stark Kalk entziehen. So raubt beispielsweise „die Düngung mit Harnstoff dem Boden mehr als dreimal so viel Kalk wie Düngungssysteme mit Kalkammonsalpeter“<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Kalkausgleichs-Kosten bei der Stickstoffdüngung erläutert, Alfons Deter, <https://www.topagrar.com/acker/news/kalkausgleichs-kosten-bei-der-stickstoffduengung-erlaeutert-9869333.html>, 03.12.2013

Herr Deter schlussfolgert daher, dass eine exakte Berechnung des Kalkaufwandes durchaus Sinn machen würde.

Eine Berechnung des Kalkaufwandes erfolgt auf Grundlage der Formel von Sluijsmans. „Dabei werden alle Inhaltsstoffe in mineralischen Düngemitteln bewertet und diesen eine adäquate Kalkzufuhr oder -abfuhr zugeordnet“ (siehe Fußnote 1, S.11).

*Tabelle 9: Kalkzehrung nach chemischer Verbindung in Düngemittel*

**Tab. 1: Kalkzehrung der verschiedenen Bestandteile in mineralischen Düngemitteln nach Sluijsman für Ackerland**

Chemische Verbindung / Nährstoff (1 kg)	Entspricht einer Kalkzufuhr / -abfuhr von
CaO	+1,0 kg CaO
MgO	+1,4 kg CaO
K <sub>2</sub> O	+0,6 kg CaO
Na <sub>2</sub> O	+0,9 kg CaO
SO <sub>3</sub>	-0,7 kg CaO
Cl	-0,8 kg CaO
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,4 kg CaO
N	-1,0 kg CaO

Quelle: Alfons Deter, <https://www.topagrar.com>, 03.12.2013

Laut der bereits mehrfach zitierten TopAgrar-Online-Quelle lassen sich wesentliche Zusammenhänge zwischen den chemischen Verbindungen pro 1 kg Nährstoff und der dazugehörigen Kalkzufuhr und -abfuhr erkennen. Dargestellt wird dies in der darüberstehenden Tabelle 9.

Findet Tabelle 9 nun Anwendung, „ergeben sich unterschiedliche Werte für die Kalkzehrung bei verschiedenen Stickstoff-, Schwefel- und Phosphor-Düngemitteln“ (siehe Tabelle 10) (Seite 11, Fußnote 1).

Tabelle 10: Kalkzehrung nach Düngerart

Tab. 2: Kalkwerte (Ackerland) wichtiger Düngemittel					
	Produkt	Kalkzehrung je 100 kg N / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / K <sub>2</sub> O		Produkt	Kalkzehrung je 100 kg N / P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / K <sub>2</sub> O
Stickstoff- und N/S-Dünger	Schwefelsaures Ammoniak, ssA	-299	Stickstoff- und N/S-Dünger	Kalkammonsalpeter ohne MgO	-55
	Ammonsulfatsalpeter/ ASS/ ENTEC 26	-196		YaraBela® EXTRAN® 27 (Kalkammonsalpeter mit MgO)	-48
	Piaron 33 S	-164		YaraLiva® TROPICOTE® (Kalksalpeter)	+80
	Yara Ureas	-134		Triple Superphosphat (TSP)	-6
	Piason 24 S, ALZON fl. S	-122	Phosphat/ NP-Dünger	Diammoniumphosphat (DAP)	-210
	AHL, ALZON fl.	-100		Monoammonphosphat (MAP)	-336
	Harnstoff, PIAGRAN, ALZON 47	-100		NPK	15/15/15
	YaraBela® SULFAN®	-87	20/7/10 + 4 S		-115
	YaraBela® OPTIMAG® 24	-92			

Quelle: Alfons Deter, <https://www.topagrar.com/acker/news/kalkausgleichs-kosten-bei-der-stickstoffduengung-erlaeutert-9869333.html>, 03.12.2013

So können bei der Bewertung von Stickstoffdüngern die Kosten für die anfallende Ausgleichskalkung zu einem enormen Nebenkostenfaktor werden.

In Rücksprache mit dem Betriebsleiter ist eine nähere Ausarbeitung dieses Punktes gewünscht. Die Idee dahinter ist, dass auch in Zukunft die Kalkung teilflächenspezifisch erfolgen soll.

Als Beispielrechnung dient daher die einfache Berechnung einer Beispielfläche. Diese wird als Indiz genommen, ob die bestehende Kalkungstaktik sinnvoll ist, oder ob durch erhaltene Messwerte eine teilflächenspezifische Ausbringung realisiert werden sollte. Als Beispielfläche dient hierbei eine Raps-Weizen Fläche mit 221 kg N und 94,59 ha. Die eingesetzten Stickstoffdünger können nachfolgender Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 11: N-Düngung und Kosten für Neparmitz-Splinter

Schlag: Neparmitz Splinter (94,59ha)					
Dünger	N	kg/ha	€/ha	1kg N	N-Kosten/Gabe
SSA	31,5	150	23,70 €	0,72 €	22,68 €
Harnstoff	60	130	26,65 €	0,50 €	30,00 €
Harnstoff	69	150	30,75 €	0,50 €	34,50 €
Harnstoff	60	130	26,65 €	0,50 €	30,00 €
Summe	221	560	107,75 €	0,56 €	29,30 €

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung und Berechnung

Auch kam zur Sprache, dass mit der bestehenden Kalkung vor allem sandige und schwache Böden dazu neigten, den pH-Wert zu sehr anzuheben und damit gewisse Mikronährstoffe

festsetzen. Durch das Festsetzen werden nicht mehr alle Mikronährstoffe für die Pflanze im Boden zugänglich gemacht, weshalb Wachsminderungen, Mindererträge und insgesamt schwächere und für Krankheitserreger, wie Pilze, anfälligerer Pflanzen anzutreffen sind.

Bislang orientiert sich der Betriebsleiter an in der Vergangenheit bestimmten Kalk-Ausbringungsmengen. Diese liegen in der Regel zwischen 2 und 3 Tonnen je Hektar. Um eine Differenzierung für jede Fläche zu erhalten und eine gewisse Varianz zu bekommen, werden Bodenkarten zu Rate gezogen. Dabei wird geprüft, welche Flächen welche Bodeneigenschaften mit sich bringen. So kommt es dann zur Variation der Ausbringungsmenge, um so eine Überkalkung zu vermeiden.

In den letzten Jahren wurde vorwiegend Konverterkalk ausgebracht. Dieser hat weniger chemische Eigenschaften und eine bessere Streufähigkeit als die davor ausgebrachte Rügener Kreide. Vor allem wegen der Mikronährstoffzusätze hat sich dieser Kalk sehr bewährt, da ein gewisser Teil der anstehenden Düngung hiermit übernommen werden kann. Auch eine Doppelstreuung ist aufgrund der geringen Aggressivität im Bereich der pH-Wert-Änderung möglich. Aus der nachfolgenden Tabelle 12 sind die Daten der Düngermengen und der Düngerarten ablesbar. Dabei steht der Kalkaufwand in Relation dazu.

*Tabelle 12: berechnete Menge Kalk in Abhängigkeit von der Stickstoffmenge*

Düngung			Kalkmenge kg CaO je 100kg N	ausgebrachte Menge N	umgerechnete Menge CaO
Düngerart	Produkt	Düngeraufwand			
N	SSA	150	-299	31,5	-94,185
N	Harnstoff	130	-100	60,0	-60
N	Harnstoff	150	-100	69,0	-69
N	Harnstoff	130	-100	60,0	-60
<b>Gesamt:</b>		<b>560</b>	<b>-599</b>	<b>220,5</b>	<b>-283,185</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung und Berechnung

Bei einer exakten Berechnung der Kalkmenge aufgrund der in Tabelle 10 auf Seite 13 enthaltenen Werte entsteht ein Kalkaufwand von 283,19 kg/ha. Dieser ist aus der vorhergehenden Tabelle zu entnehmen. Bei einer möglichen Einsparung von 5% Stickstoffdünger, die durch einen Sensor von beispielsweise Yara mit ALS erreichbar wäre, ergibt sich eine Einsparung von 42,93 kg/ha CaO. Diese Einsparung kann aus Tabelle 13 entnommen werden.

*Tabelle 13: berechnete Kalkeinsparung durch reduzierte Stickstoffdüngung*

Düngerart	Produkt	Düngeraufwand	Sensor Einsparung	Kalkmenge ausgebracht	Kalkmenge mit Sensordüngung	Kalk Einsparung
N	SSA	150	7,5	-94,185	-71,76	-22,425
N	Harnstoff	130	6,5	-60	-53,5	-6,5
N	Harnstoff	150	7,5	-69	-61,5	-7,5
N	Harnstoff	130	6,5	-60	-53,5	-6,5
<b>Gesamt:</b>		<b>560</b>	<b>28</b>	<b>-283,185</b>	<b>-240,26</b>	<b>-42,925</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, 2019/20, eigene Darstellung und Berechnung

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass ein Sensor mit 5% Düngereinsparung bei obenstehenden Gegebenheiten zirka 6,5% Kalkeinsparung verschafft. Somit ergibt sich neben angepasster Düngung ein weiterer Kosteneinsparungspunkt.

Die eingesparte Kalkmenge ist allerdings nur die Abbildung eines Jahres. Da vorzugsweise nur alle 3 Jahre gekalkt wird, müssten die Einsparungen mit 3 multipliziert werden. Zudem gehören in diese Berechnung noch weitere Fruchtfolgeaspekte berücksichtigt. Dennoch reicht es für eine erste Aussage aus, da auch in anderen Kulturen Stickstoff gedüngt wird und somit ähnliche Einsparungen möglich sind.

Im nachfolgenden Kapitel werden dabei die Entwicklung und die Nutzung der Stickstoffdüngung beleuchtet.

#### 4. Entwicklung Stickstoffdüngung

Stickstoff ist einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe. So benötigen Pflanzen große Mengen dieses Nährstoffs. Laut der Broschüre „Stickstoff“ des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) von 2012 liegt „der durchschnittliche Gehalt in der pflanzlichen Trockenmasse [liegt] bei 3 bis 4% N“. Stickstoff lässt die Pflanzenzellen weich und grün erscheinen und dient somit dem Pflanzenwachstum und der Chlorophyllbildung<sup>2</sup>. Dies geschieht so, dass Stickstoff, vor allem Aminostickstoff, über die Wurzeln an oberirdische Pflanzenteile geleitet wird. Dann werden daraus Aminosäuren und letztlich Proteine gebildet.<sup>3</sup> Dennoch gibt es neben all den positiven Aspekten für die Pflanze auch das Problem, dass gerade Gülle und mineralischer Stickstoffdünger bei unsachgemäßer Anwendung zur Ausgasung und Auswaschung neigt. Unsachgemäße Anwendung meint hierbei vor allem Überdüngung und Applikation im falschen Anwendungszeitpunkt. Den Anwendungszeitpunkt lasse ich hierbei aber weitestgehend unbeleuchtet und gehe mehr auf die Ausbringungsmenge ein.

Da die Düngung einem stetigen Wandel unterlegen ist und immer präziser werden muss, bleibt eine Investition in neue Düngetechnik fast nicht aus. Dies können Güllefässer sein, die bodennah Gülle ablegen oder Streuer, die fast 60 Meter breit punktgenau streuen. Möglich wären auch Sensoren, die wie ein Fotoapparat den Bestand beim Durchfahren ableuchten, um daraus Schlüsse auf mögliche Unterschiede im Düngeraufwand auf einem Schlag zu ziehen.

Das Ziel ist, die Pflanzen optimal zu düngen, ohne sie zu überdüngen. Dafür ist zu beachten, dass ein Feld nicht homogen ist. Ein Feld weist oft viele verschiedene Bodenarten auf, die sich beispielsweise in Sandblasen und Lehmsenken äußern können. Gerade unter dieser Prämisse des sehr wechselhaften Bodens sind angepasste Düngestrategien wichtig. Unter der Voraussetzung, dass das Feld gleichmäßig bestellt und keine Unterschiede in der Saatmenge auf Teilflächen gemacht wurden, sollte sich ein wechselhafter Feldaufgang zeigen. So wird beispielsweise ein Weizen auf besserem Boden mit höherer Bodenpunktzahl eine höhere Keimlingsdichte aufweisen als auf einem sandigen Boden. Der Unterschied in der Pflanzendichte und der Vitalität der einzelnen Pflanze wird sich durch das gesamte Anbaujahr hinweg zeigen.

Sollte nun ein sandiger Boden unmittelbar an einem besseren, beispielsweise einem lehmigeren Boden liegen, und der Landwirt auf ein hohes Ertragsziel setzen, erfolgt eine Überdüngung der sandigen Flächen. Das ist darin begründet, dass die Düngermenge am Durchschnittsertrag ermittelt wird. Dieser Ertrag mag sortenabhängig für einen Weizen bei beispielsweise 85dt/ha liegen. Wenn allerdings der Durchschnitt daraus ermittelt wird, dass ein guter Boden

---

<sup>2</sup> H. Wagner, 2017, <https://pflanzenkohle.info/folgen-der-duengung-mit-stickstoff/>

<sup>3</sup> Stickstoff – Grundlagen des Stickstoffesatzes, Bundesarbeitskreis Düngung (BAD), Industrieverband Agrar, 2012, S.8

100 dt/ha bringt und der schlechte nur 60 dt/ha, ergibt sich automatisch eine Überdüngung der schlechten Böden zugunsten der besseren. Diese Überdüngung hat nicht nur monetäre, sondern auch ökologische Auswirkungen. So kann der Stickstoff nicht zur Gänze durch die Pflanze aufgenommen werden und wäscht durch fehlenden Bewuchs in tiefere Bodenschichten aus. Das Zuviel an Stickstoff im Boden wird als Stickstoffüberschuss bezeichnet. Dabei wird vor allem der Nitratanteil des Stickstoffs ausgewaschen.

Die Geschichte des Stickstoffdüngers ist etwa so alt wie die Landwirtschaft selbst. Dennoch waren die Anfänge eher schwierig, wobei auch sehr beachtlich, allein schon bezüglich der Idee der Drei-Felder-Wirtschaft. So begann vor etwas mehr als 100 Jahren die sogenannte „grüne Revolution“. Vor dem Jahr 1913 war die Verfügbarkeit von Stickstoffdüngern sehr begrenzt. Insbesondere wurde die Verfügbarkeit von Stickstoff für die Pflanze durch natürliche Prozesse bestimmt, wie bei der Verrottung von Mist oder dem Umbrechen von Mooren und Grünland. Dies hatte auch maßgeblichen Einfluss auf die damaligen Erträge. Doch durch das im Jahr 1913 entwickelte Haber-Bosch-Verfahren konnte mittels Ammoniaksynthese Luftstickstoff für die industrielle Düngerproduktion verfügbar gemacht werden. Somit war der Grundstein für die Produktivitätssteigerung in der Landwirtschaft gelegt. Resultate dieser Revolution sind, dass die Getreideerträge teilweise um 400% gestiegen sind, und somit die Erzeugung von Nahrungsmitteln für einen Anstieg von 2 Millionen bis auf 7 Millionen Menschen sichergestellt worden ist.<sup>4</sup>

Dennoch trug nicht nur die verbesserte Düngung zum Erfolg bei, sondern auch das durch Züchtung verbesserte genetische Potential. Damit stieg die Stickstoffeffizienz, wodurch die Pflanze den zugeführten Stickstoff besser verwertet. Seit etwa 1990 ist diese Fähigkeit um zirka 20 Prozent gestiegen. Zeitgleich konnten so einhergehende Treibhausgase verringert werden.<sup>5</sup> Dies zeigt, dass die Schonung der Umwelt auch zu einem gewissen Teil durch den bewussteren und angepassten Umgang mit Stickstoffdüngern einhergeht. So können Moore und Wälder vor einer Inbetriebnahme geschützt werden. Auch kann damit auf den verfügbaren, begrenzten Flächen ausreichend und umweltschonend produziert werden.<sup>6</sup>

Im Bereich der Technik sind Sensoren zum tragenden Element geworden. Das Ergebnis ist eine präzisere Ausbringung und dadurch gesenkte Kosten und eine geschonte Umwelt. Aufbau und Funktion dieser Sensoren können dem nachfolgenden Kapitel entnommen werden.

---

<sup>4</sup> Stickstoff – Bedeutung für Mensch und Umwelt, Bundesarbeitskreis Düngung (DAB), Industrieverband Agrar, 2013, S.3

<sup>5</sup> Stickstoff – Bedeutung für Mensch und Umwelt, Bundesarbeitskreis Düngung (DAB), Industrieverband Agrar, 2013, S.10

<sup>6</sup> Stickstoff – Bedeutung für Mensch und Umwelt, Bundesarbeitskreis Düngung (DAB), Industrieverband Agrar, 2013, S.11

## 5. Sensorsysteme Aufbau und Funktion - Vergleich

Das bringt uns nun zum eigentlichen Thema dieser Arbeit. Die Einleitung hat gezeigt, dass mit der Stickstoffdüngung alles steht und fällt. Ein Mehr an Düngung könnte zu Lasten der Umwelt gehen, ein Weniger an Düngung könnte zu einer Unterversorgung der Pflanzen führen. Daher ist Anpassung das „Zauberwort“. Umso kleinflächiger ein Landwirt sich seinem Schlag anpassen kann, umso umweltschonender kann er produzieren. Gerade bei steigender Schlaggröße ist eine Überschaubarkeit des Ganzen nur noch schwer möglich. Einen ersten Einblick liefern dann Bodenanalysen, aber auch diese grenzen je nach Untersuchungsraaster die Teilflächigkeit nur bedingt ein. Trotzdem geben sie einen ersten Einblick über die Unterschiede einer Fläche und sind seit jeher bei vielen Landwirten ein bewährtes Mittel der Abschätzung des Bodens.

Das Wissen über Unterschiede in der Bodenstruktur ist für den Anfang gut, aber reicht für einen gezielten Umweltschutz und eine fundiertere Ausbringung von Stickstoffdüngern nur bedingt aus. Dies liegt vor allem an den größeren Messintervallen und dem höheren Abstand der Messpunkte zueinander. Abhilfe kann dabei das EM38 bieten. Dieses misst die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bis in eine Tiefe von zwei Metern und das permanent. Zudem wird über das Globale Positionierungssystem (kurz: GPS) zu jedem Messwert die passende Koordinate zugeordnet. Daher wird das EM38 in der Praxis am meisten genutzt, wenn es um nicht in den Boden eingreifende Bodenuntersuchungen geht.

Das Prinzip dieser Messung ist die elektrische Leitfähigkeit, die sich je nach Bodenart, wie beispielsweise Sand oder Lehm, stark unterscheidet. Das lässt Schlüsse auf den Feinerdeanteil des Bodens zu. Dabei spielt der Wassergehalt des Bodens eine wichtige Rolle und begrenzt den Einsatzzeitraum des Gerätes enorm. Es muss also versucht werden, den Einsatzzeitpunkt so zu bestimmen, dass keine „kleinräumige[n] Unterschiede im Wassergehalt“ (KTBL Heft 75, S.11) auftreten. So ist der optimale Einsatzzeitraum auf das Frühjahr bei einer Wassersättigung von 100% oder auf den direkten Nacherntezeitpunkt, bei dem der Boden eine Wassersättigung nahe dem permanenten Welke-Punkt hat, begrenzt.

Das Gerät hat die Form einer Platte. Ausgerüstet ist diese mit GPS-Empfänger und der nötigen Vorrüstung zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit. Während der Messung können Fahrgeschwindigkeiten von 10 bis 15 km/h erreicht werden. Dabei ist es egal, ob ein Traktor oder ein Auto als Zugfahrzeug dient. Bei der Arbeitsbreite ist es von Vorteil, sich an der Arbeitsbreite der sonstigen Ausbringungsgeräte wie Pflanzenschutzspritze oder Düngerstreuer zu orientieren. So ist es am wirtschaftlichsten, diese Breite anzunehmen oder für eine feinere Kartierung diese Breite zu halbieren. Das hat den einfachen Hintergrund, da so ökonomisch und in der Regel fein genug gemessen werden kann.

Möchte man nun einen ökonomischen und ökologischen Fortschritt kombinieren und eine höhere Homogenität erzeugen, bleibt der Einstieg in die sensorgestützte Stickstoffausbringung fast nicht aus. Als Sensor kommen hierbei vor allem Geräte oder Messinstrumente zum Einsatz, die sich beispielsweise an der auf dem Feld aufgewachsenen Biomasse orientieren. Es wird von vornherein zwischen Online-, Offline-Systemen und kombinierten Systemen unterschieden. So sind Offline-Systeme kartenbasiert. Hingegen arbeiten Online-Systeme über Sensoren. Von einem kombinierten System ist die Rede, wenn beide Systeme miteinander verknüpft werden. Das bedeutet, dass die Messwerte des Sensors über die der Karte korrigiert und angepasst werden. Für ein Offline-System ist ein Zugang zum Globalen Positionierungssystem (kurz: GPS) erforderlich. Beim Online-System ist dies nicht zwingend der Fall. Zur Durchführung einer Erfolgskontrolle und zur Dokumentation von Messdaten ist eine Anbindung an ein Geoinformationssystem (kurz: GIS), empfohlen.<sup>7</sup>

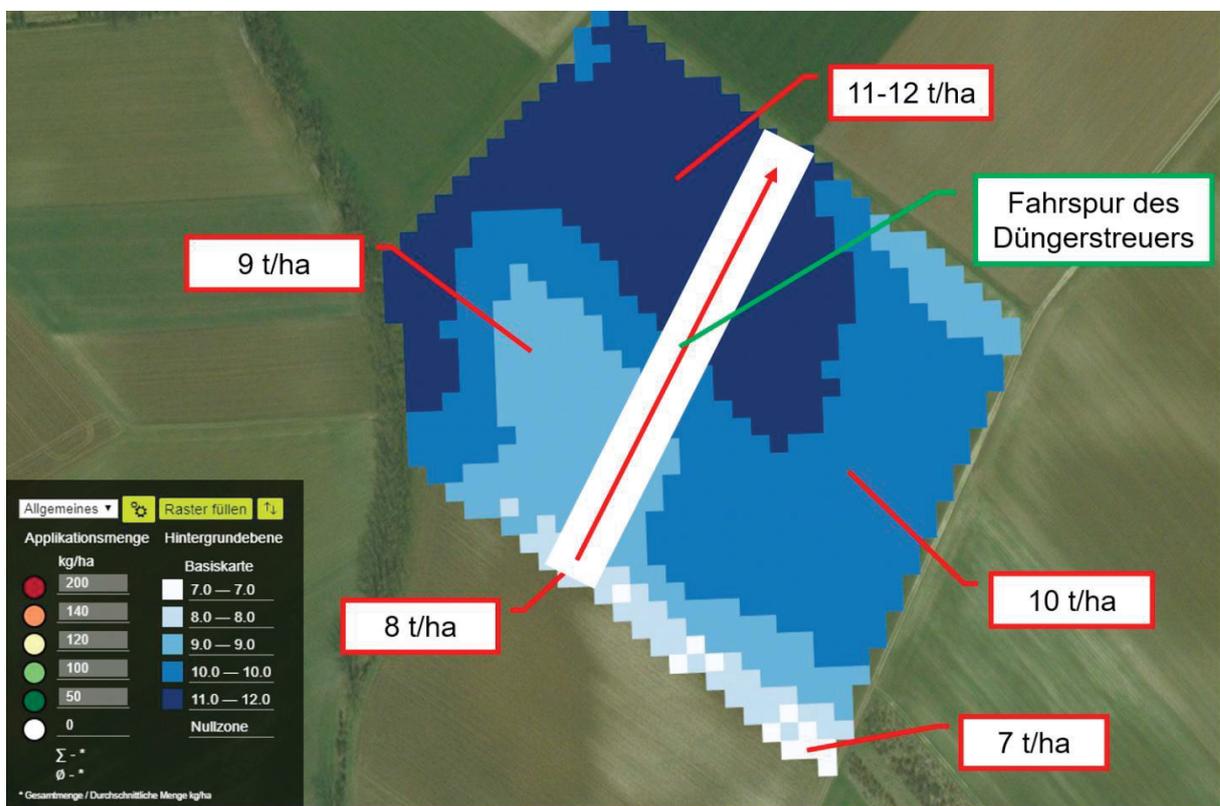


Abbildung 2: Online-System für Düngung auf Basis einer Ertragskarte

Quelle: <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/precision-farming-teilflaechenspezifisch-duengen-so-starten-569971>

Auf der Abbildung 2 lässt sich beispielsweise eine Ertragskarte erkennen, die durch die Erntemengensensoren im Mähdrescher erstellt und mittels GIS dargestellt werden konnte. Auf Grundlage dieser entstandenen Ertragskarte kann eine variable Düngung vorgenommen werden. So lassen sich schon über die Erntemengen Rückschlüsse auf das Wachstumsverhalten

<sup>7</sup> Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, Y. Reckleben et al., KTBL-Heft 75, S.15, 2007

an einzelnen Standorten ziehen, wonach dann die Düngung erfolgt. Auch können deutliche Ertragsunterschiede auf der Karte erkennbar gemacht werden. Standorte mit weniger hohen Erträgen werden auch weniger stark gekennzeichnet. Gleiches lässt sich auch im Bereich der Düngung wiederfinden. Oft sind Standorte mit nicht so hoher Düngeraufwandmenge heller gekennzeichnet als Flächen mit größeren Mengen.

Gleiches lässt sich auch hier wiederfinden (siehe Karte). So fallen die Hohertragsstandorte des Feldes mit 11-12 Tonnen je Hektar deutlich dunkelblauer aus als die schwächeren 7 Tonnen Teilflächen. Zudem lassen sich neben Düngerapplikationskarten auch Rückschlüsse über Bearbeitungsunterschiede oder, schlicht und ergreifend, Unterschiede im Wuchs aufzeigen und erkennen. Anhand dieses Wissens können acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen erfolgen, um eine weitere Homogenität im Bestand zu erzeugen.<sup>8</sup> Eine Homogenität ist daher wichtig, da diese nachfolgende Prozesse einfacher und effizienter macht. So können Arbeitsschritte, wie der Drusch, vereinfacht werden, da eine gleichmäßigere Beanspruchung des Dreschwerks erfolgt. Ein gleichmäßiger Fluss des Erntegutes ist essentiell für eine optimale Arbeit und Auslastung des gesamten Dreschwerks und dient der Vermeidung von Bruchkorn und hohen Druschverlusten.<sup>9</sup>

Das Vorgehen bei Online-Systemen ist also das präzise Arbeiten des Sensors in möglicher Kombination mit einem GIS-Programm zur Aufzeichnung der erfassten Daten. Wahlweise können sie an einem PC oder direkt über ein Display in der Fahrerkabine ausgelesen werden. Anders ist das bei Offline-Systemen. Diese erfordern ein zweistufiges Vorgehen. „Im ersten Arbeitsgang werden Informationen über den Boden und-/oder den Pflanzenbestand erfasst“ (KTBL-Heft 75, S.15). Danach können diese Daten am Büro-PC in Applikationskarten mit Hilfe eines GIS-Programms umgewandelt werden. Zwischengespeichert, beispielsweise auf einem USB-Stick, werden die Daten auf dem Bordcomputer aufgerufen. Im zweiten Arbeitsschritt erkennt der GPS-Empfänger des Traktors die aktuelle Position beim Befahren des Feldes und übergibt die im GIS für diese Position gespeicherten Daten dem am Traktor angebauten Applikationsgerät. Dieses ermöglicht eine variable Ausbringung des zu verteilenden Gutes.<sup>10</sup>

Einfacher ist es hingegen bei Online-Systemen. Hier muss lediglich eine Kalibrierung des Sensors im Vorfeld erfolgen. Um möglichst exakte Messergebnisse zu erhalten, ist laut Yara eine Kalibrierung für jede Sorte vorzunehmen, am besten auch für jedes Feld. Kalibriert wird bei Yara über einen speziellen Tester, mit dem an 30 Pflanzen der Chlorophyllgehalt gemessen wird.<sup>11</sup> Das Kalibrieren erscheint dabei äußerst zeitaufwendig, da laut Yara die Messung unmittelbar im Feld geschehen muss und an mindestens 30 repräsentativ für das ganze Feld

---

<sup>8</sup> Nutzung von Geoinformation im Pflanzenbau, Prof. Dr. Dobers, Vorlesung, Sommersemester 2020

<sup>9</sup> Fendt Vorführfahrschulung Mähdrescher, Grasdorf, 2017

<sup>10</sup> Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, Y. Reckleben et al., KTBL-Heft 75, S.15, 2007

<sup>11</sup> <https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-und-services/n-tester/>

stehenden Pflanzen durchgeführt werden soll.<sup>12</sup> Per GPS kann bei Bedarf die Düngermenge dokumentiert werden. Die Anforderung eines GPS-Gerätes besteht zwar bei beiden Systemen, kann aber problemlos vom Betrieb gedeckt werden, da der Großteil der Traktoren über ein integriertes GPS-System verfügt und dieses, je nach eingebautem Modul, bis auf 2 cm genau arbeitet.

Hinzu kommt, dass sowohl Online- als auch Offline-Systeme über einen Bordcomputer verfügen müssen. Bei ISOBUS-gesteuerten Applikationssystemen ist kein externes Display erforderlich, sofern man eine Applikationskarte über ein Offline-System abfährt. Hier genügt ein kompatibler Traktor mit eigenem Bordcomputer. Die betriebseigenen Traktoren sind qualifiziert genug und müssen keinerlei Umbaumaßnahmen unterzogen werden. So ist es in der Regel durch den Hersteller des Traktors gegeben, dass, sobald der Traktor über eine Vorrüstung für GPS verfügt, er auch eine externe Applikationskarte abfahren und Dünger verteilen kann. Lediglich bei der Formatierung und der Abspeicherung muss auf ein passendes Format geachtet werden, da es sonst zu Ungenauigkeiten oder fehlerhaften Datensätzen kommt. Somit würde keine genaue Verteilung des Düngers erfolgen.

Einfacher ist dies bei Online-Systemen. Diese am Traktor angebauten Sensoren verfügen größtenteils über extern in die Traktorkabine eingebaute Bordcomputer und Displays, welche die gemessenen Werte anzeigen und die darauf beruhenden Düngewerte sofort berechnen. Über eine Schnittstelle zum Bordcomputer erfolgt eine Aufzeichnung mittels GPS. Zeitgleich kann von dort das Applikationsgerät in Form von einem Düngerstreuer angesteuert werden. Sollte allerdings keine Düngung ablaufen sondern lediglich eine Bestands-Bonitur, die auch durchaus mit den Geräten funktioniert und vorgesehen ist, können die Daten auf einem USB-Stick oder einem ähnlichen Speichermedium gespeichert und im Büro ausgewertet werden.

Dennoch bringt die beste Applikationskarte und der modernste Sensor nichts, wenn das Ausbringungsgerät die anfallenden Daten über fehlende Schnittstellen zum Sensor und Bordcomputer nicht verwerten kann. So ist es mittlerweile bei vielen Herstellern von Applikationsgeräten, wie Düngerstreuern oder Feldspritzen, zum Standard geworden, mindestens eine Möglichkeit der variablen Ausbringung anzubieten, wenn nicht sogar schon fertig zu verbauen. Dabei bestechen Pneumatikstreuer, wie der Rauch AGT, besonders durch seine 36 Meter Arbeitsbreite und Teilbreitenabschaltung sowie der Möglichkeit, für jede Teilbreite eine andere Dosiermenge zu wählen. Das bedeutet, dass alle 6 Meter Arbeitsbreite eine andere Düngermenge gestreut werden kann und somit hoch effizient und punktgenau der Dünger appliziert wird.

---

<sup>12</sup> <https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-und-services/n-tester/>

Gerade auch schlecht fliegende Dünger, wie SSA und Harnstoff, können so sehr präzise gestreut werden. Außerdem ist eine Ausbringung dichter am Boden möglich, weshalb die Windanfälligkeit bei dieser Ausbringungsvariante sehr gering ist. Zudem können Anschlüsse zum Vorgewende und Ränder viel präziser gestreut werden, was zu einer Minimierung von Überlappungen und Fehlstellen führt.<sup>13</sup>

Der Betrieb auf dem ein System integriert werden soll, besitzt eine Reihe von teils sehr modernen Streuern. Darunter befindet sich auch ein solcher Rauch AGT. Von Seiten der Applikationstechnik sind daher keine Grenzen gesetzt.

Nun bleibt nur offen, wie solch ein Online- oder Offline-System funktioniert und auf welcher Basis die Messwerte ermittelt werden. Im nachfolgenden Vergleich wird die hinter jedem System stehende Funktionsweise einzeln erklärt. Trotzdem folgt nun zusammenfassend ein kurzer Abriss dazu.

Im Prinzip arbeiten Online- und Offline-Systeme sehr ähnlich. In jedem Fall wird der Bewuchs eines Feldes genauestens analysiert. Sicher gehört es zum normalen Tagesgeschehen eines jeden Landwirtes dazu, das Feld genau zu begutachten und dabei auch Wuchsunterschiede und Vitalität der Pflanzen zu bestimmen und zu bonitieren. Im Prinzip machen Sensoren und Offline-Systeme das gleiche, nur sehr viel präziser, da diese mehr Parameter wahrnehmen als es für das menschliche Auge überhaupt machbar wäre. So können Sensoren Pflanzen während der Wachstumsperiode anhand ihrer Farbe soweit analysieren, dass eine Bestimmung des Chlorophyllgehaltes möglich ist. Über die Chlorophyllkonzentration können Rückschlüsse auf die Stickstoffversorgung gezogen werden.<sup>14</sup> Lediglich die Art der Aufnahme unterscheidet die beiden Systeme. Bei einem Online-System messen Sensoren direkt am Traktor. Sie können diese Werte sofort zu einer möglichen Applikation umformen. Diese Applikation kann während derselben Überfahrt erfolgen.

Bei Offline-Systemen werden die Messwerte über spezielle Bildauswertungsprogramme realisiert. Dort werden Luftbilder oder besser noch Satellitenbilder mit sehr hoher Qualität geschossen, die dann ausgewertet werden können. Als großer Nachteil zeigt sich dabei, dass gerade Bewölkung sehr hinderlich ist. Sollte eine Aufnahme nicht auswertbar sein, da zu viel Bewölkung vorhanden ist, muss gewartet werden bis ein paar Tage später der Satellit erneut diese Position überfliegt, um dann ein passendes Foto zu schießen.

Das wiederum bedeutet, dass die Datengrundlage nicht aktuell ist und es somit zu einer Verfälschung der präzisen Düngung kommt. Systeme wie Atfarm oder Skyfld nutzen solche Satellitenbilder und verweisen darauf, dass ältere Bilder das Ergebnis unter Umständen

---

<sup>13</sup> <https://rauch.de/duengerstreuer/aero-gt-60-1.html>

<sup>14</sup> Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, Y. Reckleben et al., KTBL-Heft 75, S.13, 2007

verfälschen können. Als ein altes Bild werden dabei Bilder bezeichnet, die älter als 5 Tage sind, wobei alle 2-4 Tage ein Satellit Bilder schießt.

Als Grundlage für die Auswertung dieser Bilder, und hierbei ist es egal, welches System genommen wird, dient die Reflexionseigenschaft der Pflanze. „Die für die Photosynthese wichtigen Chlorophyllpigmente absorbieren Licht verschiedener Wellenlängen. Die Absorptionsmaxima dieser Pigmente liegen im blauen und roten Spektralfarbenbereich des sichtbaren Lichts.“ (KTBL-Heft 75, S.13) Aus nachfolgender Abbildung 3 ist der Zusammenhang zwischen der Wellenlänge und dem Reflexionsgrad erkennbar. Dabei wurden zur einfacheren Erkennbarkeit noch die Aufteilung in die Spektralfarben und auch die Einteilung in sichtbares und infrarotes Licht vorgenommen. Es ist deutlich erkennbar, dass es bei einer Wellenlänge von 550nm bis 560nm zu einem Ausschlag kommt. Dort haben wir einen Reflexionsgrad von circa 0.08. Dieser Ausschlag im Graphen ist der Grund, warum wir Pflanzen als Grün wahrnehmen. Sie absorbieren größere Teile des restlichen Lichtspektrums und reflektieren etwas stärker den grünen Anteil. Dies ist in der Arbeit und dem Aufbau des Chlorophylls begründet. Das menschliche Auge nimmt nur das wahr, was am stärksten reflektiert wird. Die stärker reflektierten Strahlen überlagern die Strahlen des schwächer reflektierenden Lichtspektrums.<sup>15</sup>

## Pflanzenbestände zeigen typische Reflexion

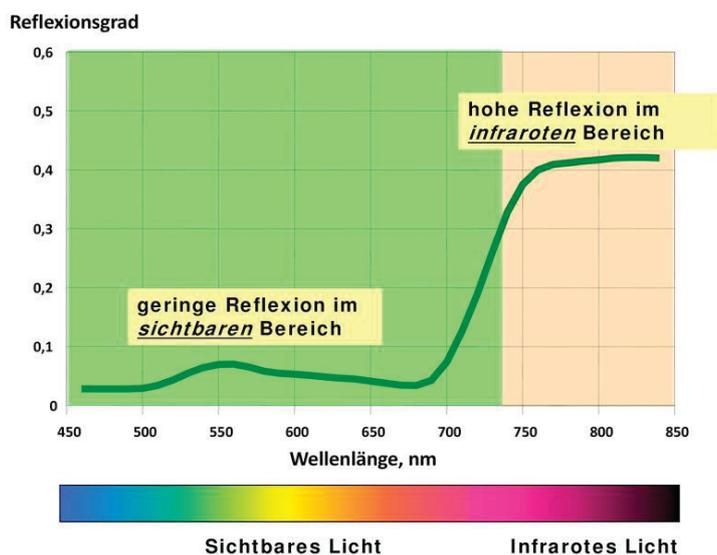


Abbildung 3: Sensoren für die Stickstoffdüngung

Quelle: Prof. Dr. Mistele. Amazone Active Seminar 2014, S.6

<sup>15</sup> Prof. Dr. Dobers, Spezieller Pflanzenbau 1, Weizen, Skript S.93, 2019

Geht man den Graphen nun weiter und nähert sich dem Bereich des infraroten Lichtes, ist ein deutlicher Anstieg des Reflexionsgrades auf über 0,4 bei einer Wellenlänge von zirka 760nm zu erkennen. Da das menschliche Auge aber vor allem Farben um 550nm Wellenlänge am besten und über 760nm gar nicht wahrnimmt, stechen besonders Grüntöne stark hervor.<sup>16</sup>Für Sensoren spielt das aber keine Rolle. Diese nehmen das gesamte Spektrum gleichmäßig wahr und können daher wesentlich feiner arbeiten und Chlorophyllgehalte präziser bestimmen.

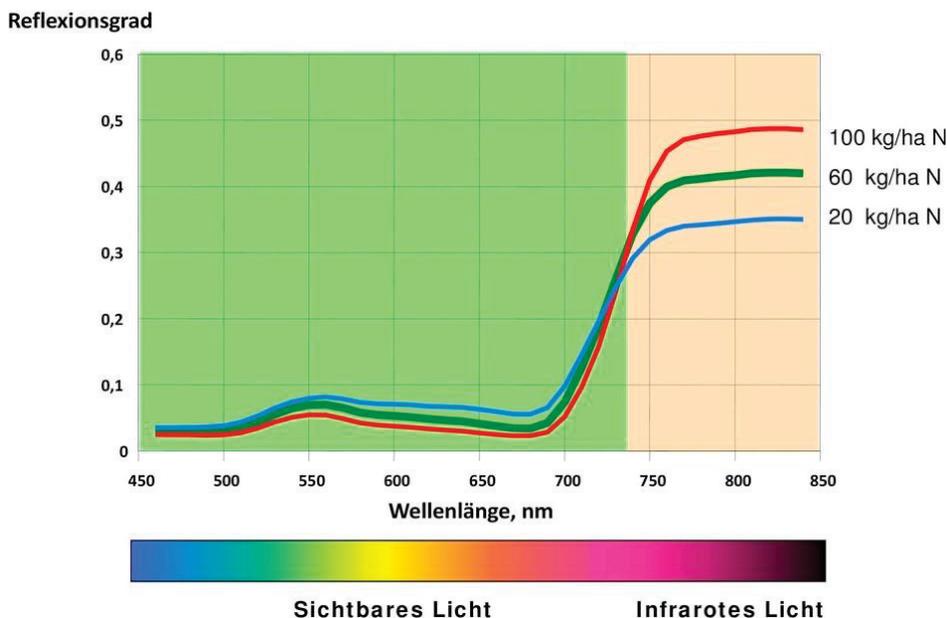


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Reflexionsgrad und Wellenlänge bei unterschiedlicher N-Düngungsmenge

Quelle: Prof. Dr. Mistele, Amazone Active Seminar 2014, S.7

Aus Abbildung 4 wird der Zusammenhang zwischen dem Reflexionsgrad und der Wellenlänge in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung ersichtlich. Hierbei geht hervor, dass ein Hektar sowohl mit 20 kg/ha Stickstoff gedüngt werden kann, als auch mit 100 kg/ha und dabei kaum ein nennenswerter Unterschied in der Reflexion zwischen 450 und 700nm Wellenlänge zu verzeichnen ist. Das betrifft exakt den Bereich, den das menschliche Auge wahrnehmen kann. Daher kann kaum ein Unterschied anhand der Farbe des Bestandes in Bezug zur Düngung ausgemacht werden. Hinzu kommt, dass vor allem weniger gedüngte Flächen etwas stärker, als stärker gedüngte Flächen reflektieren. Dieser Effekt verändert sich aber im Bereich des Infrarotlichtes. Ab 740 bis 850nm Wellenlänge entstehen starke Unterschiede im Reflexionsgrad. Hinzu kommt, dass nun der bereits beschriebene Effekt eintritt, dass stärker gedüngte Flächen auch stärker reflektieren. Die bessere Differenzierbarkeit ist im Bereich des Infrarotlichtes gegeben. So sind die Abstände zwischen den Graphen in der Grafik deutlich breiter als beispielsweise im Bereich des sichtbaren Lichts. So liegt als Beispiel bei 800 nm Wellenlänge ein Reflexionsgrad von rund 0,15 zwischen 20 kg/ha und 100 kg/ha Stickstoff. Dieses Wissen,

<sup>16</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Farbwahrnehmung>

gepackt in schlüssige Algorithmen, ermöglicht es den Sensoren eine weitaus präzisere Aussage treffen zu können und eine viel größere Variabilität in der Düngung zu erreichen.

Die Reflexionseigenschaft der Pflanze ist die wesentlichste Messgröße für Sensoren. Sie liefert die meisten aussagekräftigen Werte, auf denen dann die daraus resultierende Düngung basiert. Trotzdem wird daneben auch die Pflanzengröße gemessen. Zeitgleich zur Reflexion mittels Ultraschalls wird die Höhe errechnet. Dies gibt eine Übersicht über die Gleichmäßigkeit im Wuchs und über Fehlstellen im Bestand.

In einigen Systemen ist eine Kombination des Online- mit dem Offline-System möglich. Hierbei wird von kombinierten Systemen gesprochen. Sie ermöglichen eine noch präzisere Aussage über die Pflanzenbestände. Die Berechnungssoftware zur Ausbringung von Dünger erhält nicht mehr nur aus einer Quelle alle Informationen, die sie zum Arbeiten braucht, sondern nutzt eine kombinierte Lösung. Es werden zuvor erstellte und bearbeitete Bodenkarten, Ertragskarten oder sonstige teilflächenspezifische Informationskarten genutzt, um einen Abgleich der gemessenen Sensorwerte mit anderen aussagekräftigen Werten zu bekommen. Diese Kontrolle der Messwerte ermöglicht eine noch präzisere Düngung.<sup>17</sup> Einige der nachfolgenden Sensoren können eine solche Kombination ermöglichen.

### **5.1 Yara N-Sensor**

Der Yara N-Sensor ist einer der bekanntesten N-Sensoren. Dies liegt vor allem daran, dass es ihn schon seit über 20 Jahren am Markt gibt. Dabei sind schon 2016 über 750 verkaufte Exemplare allein in Deutschland und über 1400 weltweit zu verzeichnen.

Als Besonderheit für diesen Sensor gibt Yara seine im Vergleich zum Wettbewerb größere Messbreite an. Sie beginnt circa ab 4 Metern neben der Fahrgasse und endet bei knappen 8 Metern. Somit ist pro Sensorseite eine Messbreite von 3,7m realisierbar. Dies hat den Vorteil, dass vor allem von der Fahrgasse weiter entfernt gelegene Flächen gemessen werden. Das schließt Irritationen durch Randeffekte aus, die durchaus auch in Fahrgassen auftreten können. Begründet ist das damit, dass Pflanzen direkt an der Fahrgasse beispielsweise halmbstärker und vitaler sind, da dort die ganze Pflanze Sonnenlicht bekommt und somit eine stärkere Bildung von Cellulose in der Halmbasis stattfindet.<sup>18</sup>

Zudem richten sich die Regelfunktionen der N-Ausbringung nach den Entwicklungsstadien des Bestandes. Beispielsweise wird eine Qualitätsgabe anders beurteilt und gesteuert als eine Startgabe im EC 20-29. Auch die Anzahl der Regelfunktionen variiert stark. So gibt es etwa 23

---

<sup>17</sup> Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, Y. Reckleben et al., KTBL-Heft 75, S.31, 2007

<sup>18</sup> Prof. Dr. Dobers, Spezieller Pflanzenbau 1, Weizen, Skript S.92, 2019

für die N-Düngung, 52 für den Wachstumsreglereinsatz, 727 für Fungizide und 6 für die Sikkation. Wobei die 6 für die Sikkation speziell für den Kartoffelanbau gedacht sind.<sup>19</sup>

Bei diesem Sensor, dem Yara N-Sensor, erfolgt die Messung über einen auf dem Dach des Traktors angebauten Sensor. Dieser misst mittels 2 Sensorköpfen die Reflexion des zu durchfahrenden Bestandes. Der Aufbau und die Position im Vergleich zu anderen Sensoren von anderen Herstellern ist der nachfolgenden Abbildung (Abbildung 5) entnehmbar und wurde bereits weiter vorn beschrieben.

### Besonderheit des YARA N-Sensor (1): Messgeometrie → sehr große Messfläche

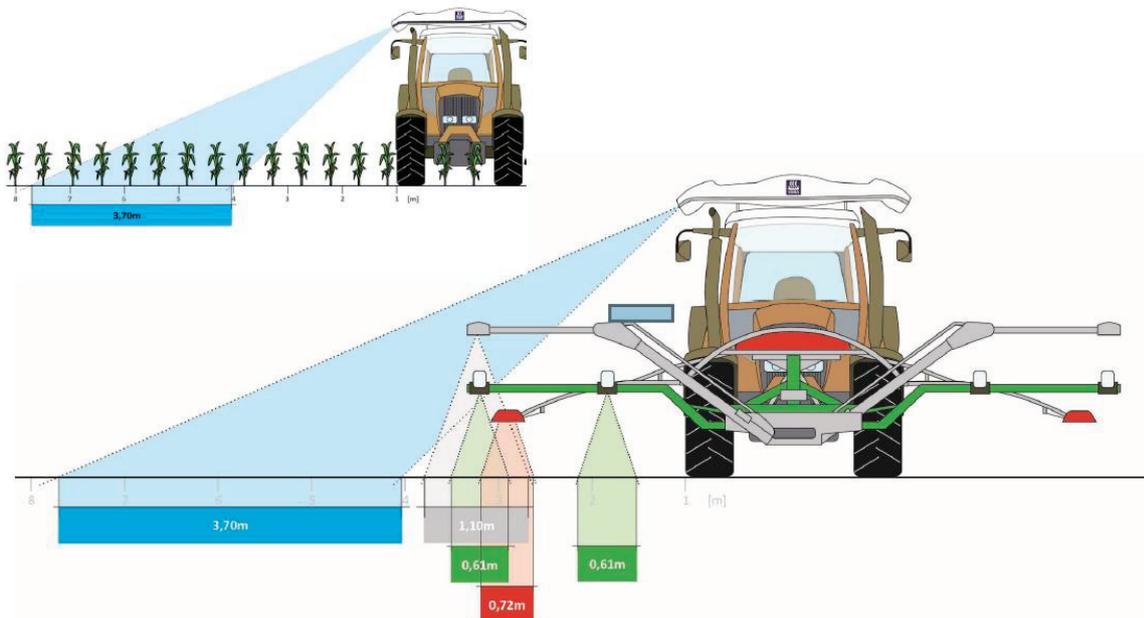


Abbildung 5: Messbreiten verschiedener N-Sensoren (auch anderer Hersteller)  
Quelle: Manfred Waak, AgriCon, 2016

Dieser Sensor gehört zu den passiven Sensoren und ist aufgrund seiner direkten Echtzeitmessung den Online-Systemen zuzuordnen. Passiv meint hierbei, dass das System unter dem Einfluss des Sonnenlichtes steht. So kann dieser Sensor durch zu wenig Licht nicht nachts eingesetzt werden. Das Sensorsystem misst über einen Sensor das anfallende Tageslicht. Damit kennt der Sensor die gesamt verfügbare Strahlungsmenge. Über die beiden Sensoren an der Seite erfolgt die Bonitur des Bestandes. Dabei wird die Reflexion des vom Bestand zurückgeworfenen Lichtes gemessen. Als Quotient aus den beiden Messwerten, also dem gesamtverfügbaren Licht zum Zeitpunkt der Messung und dem Licht, das zurückgeworfen wird, kann eine Bestimmung des Düngeraufwandes erfolgen. Nur so ist ein Rückschluss auf die absorbierte Strahlungsmenge möglich. Auch der Sonnenstand darf bei der Messung nicht

<sup>19</sup> Das N-Düngekonzept von AgriCon, Manfred Waak, 2016

zu niedrig ausfallen. Bereits bei einem Sonnenstand von circa 25° funktioniert das System nicht mehr. „Das Messprinzip beruht auf dem Zusammenhang, dass gut mit Stickstoff versorgte Bestände aufgrund des höheren Chlorophyllgehalts ein anderes Reflexionsspektrum aufweisen als schwach versorgte Bestände“ (KTBL-Heft 75, S.27). Dennoch sollte der Sensor erst ab der zweiten Gabe oder ab EC 29 eingesetzt werden. Das liegt an den bis dahin noch sehr dünnen Beständen und den großen Bodenanteilen, die das Messergebnis zu sehr verfälschen würden.<sup>20</sup>

Auch kam mit der Weiterentwicklung dieses Gerätes eine Regelfunktion extra für die Qualitätsdüngung hinzu. Laut Yara soll so eine Überfahrt ab dem BBCH-Stadium 59 die Förderung von Stickstoff ins Korn maßgeblich beeinflussen und somit zu höheren und abgesicherten Proteinwerten führen.<sup>21</sup>

Doch bevor eine Messung überhaupt durchgeführt werden kann, muss das Gerät kalibriert werden. Dafür benötigt man den sogenannten N-Tester. Yara gibt hierfür vor, dass im Feld, also nicht im Vorgewende, eine Messung von 30 gesunden Pflanzen vorzunehmen ist. Der sich daraus ergebende Durchschnittswert an Chlorophyll spiegelt den schlagspezifischen Chlorophyllgehalt wider. Daran und an der vorgegebenen Regelfunktion kann der Sensor seinen Handlungsspielraum ermessen. Um den Sensor zu kalibrieren, sollte zudem immer ein kleiner Teil mit dem Sensor auf dem zu messenden Feld abgefahren werden. Es ist wichtig, dass dort vor allem gesunde Pflanzen stehen.

Natürlich kann zur Vereinfachung der Kalibrierung die mit dem Sensor abgefahrenene kleine Parzelle analog dazu mit dem N-Tester beprobt werden, um die Messwerte zu spezifizieren. Eine Kalibrierung des Sensors soll nach Angaben von Yara natürlich für jede Kultur aber auch für jede Sorte erstellt werden. Es bietet sich an, dass nicht nur jede Sorte sondern jeder Schlag beprobt werden könnte. Praxiserfahrungen haben aber gezeigt, dass sich die Kalibrierung je Sorte und maximal alle paar Schläge durchgesetzt haben.

Der Sensor ist im Bereich der Kompatibilität mit fast allen Düngerstreuern und Pflanzenschutzspritzen kompatibel, solange diese über eine Vorrüstung für teilflächenspezifische Ausbringung verfügen. Somit ist dann gewährleistet, dass eine Ausbringung nach aktuellen Messwerten während der Fahrt realisiert werden kann. Eine Ausrüstung mit GPS ist nicht zwingend notwendig, da der Sensor auch ohne GPS arbeitet. Allerdings ist bei einer Aufzeichnung von Messwerten oder Ausbringungsmengen eine Ausrüstung mit GPS erforderlich. Dies liegt darin begründet, dass nur mittels GPS eine Positionierung im Raum stattfinden kann. Dabei werden den Messwerten Koordinaten zugeteilt, und eine Abbildung als Karte kann erfolgen. Auch bei

---

<sup>20</sup> <https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-und-services/n-sensor/>

<sup>21</sup> Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung, Y. Reckleben et al., KTBL-Heft 75, S.29, 2007

der Kombination von Kartenmaterial und Sensormesswert muss eine Anbindung an das GPS gegeben sein.

Yara zählt verschiedene Vorteile dieses Gerätes auf. So liefert es sehr genaue Messwerte bei einer verhältnismäßig leichten Anwendung. Außerdem ist das System, wie bereits oben beschrieben, mit fast allen Düngerstreuern kompatibel. Es wird eine bessere N-Bilanz angegeben und ein Mehrertrag von 2-6 Prozent bei einem höheren Proteingehalt. Wie hoch dabei die Proteingehalte sind, wird dabei nicht benannt. Zudem wird eine Stickstoffeinsparung von bis zu 14 Prozent angegeben, wobei der eingesetzte Dünger einer höheren Effizienz unterliegt. Das bedeutet, dass nicht nur Dünger gespart werden kann, sondern auch der gefallene Dünger effizienter für die Pflanze zur Verfügung steht und eine Überdüngung somit vermieden wird.

Auch das Auftreten von Lagergetreide, wie bereits beschrieben, kann vermieden werden. Yara gibt hierbei einen Wert von 50 bis 100 Prozent an. Dadurch bekommen nachfolgende Arbeiten, wie der Drusch, eine Mehrleistung von 12 bis 20 Prozent gutgeschrieben, da das Erntegut homogener ist.<sup>22</sup> Dennoch wird der Yara N-Sensor laut Yara Mitarbeiter Bodo Hanns seit etwa 2 Jahren so gut wie gar nicht mehr verkauft und auch die Produktion ist stark zurückgefahren. Daher fällt dieser Sensor aus dem weiteren Vergleich heraus.

## **5.2. Yara N-Sensor ALS**

Herr Hanns betont, es liegt vor allem daran, dass viele Kunden, welche die Anwendung des Sensors schätzen, auf ein aktuelleres System umgestiegen sind. Den Yara N-Sensor ALS. Dieser Sensor arbeitet mit einem Aktive-Light-System (kurz: ALS). Er ist daher den aktiven Sensoren zuzuordnen und funktioniert ganz ohne den Einfluss von natürlichem Tageslicht. Als Lichtquelle kommen hierbei LED's zum Einsatz. „Die LED-Lichtquelle des N-Sensors blitzt den Pflanzenbestand mehrmals pro Sekunde an und die optische Messeinheit misst und analysiert das vom Bestand reflektierte Licht“<sup>23</sup>. Um dabei aber die Lichteffekte der Umgebung zu kompensieren, werden zusätzliche Referenzmessungen durchgeführt. Diese erfolgen dann aber mit ausgeschaltetem LED-Licht. Die restliche Funktionsweise ist dabei identisch mit dem N-Sensor ohne ALS. Daher können hier die gleichen Dünger- und Ertragsvorteile sowie Vorteile in der nachfolgenden Produktion geltend gemacht werden. Diese sind weiter oben (siehe 5.1. Yara N-Sensor, S.26) kenntlich gemacht. Auch eine Kalibrierung wird identisch wie zum Sensor ohne ALS durchgeführt.

---

<sup>22</sup> <https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-und-services/n-sensor/>

<sup>23</sup> Siehe Fußnote 22

Für den Yara N-Sensor ALS gibt es zwei verschiedene Ausführungen. So gibt es eine kompakte und eine aufgelöste Bauform des Sensors. Preislich unterscheiden sich diese mit 3.000 €. Das sind nur die reinen Sensorkosten. Montagekosten bleiben gleich. Auch die Funktionsweise ist identisch. Der eigentliche Unterschied bildet hierbei eine Mitteltraverse, welche den Schutz und den Halt von Kabeln und Technik ermöglichen soll. Die Sensoren sind auf den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 6 und 7) erkennbar.



Abbildung 6: Yara N-Sensor ALS mit Mitteltraverse bei der Düngerausbringung  
Quelle: Bodo Hanns



Abbildung 7: Yara N-Sensor ALS ohne Mitteltraverse bei der Bestands Bonitur  
Quelle: Bodo Hanns

Durch den enormen Unterschied von 3.000 € werden ab hier zwei Berechnungen vorgenommen. Das hat den einfachen Grund, dass es sich zwar um einen Sensor handelt, aber die Bauform Unterschiede aufweist und sich somit ein Kostenvorteil ergibt. Dieser fällt zugunsten der aufgelösten Bauform aus. Dabei wird mit dem Sensor in kompakter Bauform angefangen.

Der Sensor mit Mitteltraverse hat den Vorteil, dass die Kabel vor dem Eindringen von Staub und Wasser geschützt sind. Somit ist auch ein Schadensrisiko beim dichten Entlangfahren an Bäumen minimiert worden. Andernfalls könnte es sonst zur Beschädigung von wichtigen Datenkabeln kommen. Die Traktorkabine selbst wird entlastet, da der Großteil nach draußen gelegt werden kann. Das garantiert eine einfachere Montage auf dem Kabinendach und weniger Kabelstränge im Traktor selbst. In den nachfolgenden Tabellen werden die Berechnungsgrundlagen ersichtlich.

*Tabelle 14: Yara N-Sensor ALS komplett  
Kostenauflistung*

Yara N-Sensor ALS komplett	Kostenauflistung:
Sensor	27.400,00 €
Display	3.625,00 €
Schulung	2.750,00 €
Tester	2.100,00 €
Folgekosten (sonstige Kosten)	-
Wartung	650,00 €
Lizenz	850,00 €
Pauschale	350,00 €
<b>Gesamt:</b>	<b>37.725,00 €</b>

Quelle: Angebot Yara, siehe Anhang

So kann man aus Tabelle 14 die einzelnen Kostenpositionen entnehmen, welche den Gesamtpreis bilden. Hierbei ist zu erwähnen, dass die Positionen unter dem Punkt Folgekosten im Gesamtpreis enthalten sind und dazu noch jährlich fortlaufend gezahlt werden müssen. So kommen jährliche Folgekosten in Höhe von 1.850,00 € auf den Landwirt zu. Zudem muss zu dem Sensor extra ein passendes Display gekauft werden, um den vollen Einsatzumfang garantieren zu können. Außerdem bietet das Display einen eingebauten GPS-Empfänger, der eine Vorrüstung am Traktor nicht zwingend notwendig macht. Nach Möglichkeit sollte der Tester ebenfalls gekauft werden, um eine vollständige Kalibrierung des Sensors zu gewährleisten. Ohne Tester werden mit hoher Wahrscheinlichkeit die Messergebnisse unpräziser. Bei der angebotenen Schulung werden der Umgang und die präzise N-Düngung dem Verbraucher vermittelt, so dass dieser für ein Jahr völlig autonom mit dem Gerät arbeiten kann. Außerdem gibt es zur Saison ein umfangreiches Beratungsangebot, das bei Bedarf durch 4 Vor-Ort-Termine durch Yara-Mitarbeiter gedeckt wird. Zusammen mit den Mitarbeitern von Yara werden die Geräte überprüft, eingestellt und ausgewählte Flächen bonitiert sowie eingeschätzt.

Die Folgekosten enthalten dann die Kosten für Wartung, Lizenz und Grundpauschale. Bezüglich der Wartung werden die Kosten für die jährliche Wartung des Gerätes aufgezeigt. Bei der Wartung stehen die Mitarbeiter von Yara Rede und Antwort und können so während der Benutzung aufgetretene Probleme direkt am Gerät erörtern. Außerdem können pro Jahr 2

Personen an einem Schulungsprogramm teilnehmen. Lizenzen werden nötig, um die Fernwartung zu ermöglichen und verschiedene Updates für das Gerät zu erhalten. Zudem wird bei Bedarf eine Sim-Karte gestellt, um die GPS-Funktion nutzen zu können. Die jährliche Grundpauschale dient der Benutzung vom technischen Support. Dieser Support umfasst eine Hotline, die Agriport Schlagverwaltung, Zugang zur Agricon Academy (Schulungsmaterialien, Handbücher, etc.) und ermöglicht die Teilnahme an den jährlichen Agricon Arbeitskreisen.

Zu den Folgekosten muss noch erwähnt werden, dass diese eine Mindestlaufzeit von 2 Jahren bedeuten und der Preis jährlich gezahlt werden muss. Diese Werte werden zusammengefasst in Tabelle 15 aufgenommen und weiterverarbeitet, so dass sich eine Berechnungsgrundlage für die nächsten Schritte ergibt. Wie anhand dieser Tabelle (Tabelle 15) unschwer zu erkennen ist, wurde eine Rechnung mittels approximativer Kalkulation durchgeführt, um die durchschnittlichen jährlichen Kosten zu ermitteln.

*Tabelle 15: Yara N-Sensor ALS komplett jährliche Kosten und Kosten je Hektar (2602ha)*

<u>Sensor</u>	<u>Anschaffungskosten</u>	<u>Abschreibung (6 Jahre)</u>	<u>Zins 4%</u>	<u>sonstige Kosten</u>	<u>jährliche Kosten</u>	<u>Kosten pro Jahr und ha</u>
Yara N-Sensor ALS komplett	37.725,00 €	5.979,17 €	754,50 €	1.850,00 €	8.583,67 €	3,30 €

Quelle: Angebot Yara, eigene Berechnung

Hierbei wurden Abschreibung, Zins und sonstige Kosten berücksichtigt. Abgeschrieben wird über 6 Jahre. Gerade dieser Zeitraum wurde gewählt, da bei diesem Sensor ein Großteil der Folgekosten immer auf 2 Jahre Mindestlaufzeit gerechnet werden muss, obwohl die Zahlungen jährlich anfallen. Der Zinsansatz beträgt 4% als ein Beispielwert. Bei realen, abweichenden Werten muss der Zins entsprechend angepasst werden. Bei den sonstigen Kosten handelt es sich um alle Folgekosten. Ausnahmen bilden dabei Reparaturkosten. Diese entfallen, da es normalerweise zu keinem außerplanmäßigen Ausfall kommen sollte. Es ist auch in gewisser Weise mit der jährlich von Yara durchgeführten Wartung begründet.

Daher entstehen 8.583,67 € jährliche Kosten. Heruntergerechnet auf den einzelnen Hektar, also dividiert durch 2.602 Hektar, betragen die Kosten pro Jahr und Hektar 3,30 €. Die zusätzlich auftretenden Kosten finden sich im Deckungsbeitrag wieder. Dieser ist aus Tabelle 16 ablesbar. Hierfür wurde beispielhaft der Deckungsbeitrag für Weizen gebildet. Für die nachfolgenden Berechnungsschritte wurde dieser genommen, da sich eine mögliche Veränderung im kalkulatorischen Gewinn analog zu anderen Kulturen niederschlägt. Hieraus ist ablesbar, dass der Deckungsbeitrag für einen Hektar Weizen bei zirka 302,00 € liegt und ein Erlös von zirka 1.328,20 € pro Hektar Weizen anfällt.

Wenn allerdings Sensorkosten hinzukommen, verändert sich sowohl der Erlös als auch der Deckungsbeitrag. Diese Veränderung ist der nachfolgenden Tabelle (Tabelle: 17) entnehmbar.

Tabelle 16: Deckungsbeitragsrechnung für Winterweizen

DB-Rechnung Winterweizen			
Leistungen		Einheit	
	Ertrag	dt/ha	83,6
	Verkaufspreis	€/dt	19,50 €
<b>Summe</b>		€/ha	1.630,20 €
<b>variable Kosten</b>			
Saatgut	Aussaatmenge	K/m <sup>2</sup>	253
Summe Saatgut		€/ha	60,00 €
Düngemittel	N	kg/ha	216
	P-K	kg/ha	52
	CaO	kg/ha	286
Summe Düngemittel		€/ha	118,00 €
Pflanzenschutz	Herbizide	€/ha	54,00 €
	Fungizide	€/ha	59,00 €
	Insiktizide	€/ha	4,00 €
	Wachstumsregler	€/ha	7,00 €
Summe Pflanzenschutz		€/ha	124,00 €
Der Zinsenansatz fällt aufgrund der zur Zeit sehr niedrigen Zinssätze heraus			
DB 1			302,00 €
<b>Erlös</b>			<b>1.328,20 €</b>

Quelle: betriebseigene Ackerschlagkartei, Weizen, 2020, eigene Darstellung

Daraus ist abzuleiten, dass die Anschaffung des Sensors im ersten Moment den Erlös schmälert und den Deckungsbeitrag erhöht.

Doch diese Werte verändern sich, sobald man den Sensor einsetzt. So gibt Yara für diesen Sensor vor, dass eine Ertragssteigerung von zwei bis sechs Prozent möglich ist. Bei einer Ertragssteigerung von zwei bis sechs Prozent im Weizen kann eine Mehrleistung von 32,60 € bis zu 97,81 € gefordert werden. Umgerechnet auf den Erlös und abzüglich der Sensorkosten entstehen so Werte von 1.357,51 € bis zu 1.422,71 €.

Tabelle 17: Veränderungen des Erlöses und DB durch Sensorkosten

Sensor	Deckungsbeitrag Weizen	Kosten Sensor	DB mit Sensorkosten	Veränderter Erlös
Yara N-Sensor ALS komplett	302,00 €	3,30 €	305,30 €	1.324,90 €

Quelle: eigene Berechnung

Allerdings amortisiert sich der Yara N-Sensor ALS bereits bei einer Ertragssteigerung von 0,20%, wie aus der nachfolgenden Tabelle 18 hervorgeht. Dieser Wert ist auf die Gesamtfläche des Betriebes, somit auf 2.602 Hektar Anbaufläche, bezogen. Um aufzuzeigen, dass sich der Sensor relativ schnell amortisiert, kann dieser auch nur im Winterweizen gefahren werden und erreicht die Wirtschaftlichkeit bereits bei einem Mehrertrag von 0,45%. Hierbei ergeben 0,45% Ertragssteigerung einen Mehrertrag von 0,38 dt/ha. Die Rechnung geht von Verkaufspreisen von 19,50 €/dt aus.

Tabelle 18: Yara N-Sensor ALS komplett Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung

Yara N-Sensor ALS komplett	Einheiten									
Ertragssteigerung	%	ohne Sensor	0	1	2	3	4	5	6	0,20
Ertrag	dt/ha	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6
Leistung	€/ha	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630
Mehrertrag	dt/ha	0,00	0,00	0,84	1,67	2,51	3,34	4,18	5,02	0,17
Mehrleistung	€/ha	0,00	0,00	16,30	32,60	48,91	65,21	81,51	97,81	3,30
Sensorkosten	a und ha	0,00	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30	3,30
bereinigter Erlös	€/ha	1630	1627	1643	1660	1676	1692	1708	1725	1630
Deckungsbeitrag 1	€/ha	302	302	302	302	302	302	302	302	302
DB mit Sensorkosten	€/ha	302	305	305	305	305	305	305	305	305
Erlös	€/ha	1328	1325	1341	1358	1374	1390	1406	1423	1328
Amortisierung bei Hektar		-	-	527	263	176	132	105	87,76	2602
Amortisierung bei	0,20 % Ertragssteigerung				nur WW (1159ha) bei	0,45 % Ertragssteigerung				

Quelle: eigene weiterführende Berechnung

Aus der Bachelorarbeit an der Hochschule Neubrandenburg von Herrn Clemens Runge aus 2014 geht hervor, dass ein durchschnittlicher Mehrertrag von 4,1% zu erwarten ist. Dieser Wert geht aus einer Versuchsreihe von Yara hervor.<sup>24</sup> Für den Betrieb von Herrn Zilian bedeutet das, wenn sich ein Ertragszuwachs von 4,1% bestätigen sollte, dass Mehrerträge von bis zu 3,4 dt/ha möglich sind. Das würde für den Erlös bedeuten, dass dieser bis auf 1.391,74 € ansteigen würde. Damit sind Mehrleistungen im Wert von 66,84 € zu fordern. Die Amortisierung liegt hierbei deutlich unter der auf dem Betrieb vorhandenen Fläche, denn diese beträgt bei 4,1% Ertragssteigerung lediglich 128,42 ha. Auch die Düngersparnis sollte bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit nicht fehlen. Hierbei geht hervor, dass Stickstoffeinsparungen laut Yara von bis zu 14% möglich sind. Dennoch gilt Stickstoff als Makronährstoff und ist essentiell für das gesamte Pflanzenwachstum. Daher sollten bei der auf dem Betrieb ohnehin reduzierten und angepassten Düngung keine derart großen Einsparungen stattfinden, geschweige denn, dass diese auf dem Betrieb nicht zusätzlich umsetzbar wären. Aus der Tabelle 19 wird deutlich, dass eine Amortisierung bereits bei 2,70% Düngereinsparung realisierbar ist. Laut der Versuchsergebnisse von Yara, welche aus der Bachelorarbeit von Herrn Clemens Runge entnommen sind, wird deutlich, dass Yara durchschnittliche Einsparungen in Höhe von 3,8% erzielen konnte. Diese ergeben Einsparungen in Höhe von 4,65 € pro Hektar Raps-Weizen.

Tabelle 19: Yara N-Sensor ALS komplett Amortisierung nach Düngersparnis in % je kg N

Yara N-Sensor ALS komplett	Einheit									
Düngereinsparung	%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	2,70%	3,80%
Düngereinsparung	kg/ha	0	2,21	4,41	6,62	8,82	11,03	15,44	5,94	8,38
Sensorkosten	a/ha	3,30 €	3,30 €	3,30 €	3,30 €	3,30 €	3,30 €	3,30 €	3,30 €	3,30 €
Einsparung	€/ha	- €	1,22 €	2,45 €	3,67 €	4,90 €	6,12 €	8,57 €	3,30 €	4,65 €
Amortisierung	ha	-	7014,09	3507,04	2338,03	1753,52	1402,82	1002,01	2602,00	1845,81
Amortisierung	%	2,70								

Quelle: Runge, 2014, Bachelorarbeit an Hochschule Neubrandenburg, weiterführende eigene Berechnungen

<sup>24</sup> Runge, C., Wirtschaftlichkeit der sensorgestützten Stickstoffdüngung, Bachelorarbeit an der Hochschule Neubrandenburg, 2014, S.25

Wie bereits weiter vorn geschildert, sind die wesentlichen Eigenschaften der kompakten Lösung komplett identisch mit denen der aufgelösten. Das ist, wie bereits aufgezeigt, durch die gleiche Technik, nur anders verbaut, möglich. Daher kommt es hier auch zu keiner Nennung von irgendwelchen Besonderheiten. Der wesentliche Unterschied liegt einzig und allein in den Anschaffungskosten, da der Sensor in aufgelöster Bauform 3.000 € billiger ist. Durch diese Verminderung des Kaufpreises ergeben sich andere Werte im Bereich der Amortisierung und jährlichen Kosten. Diese Veränderungen sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt und kurz beschrieben.

*Tabelle 20: Yara N-Sensor ALS aufgelöst Kostenauflistung*

Yara N-Sensor ALS aufgelöst	Kostenauflistung:
Sensor	24.400,00 €
Display	3.625,00 €
Schulung	2.750,00 €
Tester	2.100,00 €
Folgekosten (sonstige Kosten)	
Wartung	650,00 €
Lizenz	850,00 €
Pauschale	350,00 €
<b>Gesamt:</b>	<b>34.725,00 €</b>

Quelle: Angebot Yara

So ist aus Tabelle 20 der 3.000 € kostengünstigere Sensor ablesbar. Die sich daraus ergebenden jährlichen Kosten von 8.023,67 € und die 3,08 € pro Hektar können der Tabelle 21 entnommen werden.

*Tabelle 21: Yara N-Sensor ALS aufgelöst jährliche Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha)*

<u>Sensor</u>	<u>Anschaffungskosten</u>	<u>Abschreibung (6 Jahre)</u>	<u>Zins 4%</u>	<u>sonstige Kosten</u>	<u>jährliche Kosten</u>	<u>Kosten pro Jahr und ha</u>
Yara N-Sensor ALS aufgelöst	34.725,00 €	5.479,17 €	694,50 €	1.850,00 €	8.023,67 €	3,08 €

Quelle: Angebot Yara, eigene weiterführende Berechnung

Durch diese leicht veränderten Kostenpositionen ergeben sich auch in der nachfolgenden Break-Even-Analyse andere Werte. So ist in der nachfolgenden Tabelle 22 erkennbar, dass schon bei 0,19% Ertragssteigerung eine Amortisierung für diesen Sensor auf der gesamten Anbaufläche erreichbar wäre. 0,19% entsprechen dabei einem Mehrertrag von 0,16 dt/ha und einem Erlös von 1.328,20 €.

Tabelle 22: Yara N-Sensor ALS aufgelöst Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung

Yara N-Sensor ALS aufgelöst	Einheiten	ohne Sensor	0	1	2	3	4	5	6	0,19
Ertragssteigerung	%									
Ertrag	dt/ha	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60
Leistung	€/ha	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630
Mehrertrag	dt/ha	0,00	0,00	0,84	1,67	2,51	3,34	4,18	5,02	0,16
Mehrleistung	€/ha	0,00	0,00	16,30	32,60	48,91	65,21	81,51	97,81	3,08
Sensorkosten	a und ha	0,00	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08
bereinigter Erlös	€/ha	1630	1627	1643	1660	1676	1692	1709	1725	1630
Deckungsbeitrag 1	€/ha	302	302	302	302	302	302	302	302	302
DB mit Sensorkosten	€/ha	302	305	305	305	305	305	305	305	305
Erlös	€/ha	1328	1325	1341	1358	1374	1390	1407	1423	1328
Amortisierung bei Hektar		-	-	492	246	164	123	98,44	82,03	2602
Amortisierung bei	0,19 % Ertragssteigerung									
	nur WW (1159ha) bei 0,43 % Ertragssteigerung									

Quelle: eigene weiterführende Berechnungen

Bei einem Einsatz nur im Winterweizen muss eine Ertragssteigerung von 0,43% erreicht werden. Das entspricht einem Mehrertrag von 0,36 dt/ha. Bei Annahme der von Yara ermittelten Durchschnittsmehrerträge ergibt sich eine Amortisierung bei bereits 120,05 Hektar.

Auch im Bereich Düngereinsparung entsteht durch die leicht niedrigeren jährlichen Kosten eine schnellere Amortisierung. Diese kann der nachfolgenden Tabelle 23 entnommen werden und beträgt 2,52%. Bei den von Yara angegebenen 3,80% beträgt die Amortisierung bereits 1.725,39 ha. Das ergibt eine Ersparnis von 4,65 €.

Tabelle 23: Yara N-Sensor ALS aufgelöst Amortisierung nach Düngerersparnis in % von kg/ha N

Yara N-Sensor aufgelöst	Einheit	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	2,52%	3,80%
Düngereinsparung	kg/ha	0	2,21	4,41	6,62	8,82	11,03	15,44	5,56	8,38
Sensorkosten	a/ha	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €	3,08 €
Einsparung	€/ha	- €	1,22 €	2,45 €	3,67 €	4,90 €	6,12 €	8,57 €	3,08 €	4,65 €
Amortisierung	ha	-	6556,49	3278,24	2185,50	1639,12	1311,30	936,64	2602,00	1725,39
Amortisierung	%								2,52	

Quelle: Runge, 2014, Bachelorarbeit an Hochschule Neubrandenburg, weiterführende eigene Berechnungen

### 5.3. GreenSeeker

Für den weiteren Vergleich wird der Sensor von NEXT Farming herangezogen. Dieser heißt GreenSeeker und ist seit zirka 10 Jahren am deutschen Markt erhältlich.

GreenSeeker gibt sich selbst das Ziel, dass der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln bei hohen Erträgen gering gehalten wird. Dafür untersucht der Sensor während der Überfahrt die Vitalitäts- und Biomasseunterschiede im Bestand. Da auch dieses System über eigene Lichtquellen in Form von LEDs verfügt, werden bereits geringe Abweichungen zuverlässig erkannt.

Bei diesem Sensor ist eine Hinterlegung von Kartenmaterial im System umsetzbar. So ist durch das sogenannte Map-Overlay eine weitere Ertragssteigerung möglich. Beispielsweise können so, neben gemessenen Pflanzenparametern, auch teilflächenspezifische

Ertragspotentiale in die Errechnung von Düngemengen und in die allgemeine Pflanzenanalyse einfließen. Der Vorteil ist eine genauere Aussage über den gemessenen Bestand. Vor allem deshalb, da so Messwerte einfließen, die der Sensor selbst zwar nicht messen, aber auswerten kann. Mit diesem Umfang an Daten kann der GreenSeeker direkt das Ausbringungsgerät steuern, alles unter Vorgabe der vom Anwender gewählten Strategie sowie den Höchst- und Mindestmengen von dem auszubringenden Mittel.

Außerdem wird auf der Website ([nextfarming.de](http://nextfarming.de)) darauf verwiesen, dass in Übereinstimmung mit Praktikermeinungen, Feldversuchen und wissenschaftlichen Arbeiten eine Ertragssteigerung bei geringeren Kosten möglich ist und zusätzlich die Umwelt geschont wird. So können auch höhere Qualitäten im Erzeugungsgut entstehen.<sup>25</sup>

Zusammengefasst ergeben sich Vorteile in Form von Düngersparnissen, Ertragssteigerungen, Homogenisierung des Feldes, ökologischen und bodenschonenden Aspekten und einem Kostenvorteil gegenüber anderen aktiven Systemen. Außerdem wird angegeben, dass der „Einsatz zu jedem Stadium der Fruchtart möglich“ ([NextFarming.de](http://NextFarming.de)) ist.

Die Bauform des Sensors wurde so gestaltet, dass ein Gestänge im Frontanbau montiert werden kann. Dieses Gestänge ist mit einer frei wählbaren Anzahl an Sensorköpfen ausstattbar. Hinzu kommt, dass mit dem Anbau in der Front vom Traktor eine Ballastierungsmöglichkeit angeboten wird. So kann der Sensor frei zwischen 500 kg und 1200 kg ballastiert werden, um auch bei großen angebauten Schleuder-Streuern eine optimale Gewichtsverteilung zu erlangen und ein Abheben der Reifen in der Front zu verhindern.



Abbildung 8: GreenSeeker im Frontaufbau, [www.nextFarming.de](http://www.nextFarming.de)

Quelle: [www.nextFarming.de](http://www.nextFarming.de)

<sup>25</sup> <https://www.nextfarming.de/produkte/next-farming-package/next-greenseeker-package/>

Die gemessenen Werte werden direkt entweder auf einen Traktorbildschirm oder auf einen Bildschirm von einem ISOBUS-fähigen Anbaugerät projiziert. Sollte keine ISOBUS Anbindung bestehen, kann eine ISOBOX nachgerüstet werden, welche die Daten in das passende Dateiformat anordnet und dem angebauten Gerät die Daten präzise übermittelt.

Kalibriert wird der Sensor automatisch während der Fahrt. Dies macht einen Tester hinfällig und senkt die Anschaffungskosten enorm.

In der nachfolgenden Tabelle 24 kann eine Auflistung der nachfolgenden Kosten entnommen werden.

*Tabelle 24: GreenSeeker Kostenpositionen*

GreenSeeker	Kostenauflistung:
Sensor	20.900,00 €
Display	
Schulung	
Tester	
Folgekosten (sonstige Kosten)	
Wartung	690,00 €
Lizenz	
Pauschale	

<b>Gesamt:</b>	<b>21.590,00 €</b>
----------------	--------------------

Quelle: Angebot GreenSeeker

Es kann mit Anschaffungskosten von zirka 21.590,00 € gerechnet werden. Hierbei bezieht sich der Preis lediglich auf den Sensor inklusive Gestell und die dazugehörige Wartung. Ein Display ist nicht inbegriffen, da vorhandene Displays von den Ausbringungsgeräten, zumindest vom Traktor selbst, genutzt werden können. Im Zweifel ist jedoch eine Nachbestellung oder ein separater Kauf möglich. Der GreenSeeker besitzt in diesem Angebot 4 Sensoren. Zusätzlich enthalten sind eine ISOBOX und diverse Datenkabel.

Ein Handtester ist zwar im Portfolio des Herstellers abgebildet, wird aber laut Kundenbetreuer vom Landwirt nicht genutzt. Daher bleibt dieser außen vor. Auch fallen weder Lizenzen noch Pauschalen extra an. Diese sind in den Folgekosten, im Punkt Wartung, in Höhe von 690 € enthalten. Die in Zeile Wartung aufgeführten Kosten beinhalten eine dreistündige Vor-Ort-Überprüfung, bei der neben der Wartung des Gerätes sämtliche aufgetretene Fragen geklärt werden können. Außerdem wird das Gerät mit dem Anbaugerät auf Funktionalität geprüft und sämtliche verbrauchte Kleinteile werden getauscht. Auch eine Reinigung der Kabelverbindungen sowie deren optische und technische Überprüfung finden statt. Zudem ist im Preis ein Telefonsupport und Updateservice enthalten.

Um nun neben der Kostenauflistung eine Berechnungsgrundlage für die Amortisierung zu haben, erfolgt die Berechnung der jährlichen Kosten sowie der Kosten pro Jahr und Hektar. Diese

sind der nachfolgenden Tabelle 25 zu entnehmen. Es wird hieraus ersichtlich, dass sich die Kosten pro Jahr auf 4.720,13 € belaufen. Auf den Betrieb kommen Kosten je Hektar in Höhe von 1,81 € zu.

Tabelle 25: GreenSeeker Berechnung der jährlichen Kosten und der Kosten je Hektar (2602 ha)

<u>Sensor</u>	<u>Anschaffungskosten</u>	<u>Abschreibung (6 Jahre)</u>	<u>Zins 4%</u>	<u>sonstige Kosten</u>	<u>jährliche Kosten</u>	<u>Kosten pro Jahr und ha</u>
GreenSeeker	21.590,00 €	3.598,33 €	431,80 €	690,00 €	4.720,13 €	1,81 €

Quelle: Angebot GreenSeeker, eigene Berechnungen

Das Ergebnis aus der in Tabelle 26 aufgeführten Break-Even-Analyse zeigt, dass bereits bei einem Mehrertrag von 0,11% eine Amortisierung des Sensors stattfindet. Sollte der Sensor nur im Weizen laufen, ist der Mehrertrag auf 0,25% gestiegen. Bei 0,11% Mehrertrag macht das eine Ertragssteigerung von rund 0,09 dt/ha, bei 0,25% von rund 0,21 dt/ha.

Tabelle 26: GreenSeeker Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung

GreenSeeker	Einheiten									
Ertragssteigerung	%	ohne Sensor	0	1	2	3	4	5	6	0,11
Ertrag	dt/ha	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6
Leistung	€/ha	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630
Mehrertrag	dt/ha	0,00	0,00	0,84	1,67	2,51	3,34	4,18	5,02	0,09
Mehrleistung	€/ha	0,00	0,00	16,30	32,60	48,91	65,21	81,51	97,81	1,81
Sensorkosten	a und ha	0,00	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	3,08
bereinigter Erlös	€/ha	1630	1628	1645	1661	1677	1694	1710	1726	1629
Deckungsbeitrag 1	€/ha	302	302	302	302	302	302	302	302	302
DB mit Sensorkosten	€/ha	302	304	304	304	304	304	304	304	305
Erlös	€/ha	1328	1326	1343	1359	1375	1392	1408	1424	1327
Amortisierung bei Hektar		-	-	290	145	96,51	72,39	57,91	48,26	2602
Amortisierung bei	0,11 % Ertragssteigerung				nur WW (1159ha) bei			0,25 % Ertragssteigerung		

Quelle: eigene weiterführende Berechnungen

Aus dem Versuchsergebnis auf der NextFarming Website wird deutlich, dass eine Ertragssteigerung von zirka 6,1% möglich ist. Bei dieser zu erwartenden Ertragssteigerung ist eine Amortisierung bereits ab 87,67 Hektar möglich. Ob diese bei einem so hohen Ertragszuwachs von 6,1% wirklich realisierbar ist, bleibt ungewiss. Dennoch ist durch den geringeren Anschaffungspreis und die daraus resultierenden geringeren jährlichen Kosten eine Amortisierung bei geringerem Mehrertrag oder einem höheren Mehrertrag auf weniger Hektar möglich. Bei den Einsparungen vom Dünger kann eine durchschnittlich eingesparte Düngermenge von zirka 1,9% erreicht werden. Das entspricht 4,19 kg/ha N weniger. Bei dieser durchschnittlich eingesparten Menge erfolgt eine Amortisierung bei zirka 2030 Hektar. Schon eine Einsparung an Stickstoff in Höhe von 1,48% reicht aus, um eine Amortisierung auf der gesamten Betriebsfläche zu erreichen. Dabei können zirka 3,27 kg/ha N eingespart werden. Bei durchschnittlichen Stickstoffkosten pro Kilogramm von beispielsweise 0,56 € pro Hektar bedeutet dies Einsparungen in Höhe von 1,81 € pro Hektar. Zusammengefasst lässt sich also sagen, dass sich der

GreenSeeker schon bei 0,11% Ertragssteigerung und bei 1,48% Düngereinsparung amortisiert. Ablesbar sind diese Werte aus der nachfolgenden Tabelle 27.

*Tabelle 27: GreenSeeker Amortisierung nach Düngereinsparung in % von kg/ha N*

GreenSeeker	Einheit										
Düngereinsparung	%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	1,48%	1,90%	
Düngereinsparung	kg/ha	0	2,21	4,41	6,62	8,82	11,03	15,44	3,27	4,19	
Sensorkosten	a/ha	1,81 €	1,81 €	1,81 €	1,81 €	1,81 €	1,81 €	1,81 €	1,81 €	1,81 €	1,81 €
Einsparung	€/ha	- €	1,22 €	2,45 €	3,67 €	4,90 €	6,12 €	8,57 €	1,81 €	2,33 €	
Amortisierung	ha	-	3857,03	1928,51	1285,68	964,26	771,41	551,00	2602,00	2030,01	
Amortisierung	%	1,48									

Quelle: www.nextFarming.de, eigene weiterführende Berechnungen

## 5.4 Isaria CropXplorer

„Der Hersteller Fritzmeier steht seit 1926 für Fortschritt in der Landwirtschaft“ (Isaria-digitalfarming.com). Seit 2012 werden dabei Sensoren als innovative Lösung für Mensch und Umwelt angeboten. Diese „[H]ochpräzise Sensortechnik wird mit innovativem, pflanzenbaulichem Know-How zu einem System vereint“ (Isaria-digitalfarming.com). Isaria ist dabei die Abkürzung für „Ihr System für intelligentes Bestandsmanagement“ (Isaria-digitalfarming.com) und dient dabei als Überbegriff für diese spezielle Produktlinie. Die neuesten Produkte von Isaria sind hierbei der CropXplorer und der CropXplorer Basic.

Der CropXplorer Basic ist ein passives Online-System. Hierbei werden die Messwerte in Abhängigkeit vom Sonnenlicht ermittelt. Das Sonnenlicht übernimmt die zentrale Rolle. Der Sensor misst die Reflexion des Sonnenlichtes vom Bestand. Die daraus sich ergebenden Messwerte werden mit einem Sensor auf dem Dach des Traktors abgeglichen, um so eine Berechnungsgrundlage und damit eine passende Applikationskarte erstellen zu können.

Zum allgemeinen Aufbau dieses Sensors lässt sich sagen, dass die Messeinheit des Sensors direkt an den Außenspiegeln des Traktors montiert und eine weitere optische Messeinheit auf dem Dach des Traktors platziert wurde. Erstere analysiert den Bestand und letztere gibt die Referenzwerte für die aktuelle Umgebungseinstrahlung.

Der Vorteil dieses Gerätes ist der vielseitige Einsatz. Das Gerät ist ebenfalls zur Nachsaat von Grünland geeignet. Es wird sehr platzsparend an den Außenspiegeln und dem Kabinendach angebracht. <sup>26</sup>Dennoch fließt dieser Sensor nicht weiter in die Berechnung ein und soll lediglich zur Vollständigkeit hier kurz genannt werden. Er ist deshalb ausgeschlossen, da es sich um einen passiven Sensor handelt und dieser nur schwer mit aktiven Sensoren verglichen werden kann. Der Aufbau ist hierbei auf den nachfolgenden Abbildungen 9 und 10 zu erkennen.



Abbildung 9: CropXplorer Basic Isaria Umgebungslichtsensor  
Quelle: <https://moderner-landwirt.de/cropxplorer-basic-der-neue-kompakte-pflanzensensor-von-agxtend-agritechnica-2019/>



Abbildung 10: Optische Messeinheit, CropXplorer Basic, Isaria  
Quelle: <https://moderner-landwirt.de/cropxplorer-basic-der-neue-kompakte-pflanzensensor-von-agxtend-agritechnica-2019/>

Stattdessen zieht in den Vergleich der CropXplorer. Dieser ohne den Zusatz „Basic“ ausgestattete Sensor ist ein aktiver Sensor. Er wird ähnlich wie der GreenSeeker auch im Frontanbau mitgeführt und verfügt über ein Gestänge mit zwei an den Enden angebauten Sensoren. Dieser Sensor ist in der anschließenden Abbildung 11 zu sehen.

---

<sup>26</sup> Broschüre CropXplorer Basic



Abbildung 11: Isaria CropXplorer

Quelle: <https://moderner-landwirt.de/isaria-und-agxtend-informieren-virtuell-smart-farming-stammtisch-deckt-perspektiven-auf/>

Diese Sensoren übermitteln per Bluetooth die Daten an den im Preis enthaltenen Bordcomputer. Dieser verfügt über ein GPS-Modul, das eine Vorrüstung am Traktor nicht zwingend notwendig macht. Des Weiteren kann mittels Bordcomputer eine Kartierung vorgenommen werden. Auch der direkte Einsatz von Düngemitteln oder anderen Ausbringungsmitteln in Abhängigkeit vom Bewuchs ist mit ihm durchführbar. So wird auch die Nachsaat von Gras möglich. Ebenso ist die Einsatzmenge spezieller Pflanzenschutzmittel und Wachstumsregler im Bestand mittels Sensors anpassbar. Es muss keine zwingende ISOBUS-Vorrüstung vorhanden sein, damit das Gerät mit dem angebauten Applikationsgerät kommunizieren kann. Ein weiterer Vorteil dieses Sensors ist die hohe Messgenauigkeit, die erzielt wird durch das Heranziehen von bis zu 2000 Messwerten pro Sekunde. Zudem besteht die Lichtquelle aus robusten LEDs, und ist somit am Tag und in der Nacht einsetzbar und damit frei von externen Einflussfaktoren.

Der Effekt lässt sich leicht erklären, da die Pflanzen rotes, grünes und blaues Licht absorbieren, wobei infrarotes Licht reflektiert wird. Dieser Teil des Lichts wird gemessen und anhand von Parametern ausgewertet, so dass eine passende Applikationskarte entsteht. Das Gerät verfügt über verschiedene Funktionen. So kann im sogenannten 1-Punkt-Modus die anzuwendende Stickstoffmenge in einem kleinen Bereich des Feldes definiert werden. Dieser Teilbereich gilt dann als Grundlage. Das restliche Feld wird entsprechend variabel aufgedüngt. Im 2-Punkt-Modus ist das Ausbringen von Dünger auf zwei verschiedenen Bereichen des Feldes vorgesehen. Hierbei wird mit Hilfe der beiden Punkte eine Regelfunktion aufgestellt, die dann variabel auf das gesamte Feld angewendet wird. Auch verfügt das Gerät über einen Automatik-Modus. Anhand von vorher aufgespielten Ertragskarten werden Regelfunktionen festgelegt und mit aktuellen Messwerten verfeinert. Für die Ausbringung benutzt der CropXplorer zwei Indizes, zum einen den Biomasse-Index und zum anderen den Stickstoffindex. Dennoch ist festzustellen, dass die vorher im Vergleich herangezogenen Sensoren die gleichen Indizes verwenden. Lediglich in der Auswertung erfolgen unter Umständen angepasste Ergebnisse.

Der Biomasseindex bezeichnet dabei die Abdeckung des Bodens durch darauf wachsende Biomasse in Form von Pflanzen. Beim Stickstoff-Index geben die Reflexion der Strahlung und die daraus resultierenden Rückschlüsse auf den Chlorophyllgehalt eine Aussage über die aufzuwendende Stickstoffmenge. Was die geschilderten Vorteile für den Betrieb bedeuten, kann den nachfolgenden Rechnungen und den dazugehörigen Erklärungen entnommen werden. <sup>27</sup>

Aus Tabelle 28 wird ersichtlich, dass es sich hierbei um ein Komplettangebot handelt. Das bedeutet, sollte sich Herr Zilian für dieses Gerät entscheiden, kann er von 30.600 € ausgehen und muss keine Folgekosten erwarten. Sicher, sollten Sensoren ausfallen oder sonstige Beschädigungen am Gerät vorhanden sein, fallen dafür Kosten an. Doch diese pauschal anzusetzen, wäre für den Vergleich nicht zielführend, da ein Ausfall nicht vorgesehen ist.

*Tabelle 28: Isaria CropXplorer Kostenauflistung*

Isaria	Kostenauflistung:
Sensor	30.600,00 €
Display	
Schulung	
Tester	- €
Folgekosten (sonstige Kosten)	
Wartung	
Lizenz	
Pauschale	

<b>Gesamt:</b>	<b>30.600,00 €</b>
----------------	--------------------

Quelle: Angebot Isaria

Im Angebot enthalten ist zudem das Display. Der einzige fehlende Punkt sind spezielle Regelalgorithmen für Gerste und Weizen, welche die Nutzung des Geräts jedoch nicht einschränken. Diese würden lediglich die Düngung noch weiter verfeinern. Dennoch kann auch ohne Algorithmus teilflächenspezifisch appliziert werden.

Aus den sich oben ergebenden Kosten leiten sich nun die jährlichen Kosten ab. So sind in der Tabelle 29 die jährlichen Kosten in Höhe von 5.712,00 € abzulesen. Diese ergeben einen Hektarbetrag von 2,20 €.

*Tabelle 29: Isaria CropXplorer Berechnung der jährlichen Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha)*

<u>Sensor</u>	<u>Anschaffungskosten</u>	<u>Abschreibung (6 Jahre)</u>	<u>Zins 4%</u>	<u>sonstige Kosten</u>	<u>jährliche Kosten</u>	<u>Kosten pro Jahr und ha</u>
Isaria CropXplorer	30.600,00 €	5.100,00 €	612,00 €	- €	5.712,00 €	2,20 €

Quelle: Angebot Isaria, eigene Berechnungen

<sup>27</sup> Broschüre CropXplorer

Aus der Break-Even-Tabelle 30 kann entnommen werden, dass bereits bei einem Mehrertrag in Höhe von 0,13% die Anschaffung dieses Gerätes amortisiert wäre. Leider gibt es bis jetzt keine aussagekräftigen Werte, die eine Ertragssteigerung beschreiben könnten. Daher muss an dieser Stelle die errechnete Mindestertragssteigerung genügen. Inwieweit diese umsetzbar ist, wurde bislang nicht erkundet. Sollte der Sensor nur im Winterweizen laufen, muss eine Ertragssteigerung von 0,3% erzielt werden, um kostendeckend zu arbeiten.

Tabelle 30: Isaria CropXplorer Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung

Isaria	Einheiten									
Ertragssteigerung	%	ohne Sensor	0	1	2	3	4	5	6	0,13
Ertrag	dt/ha	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6	83,6
Leistungen	€/ha	1.630,20 €	1.630,20 €	1.630,20 €	1.630,20 €	1.630,20 €	1.630,20 €	1.630,20 €	1.630,20 €	1.630,20 €
Mehrertrag	dt/ha	0	0	0,836	1,672	2,508	3,344	4,18	5,016	0,11257612
Mehrleistung	€/ha	- €	- €	16,30 €	32,60 €	48,91 €	65,21 €	81,51 €	97,81 €	2,20 €
Sensorkosten	€/a und ha	- €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €
bereinigter Erlös	€/ha	1.630,20 €	1.628,00 €	1.644,31 €	1.660,61 €	1.676,91 €	1.693,21 €	1.709,51 €	1.725,82 €	1.630,20 €
Deckungsbeitrag 1	€/ha	302,00 €	302,00 €	302,00 €	302,00 €	302,00 €	302,00 €	302,00 €	302,00 €	302,00 €
DB mit Sensorkosten	€/ha	302,00 €	304,20 €	304,20 €	304,20 €	304,20 €	304,20 €	304,20 €	304,20 €	304,20 €
Erlös	€/ha	1.328,20 €	1.326,00 €	1.342,31 €	1.358,61 €	1.374,91 €	1.391,21 €	1.407,51 €	1.423,82 €	1.328,20 €
Amortisierung bei Hektar		-	-	350,39	175,19	116,80	87,60	70,08	58,40	2602,00
Amortisierung bei	0,13 % Ertragssteigerung				nur WW (1159ha) bei		0,30 % Ertragssteigerung			

Quelle: eigene weiterführende Berechnung

Dennoch können auch Düngersparnisse mit diesem Sensor erzielt werden. Leider gibt es auch hierfür keine aussagekräftigen Werte, weshalb auch hier nur die Mindestmenge zur Amortisierung genutzt werden kann und mögliche Mehrersparnisse außen vor bleiben. Diese können aus der nachfolgenden Tabelle 30 geschlussfolgert werden.

Tabelle 31: CropXplorer Amortisierung nach Düngereinsparung in % von kg/ha N

Isaria CropXplorer	Einheit									
Düngereinsparung	%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	1,79%	
Düngereinsparung	kg/ha	0	2,21	4,41	6,62	8,82	11,03	15,44	3,96	
Sensorkosten	a/ha	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €	2,20 €
Einsparung	€/ha	- €	1,22 €	2,45 €	3,67 €	4,90 €	6,12 €	8,57 €	2,20 €	
Amortisierung	ha	-	4667,52	2333,76	1555,84	1166,88	933,50	666,79	2602,00	
Amortisierung	%	1,79								

Quelle: eigene weiterführende Berechnung

So ist ablesbar, dass bei einer Einsparung von 1,79% die Kosten für den Sensor gedeckt wären. Umgerechnet sind dies Einsparungen in Höhe von 3,96 kg/ha Stickstoff.

## 5.5 Skyfld

Die letzten beiden Systeme sind keine Online-Systeme. Sie gehören zu den Offline-Systemen. Ihre Daten beziehen sie nicht von einem angebauten Sensor, sondern von Satellitenbildern. Diese orientieren sich aber dennoch an den gleichen Indizes. Daher sollen hiermit Alternativen zu Sensoren aufgezeigt werden, um einen möglichen Einstieg in das Thema der sensorbasierten Stickstoffdüngung zu erhalten und einen Überblick in die Heterogenität von Schlägen zu bekommen.

Das Funktionsprinzip dieses Satelliten ist ähnlich wie das von Sensoren. Auch der Satellit misst die reflektierte Strahlung und setzt diese in Bezug zu der ausgesendeten. So können Chlorophyllgehalt und Stickstoffaufnahmekapazität sowie Biomasseindex bestimmt werden. Mittels im System hinterlegten Regelfunktionen, die der Landwirt indirekt zu einem gewissen Teil mitbestimmen kann, werden Applikationskarten erstellt. Hierbei wird aber lediglich eine Applikation für die gängigen Stickstoffdünger erzeugt und nicht für die Grasnachsaat oder die Spritzmittelapplikation. Somit ist das Einsatzspektrum in Bezug zu den Sensoren deutlich eingeschränkt. Auch die Aktualität der Daten ist eher kritisch zu betrachten. So können bei Bewölkung keinerlei Daten gesammelt werden und der Überflug des Satelliten war ohne Nutzen. Es kann vorkommen, dass die Datengrundlage teilweise durchaus 2 Wochen alt ist. Gerade zur Hauptwachstumsperiode ist dies stark nachteilig. Bereits wenige Tage führen hier zu einem enormen Wuchsunterschied. Außerdem fallen im Herbst viele Tage heraus durch die für diese Jahreszeit typische Bewölkung. Auch im Frühjahr kann dies durch das stark wechselhafte Wetter eintreten. Nichtsdestotrotz besticht das Angebot durch die geringen Anschaffungskosten. So können die Kosten für Skyfld nachfolgend entnommen werden.<sup>28</sup> Es entstehen Kosten im Jahr von 849,33 €. Dies bedeutet, dass pro Hektar ein Mehraufwand von 0,33 € einzuplanen ist.

Tabelle 32: Skyfld Berechnung der jährlichen Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha)

Sensor	Anschaffungskosten	Abschreibung (6 Jahre)	Zins 4%	sonstige Kosten	jährliche Kosten	Kosten pro Jahr und ha
Skfld	4.550,00 €	758,33 €	91,00 €	- €	849,33 €	0,33 €

Quelle: <https://shopware.skyfld.com/atr/detail/index/sArticle/50?quantity=1000>

Gedeckt werden können diese durch einen Mehrertrag oder durch Düngerersparnisse. Der Mehrertrag wird aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich. So lässt sich erkennen, dass bereits bei 0,02% Mehrertrag eine kostendeckende Produktion möglich ist. Hierbei sind 0,02% gleichbedeutend mit einem Mehrertrag von 0,02 dt/ha.

Tabelle 33: Skyfld Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung

Skyfld	Einheiten									
Ertragssteigerung	%	ohne Sensor	0	1	2	3	4	5	6	0,02
Ertrag	dt/ha	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60
Leistungen	€/ha	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630
Mehrertrag	dt/ha	0	0	0,84	1,67	2,51	3,34	4,18	5,02	0,02
Mehrleistung	€/ha	0	0	16,30	32,60	48,91	65,21	81,51	97,81	0,33
Sensorkosten	a und ha	0,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
bereinigter Erlös	€/ha	1630	1630	1646	1662	1679	1695	1711	1728	1630
Deckungsbeitrag 1	€/ha	302	302	302	302	302	302	302	302	302
DB mit Sensorkosten	€/ha	302	302	302	302	302	302	302	302	302
Erlös	€/ha	1328	1328	1344	1360	1377	1393	1409	1426	1328
Amortisierung bei Hektar		-	-	52,10	26,05	17,37	13,02	10,42	8,68	2602
Amortisierung bei	0,02 % Ertragssteigerung				nur WW (1159ha) bei	0,04 % Ertragssteigerung				

Quelle: eigene weiterführende Berechnung

<sup>28</sup> <https://shopware.skyfld.com/atr/detail/index/sArticle/50?quantity=1000>

Auch bei der Düngersparnis entstehen ähnlich geringe Werte. So ist aus Tabelle 34 ablesbar, dass eine Düngersparnis von 0,27% ausreichend ist, um die Kosten für Skyfld zu decken.

Tabelle 34: Skyfld Amortisierung nach Düngereinsparung in % von kg/ha N

Skyfld	Einheit								
Düngereinsparung	%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	0,27%
Düngereinsparung	kg/ha	0	2,21	4,41	6,62	8,82	11,03	15,44	0,59
Sensorkosten	a/ha	0,33 €	0,33 €	0,33 €	0,33 €	0,33 €	0,33 €	0,33 €	0,33 €
Einsparung	€/ha	- €	1,22 €	2,45 €	3,67 €	4,90 €	6,12 €	8,57 €	0,33 €
Amortisierung	ha	-	694,03	347,01	231,34	173,51	138,81	99,15	2602,00
Amortisierung	%	0,27							

Quelle: eigene weiterführende Berechnung

## 5.6 Yara Atfarm

Yara Atfarm ist so wie auch Skyfld ein Offline-System. Die Applikationskarte muss vorher im Büro erstellt werden, um diese auf den Bordcomputer des Anbaugerätes oder des Traktors zu projizieren. Dabei kann wertvolle Zeit verstreichen und die Datengrundlage kann veraltet sein.

Tabelle 35: Yara AtFarm Berechnung jährliche Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha)

Sensor	Anschaffungskosten	Abschreibung (6 Jahre)	Zins 4%	sonstige Kosten	jährliche Kosten	Kosten pro Jahr und ha
Yara Atfarm	195,00 €	195,00 €	- €	- €	195,00 €	0,07 €

Quelle: www.Yara.de, eigene weiterführende Berechnung

Dennoch besticht der Preis von 195,00 € (siehe Tabelle 35), einen Zugang zu dieser Web-Anwendung zu legen. Da keine nachfolgenden Kosten entstehen und auch der Zins vernachlässigbar ist, ergeben sich reine 195 € pro Jahr. Das macht dann 7 Cent mehr Kosten pro Hektar.

Aus diesen ohnehin schon extrem niedrigen Werten ergibt sich eine extrem schnelle Amortisierung bei nur 0,005% Mehrertrag. Soll nur Weizen damit optimiert werden, muss sich eine Ertragssteigerung von 0,01% ergeben. Diese ist ablesbar aus nachfolgender Tabelle 36.

Auch hier sind keine durchschnittlichen Ertragssteigerungen und Düngersparnisse vom Händler angegeben. Dies macht eine Berechnung der Amortisierung auf dieser Grundlage hinfällig. Zudem dient diese Anwendung laut Yara auch primär dazu, den Bestand aus dem Büro heraus oder von unterwegs bestens zu überwachen und Düngergaben danach präzise

auszurichten. Entstandene Mehrerträge und Düngereinsparungen können als Zusatz angesehen werden.

Tabelle 36: Yara AtFarm Amortisierung auf Flächenbasis nach Ertragssteigerung

Yara AtFarm	Einheiten									
Ertragssteigerung	%	ohne Sensor	0	1	2	3	4	5	6	0,005
Ertrag	dt/ha	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60	83,60
Leistungen	€/ha	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630	1630
Mehrertrag	dt/ha	0	0	0,84	1,67	2,51	3,34	4,18	5,02	0,00
Mehrleistung	€/ha	0	0	16,30	32,60	48,91	65,21	81,51	97,81	0,07
Sensorkosten	a und ha	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
bereinigter Erlös	€/ha	1630	1630	1646	1663	1679	1695	1712	1728	1630
Deckungsbeitrag 1	€/ha	302	302	302	302	302	302	302	302	302
DB mit Sensorkosten	€/ha	302	302	302	302	302	302	302	302	302
Erlös	€/ha	1328	1328	1344	1361	1377	1393	1410	1426	1328
Amortisierung bei Hektar		-	-	11,96	5,98	3,99	2,99	2,39	1,99	2602
Amortisierung bei	0,005 % Ertragssteigerung				nur WW (1159ha) bei			0,01 % Ertragssteigerung		

Quelle: eigene weiterführende Berechnung

In der nachfolgenden Tabelle 37 ergibt sich die Amortisierung bei einer Düngereinsparnis von bereits 0,06%. Hieraus wird ersichtlich, dass durch die enorm geringeren Kosten kaum ein Mehrertrag oder eine Düngereinsparnis erforderlich ist, um sich zu rentieren.

Tabelle 37: Yara AtFarm Amortisierung nach Düngereinsparnis in % von kg/ha N

Yara AtFarm	Einheit										
Düngereinsparung	%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	7%	0,06%	1,90%	
Düngereinsparung	kg/ha	0	2,21	4,41	6,62	8,82	11,03	15,44	0,14	4,19	
Sensorkosten	a/ha	0,07 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €	0,07 €	
Einsparung	€/ha	- €	1,22 €	2,45 €	3,67 €	4,90 €	6,12 €	8,57 €	0,07 €	2,33 €	
Amortisierung	ha	-	159,34	79,67	53,11	39,84	31,87	22,76	2602,00	83,86	
Amortisierung	%	0,06									

Quelle: eigene Berechnung

## 6. Chancen, Probleme und Risiken von N-Sensor-Systemen

Chancen und Risiken dieser Systeme sind klar zu definieren. So liegen die Chancen ganz klar darin, Kosten und Betriebsmittel einzusparen, um so die Umwelt zu entlasten und Kosten im Bereich von Pflanzenschutz und Düngung zu verringern.

Risiken wären dabei, durch mehr Technik in eine gewisse Abhängigkeit zu geraten und somit die Selbstständigkeit und das handwerkliche Geschick zu verlieren. Dennoch können so Produktionsprozesse gläsern gemacht werden, um Platz und die Möglichkeit der weiteren Verbesserung zu bieten.

Trotzdem sollte Klarheit darüber bestehen, dass der Sensor selbst lediglich vorhandene Daten nach für ihn richtigen Schemata auswertet und so die Düngung anpasst. Dabei bleibt der Aspekt der Witterung völlig unberücksichtigt. Es erfolgt keine Anpassung an äußere Gegebenheiten wie Regen, Wind oder Trockenheit. Für den Sensor ist einzig und allein die Pflanze und ihre Reflexion wichtig. So muss der Landwirt selbst den richtigen Zeitpunkt für die Applikation wählen und trägt dann doch die volle Verantwortung. Die äußeren Gegebenheiten haben hier aber nur Einfluss auf den ausgebrachten Dünger und nicht auf die Funktion des Sensors.

Auch kann das Kalibrieren der Geräte bzw. der Sensoren selbst problematisch sein, z.B. wenn dieser fehlerhafte Werte ermittelt und damit auch gute Standorte genauso oder nur dezent anders düngt als schlechte. Dieses Nicht-am-Ertragsmaximum-düngen kann zu starken Auswirkungen auf den Ertrag führen. Zudem erfolgt eine weitere Belastung des Fahrers, der vorher nur auf die richtige Funktionsweise des Düngerstreuers achten musste. Er hat sich nun auch auf dem Feld zurechtzufinden und muss überblicksweise die ausgegebenen Sensorwerte richtig deuten und einschätzen. Dieser Mehraufwand kann zu einer schnelleren Ermüdung und geringeren Produktivität bzw. nachlassenden Konzentration führen.

Durch auftretende Kosten und sich ergebende Mehrerträge sowie Einsparungen lassen sich Rechnungen und Quantifizierungen aufstellen. Der wahre Nutzen ist jedoch erst dann erkennbar, wenn die verrichtete Arbeit genauer angeschaut wird. Eine Schonung des Bodens findet durch indirekte Berücksichtigung der pH-Werte statt. Dies wirkt einer Versandung und einem Abbau von Humus entgegen. Außerdem werden schwächere Standorte nicht zusätzlich durch eine Überdüngung strapaziert. Gerade wenn Niederschlag weniger oder unregelmäßig zu erwarten ist, wirkt sich ein Zuviel an Dünger hinderlich aus. Einerseits nimmt der vorhandene Dünger die Feuchtigkeit auf und es steht somit weniger Feuchtigkeit für die Pflanze selbst zur Verfügung. Andererseits entgast der Stickstoff aus dem Dünger bei unzureichender Einwaschung. Durch die pH-Wert verändernde Wirkung von Dünger kann Schaden bei Überdüngung oder unsachgemäßer Düngung an der Pflanze entstehen. So lässt zum einen eine Überdüngung von zu schwachen Pflanzen den pH-Wert an der Wurzel so weit absinken, dass

Makronährstoffe festgesetzt und Schwermetalle verfügbar werden. Natürlich ist so etwas nicht die Regel, kann aber im schlimmsten Fall eintreten.

Außerdem ist die landläufige Meinung aus der Praxis, dass diese Sensoren vielleicht rechnerisch die Düngekosten senken und den Ertrag steigen lassen, davon aber nicht allzu viel zu merken ist. Viel mehr Gewichtung hat bei dem Kauf eines solchen Sensors ohnehin der Gedanke, dass eine angepasste Düngung den Boden und die Umwelt schont und entlastet. Auch wenn genau solche Maßnahmen nur schwer bis gar nicht monetär aufzuwiegen sind, bringen diese den Mehrwert.

Im Hinblick auf die verschärfte Düngeverordnung und die Ausweisung von „Roten Gebieten“ lassen sich Chancen erahnen. Allein die Annahme, dass diese wirklich rein durch die Landwirtschaft und dessen Einträge entstanden sind, könnten diese dadurch rückgängig gemacht werden. Besonders durch eine unangepasste Düngung haben sandigere Standorte mit schlechterem Bewuchs zu viel Dünger abbekommen. Die dort wachsenden Pflanzen können diesen nicht umsetzen. Das hat zur Folge, dass im Laufe der Jahre der Dünger in tiefere Bodenschichten ausgewaschen wird, bis er schlussendlich im Grundwasser landet. Dort kann Nitrat mittels einer Nitratmessstation sichtbar gemacht werden.

Einen besonders guten und kostengünstigen Einstieg in die Thematik der Teilflächenspezifität bieten dabei Offline-Systeme wie Yara Atfarm oder Skyfld. Diese sind einfach zu bedienen und jeder Zeit anwendbar, um aktuelle Informationen über seine Bestände zu erhalten, natürlich in Abhängigkeit vom Bewölkungszustand zum Zeitpunkt des Überflugs vom Satelliten. Hierbei sei erwähnenswert, dass Satelliten alle 2-4 Tage einen Überflug machen und genau solche Daten sammeln.

In den nachfolgenden Kapiteln Zusammenfassung und Fazit, werden diese Eigenschaften wiederholt und gegeneinander abgewogen, um Herrn Zilian im Fazit einen Handlungsvorschlag geben zu können.

## 7. Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es eine Vielzahl von Sensoren auf dem Markt gibt. Die hier abgebildeten und verglichenen Sensoren sind lediglich die von bekannteren Herstellern. Ebenso zahlreich wie die Anbieter, kann ein solcher Sensor in der Regel vielseitig ausgestattet werden. Hierbei war es wichtig, dass alle zum Vergleich stehenden Sensoren über ein aktives Messsystem verfügen, um eine Vergleichbarkeit in Abhängigkeit des Preises zu gewährleisten und es dabei zu keinerlei Unterschieden im Aufbau kommt. Zudem sind die Offline-Systeme (Yara AtFarm / Skyfld) hier betrachtet worden, um eine Alternative zu den klassischen Sensoren zu bieten. Dabei muss aber gesagt werden, dass so ein System nicht wirklich für die exakte Düngermengenapplizierung geeignet ist. Um seine ersten Erfahrungen damit zu machen, sind die niedrigen Anschaffungskosten von Yara AtFarm überzeugend und sehr hilfreich. Dennoch ist es ratsamer, diese Programme als Überwachungswerkzeug zu nutzen, um einen generellen Überblick über seine ganzen Bestände zeitsparend aus dem Büro heraus zu erhalten. Dabei spielt es dann auch keine so große Rolle, wie beispielsweise bei der Düngerapplizierung, wenn Datensätze mehrere Tage oder Wochen veraltet sind.

Sollte der Schritt des Sensorkaufs gewagt werden, bieten sich eine Vielzahl an Sensoren an. Überblicksweise folgt hier in Tabelle 38 eine kleine Auflistung aller Sensoren und deren Kosten.

*Tabelle 38: verglichene Sensoren mit ihren jährlichen Kosten und Kosten je Hektar (2602 ha)*

<u>Sensor</u>	<u>Anschaffungskosten</u>	<u>Abschreibung (6 Jahre)</u>	<u>Zins 4%</u>	<u>sonstige Kosten</u>	<u>jährliche Kosten</u>	<u>Kosten pro Jahr und ha</u>
Yara N-Sensor	30.025,00 €	4.695,83 €	600,50 €	1.850,00 €	7.146,33 €	2,75 €
Yara N-Sensor ALS komplett	37.725,00 €	5.979,17 €	754,50 €	1.850,00 €	8.583,67 €	3,30 €
Yara N-Sensor ALS aufgelöst	34.725,00 €	5.479,17 €	694,50 €	1.850,00 €	8.023,67 €	3,08 €
GreenSeeker	21.590,00 €	3.598,33 €	431,80 €	690,00 €	4.720,13 €	1,81 €
Isaria CropXplorer	30.600,00 €	5.100,00 €	612,00 €	- €	5.712,00 €	2,20 €
Yara AtFarm	195,00 €	195,00 €	- €	- €	195,00 €	0,07 €
Skyfld	4.550,00 €	758,33 €	91,00 €	- €	849,33 €	0,33 €

Quelle: Angebote des Vertriebs, weiterführende eigene Berechnungen

Ein wahrer Sieger aus diesem Vergleich konnte nicht ermittelt werden. Den ersten Platz teilen sich sowohl GreenSeeker als auch Yara. Der Sensor von GreenSeeker ist unvergleichlich kostengünstig und das Gesamtkonzept von Schulung und jährlicher Wartung ist einfach überzeugend. Der Yara-ALS-Sensor in Komplett-Lösung ist der zweite Erstplatzierte aus dem ganz einfachen Grund, da Yara einer der Vorreiter dieser Sensoren ist und die meiste Erfahrung sowie das ausgeklügeltste System vorweisen kann. Die Anbauposition ist zwar fest auf dem Dach, aber durch diese Positionierung ist auch eine mindestens doppelt so große Fläche analysierbar. Auch die Rund-um-Leistungen neben dem Sensor sind beeindruckend. Der Kundenservice ist extrem schnell und kompetent (so wie auch bei GreenSeeker). Es können mit einem Fachexperten zusammen an 3 freiwählbaren Terminen pro Saison die eigenen Flächen

abgelaufen werden, um sich über das weitere pflanzenbauliche Geschehen auszutauschen. Zudem werden jährlich 2-Tages-Schulungen angeboten und eine Vielzahl an weiteren Features, die dem Landwirt durch den Kauf dieses Gerätes zur Verfügung stehen. Lediglich die im Vergleich höchsten Kosten sprechen gegen ihn.

Eine Amortisierung erfolgt in jedem Fall sehr schnell. Eine Amortisationsrechnung aller Ersparnisse kann an dieser Stelle aber dennoch nicht erfolgen, da nicht alle Hersteller bereitwillig Testergebnisse und durchschnittliche Mehrerträge oder Düngerersparnisse zur Verfügung stellen.

Zu dem Betrieb, wo der Sensor seinen Einsatz finden soll, lässt sich zusammenfassend sagen, dass er über ausreichend Fläche und modernste Applikationsgeräte verfügt. Ein optimaler Einsatz dieses Gerätes wäre hier gewährleistet. Zudem findet eine weitere Senkung der Betriebskosten statt und eine Schonung der Umwelt. Zusätzlich wird nicht nur durch die reine angepasste Düngerapplikation Rücksicht auf die Umwelt genommen, sondern zu einem gewissen Teil auch durch weniger LKW-Verkehr. So kann durch präzise eingesetzten Dünger der Verkehr minimiert und somit CO<sub>2</sub> eingespart werden.

Durch diese Erkenntnis wird im nachfolgenden Fazit eine Handlungsempfehlung ausgesprochen.

## 8. Fazit

Als Fazit lässt sich somit sagen, dass Sensoren in der Landwirtschaft einen immer größer werdenden Stellenwert bekommen. Dabei gerät der Landwirt selbst immer weiter von der aktiv ausführenden Funktion zu der überwachenden und kontrollierenden Funktion. Dennoch oder gerade deswegen und wegen der zahlreichen verschärften Düngungsauflagen und zugunsten der Natur sollte sich für ein solches Gerät entschieden werden, da auch bei unter Umständen nur geringem monetären Nutzen, der Nutzen für die Umwelt erheblich größer ist.

Als Empfehlung für Herrn Zilian sollte an dieser Stelle ein Mix aus den unterschiedlichen Systemen genannt werden. So macht es für diesen Betrieb Sinn, eine Kombination aus dem Yara N-Sensor ALS und Yara AtFarm zu wählen. Durch diese Kombination ist es möglich, einen allumfassenden Überblick zu jeder Zeit über seine Flächen zu erhalten. Zudem bietet der Yara N-Sensor ALS das größte Messfeld und den platzsparendsten Anbau. AtFarm besticht durch die im Vergleich kostengünstigste Lösung. Durch diese Kombination ist der Betrieb auch auf lange Sicht am besten und allumfassendsten ausgestattet.

Sollte allerdings erst ein Einstieg in diese Thematik gefunden werden, bietet sich der Green-Seeker an. Dieser hat unter den Online-Systemen den mit Abstand günstigsten Preis und die geringsten Folgekosten. Er bietet ähnlich viel Umfang im Service wie der Sensor von Yara. Lediglich das Messfeld ist etwas schmaler, aber dennoch für einen ersten Einstieg mehr als ausreichend.

Abschließend lässt sich feststellen, dass die Anschaffung eines Sensors der erste wichtige und große Schritt in die teilflächenspezifische Düngung ist. Auf kurz oder lang führt sie zu einem Minimieren von Kosten und kann den Betrieb wirtschaftlich aufbessern, sowie die Umwelt schonen.

## Literaturverzeichnis

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.nextfarming.de](http://www.nextfarming.de):  
<https://www.nextfarming.de/produkte/next-farming-package/next-greenseeker-package/>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.landtechnikmagazin.de](http://www.landtechnikmagazin.de):  
<https://www.landtechnikmagazin.de/Duengung-und-Pflanzenschutz-Artikel-Fritzmeier-ISARIA-Pflanzenspektrograf-Stickstoff-und-Ertragspotentialmessung-bei-Weizen-Gerste-Raps-1749.php>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.abc-bruns.de](http://www.abc-bruns.de): <https://abc-bruns.de/de/smart-farming/agxtend.php>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.Topagrar.com](http://www.Topagrar.com):  
<https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/precision-farming-teilflaechenspezifisch-duengen-so-starten-569971>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.yara.de](http://www.yara.de):  
<https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-und-services/n-tester/>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.Rauch.de](http://www.Rauch.de):  
<https://rauch.de/duengerstreuer/aero-gt-60-1.html>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com):  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Farbwahrnehmung>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.yara.de](http://www.yara.de):  
<https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-und-services/n-sensor/>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.skyfld.com](http://www.skyfld.com):  
<https://shopware.skyfld.com/atr/detail/index/sArticle/50?quantity=1000>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.yara.de](http://www.yara.de):  
<https://www.yara.de/pflanzenernaehrung/tools-und-services/atifarm/>

Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de): <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/348/article/33577.html>

(BAD), B. D. (2012). Stickstoff - Bedeutung für Mensch und Umwelt. *Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammer e.V. (VLK) und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD)* . Würzburg.

CropXplorer. (kein Datum). Broschüre.

- CropXplorer, B. (kein Datum). Broschüre.
- Deter, A. (2013. 12 03). Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.Topagrar.com](http://www.Topagrar.com):  
<https://www.topagrar.com/acker/news/kalkausgleichs-kosten-bei-der-stickstoffduengung-erlaeutert-9869333.html>
- Dobers, S. (2019). Spezieller Pflanzenbau 1, Weizen.
- Dobers, S. (2020). Nutzung von Geoinformationen im Pflanzenbau.
- (2017). Fendt Vorführerschulung Mähdrescher. Grasdorf.
- Hanns, B. (November 2020). Emailverkehr.
- Mistele. (2014). Amazon Active Seminar: Sensoren für die Stickstoffdüngung.
- Noack, P. O. (2019). *Precision Farming - Smart Farming - Digital Farming, Grundlagen und Anwendungsfehler*. Berlin: Wichmann.
- Reckleben, Y., Schneider, M., Wagner, P., Schwarz, J., & Hüter, J. (2007). *KTBL-Heft 75: Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung*. Darmstadt: KTBL.
- Runge, C. (2014). *Wirtschaftlichkeit der sensorgestützten Stickstoffdüngung*. Bachelorarbeit an der Hochschule Neubrandenburg.
- Waak, M. (2016). Abgerufen am 08. Januar 2021 von Das N-Düngekonzept von AgriCon:  
[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiv1-WDh43uAhUdA2MBHRxEAYsQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.wrrl-mv-landwirtschaft.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdownloads%2FN-D%25C3%25BCngungskonzept%2520AC\\_16\\_Sensortage%2520201](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiv1-WDh43uAhUdA2MBHRxEAYsQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.wrrl-mv-landwirtschaft.de%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2Fdownloads%2FN-D%25C3%25BCngungskonzept%2520AC_16_Sensortage%2520201)
- Wagner, H. (22. 04 2017). Abgerufen am 08. Januar 2021 von [www.Pflanzenkohle.info](http://www.Pflanzenkohle.info):  
<https://pflanzenkohle.info/folgen-der-duengung-mit-stickstoff/>
- [www.Isaria-digitalfarming.com](http://www.Isaria-digitalfarming.com). (kein Datum). Abgerufen am 08. Januar 2021 von  
<https://www.isaria-digitalfarming.com/uber-uns/>
- [www.moderner-Landwirt.de](http://www.moderner-Landwirt.de). (kein Datum). Abgerufen am 08. Januar 2021 von  
<https://moderner-landwirt.de/cropxplorer-basic-der-neue-kompakte-pflanzensensor-von-agxtend-agritechnica-2019/>

Anhang



Landkreis Vorpommern-Rügen  
- Der Landrat -  
Fachdienst Kataster und Vermessung

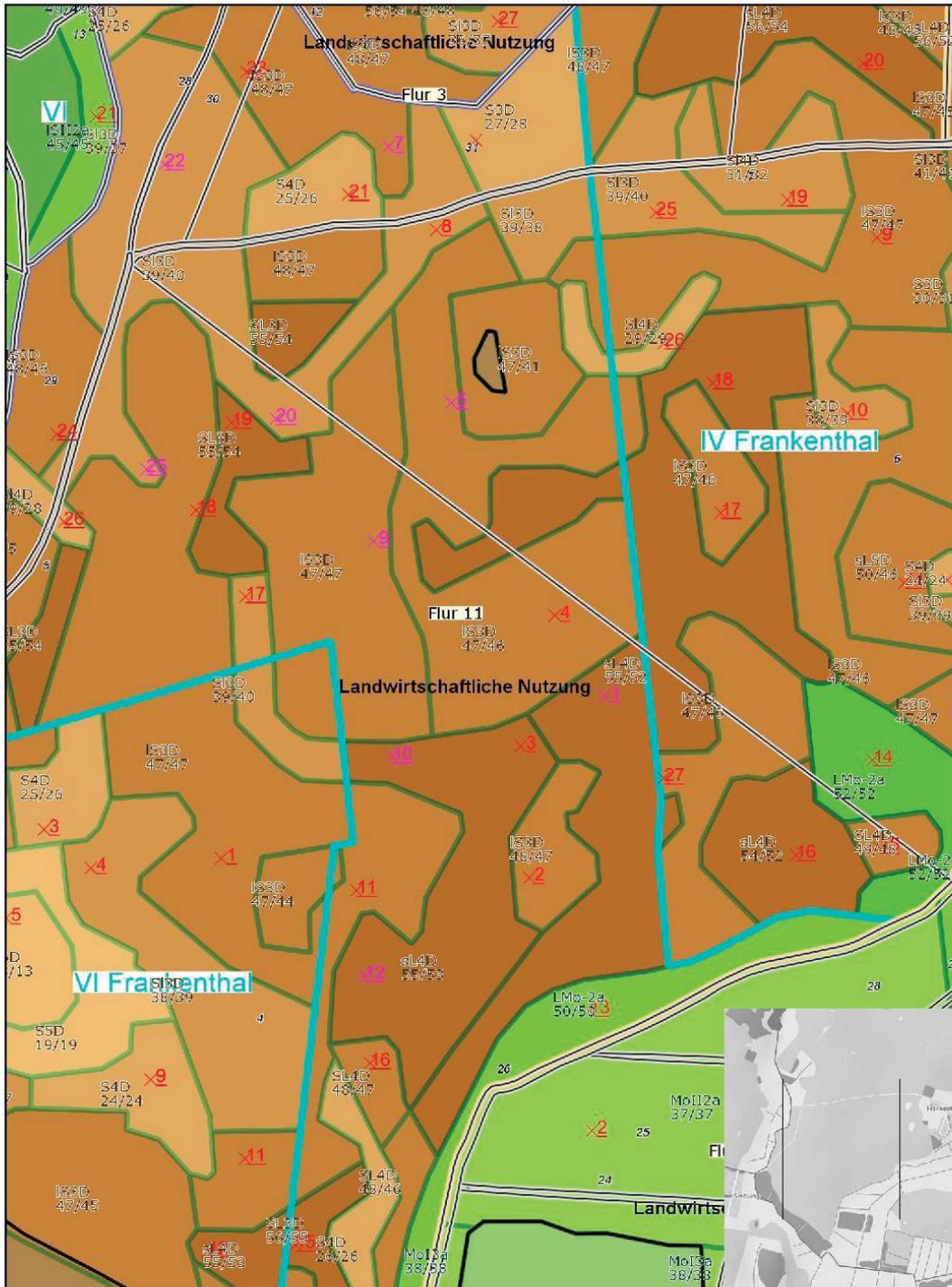
# Auszug aus GeoPORT.VR

erstellt durch: Agrarprodukt Poseritz GmbH



Datum: 04.12.2020

© GeoBasis-DE/M-V VR



Bearbeiter: Ziann  
Gemarkung: Frankenthal (133132)  
Flur: 11  
Maßstab dieses Auszugs: 1: 4763

Agricon GmbH  
Im Wiesengrund 4  
OT Jahna  
04749 Ostrau  
Deutschland



LWB Max Mustermann  
Im Wiesengrund 4  
04749 Jahna

**Rechnungsanschrift:**  
LWB Max Mustermann, Max Mustermann  
Im Wiesengrund 4  
04749 Jahna

**Lieferanschrift:**  
LWB Max Mustermann, Max Mustermann  
Im Wiesengrund 4  
04749 Jahna

## Angebot

KA24124  
Kundennummer: DE99999

**Angebotsdatum:**  
12.11.2020

**Zahlungsbedingung:**  
50 % bei Auftrag / 50 % bei Lieferung  
(jeweils zahlbar innerhalb 14 Tage)

**Ablaufdatum:**  
12.12.2020  
**Verkäufer:**  
Melanie Förster  
+49 (0) 34324 524 374  
melanie.foerster@agricon.de

Pos.	Beschreibung	Menge	Preis/ME	Umsatzsteuer	Verkaufspreis
1	<b>[106367] Sensorpaket Yara N-Sensor ALS 2</b> - Messung der aktuellen N-Aufnahme - 24 h Einsetzbar - Messfläche 6 - 8 m [nach Aufbauhöhe] - Taukorrektur - Montage auf Dach Trägerfahrzeug  inkl. Modul N-Düngung - agronomische Regelfunktion zur N-Düngung (Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Triticale, Durum, Sommergerste, Hafer, Winterraps, Mais und Kartoffel)  inkl. Modul Absolut Düngung Raps  inkl. Modul Zielwertdüngung  inkl. Modul Sensor Bonitur - Herbstscan zur Streukartenberechnung  inkl. Standard Montage Kit [Alternativ: Spezialmontagekit für ausgewählte Claas, John Deere und Fendt Traktoren] inkl. Montage vor Ort - Installation des Sensorsystems auf dem Trägerfahrzeug - Installation Terminal und Verkabelung - Anschluss an kompatible Applikationstechnik  Lieferzeit: 8 - 10 Wochen ab Beauftragung	1.00 Stück	27.400,00	16% USt	27.400,00 €

Telefon: +49 34324 524 300 • Fax: +49 34324 524 400 • E-Mail: info@agricon.de

HRB 113786 Amtsgericht Chemnitz • USt-ID-Nr. DE 189 262 281 • Geschäftsführer: Peer Leithold, Hermann Leithold

Seite: 1 / 3

Pos.	Beschreibung	Menge	Preis/ME	Umsatzsteuer	Verkaufspreis
2	<p><b>[106451] Sensorpaket ALS 2 - aufgelöste Bauform</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Messung der aktuellen N-Aufnahme</li> <li>- 24 h Einsetzbar</li> <li>- Messfläche 6 - 8 m [nach Aufbauhöhe]</li> <li>- Taukorrektur</li> <li>- Montage auf Dach Trägerfahrzeug</li> </ul> <p>inkl. Modul N-Düngung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- agronomische Regelfunktion zur N-Düngung (Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Triticale, Durum, Sommergerste, Hafer, Wintererbsen, Mais und Kartoffel)</li> </ul> <p>inkl. Modul Absolut Düngung Raps</p> <p>inkl. Modul Zielwertdüngung</p> <p>inkl. Modul Sensor Bonitur</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Herbstscan zur Streukartenberechnung</li> </ul> <p>inkl. Standard Montage Kit</p> <p>[Alternativ: Spezialmontagekit für ausgewählte Claas, John Deere und Fendt Traktoren]</p> <p>inkl. Montage vor Ort</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Installation des Sensorsystems auf dem Trägerfahrzeug</li> <li>- Installation Terminal und Verkabelung</li> <li>- Anschluss an kompatible Applikationstechnik</li> </ul> <p>Lieferzeit: 8 - 10 Wochen ab Beauftragung</p>	1.00 Stück	24.400,00	16% USt	24.400,00 €
3	<p><b>[106462] Komplettsystem Agricon Touch 1000</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- seriell einsetzbares Bedienterminal für YARA N-Sensor</li> <li>- Software-agriOS, Software PF-Box</li> <li>- 4G Modem GPRS/UMTS/LTE für Datentransfer und Fernwartung (Netzabdeckung durch Mobilfunkanbieter vorausgesetzt)</li> <li>- GPS Empfänger zur geocodierten Datenaufzeichnung/Streukarten-Applikation</li> <li>- Display- Schutzfolie</li> <li>- Fahrzeughalterung, Strombox und Kabelsatz</li> </ul>	1.00 Stück	3.625,00	16% USt	3.625,00 €
4	<p><b>[106361] Servicepaket N-Düngung</b></p> <p>inkl. Schulung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zentrale Nutzerschulung für 2 Personen</li> <li>- Agronomie N-Düngung mit dem N-Sensor</li> <li>- Bedienung in Theorie und Praxis</li> <li>- Datenmanagement</li> </ul> <p>inkl. Beratung zur Saison</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 Termine vor Ort durch einen Agricon Mitarbeiter</li> <li>- Feldbegehung und Bestandseinschätzung</li> <li>- Bedienung und Arbeit mit N-Tester, N-Sensor und agriPORT</li> </ul> <p>Das Servicepaket gilt nur im Zusammenhang mit [106348] Grundpauschale und [106353] Modul N-Düngung. Nach 12 Monaten geht es automatisch ins Schulungs- und Wartungspaket über mit jährlichen Kosten von 650 €.</p>	1.00 Pauschale	2.750,00	16% USt	2.750,00 €
5	<p><b>[104256] YARA N-Tester</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Handgerät zur Bestimmung des aktuellen N-Düngebedarfes in Wintergetreide und anderen Kulturen</li> </ul>	1.00 Stück	2.100,00	16% USt	2.100,00 €



# NEXT Farming

FarmFacts GmbH, Rennbahnstraße 9, 84347 Pfarrkirchen

Magnus Natzius

20.11.2020

Sehr geehrter Magnus Natzius,

bezugnehmend auf unser heutiges Gespräch habe ich Ihnen die einzelnen Positionen zu Ihrer Übersicht in einem verbindlichen Angebot aufgelistet.

In diesem Angebot sind alle gemeinsam besprochenen Anforderungen berücksichtigt. Für Rückfragen erreichen Sie mich unter Mobil +49 1514 4024979.

Es ist meine Überzeugung, dass Ihnen das angebotene EDV System einen hohen Nutzen bringen wird und ich sage Ihnen bereits heute eine prompte Lieferung und eine kompetente Betreuung zu.

Ich hoffe, dass Ihnen dieses Angebot zusagt und freue mich auf eine weitere erfolgreiche Zusammenarbeit.  
Mit freundlichen Grüßen

*i. A. Burow*

**i.A. Steven Burow**

17192 Waren (Müritz)  
Tel.: +49 1514 4024979  
Mail: [steven.burow@farmfacts.de](mailto:steven.burow@farmfacts.de)

**Sitz der Gesellschaft**  
84347 Pfarrkirchen  
Amtsgericht Landshut  
HRB 2513

**Bankverbindung 1**  
Sparkasse Rottal-Inn  
BIC BYLADEM1EGF  
IBAN DE72 7435 1430 0570 0328 70

**Bankverbindung 2**  
Sparkasse Rottal-Inn  
BIC BYLADEM1EGF  
IBAN DE39 7435 1430 0570 0310 39

**USt-IdNr.** DE811491345  
**Steuer-Nr.** 141/115/9C061

**Geschäftsführung**  
Gunnar Zinknehn Rhoocoos

**FarmFacts GmbH**  
Rennbahnstraße 9  
84347 Pfarrkirchen  
Tel. +49 8561 300690  
Fax +49 8561 5012

**Büro Hofgeismar**  
Bahnhofstraße 1  
34369 Hofgeismar  
Tel. +49 5671 50030  
Fax +49 5671 50035

**Büro Kleinbardau**  
Kleinbardauer Hauptstraße 10  
04668 Grimma  
Tel. +49 3437 76010  
Fax +49 3437 760120

**Internet**  
[www.farmfacts.de](http://www.farmfacts.de)  
[www.nextfarming.world](http://www.nextfarming.world)  
[info@farmfacts.de](mailto:info@farmfacts.de)  
[info@nextfarming.de](mailto:info@nextfarming.de)



Vertriebs- und Serviceteam VT Nord - Steven Burow

Angebot für:

Magnus Natzius

Kundennummer:

Angebotsnummer

Gültig bis:

Ansprechpartner: Magnus Natzius

Telefon:

Pos.	Artikel	Menge	Einzelpreis	Preis
1	<b>NEXT GreenSeeker PROFI PACKAGE - 500kg</b> 210 028 4 Sensor Fmx Paket inkl. Datenkabel, ISOBOX Eigenschaften des GreenSeekers: • Schnittstellen zu allen regelbaren Düngerstreuern, Spritzen oder anderer Ausbringtechnik. • Volle Kompatibilität durch herstellerunabhängige • Anbindung an Bordcomputer mittels ISOBUS. • Möglichkeit des MapOverlay. • Dynamische Kalibrierung während der Fahrt. • Aktives System mit eigener Lichtquelle. • Universeller Kabelbaum mit Anschlussdose Front und • Anschlussdose Kabine • Variables Frontgewicht bis 500 kg (Erweiterbar auf bis zu 1.250 kg) • Sprachen: Deutsch, Englisch, Russisch, Polnisch, Tschechisch und Ungarisch  Vorteile des NEXT Farming GreenSeekers: • Optimierung der Gabe von Düngemitteln und Wachstumsregulatoren durch teilflächenspezifische Applikation. • Kosten werden gesenkt und die Umwelt geschont. • Setzen Sie Ihre schlagspezifische Strategie um. Sie bestimmen das Mittel und die Höchst bzw. Mindestmengen. • Einsatz auch in frühen Entwicklungsstadien möglich. • Bei Raps: Berechnung des Nährstoffbedarfs durch Kartierung vor Vegetationspause. • Einsatz zu jedem Stadium der Fruchtarten möglich. • Kostenvorteil gegenüber andere, aktiven Systemen.	1	20.900,00 €	20.900,00 €
			<b>Summe</b>	<b>20.900,00 €</b>

Wir würden uns freuen Ihren Auftrag zu erhalten. Bei Fragen zögern Sie bitte nicht uns zu kontaktieren. Ihr Vertriebs- und Serviceteam NORD der FarmFacts GmbH

**Auftrag per Fax an 05671-500355 oder per Mail an [steven.burow@farmfacts.de](mailto:steven.burow@farmfacts.de)**

Auftrag erteilt am:

Stempel/Unterschrift:

Unseren Leistungen liegen unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen (nextfarming.world/agb) sowie für die jeweils gebuchten NEXT Farming Module die Nutzungsbedingungen (nextfarming.world/nutzungsbedingungen) zugrunde. Erfüllt der Kunde seine Mitwirkungspflicht (z. B. Informationserteilung, etc.) trotz Aufforderung nicht, ist FarmFacts berechtigt, den Auftrag fristlos zu kündigen und der Kunde verpflichtet bis zu 5% der vereinbarten Auftragsvergütung zu bezahlen. Überschreitet die Auftragssumme einen Wert von €1520 nicht, sind die bei der FarmFacts entstandenen Aufwandskosten i.H.v. €76 bei Stornierung zu bezahlen. Dem Kunden bleibt der Nachweis eines geringeren Schadens der FarmFacts unbenommen. Alle angegebenen Nettopreise gelten zzgl. der zum Zeitpunkt der Lieferung/Leistung gültigen Umsatzsteuer. Sollte zum Zeitpunkt der Lieferung oder Ausführung der sonstigen Leistung ein anderer Umsatzsteuersatz gelten, kann die gesetzlich geschuldete Umsatzsteuer in der Rechnung von der in diesem Beleg angegebenen Umsatzsteuer abweichen.

Alle Preise verstehen sich zzgl. gesetzlicher Mehrwertsteuer, Porto-, Verpackungs- und Versicherungspauschale.

Hochschule Neubrandenburg - Kfzr.: 12463 - Steven Burow - VT Nord

Gültig 20.02.2021 Angebotsnummer: 15659 - 57523

# NEXT Farming

FarmFacts GmbH, Rennbahnstraße 9, 84347 Pfarrkirchen

Magnus Natzius

20.11.2020

Sehr geehrter Magnus Natzius,

bezugnehmend auf unser heutiges Gespräch habe ich Ihnen die einzelnen Positionen zu Ihrer Übersicht in einem verbindlichen Angebot aufgelistet.

In diesem Angebot sind alle gemeinsam besprochenen Anforderungen berücksichtigt. Für Rückfragen erreichen Sie mich unter Mobil +49 1514 4024979.

Es ist meine Überzeugung, dass Ihnen das angebotene EDV System einen hohen Nutzen bringen wird und ich sage Ihnen bereits heute eine prompte Lieferung und eine kompetente Betreuung zu.

Ich hoffe, dass Ihnen dieses Angebot zusagt und freue mich auf eine weitere erfolgreiche Zusammenarbeit.  
Mit freundlichen Grüßen

*i. A. Burow*

**i.A. Steven Burow**

17192 Waren (Müritz)  
Tel.: +49 1514 4024979  
Mail: [steven.burow@farmfacts.de](mailto:steven.burow@farmfacts.de)

**Sitz der Gesellschaft**  
84347 Pfarrkirchen  
Amtsgericht Landshut  
HRB 2513

**Bankverbindung 1**  
Sparkasse Rottal-Inn  
BIC BYLADEM1EGF  
IBAN DE72 7435 1430 0570 0328 70

**Bankverbindung 2**  
Sparkasse Rottal-Inn  
BIC BYLADEM1EGF  
IBAN DE39 7435 1430 0570 0310 39

**USt-IdNr.** DE811491345  
**Steuer-Nr.** 141/115/9C061

**Geschäftsführung**  
Gunnar Zinkahn Rhoocoos

**FarmFacts GmbH**  
Rennbahnstraße 9  
84347 Pfarrkirchen  
Tel. +49 8561 300690  
Fax +49 8561 5012

**Büro Hofgeismar**  
Bahnhofstraße 1  
34369 Hofgeismar  
Tel. +49 5671 50030  
Fax +49 5671 50035

**Büro Kleinbardau**  
Kleinbardauer Hauptstraße 10  
04668 Grimma  
Tel. +49 3437 76010  
Fax +49 3437 760120

**Internet**  
[www.farmfacts.de](http://www.farmfacts.de)  
[www.nextfarming.world](http://www.nextfarming.world)  
[info@farmfacts.de](mailto:info@farmfacts.de)  
[info@nextfarming.de](mailto:info@nextfarming.de)





Barverkauf Cloppenburg  
Zum Brook 30  
49661 Cloppenburg

**49661 Cloppenburg  
Zum Brook 30**

Tel. (04471) 189-0  
Fax (04471) 189-190  
info@abc-bruns.de

USt-IdNr.: .

Verkäufer: Michael Hüninghake, Tel: +49 (0) 4471/189-312

**Angebot AN20104419**

Belegdatum 20.11.20  
Ihre Kundennr. 10000

Seite 1

Beschreibung	Menge	VK-Preis	Betrag
<b>Angebot CropXplorer Pro Neugerät</b>			
001 FZ-UT17800 SENSOR o Pflanzensensorsystem mit zwei Messköpfen o Aluminiumleichtbaugeräteträger mit 6,91 m Arbeitspannweite o elektrischer Auslegerantrieb, Bluetooth-Datenübertragung zum Terminal und GPS-Empfänger (Genauigkeit +/- 1m) incl. Stromversorgungskabel o 11,6 Zoll Touchscreen Terminal, Stromversorgung 12V und 230 V mit Halterung o Applikationssoftware zur Freien Kalibrierung mit Map-Overlay zur optimalen Bestandeführung in Abhängigkeit des Ertragspotentials in der Teilfläche incl. Dokumentation o Einpunkt-Modus Kalibrierung an einer Stelle des Feldes mit Einstellungstabelle für die Steigung in Abhängigkeit vom Pflanzenwachstumsstadium o Zweipunkt-Modus Kalibrierung an zwei Stellen des Feldes o Kartiermodus zum georeferenzierten Aufzeichnen von Pflanzen-Messdaten Im Lieferumfang enthalten: Serielle Kabelverlängerung FZ-UT-17535 und Adapter für Nullmodem FZ-UT-17625 Für den Anbau ist eine Anbaukonsole notwendig:	1 Stück	29.000,00	29.000,00
001 FZ-UT15690 KONSOLE - 3-Punkt-Anbaukonsole mit Rollen - Aufnahme für Weiste-Dreieck - Einfaches Handling des abgebauten Geräts durch verschieben des Rollenbocks.	1 Stück	1.600,00	1.600,00



**BRUNS**  
Land- und Baumaschinen



17390 Klein Dünzow  
Dorfstraße 38a  
Tel. (039724) 251-0  
Fax (039724) 251-11  
buenzow@abc-bruns.de

26180 Rastede  
Rehormweg 11  
Tel. (04402) 86392-0  
Fax (04402) 86392-29  
rastede@abc-bruns.de

26219 Bösel  
Friesoyther Straße 14  
Tel. (04494) 9292-0  
Fax (04494) 9292-29  
boesel@abc-bruns.de

26607 Aurich-Sandhorst  
Borsigstraße 23  
Tel. (04941) 60409-0  
Fax (04941) 60409-29  
aurich@abc-bruns.de

26899 Rhede/Brual  
Dorfstraße 63a  
Tel. (04964) 605599-0  
Fax (04964) 605599-9  
rhede@abc-bruns.de

38895 Langenstein  
Harzblick 11  
Tel. (03941) 58337-0  
Fax (03941) 58337-18  
langenstein@abc-bruns.de

49733 Haren-Emmeln  
Heinrichstraße 5  
Tel. (05932) 7270-0  
Fax (05932) 7270-40  
haren@abc-bruns.de

49699 Lindern  
Fehnstraße 1  
Tel. (05957) 9678-0  
Fax (05957) 9678-29  
lindern@abc-bruns.de

[www.abc-bruns.de](http://www.abc-bruns.de)

August **BRUNS** Landmaschinen GmbH · Postfach 1880 · 49648 Cloppenburg

Barverkauf Cloppenburg  
Zum Brook 30  
49661 Cloppenburg

**49661 Cloppenburg  
Zum Brook 30**

Tel. (04471) 189-0  
Fax (04471) 189-190  
info@abc-bruns.de

USt-IdNr.: .

Verkäufer: Michael Hüninghake, Tel: +49 (0) 4471/189-312

**Angebot AN20104419**

Belegdatum 20.11.20  
Ihre Kundenr. 10000

Seite 2

Beschreibung	Menge	VK-Preis	Betrag
		<b>Total EUR</b>	<b>30.600,00</b>
		16% MwSt.	4.896,00
		<b>Total EUR</b>	<b>35.496,00</b>

Zahlungsbedingungen 8 Tage netto Kasse  
Lieferbedingung Abholung

August Bruns Landmaschinen GmbH  
Zum Brook 30, 49661 Cloppenburg  
Geschäftsführer: Walter Bruns, Georg Wichmann, Markus Hülsmann  
Eingetragenes Amtsgericht Oldenburg HRB 150526  
USt-IdNr.: DE 117 115 148

**Bankverbindungen:**  
Bremer Landesbank IBAN DE 53 2905 0000 3003 1120 05 BIC BRLADE22XXX  
Commerzbank IBAN DE 15 2904 0090 0431 2740 00 BIC COBADEFFXXX  
Landessparkasse IBAN DE 31 2805 0100 0080 4339 31 BIC SLZODE22XXX  
OLB IBAN DE 71 2802 0050 3002 7296 00 BIC OLBODEH2XXX



< Übersicht

## SKYFLD - Ha



**1.750,00 € \***

zzgl. MwSt.

1000

In den Warenkorb

Merken

Artikel-Nr.:

KG10000

Beschreibung

Zur Suche Text hier eingeben

13:05  
09.12.2020

parameter verwendet, werden Kulturen.

## irix sagt wie viel, atfarm sagt wo

Die App YaraIrix macht das eigene **Smartphone zum N-Tester**. Sie ermittelt den aktuellen N-Bedarf der Pflanzen. So hilft sie, die insgesamt limitierte N-Menge auf die düngewürdigsten Kulturen aufzuteilen. Die App basiert auf dem seit Langem erprobten **Yara-N-Tester**.

Mit dem online-Werkzeug atfarm lassen sich die so ermittelten N-Mengen im Anschluss leichter exakt auf den Teilflächen ausbringen. Das wird möglich, indem das Tool anhand der aus Satellitendaten ermittelten Biomasseentwicklung teilflächengenau N-Applikationskarten erstellt.

## Das kosten App und Tool

Das Abo für den Bluetooth-N-Tester im Paket **YaraIrix** kostet unabhängig von der Betriebsgröße 295 Euro im Jahr.

Für **atfarm** mit Überwachung der Biomasse-Bestandsentwicklung dank kostenloser Satellitendaten werden pauschal 195 Euro im Jahr in Rechnung gestellt. Die erste variable Applikationskarte gibt es kostenlos, für weitere gilt der Pauschalpreis. Der bisherige Hektarpreis entfällt.

## Begrenzte Menge effektiver düngen

Beide Programme beruhen auf wissenschaftlichen Methoden. Das Werkzeug zur Optimierung hilft, den Versorgungszustand im Getreide direkt vor der Düngergabe zu checken. Dabei lohnt es, alle zwei bis vier Wochen zu kontrollieren, wie sich die N-Gehalte entwickeln.

Bei längeren Beobachtung lässt sich der N-Bedarf präziser ermitteln. So lassen sich genau jene Kulturen optimal versorgen, die den Stickstoff am besten verwerten. In den roten Gebieten fördert das die bestmögliche Verwertung der limitierten Düngermenge über die Flächen und Kulturen.

Mit Material von Yara

 Jobname oder Unternehmen

Traumjob finden

[Alle Stellenangebote anzeigen](#)

## Märkte und Preise

Pflanzen	Tiere	Futtermittel
<b>Produkt</b>	<b>52. KW 2020</b>	<b>± Vorwoche</b>
A-Weizen	187,57 EUR/t	+0,99
Brotweizen	185,64 EUR/t	+0,86
Braugerste	173,49 EUR/t	+0,90
Körnermais	184,27 EUR/t	+1,33
Raps	390,97 EUR/t	+3,89

[Alle Marktpreise anzeigen](#)

[agrarheute-Newsletter](#)



 Zur Suche Text hier eingeben



22:49

08.01.2021

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, Magnus Natzius, an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema „Sensorgestützte Stickstoffdüngung – technische Beschreibung und ökonomische Analyse“ selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Ich bin damit einverstanden, dass meine Bachelorarbeit in der Hochschulbibliothek eingestellt wird.