

# Multidisziplinäre Überlegungen zur nachhaltigen N-Düngung unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der satellitengestützten Präzisionslandwirtschaft

FRANCESCO VUOLO<sup>1</sup>, LAURA ESSL<sup>1</sup>, TARU SANDÉN<sup>2</sup> & HEIDE SPIEGEL<sup>2</sup>

*Im Forschungsprojekt FATIMA wurde ein integrierter Ansatz für die Optimierung des Stickstoffmanagements gewählt. Neben der technischen Komponente, die die Verarbeitung von Sentinel-2 Satellitendaten umfasste, wurden auch die sozialen und ökonomischen Aspekte eines verbesserten Nährstoffmanagements untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass LandwirtInnen durchaus an neuen Technologien zur teilflächenspezifischen Stickstoffausbringung interessiert sind. Auch wirtschaftlich lässt sich eine Reduktion der Stickstoffmengen argumentieren. Im Zuge des Projekts wurde nicht nur ein Feldversuch für die Validierung der Satellitendaten und als Grundlage einer ökonomischen Analyse angelegt, sondern auch eine funktionierende Online-Anwendung für teilflächenspezifische Düngung basierend auf aktuellen und historischen Satellitenbildern entwickelt und getestet.*

## 1 Einleitung

Eine Optimierung des Stickstoffmanagements hat positive Auswirkungen auf die unmittelbare Umwelt und trägt zum Klimaschutz bei. Die Ergebnisse des aktuellen Grundwassermonitorings des Umweltbundesamtes zeigen, dass gerade in den landwirtschaftlich genutzten Regionen Österreichs die Nitratwerte über dem für Trinkwasser festgesetzten Wert von 50 mg/l liegen und diese Gebiete als voraussichtliche Maßnahmenggebiete oder Beobachtungsgebiete ausgewiesen werden (UMWELTBUNDESAMT 2016). Empfohlene Maßnahmen, die den Düngereintrag reduzieren sollen, sind verbesserte Düngeplanung, -ausbringung und Bilanzierung basierend auf Bodenproben.

Neben verstärkter Bewusstseinsbildung und finanziellen Anreizen für ein verbessertes Stickstoffmanagement im Zuge der Gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union, ermöglichen auch neue Technologien, die mit Hilfe von Sensoren, Fernerkundungs- oder Bodendaten arbeiten, das Nährstoffmanagement effizienter zu gestalten.

Das H2020-Forschungsprojekt FATIMA (Farming Tools for external Inputs and water Management) hat zum Ziel, die durch den Start der Sentinel-2 Mission der European Space Agency verfügbaren Satellitendaten für verbessertes Ressourcenmanagement im Bereich Düngemanagement anzuwenden. Bisher gibt es nur wenige funktionierende Ansätze, die diese Daten in funktionierende Entscheidungshilfen für Landwirte umwandeln.

---

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur, Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation, Peter-Jordan Straße 82, A-1190 Wien, E-Mail: [francesco.vuolo, laura.essl]@boku.ac.at

<sup>2</sup> Österreichische Agentur für Ernährungssicherheit, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien, E-Mail: [taru.sanden, adelheid.spiegel]@ages.at

## 2 Problemstellung

Bei der Frage nach dem optimalen Stickstoffdüngereinsatz spielen verschiedene Einflussfaktoren eine Rolle: wieviel Stickstoff bringt unter den gegebenen Standortbedingungen den optimalen Ertrag für eine bestimmte Kultur unter Berücksichtigung der Umwelterfordernisse und welche Anwendungsstrategie ist wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll?

An diesem Punkt setzte das EU-Forschungsprojekt FATIMA an: neben der Entwicklung von neuen Technologien basierend auf Fernerkundungsdaten der Satelliten Sentinel-2 wurde auch die soziale und ökonomische Komponente der Einzug haltenden „Landwirtschaft 4.0“ beleuchtet. Forscher der Universität für Bodenkultur und der AGES stellten sich den Fragen, wie Stickstoffmanagement verbessert werden kann und ob die Landwirte in Österreich bereit für diesen Wandel sind.

## 3 Methode

Als erste Komponente in dem dreistufigen Prozess (siehe Abbildung 1) wurde die Aufgeschlossenheit und das bestehende Wissen über satelliten- oder sensorunterstützte Düngung abgefragt. Die Ergebnisse bestätigten das Interesse der Landwirte und in einem zweiten Schritt wurden Versuchsflächen in der Region Marchfeld, welches als voraussichtliches Maßnahmenggebiet eingestuft ist, angelegt. Der Feldversuch diente der Validierung der Satellitendaten, gab aber auch aufschlussreiche Informationen über die ökonomische Komponente variabler Düngermengen. In einem letzten Schritt wurde eine Anwendung entwickelt, um die teilflächenspezifische Düngung auf zwei unter echten Bedingungen bewirtschafteten Flächen zu testen und den Schritt von der Theorie in die Praxis zu wagen. Die Ergebnisse bieten ein umfassendes, integriertes Bild der Herausforderungen, aber auch Möglichkeiten von neuen Technologien im Bereich Düngemanagement. Die drei methodischen Komponenten werden in den folgenden Kapiteln genauer geschildert.

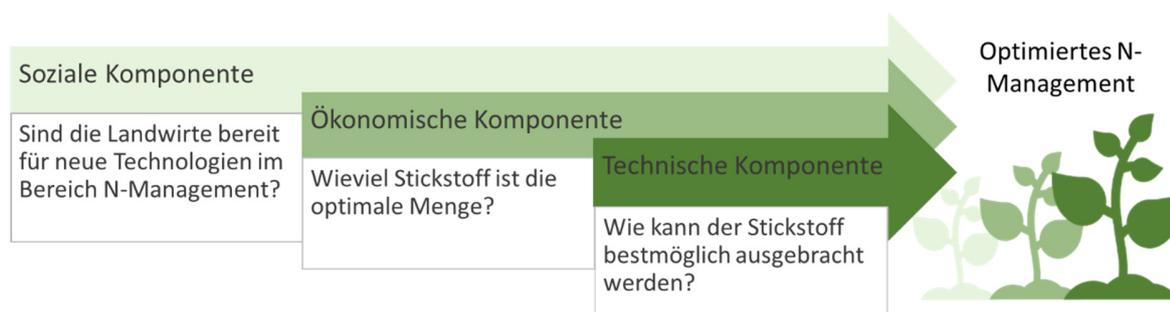


Abb. 1: Der Weg zu verbessertem Stickstoffmanagement im Projekt FATIMA

### 3.1 Soziale Komponente

Um herauszufinden, ob Österreich bereit für neue, teilflächensbasierte Lösungen im Bereich Stickstoffmanagement ist, startete Die Freie Universität Amsterdam (IVM) in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur (BOKU) eine Umfrage unter niederösterreichischen Landwirten und Landwirtinnen. Die Umfrage wurde in persönlichen Interviews von Studierenden der BOKU im

Zeitraum November 2016 – Februar 2017 mit Unterstützung der Landwirtschaftskammer Niederösterreich (NÖ) durchgeführt. Der Fragebogen bestand aus einem allgemeinen Teil mit Fragen zum Betrieb und einem Choice Experiment, in dem die Landwirte und Landwirtinnen aus verschiedenen innovativen Optionen des Düngemanagements wählen konnten.

Den Landwirten und Landwirtinnen wurden drei Kategorien von Technologien für teilflächenspezifischer Stickstoffausbringung vorgestellt:

- Voll automatisierte Technologien (z.B. auf dem Traktor angebrachter Sensor)
- Teilweise automatisierte Technologien (z.B. Applikationskarten zur direkten Verwendung am Bordcomputer)
- Nicht automatisierte Technologien (z.B. Kartenmaterial mit ausgewiesenen Zonen)

Den TeilnehmerInnen wurden drei mögliche Optionen unter Berücksichtigung verschiedener Eigenschaften der einzelnen Technologien vorgestellt. So wiesen die drei vorgestellten Technologiegruppen unterschiedliche Kosten, Düngereinsparungspotenzial, Ertragssteigerungspotenzial, Beratungsangebot und Grundwasserverbesserungspotenzial auf. Den Landwirten und Landwirtinnen wurde sogenannte „choice cards“ (siehe Abbildung 2) präsentiert, auf denen sie für ihren Betrieb am ehesten geeignete Lösung auswählen konnten. Auch die Wahl keines der drei Systeme war möglich. Aus den Antworten konnte die Investitionsbereitschaft, aber auch die Wichtigkeit der einzelnen Kriterien abgeleitet werden. Eine genauere Beschreibung der Methode findet sich bei Blasch (BLASCH et al. 2018).

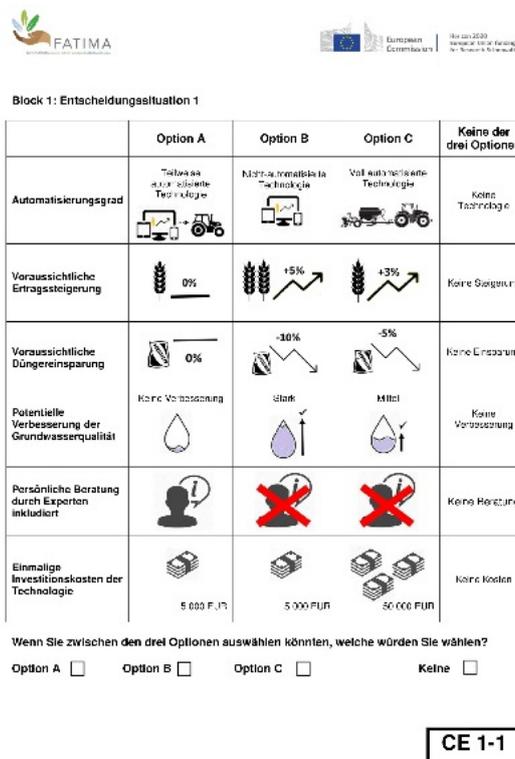


Abb. 2: Beispiel einer Choice Karte mit den verschiedenen Optionen zum optimierten Düngemanagement

An der Studie nahmen 242 niederösterreichische Landwirte und Landwirtinnen teil. Der Großteil der Landwirte und Landwirtinnen stammte aus den Regionen Marchfeld, Weinviertel, Wiener Becken und Tullnerfeld. Die Befragten waren zumeist EigentümerInnen (82%) von Familienbetrieben (95%). Die Betriebsgrößen bewegten sich etwas über dem niederösterreichischen Durchschnitt von 42 ha (Grüner Bericht, 2016).

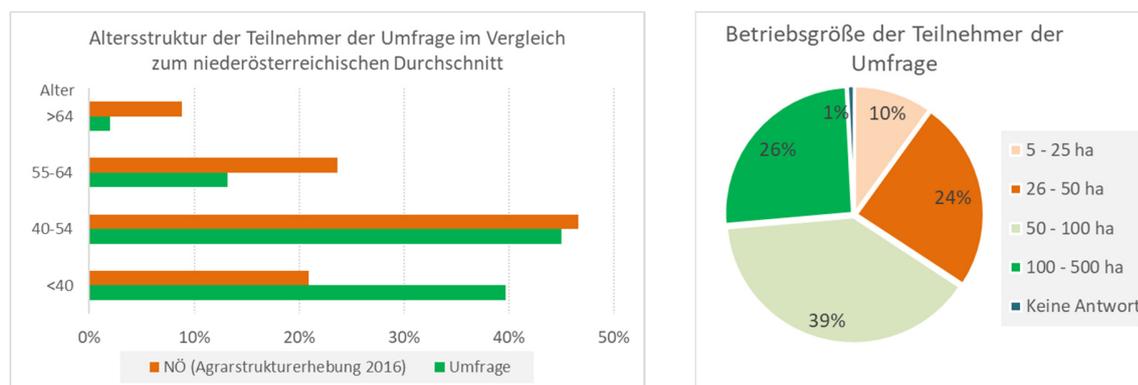


Abb. 3: Teilnehmercharakteristika der Umfrage

Zwei Drittel der befragten Landwirte und Landwirtinnen bewirtschafteten mehr als 50 ha, 26% sogar mehr als 100ha. Die TeilnehmerInnen der Umfrage wiesen ein jüngeres Durchschnittsalter als der niederösterreichische Durchschnitt auf (siehe Abbildung 3). Die Landwirte und Landwirtinnen waren zudem meist TeilnehmerInnen der Arbeitskreise der Landwirtschaftskammer NÖ. Die Untersuchung der Charakteristika der UmfrageteilnehmerInnen ergibt einen im Vergleich zum Durchschnittsbetrieb (NÖ Agrarstrukturerhebung 2016) jüngeren, mit größerer Fläche ausgestatteten und an Neuigkeiten im Agrarsektor interessierten Betriebsführer oder Betriebsführerin.

### 3.2 Ökonomische Komponente

Im Laufe des Projekts FATIMA konnte in zwei Jahren der Einsatz verschiedener Düngemengen für Winterweizen auf Probeflächen getestet werden. Feldversuche mit Winterweizen (Sorte "Capo") wurden 2015/16 und 2016/17 auf dem Standort "Engelhartstetten" im Marchfeld (Niederösterreich) ( $48^{\circ}11'N$   $16^{\circ}55'E$ ) auf zwei benachbarten Feldern durchgeführt. Die Beschreibung des Standortes (Klima und Boden) ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Winterweizenversuche bestanden neben der Nulldüngungsvariante N0 (0 kg N) aus drei unterschiedlichen Düngungsstufen mit folgenden Gesamtdüngungsmengen (N1: 60 kg N; N2: 120 kg N; N3: 180 kg N), die als Kalkammonsalpeter gegeben und gleichmäßig auf drei Düngungstermine aufgeteilt wurden. Die Feldversuche bestanden aus einem randomisierten Blockdesign mit drei Wiederholungen, wobei die Parzellen jeweils 100 m x 100 m (1 ha) maßen. Ein Beispiel für die Anlage der Feldversuche (Winterweizen 2016) ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Phosphor- und Kaliumdüngung wurde entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW 2006) durchgeführt. Die Bewirtschaftungsdaten der Anbauperioden 2015/16 und 2016/17 sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 1: Beschreibung des Standortes Engelhartstetten

	Einheit	Engelhartstetten
Meter über NN	m	147
Mittlerer Jahresniederschlag (Ø1981-2010)	mm	516
Mittlere Jahrestemperatur (Ø1981-2010)	°C	10.3
Bodentyp (IUSS 2015)		Kalkhaltiger Tschernosem
Textur (Sand/Schluff/Ton)	%	(17.6/48.7/33.7)
pH-CaCl <sub>2</sub>		7.54
Karbonatgehalt	%	23.2
Organischer Kohlenstoff	%	2.36
N <sub>total</sub>	%	0.24

Tab. 2: Bewirtschaftungsdaten der Anbauperioden 2015/16 und 2016/17

Anbauperiode	2015/2016	2016/2017
Bodenbearbeitung	November 2015	9. und 11. November 2016
Saat	November 2015	15. November 2016
1. N Düngung	24. März 2016	16. März 2017
2 N Düngung	21. April 2016	25. April 2017
3 N Düngung	19. Mai 2016	30. Mai 2017
Ernte	26. Juli 2016	20. Juli 2017



Abb. 4: Schema des N Düngungsversuchs in Engelhartstetten (Marchfeld, Österreich) 2016. Hintergrundbild: Sentinel-2A Leaf Area Index (LAI) Karte vom 6. Mai 2016

Der Feldversuch diente neben der Validierung der Satellitendaten als Basis für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Düngemengen. Unter Berücksichtigung der Kosten für Dünger, Arbeitszeit, Maschineneinsatz, den Marktpreisen für Weizen im Juni der beiden Jahre und dem mit dem eingesetzten Dünger erwirtschafteten Ertrag und den erzielten Qualitäten wurde eine ökonomische Analyse der Wirtschaftlichkeit der Düngemaßnahmen durchgeführt.

### **3.3 Technische Komponente**

Die technische Komponente der Studie umfasste die Auswertung von Satellitendaten, um einerseits die wissenschaftlichen Aspekte der Projektaktivitäten zu unterstützen (VUOLO et al. 2017) und andererseits ein praktisch einsetzbares Werkzeug für die Stickstoffdüngung zu entwickeln. Letzteres wird in diesem Paper behandelt.

Für die praktische Anwendung wurden Sentinel-2 Daten verwendet, um den Blattflächenindex (Leaf Area Index LAI) während der gesamten Vegetationsperiode zu berechnen. Der LAI korreliert stark mit der vorhandenen Biomasse und eine Zusammenführung der Werte aus einer Vielzahl von Satellitenbildern zu verschiedenen Zeitpunkten gibt Aufschluss über die Produktivität der Kulturen unter den gegebenen Wachstumsbedingungen. Basierend auf dem LAI wurde ein einheitlicher Indikator für potentielle Produktivität entwickelt und für eine Optimierung der Stickstoffdüngung verwendet.

Außerdem wurde eine Online-Plattform für die automatische Erstellung der Managementzonen mit automatischer Segmentierung und der Ausgabe der jeweiligen Stickstoffdüngermengen entwickelt, in der die gewünschten Parameter der Düngegabe vom Nutzer individuell festgelegt werden können.

Die Satellitendaten und die LAI-Karten wurden aus dem Sentinel-2-Portal des Instituts für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL) der Universität für Bodenkultur bezogen (VUOLO et al. 2016). Die verarbeiteten Daten werden automatisch in einer Datenbank gespeichert und sowohl einzelne Bilder als auch die Produktivitätskarte stehen für die Erstellung der N-Applikationskarten zur Verfügung. Je nach Einsatzzeitpunkt können daher aktuelle oder historische Karten für die optimierte N-Düngung verwendet werden.

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Soziale Komponente**

Die TeilnehmerInnen wurden nach den für sie zurzeit größten Herausforderungen des Landwirtschaftssektors befragt. Die Marktbedingungen (1) wurden am öftesten genannt, gefolgt von den hohen bürokratischen Anforderungen (2) und extremen Wetterereignissen (3). Im Mittelfeld finden sich Themen mit Bezug zu Ressourcenverfügbarkeit wie Zugang zu Wasser (4) und Land (5). Umweltthemen, wie z.B. Bodendegradation und Stickstoffanreicherung im Grundwasser wurden nur von Wenigen als direkte Herausforderung für den Betrieb gesehen. Dennoch sehen es die Landwirte und Landwirtinnen als Notwendigkeit an, die Umwelt zu schützen und Maßnahmen für Umweltschutz am Betrieb zu treffen.

Um herauszufinden, ob eine generelle Innovations- und Investitionsbereitschaft besteht, wurden die UmfrageteilnehmerInnen gefragt, ob sie innerhalb der letzten fünf Jahre Investitionen getätigt

hatten. Zwei Drittel der Befragten hatten sowohl in verbessertes Management (z.B. Farm Management Software) als auch in bessere technische Ausrüstung investiert. Immerhin 40% konnten des Weiteren auf Innovationen im Bereich ihrer landwirtschaftlichen Praxis (z.B. Umstieg auf biologische Wirtschaftsweise oder reduzierte Bodenbearbeitung) verweisen. Diese Werte zeigen eine generell hohe Innovationsbereitschaft der TeilnehmerInnen.

Die Bereitschaft der TeilnehmerInnen, die bereits vorgestellten Optionen (voll- teilweise- oder nicht-automatisiert) auf ihrem Betrieb einzusetzen, wurde in einem Choice Experiment abgefragt. Alle drei Formen der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung, die vorgestellt wurden, waren den Landwirten und Landwirtinnen gut bekannt. Die Hälfte der Befragten gab an, den Erwerb von teilweise (51%) oder nicht (47%) automatisierten Technologien bereits in Erwägung gezogen zu haben. Das Interesse für die voll automatisierte Lösung war mit 14% weniger stark ausgeprägt. Die Auswertung des Choice Experiments ergab, dass 75% der Landwirte und Landwirtinnen generell bereit dazu sind, Technologien, die der exakteren Ausbringung von Stickstoff dienen, anzuwenden. Die TeilnehmerInnen haben allerdings unterschiedliche Präferenzen bezüglich der einzelnen vorgeschlagenen Technologien. Die voll automatische Sensorlösung wurde von den TeilnehmerInnen generell abgelehnt. Bei den anderen beiden Technologiegruppen ergab sich ein differenziertes Bild.

Während Technologieoptionen mit höheren Erträgen und Düngereinsparpotenzial von den Landwirten und Landwirtinnen nicht durchgehend bevorzugt wurden, zeigten eine persönliche Beratung sowie eine potenzielle Verbesserung der Grundwasserqualität einen signifikant positiven Einfluss auf die Investitionsbereitschaft. Auch die Kosten der Technologie spielen eine Rolle bei Anschaffung. Ein hoher Anschaffungspreis stößt erwartungsgemäß auf Ablehnung. Auch die Größe des Betriebs spielte eine Rolle bei der Auswahl. Größere Betriebe sind eher an teil- bzw. vollautomatisierten Systemen interessiert.

Eine weitere Beobachtung konnte gemacht werden: Konventionell wirtschaftende Landwirte und Landwirtinnen sind an teilflächenspezifischer Ausbringung interessierter als biologisch arbeitende Landwirte und Landwirtinnen. Dies kann auf die limitierten technischen Möglichkeiten sowie auf alternative Nährstoffversorgung über Leguminosen zurückgeführt werden.

## 4.2 Ökonomische Komponente

Das Ziel von Düngemaßnahmen ist vorrangig die Erzielung eines höheren Ertrags und eines höheren Deckungsbeitrags. Die im Zuge des FATIMA-Projekt angelegten Versuchsflächen bieten hervorragende Bedingungen für eine Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von variierenden Düngemengen.

Beim Vergleich der Stickstoffzufuhr und dem Ertrag, zeigte sich, dass erhöhter N-Einsatz nur bis zu einem gewissen Punkt zu höherem Ertrag führt. Ab einem gewissen Versorgungsgrad ist der Ertragszuwachs mit steigender Düngemenge nur noch gering und der Deckungsbeitrag verringert sich.

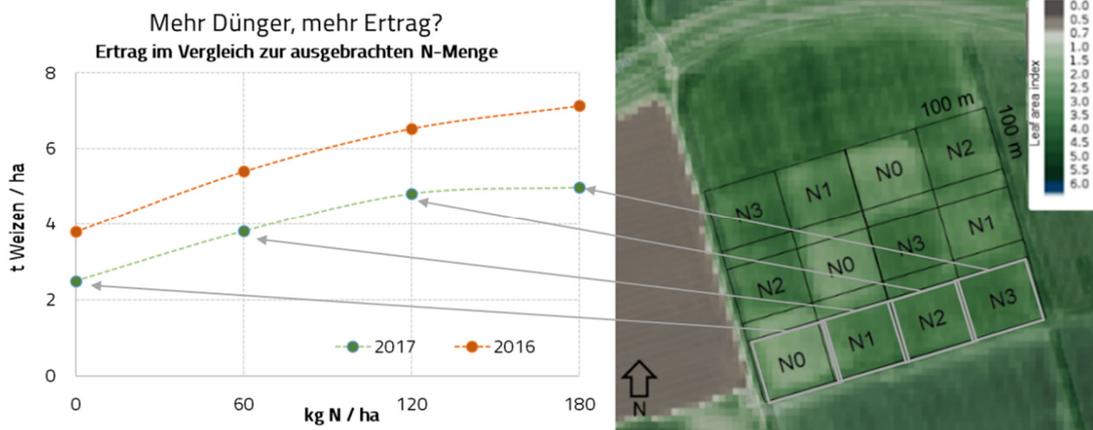


Abb. 5: N-Düngung und Ertrag der 4 Dünge­stufen

Abbildung 5 zeigt, dass die Ertragskurve mit erhöhtem Düngereinsatz abflacht. Ein ähnliches Bild zeigten bereits andere wissenschaftliche Feldversuche (HAWKESFORD 2014; WONG & ASSENG 2007).

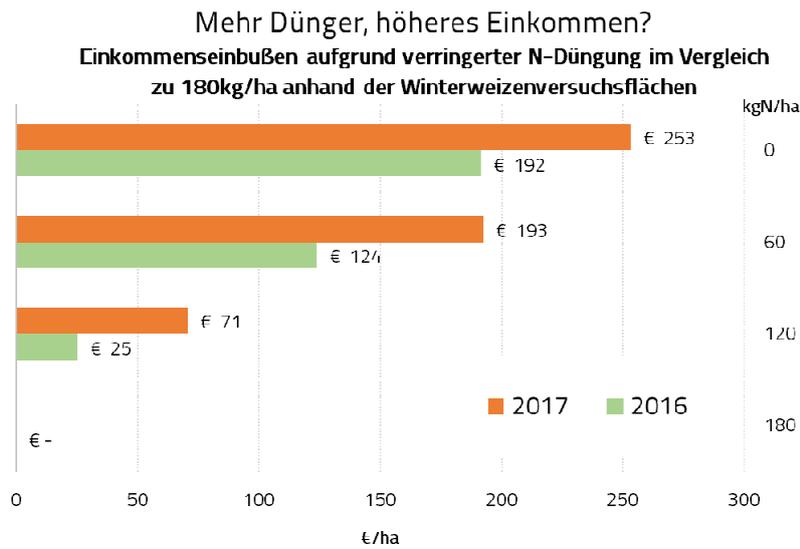


Abb. 6: Einkommenseinbußen aufgrund verringerter N-Düngung im Vergleich zu 180kg N/ha

Die ökonomische Analyse zeigt den folgenden Trend: Beim gänzlichen Verzicht auf Stickstoffdünger bewegen sich die Einkommenseinbußen im Vergleich zur höchsten Stufe im Bereich von 192-253 €/ha, sind also durchaus beträchtlich. Anders zeigt sich die Situation beim Vergleich von 120 kgN/ha und 180kgN/ha. Die Unterschiede liegen im Bereich von 25-71€/ha, wobei sich besonders 2016 aufgrund niedriger Abnahme- und höherer Stickstoffpreise der erhöhte Düngereinsatz kaum auszahlt. Die Daten basieren auf der Evaluierung der Versuchsflächen und können daher kein allgemeingültiges Bild geben, dennoch zeigen sie, dass höherer Düngereinsatz nicht immer mit höherem Einkommen gleichzusetzen ist.

Des Weiteren machen die Ergebnisse deutlich, dass die Einflussfaktoren eine große Rolle spielen. Nicht nur unterschieden sich Witterungsbedingungen und die aktuellen Marktpreise von Dünger und Weizen in den beiden Jahren, auch der erzielte Proteingehalt variierte innerhalb der beiden Jahre je nach Düngestufe beträchtlich.

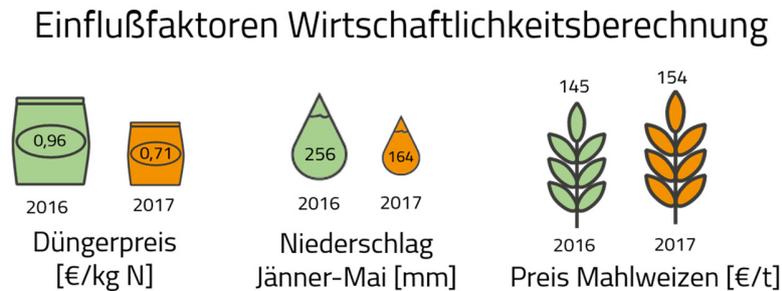


Abb. 7: Einflussfaktoren der Wirtschaftlichkeitsrechnung, Vergleich der beiden Jahre 2016 und 2017. Die Daten stammen von den Webseiten der AMA (Dünger) und der Landwirtschaftskammer NÖ (Getreidepreise) sowie aus eigenen Quellen (Niederschlag)

Die aufgrund der Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW 2017) empfohlene N-Düngermenge beläuft sich auf 110-130kg N/ha bei mittlerer Ertragsersparung. Um den N-Bedarf genau zu bestimmen, empfiehlt sich die Standorteigenschaften wie Boden- und Wasserverhältnisse, das N-Mineralisierungspotenzial, die tatsächliche Ertragsersparung und die Vorfrucht zu berücksichtigen. Ein einfach zu bedienendes Online-Tool (AGES Agrarcommander) wird auf der Website der AGES ([www.ages.at/service/service-landwirtschaft/agrar-online-tools](http://www.ages.at/service/service-landwirtschaft/agrar-online-tools)) bereitgestellt. Eine genauere Stickstoffdüngungsempfehlung ist auch auf der Basis von Frühjahrs-Nmin – Analysen möglich.

### 4.3 Technische Komponente

Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt der Produktivitätskarte, die für ganz Österreich erstellt wurde. Die Karte zeigt deutlich die räumlichen Muster, die für die Variabilität der Böden in Ostösterreich typisch sind. Ähnliche Strukturen sind auch Farb-Orthofotos der Region zu erkennen. Eine Validierung mit der Österreichischen Bodenkarte war aufgrund der großen Unterschiede in der Auflösung der beiden Karten nicht möglich. Alternativ dazu wurde eine Validierung auf Feldebene für zwei Felder vorgenommen.

Abbildung 9 zeigt den Vergleich zwischen den Werten der Produktivitätskarte und den Erntemengen der betreffenden Punkte für zwei Felder, die von Landwirten der Region unter konventionellen Bedingungen bewirtschaftet wurden. Die Ergebnisse zeigen eine positive Korrelation für beide Felder. Um noch aussagekräftigere Resultate zu erzielen, wird in Zukunft weitere Validierungsarbeit notwendig sein.

Die Produktivitätskarte wird Testnutzern in einer Online-Anwendung (Abbildung 10) zur Verfügung gestellt. Der Nutzer kann zwischen dem aktuellsten Satellitenbild oder der auf historischen Bildern basierenden Produktivitätskarte wählen, um die Zonen für teilflächenspezifische N-Düngung zu definieren.

Die notwendigen Eingabeparameter sind die Mindestfläche der einzelnen Zonen, die Unter- und Obergrenze der Stickstoffgabe sowie die gewählte Düngestrategie.

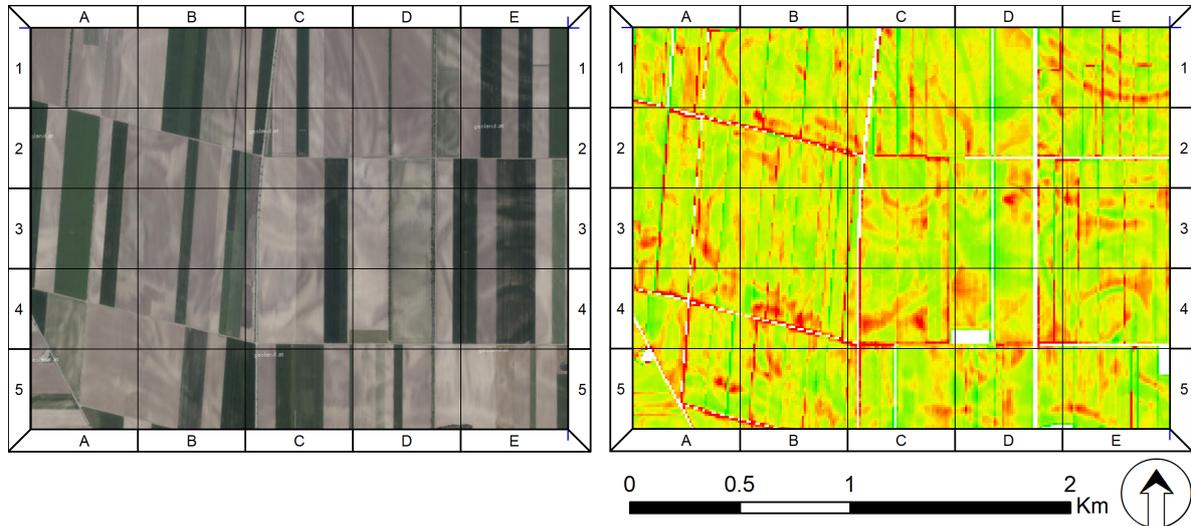


Abb. 8: Vergleich zwischen der Produktivitätskarte und einem hochauflösendem Geoland Basemap-Orthofoto in einem landwirtschaftlich genutzten Gebiet im Marchfeld.

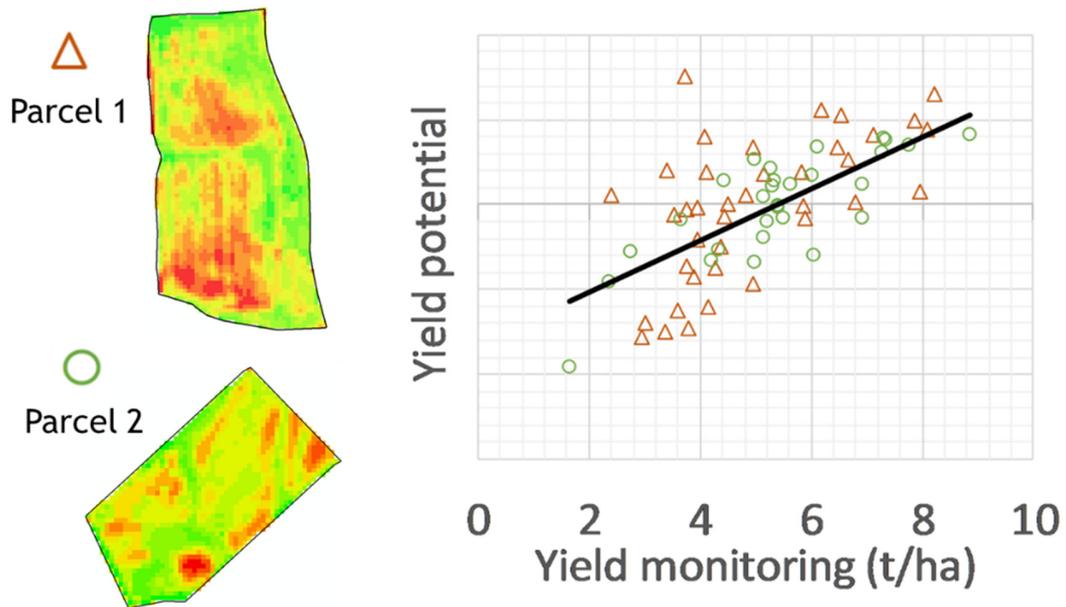
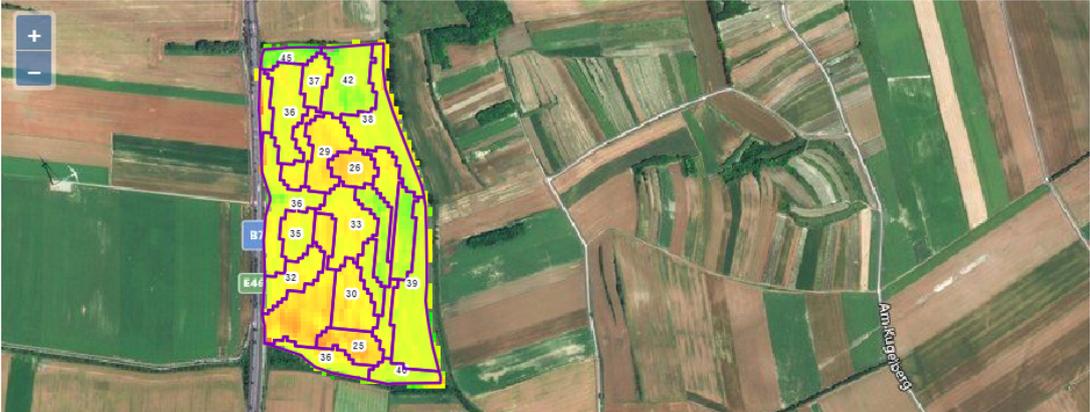


Abb. 9: Erntemengen (x-Achse) vs. Produktivität (y-Achse) für zwei Felder im Jahr 2017. Die Daten wurden für die einzelnen Managementzonen zusammengefasst.

### Step 1 - Define management zones

Parcel  Method

Min. zone area  ha  Number of management zones



### Step 2 - Modulate fertilization amounts

Minimum N  kg/ha Maximum N  kg/ha Management strategy

Avg nitrogen  kg/ha Total fertilizer  kg Total fertilizer cost  €

Abb. 10: Screenshot der Online-Anwendung für die Erstellung der Karte für die teilflächenspezifische N-Düngung.

Abbildung 11 zeigt die Kriterien, die dem Nutzer für die Auswahl der gewählten Datengrundlage dienen. Dies hängt hauptsächlich von der Pflanzenentwicklung zum Zeitpunkt der Erstellung der Karte ab. Typischerweise erfolgt bei Wintergetreide die erste Düngergabe vor dem Aufkommen der Pflanze und die räumliche Variabilität ist noch nicht aufgrund der unterschiedlich entwickelten Biomasse sichtbar. In diesem Fall wird die Produktivitätskarte für die Erstellung der Applikationskarte herangezogen. Für die zweite und dritte Düngung können aktuelle Satellitenbilder verwendet werden, um auf die aktuellen Bedingungen zu reagieren. Zwei verschiedene Strategien sind für die teilflächenspezifische Düngung möglich: mehr Dünger in weniger entwickelten Zonen („catch up“) oder mehr Dünger in besser entwickelten Zonen („top up“). In einem letzten Schritt können die Daten vom Endnutzer im benötigten Datenformat heruntergeladen werden und dann direkt an das Traktorterminal für eine teilflächenspezifische Düngung übertragen werden.

## 5 Fazit & Ausblick

Die Ergebnisse des Forschungsprojektes zeigen unter verschiedenen Perspektiven das Potential der teilflächenspezifischen Düngung.

Bei den Landwirten selbst ist die Technologie zumindest bekannt und das potenzielle Interesse für die Anwendung groß. Wie kann der Schritt von der Theorie bzw. dem Hörensagen in die Praxis auch für kleinere Landwirte gelingen?

Die Verwendung der Produktivitätskarten ist weder teuer noch kompliziert. Auch wenn der Traktor nicht mit GPS und Bordcomputer ausgestattet ist, können Landwirte die Karten auf ihre mobilen Endgeräte laden und bei der Fahrt über das Feld manuell mehr oder weniger Dünger ausbringen. Diese Applikation birgt besonders für kleine und mittelgroße Betriebe, die nicht in Sensortechnologie investieren wollen, großes Potential.

Die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung basierend auf Produktivitätskarten, die mit Hilfe von Satellitendaten gewonnen werden, kann nicht nur helfen Erträge zu optimieren. Auch werden unerwünschte Verluste von Stickstoff in die Luft und in das Grundwasser mit diesen neuen Technologien möglichst geringgehalten.

Die zukünftigen Aktivitäten werden sich auf eine Validierung der Daten und eine leichtere Anwendbarkeit der Daten konzentrieren, um die wertvollen Informationen unter möglichst vielen Anwendern zu verbreiten.

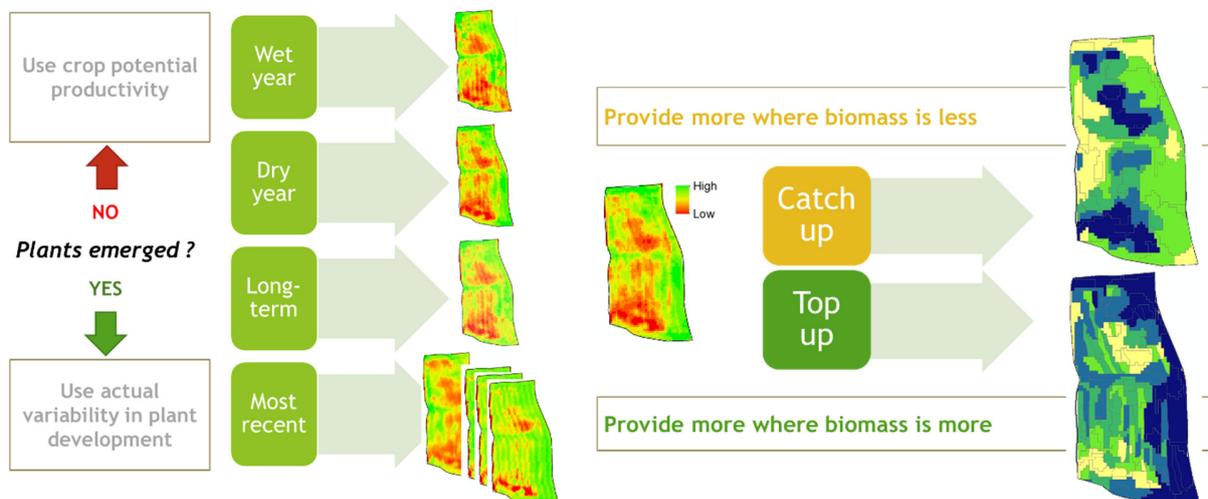


Abb.11: A. Kriterien für die Auswahl der Datengrundlage für die Definition der Managementzonen und B. Düngestrategien („catch-up“ or „top up“) für die Zuordnung der Düngemenge zwischen Ober- und Untergrenze

Die Studie wurde im Rahmen des Projektes “FATIMA” (FARMing Tools for external nutrient Inputs and water Management, <http://fatima-h2020.eu/>) durchgeführt. Das Projekt wurde vom Programm Horizon 2020 der Europäischen Union (GA Nr. 633945) finanziert.

## 6 Literaturverzeichnis

- AMT DER NÖ LANDESREGIERUNG, 2016: Der Grüne Bericht 2016. St.Pölten.
- BLASCH, J., VAN DER KROON, B., VAN BEUKERING, P., MUNSTER, R., FABIANI, S., NINO, P. & VANINO, S., 2018: The role of social ties and knowledge-sharing for the adoption of precision farming technologies – A farmer survey and choice experiment in Italy. World Congress of Environmental and Resource Economists (WCERE), Gothenburg, Sweden, June 25-29.
- BMLFUW, 2017: Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen. 7. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, 2006: Richtlinien für die Sachgerechte Düngung, 2006: Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Auflage. Wien, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- HAWKESFORD, M.J., 2014: Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*, **59**, 276-283.
- IUSS WORKING GROUP WRB, 2015: World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, **106**, FAO, Rome.
- STATISTIK AUSTRIA, 2016: Agrarstrukturerhebung 2016. Statistik Austria StatCube, [www.statcube.at](http://www.statcube.at).
- UMWELTBUNDESAMT, 2016: Elfter Umweltkontrollbericht. Wien, <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/umweltkontrollbericht/ukb/>.
- VUOLO, F., ŻÓLTAK, M., PIPITONE, C., ZAPPA, L., WENNG, H., IMMITZER, M., WEISS, M., BARET, F. & ATZBERGER, C., 2016: Data Service Platform for Sentinel-2 Surface Reflectance and Value-Added Products: System Use and Examples. *Remote Sensing*, **8**(11), 938.
- VUOLO, F., ESSL, L., ZAPPA, L., SANDÉN, T. & SPIEGEL, A., 2017: Water and nutrient management: the Austria case study of the FATIMA H2020 project, *Advances in Animal Biosciences*, **8**(2), 400-405.
- WONG, M. & ASSENG, S., 2007: Yield and environmental benefits of ameliorating subsoil constraints under variable rainfall in a Mediterranean environment. *Plant and Soil*, **297**, 29-42.