

Abschlussbericht Forschungszentrum Jülich GmbH

Zuwendungsempfänger: Forschungszentrum Jülich GmbH 52428 Jülich	Förderkennzeichen: 2816ERA06W
Vorhabenbezeichnung: Variable Bewässerungs- und Nitratdüngungsraten in Kartoffelfeldern; Berücksichtigung räumlicher Variationen (Potential)“	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2017-31.03.2020	
Berichtszeitraum: 01.04.2017-31.03.2020	Berichtersteller: Dr. C. von Hebel & Prof. Dr. J. van der Kruk

I. Kurze Darstellung

1. Aufgabenstellung

Das Projekt POTENTIAL kombiniert innovative Messsensoren sowie -strategien mit existierenden Methoden, um die räumlich-zeitliche Verteilung von Stickstoff- (N) und Bewässerungsraten zu ermitteln sowie deren Einsatz zu reduzieren und optimieren. Der Einsatz von Elektromagnetischen Mehrspulensystemen (EMI) zur großflächig-räumlichen Ober- und Unterbodencharakterisierung soll dazu dienen, um mit den weiteren Projektpartnern ein Manual zu entwickeln, welches neben den klassischen agronomischen Empfehlungen für Düngung und Bewässerung auch die räumlich erhaltenen Informationen mit einbezieht. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Kombination von Boden- und Pflanzendaten, um Stickstoff- und Wasserdefizite zu unterscheiden.

2. Voraussetzungen zur Vorhabendurchführung

Die für das Forschungszentrum Jülich (FZJ) essenziellen Gerätschaften (EMI Sensor, Schlitten für die Messgeräte, all-terrain-vehicle) sowie Fahrzeuge, um zu den Versuchsflächen zu gelangen, sind bereits vorhanden und müssen somit nicht neu angeschafft werden. Die Methodiken und Datengewinnung auf Seiten der Projektpartner sind diesen zugeordnet und eine gemeinsame Datennutzung ist vereinbart. Als Voraussetzung sind hier zur Durchführung des Vorhabens somit Personal- Reise- und Materialinstandhaltungskosten zu erwarten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zu Beginn die Felder großflächig mittels der EMI Methode einmessen. Der Projektpartner Soil Service Belgium (SSB) wird regelmäßig über die Wachstumsperiode der Kartoffel, Bodenproben an ausgewählten Lokationen der

belgischen Felder stechen und analysieren sowie die Versuche zu variablen Stickstoff- und Bewässerungsstrategien fahren und monitoren. Die Universität Liege (ULg) wird auf den Feldern wiederholte geophysikalische Messungen durchführen und die Daten entsprechend analysieren. Die drohnenbasierten Messungen auf den belgischen Feldern und in den Niederlanden, werden durch das Vlaamse Instituut voor Technologisch Onderzoek (VITO) durchgeführt. Die niederländischen Versuchsflächen werden von der Wageningen University and Research (WUR) ausgewählt, überwacht und ausgewertet. Die Versuche auf den dänischen Feldern werden von der Aarhus University (AU) gemäß deren Planung initiiert, betreut und bearbeitet.

FZJ wird im ersten Jahr die Felder in jedem Land einmal mit der hochauflösenden großflächig-räumlichen EMI Methode einmessen. Im zweiten und dritten Jahr wird sich FZJ auf die Felder in Belgien konzentrieren. Hier sind pro Jahr zwei Felder an unterschiedlichen Orten geplant, welche von SSB ausgewählt und vorgegeben werden. Die, durch das FZJ gewonnen EMI Daten, werden mit den drohnengestützten Pflanzendaten sowie mit den Bodendaten gemeinsam analysiert, um die Wechselwirkung von Boden- und Pflanze besser zu verstehen und die Unterschiede im Boden in Bezug auf Wasserverfügbarkeit und Nährstoffverfügbarkeit zu analysieren. Ziel ist es, die Felder in bestimmte Managementzonen einzuteilen, die sich für eine variable Ausbringung von Düngemittel- und Bewässerung eignen. Diese Optimierung der Zonen, soll durch die gemeinsame Analyse von punktuellen Bodenproben, großflächigen geophysikalischen Felddaten und luftgestützten Pflanzenindizes ermittelt werden.

4. Wissenschaftlich-techn. Stand

Das Vorhaben seitens FZJ beruht insbesondere auf den folgenden Publikationen:

Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 46, 11-43.

De Benedetto, D., A. Castrignano, M. Diacono, M. Rinaldi, S. Ruggieri and R. Tamborrino. 2013. Field partition by proximal and remote sensing data fusion. *Biosystems Engineering* 114: 372-383.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.12.001>.

Doolittle, J.A., Brevik, E.C., 2014. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma* 223–225, 33-45.

McNeill, J.D., 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN-6. Geonics Ltd., Mississauga, ON, Canada.

von Hebel, C., Matveeva, M., Verweij, E., Rademske, P., Kaufmann, M.S., Brogi, C., Vereecken, H., Rascher, U., van der Kruk, J., 2018. Understanding Soil and Plant Interaction by Combining Ground-Based Quantitative Electromagnetic Induction and Airborne Hyperspectral Data. *Geophysical Research Letters* 45, 7571-7579.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Eine enge Zusammenarbeit seitens FZJ ist mit SSB, VITO und ULg geplant. Regelmäßige jährliche meetings zum Konsortiumsaustausch wird es bei SSB, VITO, AU und FZJ geben.

II. Eingehende Darstellung

1. Ergebnisdarstellung

Im ersten Jahr (2017) hat das FZJ neben den dänischen Feldern und dem niederländischen Feld, das belgische Fokusfeld in Groot-Rees mittels EMI eingemessen. Dort sind die Bodenwasser- und Bodennitratgehalte auf Seiten der belgischen Partner über die Wachstumsphase gemessen worden. Dieses Feld wurde ebenfalls intensiv mit drohnenmontierten Sensoren eingemessen (VITO), welche spektrale Daten, sprich Pflanzenperformanceindikatoren, über die Wachstumsperiode widerspiegeln, vgl. Abb.1. An speziellen Plots, ausgesucht durch SSB, wurden Bodenwasser- und Bodennitratgehalte über die Wachstumsphase gemessen. Eine detaillierte Studie der drohnen gewonnenen Daten mit den Daten der EMI Methode (scheinbare elektrische Leitfähigkeit (ECa) – apparent electrical conductivity) wurden an den ausgesuchten Plots verglichen. Die folgende Abbildung 1 zeigt eine ECa Karte des Versuchsfeldes in Groot-Rees (BEL) mit den ausgesuchten Plots, im Vergleich zu Satellitendaten sowie einen Vergleich der an den ausgesuchten Plots extrahierten drohnen gewonnen Daten.

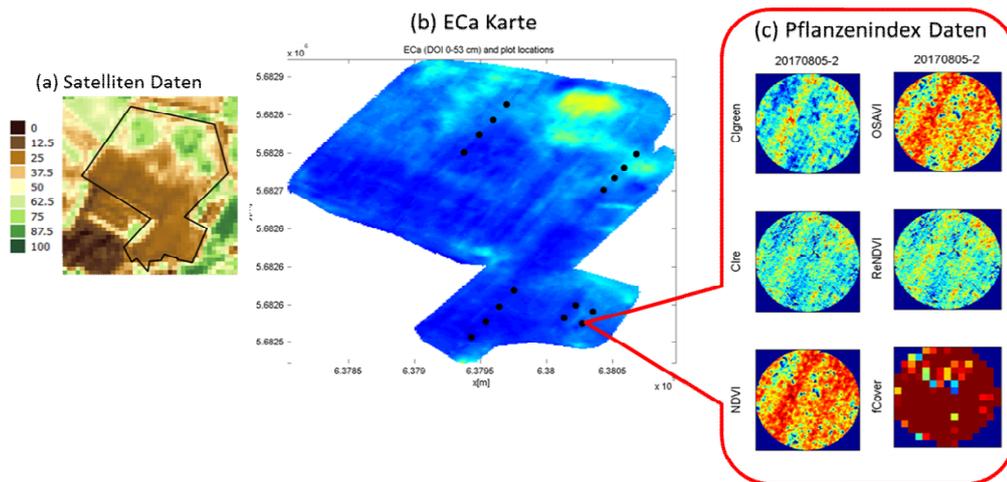


Abbildung 1: Daten des Feldes von Koen van Eyck in Groot-Rees (BEL). In (a) Satelliten Daten, in (b) ECa Karte des Versuchsfeldes und (c) zeigt Pflanzenindizes eines ausgesuchten Plots mit 15 m Durchmesser. Diese wurden drohnenbasiert mit einer Multispektralkamera durch den Partner VITO aufgenommen.

Die in Abbildung 1a und 1b gezeigten räumlichen Muster in den Satellitendaten und der ECa Karte sind ähnlich. Dies deutet darauf hin, dass die Pflanze hier hauptsächlich durch die Bodenbeschaffenheit beeinflusst wird. Daher erzeugen die räumlichen Änderungen in den ECa Werten und die räumlichen Muster in den Satellitendaten ein gemeinsam zu interpretierendes Bild. In den drohnenbasierten hochauflösten ($\sim 8 \times 8$ cm Pixel) sind ebenfalls klare Pflanzenmuster zu erkennen, welche darauf hindeuten, dass Wachstumsunterschiede auf Bodenheterogenität beeinflusst werden. Auf dem ausgewählten Plot fand keine zusätzliche Bewässerung oder Düngung statt. Hier war auch eine relativ gute Korrelation (r , Pearson Korrelation) von $r \sim 0.5$ zwischen den EMI- und Pflanzendaten vorhanden. Zum Vergleich, r war ca. 0.1 auf den zusätzlich bewässerten und/oder gedüngten Plots, was darauf hindeutet, dass zusätzliches Management die natürliche Bodennährstoffverfügbarkeit bzw. die Interaktion Boden-Pflanze maskieren kann.

Basierend auf diesen Ergebnissen, wurde eine Klassifizierung und Segmentierungsstrategie durch FZJ initiiert, da eine räumliche Korrelationen zwischen den EMI-, Drohnen- und Bodendaten erwartbar waren. Durch die Kombination von den luftgestützten und Bodendaten wurde ein besseres Verständnis der Boden-Pflanzen-Interaktion, ähnlich wie gezeigt in von Hebel et al. (2018), erwartet.

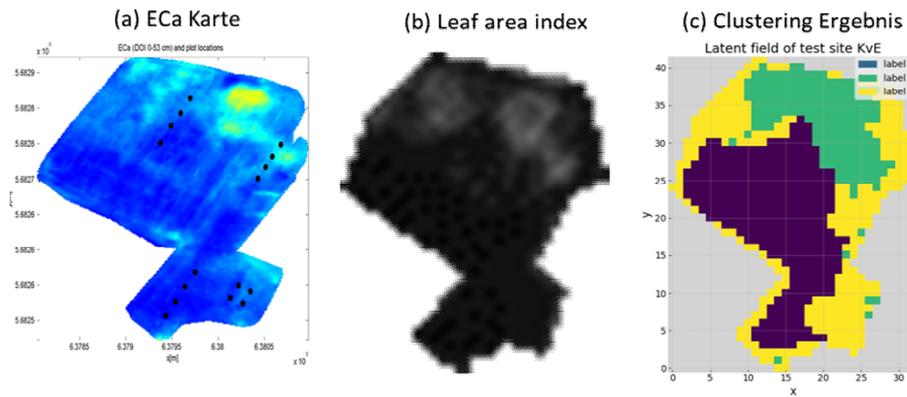


Abbildung 2: Daten des Feldes von Koen van Eyck in Groot-Rees (BE). In (a) ECa Karte des Versuchsfeldes, in (b) Satelliten Daten und (c) zeigt Clusterergebnis. Der Cluster-Algorithmus findet drei Cluster, welche unterschiedliche Boden- und Pflanzeninteraktionen repräsentieren.

Eine detaillierte Clustering Studie von satellitengestützten Daten mit den ECa Werten des Feldes aus 2017 ist gezeigt in Abbildung 1. Die räumlichen Muster auf der in Abbildung 1a gezeigten ECa Karte sind denen in Abbildung 1b dargestellten Satellitendaten ähnlich. Dies deutet darauf hin, dass die Pflanzen hauptsächlich durch die Bodenbeschaffenheit beeinflusst werden. Daher erzeugen die räumlichen Änderungen in den ECa Werten mit den räumlichen Mustern der Satellitendaten ein gemeinsames Bild räumlicher Cluster. Innerhalb einzelner Cluster sind ähnliche Beschaffenheiten zu erwarten, wobei jedes Cluster mithilfe von Bodenprobenanalysen unterschiedlich zu interpretieren ist.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eine Klassifizierungsstrategie ausgewählt und an allen belgischen Feldern durchgeführt. Die räumlichen EMI- und Drohnendaten dienen der Klassifizierung und es wurde untersucht, in wie weit die Drohnendaten weitere Informationen in Bezug auf die Zonierung (Klassifizierung) des Feldes in Bereiche für variable Düngung- und Bewässerungsstrategien liefern. Wie bereits angedeutet, kann das Management die Bodeneigenschaften maskieren, wodurch eine Zonierung des Feldes basierend auf Drohnen- und/oder Satellitendaten stark vom Messzeitpunkt abhängen kann. Zur Validierung der Klassifizierungsergebnisse basierend auf den EMI und den Drohnendaten (hier normalized differenz vegetation index, NDVI) der Felder, wurden die Bodendaten genutzt.

Hier ist zu erwähnen, dass auf den jeweils zwei belgischen Feldern pro Jahr, drei homogen (untreated) vom Landwirt gemanaged wurden und auf drei Feldern die Plots speziell von SSB behandelt (treated) wurden. Sprich es wurden einfache, doppelte, halbe, und keine zusätzliche Bedüngung und/oder Bewässerung gefahren. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt daher die Zonierung basierend auf EMI Daten.

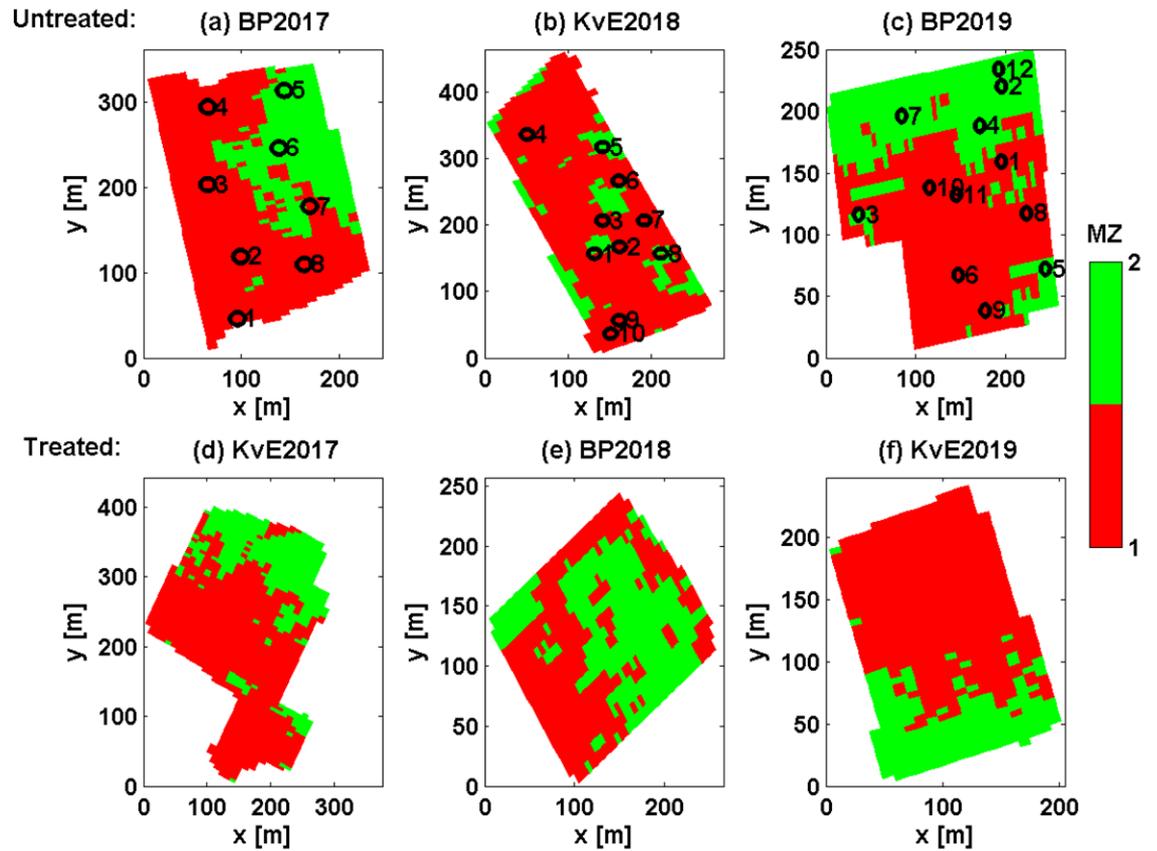


Abbildung 3: Management Zonen (MZ) aller belgischen Felder basierend auf EMI Daten. (a) bis (c) zeigt die homogenen (untreated) bewirtschafteten Felder. (d) bis (e), die Zonierungsergebnisse der Felder, wo SSB spezielle (treated) Versuche gefahren hat.

Die folgende Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse der Klassifizierung basierend auf den EMI-Daten (EMI-based) und den Drohnendaten (NDVI-based) im Bezug zu den Bodendaten der untreated Felder. Auf diesen fand eine gleichmäßige Behandlung des Feldes statt, sodass die Ergebnisse somit durch vergleichbare Beschaffenheiten gewonnen wurden. In den Plots wurden der Sand, Silt, Tongehalt (Sand, Silt, Clay), die daraus ermittelte Texturklasse (texture class), die Schüttdichte (bulk density), das Wasserdefizit (soil moisture deficit), der Ernteertrag (yield), die Anzahl der Kartoffeln (# potato), und der Nitratrest (NO_3 residue) im Boden nach der Ernte gemessen. Der Mittelwert mit Standardabweichung und statistischer Signifikanz wurde aus den Plots in den jeweils zonierten Bereichen befindlichen Plots gebildet. Es hat sich gezeigt, dass die Abgrenzung der Management Zonen basierend auf den EMI Daten, statistisch signifikant sind, während die Abgrenzung basierend auf NDVI Daten kaum signifikant waren.

Tabelle 1: Management Zonen Informationen wobei der Mittelwert mit Standardabweichung und statistischer Signifikanz ($p < 0.1$) aus denen in der MZ befindlichen Plots gebildet wurde, wenn einerseits EMI-Daten zur Klassifizierung oder die Drohrendaten (NDVI) verwendet werden.

	BP2017		Kve2018		BP2019	
	MZ 1	MZ 2	MZ 1	MZ 2	MZ 1	MZ 2
Trial plots						
EMI-based	2, 3, 4, 8	5, 6	2, 3, 4, 6, 9, 10	5, 8	6, 9, 10, 11	2, 4, 5, 7, 12
NDVI-based	2,3	4,7	2, 3, 6, 9	5,8	2, 4, 5, 8	3,11
Texture class						
EMI-based	sL	IS	S	S	sL to IS	sL to IS
NDVI-based	sL	sL	S	S	LS to sL	IS
Clay [%], Silt [%], Sand [%]						
EMI-based	4.3 ± 1.4 24.1 ± 7.2 70.3 ± 8.5	3.9 ± 0.9 20.0 ± 9.8 76.1 ± 10.7	4.4 ± 0.9 3.5 ± 0.4 92.1 ± 1.0	5.0 ± 1.2 3.1 ± 0.6 91.9 ± 1.8	5.0 ± 0.5 18.2 ± 3.7 76.8 ± 3.9	5.3 ± 0.7 19.1 ± 4.8 75.6 ± 4.7
NDVI-based	6.5 ± 0.2 30.0 ± 0.7 63.5 ± 0.9	5.6 ± 3.0 24.1 ± 6.1 70.3 ± 9.1	4.3 ± 1.1 3.3 ± 0.3 92.4 ± 1.0	5.0 ± 1.2 3.1 ± 0.6 91.9 ± 1.8	4.8 ± 1.0 19.4 ± 5.4 75.7 ± 5.7	5.1 ± 0.7 18.3 ± 0.8 76.6 ± 1.5
BD [g/cm³]						
EMI-based	1.48 ± 0.09	1.37 ± 0.01	1.20 ± 0.09	1.30 ± 0.01	1.57 ± 0.06	1.43 ± 0.39
NDVI-based	1.55 ± 0.04	1.41 ± 0.07	1.2 ± 0.05	1.30 ± 0.01	1.0 ± 0	-
E_{Ca} [mS/m]						
EMI-based	4.2** ± 0.6	7.9** ± 1.3	2.1** ± 0.4	6.3** ± 3.5	3.3** ± 0.5	5.7** ± 0.8
NDVI-based	4.3 ± 0.7	4.9 ± 0.2	2.1** ± 0.5	6.3** ± 3.5	4.7 ± 1.0	4.3 ± 1.0
NDVI [-]						
EMI-based	0.82** ± 0.02	0.77** ± 0.02	0.43** ± 0.06	0.61** ± 0.01	0.36 ± 0.03	0.37 ± 0.02
NDVI-based	0.83 ± 0.01	0.80 ± 0.02	0.40** ± 0.03	0.61** ± 0.01	0.38** ± 0.01	0.36** ± 0.002
SMD [cm³/cm³]						
EMI-based	0.06 ± 0.005	0.04 ± 0.003	0.01** ± 0.006	- 0.01** ± 0.001	0.03 ± 0.02	0.02 ± 0.006
NDVI-based	0.06 ± 0.003	0.05 ± 0.01	- 0.01** ± 0.004	- 0.01** ± 0.001	0.02 ± 0	-
Yield [kg/ha]						
EMI-based	59970 ± 5800	54440 ± 4860	47640 ± 3090	50740 ± 6130	58890 ± 12660	60260 ± 4780
NDVI-based	63010 ± 410	59300 ± 4630	47750 ± 2500	50740 ± 6130	59370 ± 5000	58900 ± 624
Potato [# /ha]						
EMI-based	444440 ± 22460	427220 ± 25930	269810 ± 27010	277780 ± 9430	457500** ± 40160	397780** ± 30460
NDVI-based	435560 ± 22000	417780 ± 77000	282500 ± 23300	277780 ± 9430	397220 ± 33610	401670 ± 5500
NO₃ res. [kg/ha]						
EMI-based	24 ± 10	33 ± 6	133** ± 33	73** ± 19	79** ± 18	107** ± 25
NDVI-based	19 ± 2	21 ± 0	133 ** ± 25	73** ± 19	116 ± 38	81 ± 16

sL: sandy loam, IS: loamy sand, S: sand, BD: bulk density, NDVI: normalized difference vegetation index of last image, SMD: soil moisture deficit at harvest, NO₃ res.: Nitrate residue at harvest; ** H = 1, p < 0.1 for unpaired two-sample significance t-test

2. Positionen zahlenmäßiger Nachweise

Der Zahlenmäßige Nachweis umfasst hauptsächlich Personalkosten, welche im Zuge des Projektes angefallen sind und insbesondere der Auswertung der gewonnenen Daten Rechnung tragen.

3. Notwendigkeit der Arbeit

Die vorliegende Arbeit hat sich mit der Kombination und Analyse von bodengestützten und luftgestützten Daten beschäftigt. Neben den in Tabelle 1 gefunden wichtigen Erkenntnissen hat sich zudem herausgestellt, dass die Nutzung von geophysikalischen Daten unabhängig vom Zeitpunkt der Messung verwendet werden können, um ein Feld in agronomische Management Zonen zu klassifizieren. Die Nutzung von luftbasierten Pflanzenindexdaten zu Klassifizierung von Management Zonen scheint hingegen stärker abhängig vom Messzeitpunkt zu sein. Die nachfolgende Abbildung 4 verdeutlicht dies.

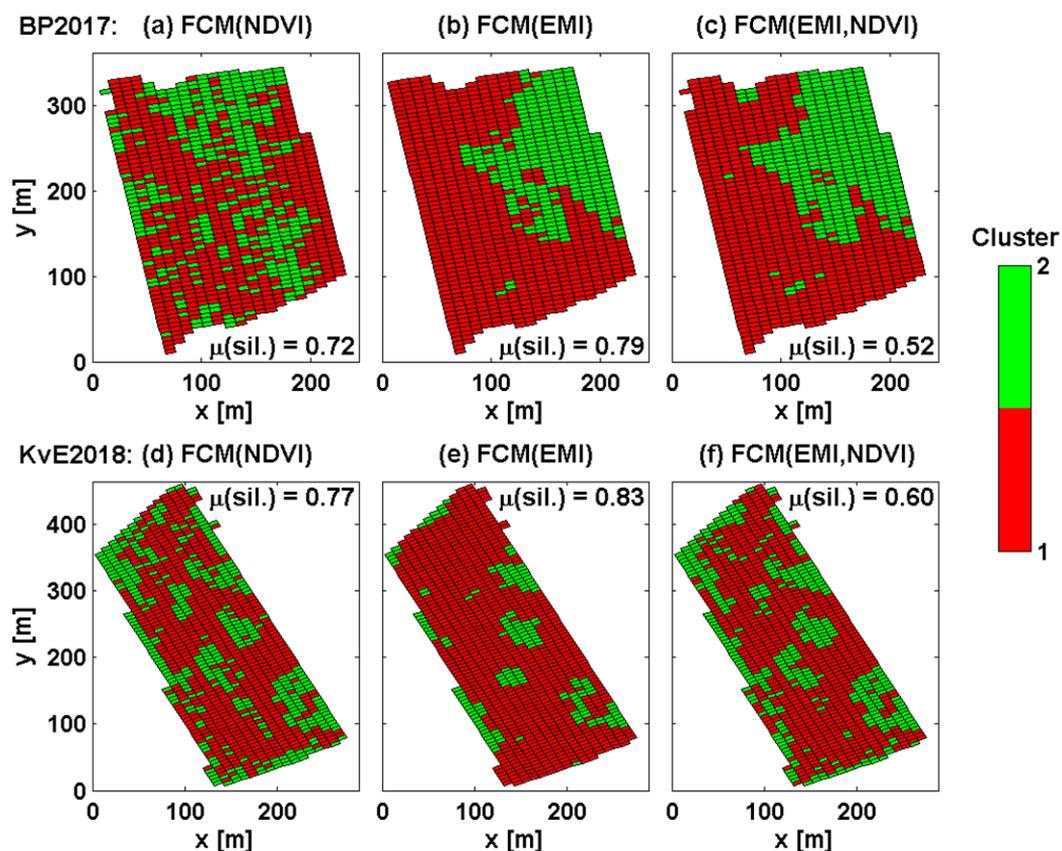


Abbildung 4: Clusteranalyse auf zwei repräsentativen Feldern in oberer (BP2017) und unterer Reihe (KvE2018) von (a) und (d) Pflanzendaten (normalized difference vegetation index, NDVI), (b) und (e) Elektromagnetischen Induktions- (EMI) Daten und (c) und (f) der Kombination NDVI und EMI. Der Wert $\mu(\text{sil.})$ zeigt die Klassifizierungsstärke an.

Abbildung 4 zeigt eine detaillierte Clustering Studie von drohnengestützten Pflanzendaten (normalized difference vegetation index, NDVI), von EMI Daten, und der Kombination EMI-NDVI von zwei Feldern. Die Klassifizierung der räumlichen NDVI und EMI Daten auf dem Feld BP2017 zeigen grundverschiedene Zonen. Bei dem Feld ist der Abstand zwischen dem Drohnenflug und der Ernte mehrere Wochen. Sprich, die Kartoffel war hier noch in voller Blüte und die Bewirtschaftung (Bewässerung und Düngung) maskierte die Boden-Pflanzen-Interaktion. Auf dem Feld KvE2018 sind die Muster zwischen NDVI und EMI ähnlicher. Die Drohnen Daten wurden recht nah dem Erntezeitpunkt aufgenommen. Zu diesem Zeitpunkt ist die Bodenpflanzeninteraktion in den Drohnen Daten besser sichtbar und kann potenziell zur Klassifizierung von Management Zonen genutzt werden. Wie für beide Felder ersichtlich, hat die kombinierte EMI-NDVI Analyse auf den untersuchten Feldern kaum einen Mehrwert im Vergleich zur Klassifizierung von EMI Daten, welche die räumliche Bodenheterogenität widerspiegeln. Um Klassifizierungsergebnisse objektiv zu beurteilen, kann der $\mu(\text{sil.})$ Wert, ein Klassifizierungsstärkeindex, herangezogen werden. Die Klassifizierung basierend auf den EMI Daten zeigt den größten $\mu(\text{sil.})$, für NDVI, den Kleinsten und für die Kombination liegt dieser dazwischen. Wie in Tabelle 1 deutlich ersichtlich, sind die Ernte- und Bodenparameter, in den auf den EMI Daten basierend klassifizierten Zonen, statistisch signifikant unterschiedlich.

4. Ergebnisnutzung

Für die Erhebung und den Austausch der Daten während der POTENTIAL Laufzeit sind SSB, VITO, ULg, FZJ und AU gleichermaßen beteiligt und verantwortlich, vgl. WP1. Besonders der Daten Austausch ist von essenzieller Bedeutung, damit neue Einsichten und Erkenntnisse im Hinblick auf die Verbesserung von Precision Farming gewonnen werden. Die Partner haben die Daten während der POTENTIAL Laufzeit untereinander ausgetauscht und jeweils frei zur Verfügung gestellt. Im Anschluss an POTENTIAL können die Daten für Interessierte/die Öffentlichkeit frei zugänglich gemacht werden. Das hier entwickelte Manual beinhaltet die Kontaktpersonen eines jeden Partners, um den Daten-Austausch mit Externen zu ermöglichen. Publikationen waren zur Veröffentlichung nach Möglichkeit in Open-Access Zeitschriften geplant. Im Gesamtvorhaben wurde eine Verbindung zu existierenden Precision Farming Plattformen angestrebt. Hierzu zählten Akkerweb, eine offene Plattform welche GIS Funktionen beinhaltet und Zugang zu weiteren web-basierten Anwendungen, wie dem Herunterladen von Satelliten-Daten bereitstellt und auch zu FIGARO, eine auf GIS Anwendungen basierte universelle Bewässerungs-Plattform, entwickelt durch das EU FP7

Konsortium, in dem auch AU integriert war. Die Ergebnisse wurden auch in Workshops und Feldbesuchen bei Bauern und mit landwirtschaftlichen Beratern, organisiert in Belgien, den Niederlanden und in Dänemark, präsentiert und diskutiert.

5. Fortschritt bei anderen Stellen

Zusammengefasst haben die Projektpartner detaillierte Erkenntnisse in Bezug auf variable Zugabemengen von Düngung und Bewässerung gewonnen. Besonders hervorzuheben sind hier die verbesserten Erkenntnisse von Pflanzenstressindikatoren. Das im Projekt entwickelte Manual, s. auch Punkt 6 Veröffentlichungen, ist unter anderem unter folgenden Link im Repository der Universität Lüttich zu finden: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/246438>

6. Veröffentlichungen

Toward High-Resolution Agronomic Soil Information and Management Zones Delineated by Ground-based Electromagnetic Induction and Aerial Drone Data. Christian von Hebel, Sophie Reynaert, Klaas Pauly, Pieter Janssens, Isabel Piccard, Jan Vanderborght, Jan van der Kruk, Harry Vereecken, Sarah Garré. Submitted to Vadose Zone Journal.

Manual on: Variable rate irrigation and nitrogen fertilization on potato; engage the spatial variation (POTENTIAL). Pieter Janssens, Sofie Reynaert, Christian Von Hebel, Sarah Garré, Gaël Dumont, Isabelle Piccard, Klaas Pauly, Mathias Neumann Andersen, Kiril Manevski, Junxiang Peng, Kirsten Kørup, Jan Kamp, Johan Booij. Soil Service of Belgium. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/246438>

III. Erfolgskontrollbericht

1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Hier nicht anwendbar.

2. Nebenergebnisse und Erfahrungen

Die vorliegende Arbeit hat sich stark an der Wechselwirkung Boden-Pflanze orientiert und hat neben den o.g. Hauptergebnissen auch einen deutlichen Hinweis darauf gegeben, dass die Bestimmung eben diese Interaktion nicht trivial ist und von weit mehr Parametern abhängt, als die o.g. Kenngrößen. Zum Beispiel sind klimatische Bedingungen in den Beziehungen der untersuchten Wechselwirkungen nicht betrachtet. Auch sind die Informationen aus tieferen Bodenschichten und

Horizonten nicht betrachtet. Im Zuge der Analyse gab es aber auch deutliche Hinweise, dass die tieferen Bodenschichten einen Einfluss auf das Pflanzenwachstum haben.

Im Gesamten waren mehrere Studenten und ein wissenschaftlicher Mitarbeiter des FZJ mit der Analyse der Daten beschäftigt und es hat sich als relativ schwierig herausgestellt, die Wechselwirkung zwischen Boden und Pflanze zu ermitteln. Die letzten Erkenntnisse, eben dass das agronomische Management die wechselseitige Beziehung maskieren kann, sind erst im Zuge einer sehr intensiven Auseinandersetzung mit den geophysikalischen und drohnenbasierten Daten gewonnen worden. Hierzu wechselte der wissenschaftliche Mitarbeiter an die Universität Lüttich bzw. an die AgroBioTech, Gembloux, um die Daten intensiv über einen Zeitraum von fast einem Jahr zu analysieren. Ohne diese zusätzliche Zeit wären die hier vorgestellten Ergebnisse nicht erzielt worden. Das heißt, die hier vorgestellte Arbeit ist nicht nur am Forschungszentrum Jülich, sondern auch an der AgroBioTech entstanden. Im FZJ wurden die geophysikalischen Daten aufgenommen und prozessiert, sodass diese prinzipiell veröffentlicht hätten werden können. Die Wechselwirkung mit der Pflanze wurde im FZJ nicht hinreichend erklärt. Innerhalb des Jahres an der AgroBioTech wurde zunächst eine Analysetool programmiert. Dieses ermöglichte es letztendlich die Boden-Pflanze-Interaktion eingehend zu untersuchen. Die geophysikalischen Datensätze der einzelnen Felder gemessen zwischen 2017 und 2019 konnten mit den vielen Datensätzen der drohnenbasierten Überfliegungen, welche pro Feld mehrfach während der Wachstumsperiode stattfanden, kombiniert und mit den Bodenprobenanalysen analysiert werden.

3. Weiterführende Ergebnisverwendung

Neben der o.g. dargestellten Analyse sind noch weitere Daten vorhanden. Diese liegen im FZJ auf dem Server des Instituts für Bio- und Geowissenschaften, Agrosphäre (IBG-3) und sind dem Institut zugänglich. Von den geophysikalischen Daten sind zur weiteren Auswertung auch Informationen aus tieferen Bodenschichten vorhanden. Auch von den Bodenproben, gezogen und analysiert vom SSB in Bezug auf Nitrat- und Wassergehälter, sind tiefere Informationen bis in 100 cm vorhanden. Da diese, wie die Drohnen Daten, über die Wachstumsperiode gemonitort sind, ist es durchaus möglich, die Nitratverteilung über die Tiefe (Bodenproben) und über die Fläche (skaliert über die geophysikalischen Daten) zu modellieren. Dies würde Nitratleachingpotenziale im Feld aufdecken, wodurch eine genauere bzw. variable Zugabe von Düngemitteln gültig für die verschiedenen

Zonen gesteuert werden könnte. Des Weiteren sind die geophysikalischen Daten geeignet, um ein geschichtetes Untergrundmodell zu errechnen. Hier könnten dann Nitratakkumulation und -versickerung in bestimmten Schichten ermittelt werden. Da auch Texturanalysen über die beprobte Tiefe von bis zu 100 cm bekannt sind, kann auch die Bodentextur flächenmäßig in den Bodenschichten bestimmt werden. Die geophysikalischen Parameter korrelieren mit der Bodentextur, wodurch diese über Modelle skalierbar ist. Eine solche Analyse trägt zum Beispiel das Potential zur Errechnung der Wasserhaltekapazität in den verschiedenen Schichten und über die Fläche. Dies würde zum Beispiel eine Verbesserung der Bewässerungsstrategie erlauben.

4. Erfolgsaussichten nach Projektende

Ursprünglich war im März 2020, ein Schlussevent im „Palace of the Academies“ in Brüssel geplant. Zu diesem waren verschiedene Parteien eingeladen. Hierunter Politiker, Bauern- und Firmenvertreter sowie landwirtschaftliche Berater. Aufgrund der Coronakrise blieb dieses Event in der Planungsphase und fand somit nicht statt. Eine Durchführung dieses Events ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht anvisiert.

5. Arbeiten ohne Lösung

Eine Arbeit, die nicht vollends umgesetzt werden konnte, war die Idee, ein sogenanntes Soil Quality Rating basierend auf den hochskalierten Texturdaten durchzuführen. Dies führte allerdings zu keinem erfolgreichen Ergebnis, da zum einen, die Skalierung der Textur nicht gut funktioniert hat und zum anderen, viele Kennwerte nicht hinreichend vorhanden waren. Zur Skalierung war geplant, ein sogenanntes Co-kriging Verfahren anzuwenden. Solch ein Verfahren ist in der verwendeten Programmiersprache (Matlab, The Mathworks, Inc.) allerdings nicht gut implementiert. Es wurde die toolbox mGstat verwendet, welche jedoch fehlerhaft funktioniert und nicht zu empfehlen ist. Hier wurde viel Zeit verwendet, um die das Programm „lauffähig“ zu machen. Letztlich jedoch ohne Erfolg.

6. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die Ergebnisse und Vorgehensweise wurden auf verschiedenen workshops und Felddemonstrationen an die Landwirte weitergegeben. Auch das oben aufgeführte Manual (<https://orbi.uliege.be/handle/2268/246438>) ist durchaus ein Präsentationsplattform, welche zur Übersicht und detaillierten Ergebnisdarstellung von FZJ und allen Projektpartnern genutzt wurde.

7. Kosten- und Zeitplanung

Das Projekt auf Seiten des FZJ war ohne Verzögerung und im vorgegebenen Budget bzw. in der Höhe der Zuwendung.

IV. Kurzfassung

Deutsch:

Das Projekt POTENTIAL kombiniert innovative Messsensoren sowie -strategien mit existierenden Methoden, um die räumlich-zeitliche Verteilung von Stickstoff- (N) und Bewässerungsraten zu ermitteln sowie deren Einsatz zu reduzieren und optimieren. Die vorliegende Arbeit hat sich mit der Kombination und Analyse von bodengestützten und luftgestützten Daten beschäftigt, um Management Zonen für variable Düngung- und Bewässerungsmengen abzugrenzen. Eine erste Clusteranalyse deutete darauf hin, dass das Pflanzenwachstum hauptsächlich durch die Bodenbeschaffenheit beeinflusst wird. Eine detaillierte Clustering Studie von drohnengestützten Pflanzendaten und bodenbasierten geophysikalischen Daten sowie deren Kombination, deutete jedoch darauf hin, dass die Bewirtschaftung (Bewässerung und Düngung) die Boden-Pflanzen-Interaktion maskierte. Die Nutzung von geophysikalischen Daten kann unabhängig vom Zeitpunkt der Messung ein Feld in agronomische Management Zonen klassifizieren. Die Nutzung von luftbasierten Pflanzenindexdaten zur Klassifizierung von Management Zonen, scheint hingegen stärker abhängig vom Messzeitpunkt zu sein. Es hat sich gezeigt, dass die Abgrenzung der Management Zonen basierend auf den geophysikalischen Daten, statistisch signifikant sind, während die Abgrenzung basierend auf drohnengestützten Daten kaum signifikant war. Diese Erkenntnisse und Daten haben die Partner während der POTENTIAL Laufzeit untereinander ausgetauscht und jeweils frei zur Verfügung gestellt. Diese können der interessierten Öffentlichkeit frei zugänglich gemacht werden. Das hier entwickelte Manual beinhaltet die Kontaktpersonen eines jeden Partners, um den Daten-Austausch mit Externen zu ermöglichen.

English:

The POTENTIAL project aims at integrating innovative sensors and data collection strategies into existing operational services in order to let them represent spatial information and advice on spatio-temporal N and irrigation application rates, as well as improve their accuracy and increase their adoption rate. This work presents an approach to combine ground-based geophysical soil and aerial crop data to delineate field-specific management zones. A first cluster analysis indicated that soil is the driver for crop performance. Performing a detailed cluster analysis using aerial drone-based crop data and geophysical soil data as well as their combination, however, indicated that the soil-crop-interaction can be masked by the agronomic management. The management zone delineation can be performed independent of the measurement time when using geophysical data. When using the aerial crop data, the management zone delineation seems dependent on the timing of the data acquisition. Whereas the management zone differed statistically significant using the geophysical data for delineation, the significance of the delineated management zones based on aerial data was much less. The data and insights were shared through the partners in the POTENTIAL project during the run-time. The data can be made publicly available. The POTENTIAL project developed a guide for variable rate applications, which contains persons to contact for data sharing.