

Parzellenspezifische Düngung in Verbindung mit Smart/Precision Farming



Potenzialabschätzung der Treibhausgasreduktion durch parzellenspezifische Düngung in Verbindung mit Smart/Precision Farming

Mai 2017

Priska Stierli
AgroCleanTech Verein
c/o Schweizer Bauernverband
Belpstrasse 26
3007 Bern

Mit finanzieller Unterstützung von:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landwirtschaft BLW
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO



fenaco
natürlich nah
de la terre à la table

Thema	Potenzialabschätzung der Treibhausgasreduktion durch parzellenspezifische Düngung in Verbindung mit Smart/Precision Farming
Inhalt	<ul style="list-style-type: none"> 1 Treibhausgasreduktion durch parzellenspezifische Düngung..... 3 2 Hilfsmittel für parzellenspezifisches Düngen 4 <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Optimierung der Stickstoffdüngung mit der Software AzoFert®.. 4 2.2 Sensorgestützte Stickstoffdüngung 5 3 Potenzial der Treibhausgasreduktion..... 5 4 Einschätzung der Wirtschaftlichkeit..... 6 5 Hinderungsgründe für eine Umsetzung in der Praxis 7 6 Fazit 7
Zusammenfassung	<p>Die Stickstoffversorgung ist eine wichtige Bewirtschaftungsmassnahme, um Ertrag und Qualität von Futter- und Ackerkulturen zu beeinflussen. Bei der Düngung kommt es aber zu Lachgasemissionen. In der Schweiz wird für die Berechnung der Düngebilanz mit der Suisse Bilanz gearbeitet, welche einen Toleranzbereich von +/-10 % erlaubt. Bei einer systematischen Überdüngung von +10 % besteht ein Stickstoffüberschuss von rund 9000 Tonnen und damit Treibhausgasemissionen von 42'000 Tonnen CO₂eq. Mit einer angepassten (parzellenspezifischen) Düngung können Überschüsse vermieden werden. Neue Technologien (z.B. mit Sensoren) ermöglichen eine exaktere Düngung und damit die Reduktion von Nährstoffverlusten. Solche sog. Smart/Precision Farming Technologien werden im vorliegenden Bericht vorgestellt und beschrieben.</p>

Die inhaltliche Verantwortung dieses Berichts übernimmt AgroCleanTech.

1 Treibhausgasreduktion durch parzellenspezifische Düngung

Die Schweizer Landwirtschaft verursacht jährlich rund 8 Mio. Tonnen CO₂eq (2015 8.2 Mio. Tonnen; Bretscher & Ammann, 2017). Die direkten und indirekten Emissionen aus der Bodenbewirtschaftung, bei welchen die Düngung miteinfliesst, machen etwa 18 % der Gesamtemissionen aus (BAFU, 2017).

Die Stickstoff(N)-Düngung hat einen starken Einfluss auf Ertragshöhe und Produktqualität. Zu hohe Stickstoffmengen oder Düngung zum falschen Zeitpunkt kann die Qualität negativ beeinflussen und zu N-Verlusten in Form von Nitrat (NO₃⁻) und Lachgas (N₂O) führen. Die optimale Düngemenge und den idealen Anwendungszeitpunkt zu finden ist anspruchsvoll, da Stickstoffverfügbarkeit und -Nachlieferung von den jeweiligen Kulturen und Umweltbedingungen (Witterung, Bodentyp usw.) abhängig sind (Richner, Flisch, Sinaj, & Charles, 2010).

Eine angepasste, sog. parzellenspezifische Düngung hat zum Ziel, die Düngegabe auf die Vorhandenen Stickstoffressourcen einer Parzelle anzupassen und damit eine Über oder Unterdüngung zu vermeiden. Insbesondere durch Vermeidung einer Überdüngung können Kosten für Düngemittel eingespart und gleichzeitig Treibhausgase, die bei der Düngung entstehen, reduziert werden.

Neue Technologien ermöglichen eine Stickstoffdüngung, die sich am punktuellen Bedarf des Pflanzenbestandes orientiert. Dazu gehören softwarebasierte Smart Farming-Anwendungen oder sensorbasierte Precision Farming-Technologien, welche nachfolgend verglichen und nach Kriterien des Emissionsreduktionspotenzials sowie der Wirtschaftlichkeit beurteilt werden.

Stickstoffdüngung

In der Praxis bilden die offiziellen N-Düngungsnormen die Grundlage für die Bestimmung der optimalen N-Düngung. Diese richten sich nach einem durchschnittlichen ökonomischen Optimum (N_{opt}). Dieses ist erreicht, wenn Mehrkosten, die durch eine zusätzlich eingesetzte Stickstoff-Düngung entstehen, dem dadurch erwirtschafteten Mehrerlös entsprechen. Der theoretisch mögliche maximale Ertrag ist höher als der beim N-Optimum erzielte Ertrag. Das Risiko für Stickstoffverluste steigt aber über der N_{opt}-Menge stark an. Bei einem gesunden Preisverhältnis der N-Düngerkosten zu den Ertrags Erlösen (ohne staatliche Preisstützungen) führt N_{opt} zur Erfüllung von ökonomischen, wie auch ökologischen Zielen (Richner et al., 2010).

In der Schweiz ist der Erhalt von Direktzahlungen an die Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) gebunden, welcher eine Nährstoffbilanz beinhaltet. Dazu werden in der Suisse-Bilanz die verfügbaren Nährstoffe dem Bedarf der Kulturen gegenübergestellt. Das System kann vom Landwirt, Berater oder Kanton als Vollzugs- und Planungshilfe verwendet werden, weist aber gewisse Ungenauigkeiten auf, wie z.B. durch die Verwendung von standortunabhängigen Normwerten. Die Suisse-Bilanz erlaubt zudem ein Toleranzbereich von +/-10 %. Welche wissenschaftliche Begründungen der Fehlerbereich bei +/-10 %

festgelegen liessen, ist unklar (Bosshard, Spiess, & Richner, 2012). Bei einer kontinuierlichen Ausnutzung nach oben würde dies, laut einer Studie von Agroscope, eine Überdüngung von 9000 t Stickstoff pro Jahr für die gesamte Schweizer Landwirtschaft bedeuten. Umgekehrt kann eine regelmässig negative Bilanz durch zu geringe Düngung ein Auslaugen der Böden bedeuten.

In Bosshard et al. (2012) wurden bei 25 % von 393 ausgewerteten Betrieben ein Bilanzüberschuss im Bereich von 101 – 110 % festgestellt. Die Studie schlägt als alternativen Ansatz vor, zukünftig eine ausgeglichene Düngebilanz in einem Mittel über eine gewisse Zeitspanne (z.B. drei Jahre) zu erreichen. Weiter empfehlen Bosshard et al. (2012):

- Es sollen primär Massnahmen umgesetzt werden, die auf eine **bessere Stickstoffeffizienz** zielen.
- Es sollen Voraussetzungen für eine Entschädigung **eines parzellenspezifischen Düngungsplans** als Ergänzung zur Suisse-Bilanz geschaffen werden.

2 Hilfsmittel für parzellenspezifisches Düngen

Die parzellen- oder auch schlagspezifische Düngung erlaubt Faktoren wie Bodenverhältnissen, Kulturfolge auf der jeweiligen Parzelle sowie Temperatur- und Witterungsunterschiede eigens für eine Parzelle zu berücksichtigen. Damit können Erträge gesichert und Düngeverluste minimiert werden, was sich u. a. vorteilhaft auf Düngemittelkosten auswirkt und eine geringere Umweltbelastung zur Folge hat.

Dazu werden nachfolgend zwei Möglichkeiten unterschieden, wie eine parzellenspezifische Düngung mit Hilfe neuer Technologien umgesetzt werden kann:

- Softwarebasierte Düngung (hier mittels der Software AzoFert®)
- Sensorgestützte Düngung

2.1 Optimierung der Stickstoffdüngung mit der Software AzoFert®

In Frankreich kann für die Berechnung der optimalen Düngemenge die Software AzoFert® eingesetzt werden. Die Software beruht auf Modellierungen und kann klimatische und landwirtschaftliche Bedingungen berücksichtigen. Dazu werden die mineralischen N-Reserven mittels Bodenproben gemessen und parzellenspezifische Beschreibungen berücksichtigt (Bodeneigenschaften, Vorkultur usw.). Weiter werden die Klimadaten der nächstgelegenen Meteostation berücksichtigt und Zielertrag sowie Erntedatum festgelegt. Daraus berechnet die Software anschliessend die Düngeempfehlung für die jeweilige Kultur und Parzelle (Maltas, Machet, Le Roux, Damay, & Sinaj, 2015).

AzoFert® wurde in der Schweiz bereits mit 65 Düngeversuchen basierend auf der Kalibrierung von Nordfrankreich getestet. Das im Boden vorhandene N-Angebot wurde tendenziell unterschätzt. Mit Anpassung

der Kalibrierung auf Schweizer Parameter (Bodentypen, Niederschläge, Sorten) könnte die Prognosequalität der Software für die Schweiz verbessert werden. AzoFert® wäre damit ein wertvolles Hilfsmittel, um Düngeempfehlungen basierend auf der Stickstoffbilanz einer Parzelle zu erhalten (Maltas et al., 2015).

2.2 Sensorgestützte Stickstoffdüngung

Eine sensorgestützte Stickstoffdüngung ermöglicht eine dem Pflanzenbestand angepasste Nährstoffgabe. Die eingesetzten optischen Sensoren ermitteln den Bedarf der Pflanzen mittels Reflexionsmessung im Pflanzenbestand. Sie werten je nach Chlorophyllgehalt der Pflanzen die unterschiedliche Reflexion und Absorption der Licht-Wellenlängen aus. Da Stickstoff ein Hauptbestandteil von Chlorophyll ist, erlaubt die Reflexionsmessung indirekt auf den Stickstoffgehalt der Pflanzen zu schliessen (Drücker, 2016).

Bei sensorgestützten Verfahren wird die punktuelle Düngemenge ausgehend von einem Sollwert der jeweiligen Frucht abzüglich dem N_{\min} -Gehalt des Bodens und unter Beachtung der gesetzlichen Düngevorschriften und Reflexionsmessung angepasst (Drücker, 2016). Zusätzliche Zielgrösse für die Steuerung der Düngung ist das Ertragspotenzial der Parzelle, welches sich aus einem langjährigen Mittelwert berechnet wird (Drücker, 2016). Die sensorgestützten Verfahren basieren auf unterschiedlichen Methoden:

- **Online-Verfahren:** Während der Düngung wird in Echtzeit mit sog. Spektralindizes gemessen und in die eingestellten Stickstoff-Sollwerte umgerechnet. Diese werden an die Applikationstechnik weitergeleitet und die entsprechenden Mengen werden ausgestreut.
- **Offline-Verfahren:** Die Reflexions-Daten werden vor der Düngung erhoben und über eine Streumengenkarte mittels geeigneter Software-/Applikationstechnik verarbeitet.
- **Online-Verfahren mit Map-Overlay:** Online-erhobene Sensordaten werden mit georeferenzierten Informationen einer hinterlegten Karte verknüpft.

Diese Methoden können für die Anwendung von Mineraldüngern verwendet werden. Wird auch Gülle für die Düngung eingesetzt, ist zusätzlich ein Sensor für die Gülleanalyse notwendig, da der Nährstoffgehalt in der Gülle stark schwanken kann (Drücker, 2016).

Erfahrungen wurden bisher vor allem im Getreideanbau gesammelt (auch mit dem Einsatz von Wachstumsreglern). Weitere Kulturen, bei denen Sensoren eingesetzt werden können, sind Raps, Kartoffeln und Mais (Drücker, 2016).

3 Potenzial der Treibhausgasreduktion

Eine bedarfsoptimierte Stickstoffdüngung stellt Erträge und Qualität der Produkte sicher und führt zu einer Reduktion des Düngemitelesinsatzes auf Flächen, die aktuell systematisch überdüngt werden. Damit könnten Verluste in Form von Ammoniak, Nitrat oder Lachgas vermindert werden.

Angaben zum Reduktionspotenzial basierend auf Schweizer Parametern sind für die aufgeführten Technologien aktuell nicht vorhanden, da keine Versuchsdaten vorliegen. Für eine grobe Schätzung der möglichen Treibhausgasreduktion durch parzellenspezifische Düngung wird daher der Bericht von Bosshard et al. (2012) als Berechnungsgrundlage verwendet. Darin wird ein Überschuss von 9000 Tonnen Stickstoff für die gesamte Schweizer Landwirtschaft berechnet, wobei diese Zahl auf der Annahme basiert, dass der Toleranzwert von +10 % der Suisse-Bilanz systematisch ausgenutzt wird (Bosshard et al., 2012).

Ausgehend davon, dass dieser Überschuss von 9000 Tonnen Stickstoff mit einer schlagspezifischen Düngung reduziert werden könnte, ergäbe sich ein Reduktionspotenzial von 140 Tonnen direkten N₂O-Emissionen (Emissionsfaktor 0.01 kg N₂O-N/kg N für organische und anorganische Dünger; BAFU, 2017), was eine Verminderung der Treibhausgase von knapp **42'000 Tonnen CO₂eq** bedeuten würde. Hinzu käme die Verminderung indirekter Lachgasemissionen aus vorheriger Verflüchtigung oder Auswaschung.

4 Einschätzung der Wirtschaftlichkeit

Wenn die Mehrkosten (Grenzkosten) für optimal eingesetzten N-Dünger dem damit erwirtschafteten Mehrerlös (Grenzerlös) entsprechen, ist das N-Optimum (N_{opt}) erreicht. Das Risiko für N-Verluste nimmt bis zum N_{opt} nur gering zu. Bei deutlicher auch punktueller Überschreitung des N_{opt} nehmen die Nachern-tegehalte von N_{min} sowie das Auswaschrisiko hingegen stark zu (Belanger, Walsh, Richards, Milburn, & Ziadi, 2000; Hong, Scharf, Davis, Kitchen, & Sudduth, 2007; Richner et al., 2010). Eine systematische Überdüngung ist wirtschaftlich daher nicht sinnvoll, da dies zu einem höheren Stickstoffverlust führt.

Um die Wirtschaftlichkeit der Stickstoffdüngung mit Sensoren abschätzen zu können, werden die Kosten des Sensoreinsatzes (Tabelle 1) der eingesparten Düngemenge und der Ertragssteigerung gegenübergestellt. Der Mehrerlös beläuft sich laut Hersteller auf € 100 – 120.-/ha und Jahr (Agricon GmbH, 2017). Daraus kann für einen Schweizer Betrieb mit einer Ackerfläche von 20 ha (Ø Schweizer LW-Betrieb) je nach angewandter Technologie eine Amortisationszeit zwischen 8 und 20 Jahren geschätzt werden. Die teureren Systeme sind deshalb für den Schweizer Durchschnittsbetrieb tendenziell nicht wirtschaftlich. Es wäre allerdings möglich, die sensorgestützte Düngung über Lohnunternehmen anzubieten.

Tabelle 1: Investitionskosten für Stickstoffsensorsysteme gem. Bericht von Drücker (2016).

System	Kosten*
Yara N-Sensor® II und Yara N-Sensor® ALS	€ 26'650.- bis 38'700.-
GreenSeeker	ab € 20'396.-
Fritzmeier ISARIA oder Claas Crop Sensor ISARIA	ab € 20'880.-
Ag Leader OptRx®:	ab € 15'000.-

*Angaben aus (Drücker, 2016) ; Preise ohne Gewähr

In diesen Kosten sind teilweise Leistungen wie z.B. vor-Ort-Termine durch Kundendienst integriert. Es können aber zusätzliche Kosten (abhängig vom jeweiligen System) für Pflege- und Serviceverträge dazu kommen (Agricon GmbH, 2017).

Die Kosten für Anpassungen der Software AzoFert® auf Schweizer Parameter und daraus resultierende Preise für die Anwender (Landwirte) sind nicht bekannt und müssten erhoben werden, um die Wirtschaftlichkeit dieser Massnahme einschätzen zu können.

5 Hinderungsgründe für eine Umsetzung in der Praxis

Softwarebasierte Stickstoffdüngung: Die Software AzoFert® lieferte Resultate die mit der N_{min} -Methode oder der Methode der korrigierten Normen vergleichbar sind. Bei einer Kalibrierung auf Schweizer Werte (Witterung usw.) könnte die Anwendung eine bessere Schätzung der optimalen Düngemengen liefern.

Sensorgestützte Stickstoffdüngung: Die Reflexionseigenschaften der Pflanzen, die bei der sensorgestützten N-Düngung massgebend sind, werden auch von anderen Faktoren als der Stickstoffverfügbarkeit beeinflusst. Dabei handelt es sich unter anderem um den Wasserhaushalt des Bodens (Trockenstress, Staunässe usw.) oder Nährstoffmangel von Mangan oder Schwefel. Je klarer solche Faktoren ausgeschlossen werden können, desto genauer ist die sensorische Bestimmung der Düngemenge. Die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme ist für Schweizer Betriebe kaum gegeben und wäre für eine Anwendung über Lohnunternehmen zu prüfen.

6 Fazit

Die optimale Düngemenge entspricht dem Pflanzenbedarf und liegt beim ökonomischen und ökologischen Optimum. Sie ist von standortspezifischen Parametern wie den Bodeneigenschaften und der Witterung abhängig. Bei einem Düngemittleinsatz, der dieses Optimum überschreitet kommt es zu Stickstoffverlusten. Mit einer parzellenspezifischen Düngung können solche Verluste reduziert werden.

Smart Farming-Technologien ermöglichen eine präzisere Düngung und damit die Einsparung von Kosten für Düngemittel und die Reduktion von THG-Emissionen, die durch den Stickstoffverlust entstehen. In Frankreich kann die Software AzoFert® eingesetzt werden, die standortspezifische Bedingungen berücksichtigt. Mit einer Parametrisierung auf Schweizer Normwerte, könnte sie auch in der Schweiz zur Optimierung der Stickstoffdüngung verwendet werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht im Einsatz von Sensoren für eine präzisere Stickstoffdüngung ausgerichtet auf den Bedarf der Pflanzen. Neben der Reduktion der Düngemittelkosten, kann auf diese Weise der Ertrag optimiert und Stickstoffemissionen reduziert werden. Mit Investitionskosten zwischen € 15'000.- bis rund € 40'000.- (je nach System) und einem Einsparpotenzial von rund € 100.- lohnt sich ein solches

System nur für Betriebe mit einem hohen Anteil an Ackerflächen, auf welchem die Sensoren zum Einsatz kommen können. Damit auch kleinere Betriebe von solchen Systemen profitieren könnten, wäre eine Anwendung über Lohnunternehmen zu prüfen. Bisher fehlen aber in der Schweiz Untersuchungen, die eine Reduktion des Düngemittleinsatzes sowie der Treibhausgasemissionen mit Hilfe dieser Systeme bestätigen.

Die Suisse-Bilanz wird in der Schweiz standardmässig für die Kontrolle und Planung von Düngemengen verwendet. Wegen verschiedener Faktoren, wie z.B. dem Toleranzbereich von +/-10 %, liefert sie nicht die optimale Düngemenge und kann bei einer stetigen Ausnutzung der +10 % Überschuss zu einer Überdüngung führen. Eine Vermeidung dieser kontinuierlich ausgenutzten +10 % würde eine Reduktion der (direkten) Lachgasemissionen und damit der Treibhausgase aus der Bodenbewirtschaftung von grob geschätzt **42'000 Tonnen CO₂eq** bedeuten.

Aus der Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz von Bosshard et al. (2012) geht hervor, dass Voraussetzungen geschaffen werden sollten, die parzellenspezifische Düngung als Ergänzung zur Suisse-Bilanz zu entschädigen. Damit könnte ein Anreiz für die Anwendung von Smart Farming-Technologien geschaffen werden.

Literatur

- Agricon GmbH. (2017). Digitale N-Düngung mit Sensoren. Retrieved May 29, 2017, from <http://www.agricon.de/n-duengung>
- BAFU. (2017). Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2015.
- Belanger, G., Walsh, J. R., Richards, J. E., Milburn, P., & Ziadi, N. (2000). Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal*, *92*, 902–908.
- Bosshard, C., Spiess, E., & Richner, W. (2012). *Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz: Schlussbericht*.
- Bretscher, D., & Ammann, C. (2017). Treibhausgasemissionen aus der schweizerischen Nutztierhaltung; wie stark belasten unsere Kühe das Klima? In *Klimawandel und Nutztiere: eine wechselseitige Beeinflussung*.
- Drücker, H. (2016). *Sensorgestützte Stickstoffdüngung*.
- Hong, N., Scharf, P. C., Davis, J. G., Kitchen, N. R., & Sudduth, K. A. (2007). Economically Optimal Nitrogen Rate Reduces Soil Residual Nitrate. *Journal of Environment Quality*, *36*(2), 354–362. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0173>
- Maltas, A., Machet, J. M., Le Roux, C., Damay, N., & Sinaj, S. (2015). Evaluation der Software AzoFert® zur Optimierung der Stickstoffdüngung von Ackerkulturen in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz*, *6*(7–8), 336–345.
- Richner, W., Fleisch, R., Sinaj, S., & Charles, R. (2010). Ableitung der Stickstoffdüngungsnormen von Ackerkulturen. *Agrarforschung Schweiz*, *1*(11–12), 410–415.