



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 101 | Ausgabe 1

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Die Stickstoffbedarfswerte der Düngeverordnung (DüV) für Winterraps und Winterweizen sind 15-20% zu hoch angesetzt – eine Replik auf Kage *et al.* (2022): Stickstoffdüngung zu Winterraps und Winterweizen

Von Friedhelm Taube

Einleitung

Kage *et al.* (2022) haben eine umfängliche und beachtliche Auswertung und Analyse von mehrortigen und mehrjährigen Stickstoffsteigerungsversuchen sowohl zu Raps als auch zu Winterweizen vorgelegt mit dem Ziel, so die ‚Düngeverordnung (DüV) aus dem Jahr 2020 (BMEL, 2020) zu evaluieren‘ und ‚optimale N-Düngungsintensitäten‘ für die genannten Kulturarten herzuleiten. Die Autoren nutzen weiterhin verschiedene mathematischen Funktionstypen zur Herleitung eines Optimums und kommen schließlich inhaltlich zu dem Schluss, dass die Vorgaben der DüV die Stickstoffbedarfswerte betreffend bei beiden untersuchten Kulturen zu wirtschaftlichen Einbußen von 18-20% im Vergleich zur Düngung in Höhe des ökonomischen Optimums führen. Eine weitere Absenkung des Düngenniveaus um 20% wie in den sogenannten ‚roten Gebieten‘ vorgegeben, mindere die Stickstoffkosten freie Leistung (NKFL) merklich und führe zu negativen N-Salden bei Weizen und in vielen Fällen zu Proteinkonzentrationen unterhalb des Handelsstandards. Eine Analyse des Zusammenhangs zwischen Stickstoffdüngung und Stickstoffauswaschung lege den Schluss nahe, dass eine Minderung der Stickstoffdüngung unterhalb des DüV-Niveaus wie in den ‚roten Gebieten‘ vorgeschrieben, nur einen sehr geringen Beitrag zur Verringerung der Stickstoffauswaschung leiste. Vielmehr genügten die zu niedrigen N-Bedarfswerte der Kulturen im Rahmen der DüV bereits dem Anspruch der Berücksichtigung externer Umweltkosten. Die Lektüre des Beitrags weist somit die These aus, dass die N-Bedarfswerte für Raps und Weizen aus der DüV das ökonomische Ergebnis negativ beeinflussen und reduzierte N-Düngungsintensitäten keine positiven Effekte für die Umwelt induzieren. Im Sinne von These und Antithese soll in den folgenden Ausführungen deutlich gemacht werden, dass die oben formulierten Aussagen der Autoren sowohl in der wissenschaftlichen Herleitung, ebenso wie in der Interpretation der eigenen Ergebnisse und in den Schlussfolgerungen mit Blick auf den gesetzlichen Rahmen des Düngegesetzes widerlegt werden können. Im Einzelnen sind folgende Aspekte einer kritischen Würdigung zu unterziehen:

1. Herangehensweise an die Problematik

Die Autoren nähern sich dem Thema der Herleitung ‚ökonomisch optimaler N Intensitäten‘ (Evaluierung der DüV) aus einer mono-kausalen, mikro-ökonomischen Perspektive der landwirtschaftlichen Betriebe, indem sie zwar in der Einleitung auf den Hintergrund der EU-Nitratrichtlinie verweisen, die mit der DüV umgesetzt werde und damit zumindest implizit anerkennen, dass das Düngerecht Wasserrecht ist, um ‚unerwünschte Umweltwirkungen der N-Düngung zu vermindern (1)‘, aber im gleichen Atemzug definieren sie die Notwendigkeit, wirtschaftliche Auswirkungen von Düngere striktionen für die Betriebe ‚auf das notwendige Maß zu beschränken (2)‘ und unerwünschte ‚Leakage-Effekte (3) zu vermeiden‘. Daher käme der möglichst zielgenauen Ausgestaltung rechtlicher Regelungen besondere Bedeutung zu und in dem Zusammenhang wird auf den Verhältnismäßigkeitsgrundsatz des Grundgesetzes (4) verwiesen.

Diese Herleitung der Begründungen des Forschungsansatzes zu optimalen Düngeintensitäten kann wie folgt widerlegt werden:

- (1) Richtig ist, dass die DüV das Düngegesetz seitens der Exekutive spezifiziert und dass Deutschland sich gegenüber der EU verpflichtet hat, die EU-Nitratrichtlinie über die Düngegesetzgebung umzusetzen. Im Düngegesetz von 2020 heißt es im §1, Zweck der Düngung ist es ...: Absatz 1, *die Ernährung der Kulturpflanzen sicherzustellen* und dann im Absatz 4, *Nährstoffverluste in die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden*. Es steht in der Zweckbestimmung der Düngung explizit nichts davon, dass das mikro-ökonomische Optimum der landwirtschaftlichen Betriebe im Blick zu behalten sei. Diesen Absatz 4 gab es in den Düngegesetzen der Bundesrepublik Deutschland bis 2017 nicht und er wurde von 2017 auf 2020 noch einmal deutlich konkretisiert. Wir haben es damit mit einem rechtlichen Paradigmenwechsel dahingehend zu tun, dass der Schutz der Umwelt im Zweifelsfall normativ höher gestellt wird (*so weit wie möglich*), als das wahrscheinliche ökonomische Optimum der wirtschaftenden Betriebe. Es geht somit nicht darum, N-Verluste, von welchem Niveau auch immer ausgehend, zu vermindern, wie die Autoren formulieren, sondern diese *so weit wie möglich* zu vermeiden und das heißt, unter Einsatz der besten verfügbaren Techniken minimale Verluste und implizit nahezu ausgeglichene Nährstoffbilanzen in Ackerbausystemen zu gewährleisten.
- (2) Das Ziel der Autoren, die rechtlichen Vorgaben der Düngebeschränkungen in ihren Auswirkungen auf das wirtschaftliche Ergebnis der Betriebe auf das notwendige Maß zu beschränken, ist ehrenwert, aber ausgedrückt über das alleinige Merkmal ‚Stickstoffkosten freie Leistung (NKFL)‘ in einem *ceteris paribus* Ansatz, bei dem nur Stickstoff variiert wird, nicht ausreichend. Wenn tatsächlich eine Zumutbarkeit von negativen wirtschaftlichen Effekten für die landwirtschaftlichen

Unternehmen zumindest grob eingeordnet werden soll, muss zunächst geklärt sein, (i.) auf welchem Niveau der Wertschöpfung agiert wird (laut Einkommensstatistiken des BMEL für Ackerbaubetriebe gibt es dort in Deutschland offensichtlich Spielräume); (ii.) welche Alternativen jenseits der von den Autoren behandelten Gewinnmaximierung über den Pfad Ertragsmaximierung bestehen, z.B. über eine Strategie der Kostenminimierung im Bereich der proportionalen Spezialkosten. Insbesondere in den §13a – Kulissen nach DüV - ‚roten Gebieten‘ - sind für die Betriebe komplementäre Maßnahmen der Sortenwahl, der relativen N-Düngungsreduktion zwischen Kulturen, der Fruchtfolge, der Einsparungen beim chemischen Pflanzenschutzinsatz, sowie Kooperationen mit Vieh haltenden Betrieben, etc. als Optimierungsoptionen zu diskutieren. Laut Paetow (2023) sind die negativen wirtschaftlichen Auswirkungen für die Betriebe in den ‚roten Gebieten‘ nach entsprechenden betrieblichen Anpassungen ‚sehr überschaubar‘. Vor allem aber müssen den potentiellen mikro-ökonomischen Effekten die makro-ökonomischen Effekte gegenübergestellt werden. Das bedeutet, die externen Umwelt-Kosten erhöhter Stickstoffbilanzsalden der Ackerbaubetriebe sind zu berücksichtigen und entsprechend des §1 DüngeG sind somit N-Überschüsse in Abhängigkeit der Sickerwassermengen jenseits einer Größenordnung von 0-30 kg N/ha mit nicht internalisierten externen Kosten von etwa 10 €/kg N (Van Grinsven *et al.*, 2013) anzusetzen. Andere Quellen gehen gar von 20 €/kg N aus (UBA, 2020).

- (3) Die undifferenzierte Leakage-Argumentationslinie ‚*wenn in Deutschland weniger Weizen angebaut wird, dann werden Emissionen in andere Länder verschoben und das ist schlecht*‘ geht von einem Denkmuster aus, das unterstellt, dass die mit dem Weizenanbau verbundenen Emissionen bei einer gewissen Verlagerung der Produktion an andere Agrarstandorte der Welt dort in jedem Fall höher sind als in Deutschland. Zur Einordnung hilft zunächst die Dimension, über die wir sprechen: weltweit wurden im Jahr 2022 insgesamt 780 Millionen Tonnen Weichweizen erzeugt, in Deutschland 22 Millionen Tonnen, von denen im Verbrauch etwa 60% als Tierfutter dienen und gerade einmal 1,6 Mio. Tonnen als Exportvolumen in Drittländer zu Buche schlagen. Da hilft weiterhin allein in Europa der Blick auf Länder mit erhöhtem Potential der Weizenerzeugung aufgrund eines aktuell ausgeprägteren ‚yield gap‘ als in Deutschland, insbesondere in Osteuropa. In Osteuropa sprechen wir zumeist über nationale Stickstoffüberschüsse, die weniger als halb so hoch sind wie in Deutschland. Würden wir also die Stickstoff-Emissionen der Agrarwirtschaft eines Landes und Potentiale zur Verkleinerung des ‚yield gap‘ als Maßstab für die ‚Zulassung von maximalen Produktionsintensitäten‘ heranziehen, wären gewisse Leakage-Effekte tatsächlich eher positiv zu bewerten und somit zu begrüßen. Darüber hinaus erläutern Henning *et al.* (2021), dass gewisse Leakage-Effekte in Deutschland bzw. der EU im Sinne der Umsetzung der EU-Farm to Fork-Strategie durchaus erwünscht sein können, um Innovationen zur Vermeidung von

Nährstoffverlusten zu befördern, mit dem mittelfristigen Effekt, dass diese Leakage-Effekte nach der Umsetzung dieser Innovationen wieder aufgehoben würden.

- (4) Im Zusammenhang mit einem noch immer nicht abgeschlossenen Vertragsverletzungsverfahren gegen Deutschland, das 30 Jahre nach der Implementierung der EU-Nitratrictlinie, dieselbe immer noch nicht überzeugend umgesetzt hat, mit ‚Verhältnismäßigkeit und zielgenauer Ausgestaltung rechtlicher Regelungen‘ zu argumentieren, ist auch deshalb irritierend, weil andere Wissenschaftlergruppen seit langem effiziente Regelungen anmahnen, die jedoch aufgrund von Lobbyinteressen seit 30 Jahren nicht umgesetzt worden sind (vgl. WBA, 2013; UBA, 2020).

2. Material und Methoden – Wahl der mathematischen Funktion und resultierende Ergebnisinterpretation

Zur mathematischen Herleitung der Ertragsantwort auf steigende N-Düngungsniveaus stehen verschiedene mathematische Funktionstypen zur Verfügung, die in Abhängigkeit des experimentellen Designs und der Kulturpflanzenart zu unterschiedlicher statistischer Güte der Anpassung führen. Wie von Taube (2021) ausgeführt und mit vielen Quellen hinterlegt, führt die Schätzung mit der quadratischen (Q)-Funktion in der Regel immer zu höheren Maximalerträgen und zu höherem N-Bedarf zum Erreichen dieser Maximalerträge (vgl. auch Abb. 1). Diese Effekte sind umso stärker ausgeprägt, je geringer die Anzahl der N-Stufen ausfällt. Die in die Auswertungen der Autoren eingegangenen minimal 4 Stickstoff-Steigerungsstufen stellen eine untere Grenze dar und legen auch hier diesen Effekt nahe, so wie er nur beispielhaft in der Abbildung 3 der Autoren dokumentiert ist. Dort zeigen die Autoren die typischen Q-Funktionseffekte auf die Höhe der optimalen N-Düngung mit dem Ergebnis, dass N_{opt} bei Raps nach Linear-plateau Funktion (LP) um 45 kg N/ha niedriger ausfällt als nach Q-Funktion und 30 kg N/ha niedriger als nach Quadratisch-Plateau Funktion (QP). Zu ähnlichen Effekten der Funktionswahl kommen Henke *et al.* (2007) in einer Raps-Weizen-Gerste-Fruchtfolge. Die Autoren entscheiden sich dennoch hinsichtlich der weiteren Auswertung und Dateninterpretation allein für den QP-Ansatz und begründen dies einerseits mit statistisch signifikanten Schätzfehlerdifferenzen zugunsten von QP und Q (die agronomisch zu vernachlässigende marginal kleine Schätzfehlerdifferenzen beim Winterweizen von 20 kg Kornertrag/ha, beim Raps von 8 kg Kornertrag/ha ausweisen) und andererseits mit ‚gravierenden Nachteilen‘ der LP-Funktion, da diese ‚pflanzenphysiologisch nicht begründet‘ sei und zitieren dazu zwei Quellen, ohne gegenteilige Aussagen z.B. von Bachmaier(2012), Miguez und Poffenbarger (2022) oder Dhakal und Lange (2021) zu berücksichtigen. Mit 4 bis 5 N-Stufen inklusive der Nullvariante, also i.d.R. maximal 4 Düngungsstufen, die einen Bereich von bis zu 280 kg N/ha abdecken, entsteht ein Stufenabstand von mindestens 60 kg N/ha. Bei diesem Design kann man nicht pflanzenphysiologisch argumentieren, da

diese Herleitung nur bei einer wesentlich engeren Stufensetzung im erwarteten Optimalbereich möglich wäre (Bachmaier, 2012). Die Argumentation der Autoren zur alleinigen Befassung mit dem QP Ansatz ist somit nicht zu halten, denn hier geht es bei der Auswertung von jeweils mehreren hundert Datensätzen mit einem weiten Gradienten an Umwelten und entsprechend riesiger Streuung der Erträge nicht um Pflanzenphysiologie, sondern um den besten Model fit unter Berücksichtigung des § 1 des Düngegesetzes. Die Abbildung 6 der Autoren macht dies deutlich – ob man in diese Punktwolken dort eine LP oder QP-Funktion einfügt, ist statistisch - wie ausgeführt - nahezu irrelevant, hat aber erhebliche Effekte auf das Ergebnis bezüglich des Düngebedarfs und die sind entscheidend. Wenn dann wie in Abb. 3 der Autoren demonstriert, ein 30-50 kg N/ha niedriger N-Düngungsbedarf aus dem LP Ansatz im Vergleich zu QP und Q resultiert, so wie dies häufig in der Literatur dokumentiert ist (vgl. Literaturrecherche bei Taube, 2021), dann darf man dieses Ergebnis in den weiteren Auswertungen nicht negieren, insbesondere dann nicht, wenn mit diesem LP-Modell im Optimum ausgeglichene N-Salden bzw. marginal positive N-Salden erreicht werden, die eine Umsetzung von §1 DüngeG gewährleisten. Genau das ist hier unterlassen worden, obwohl die Übersichtsarbeiten von Dhakal und Lange (2021) ebenso wie schon von Bachmaier (2012) auf die Notwendigkeit der Berücksichtigung dieser weiteren Effekte verweisen und daraus mit Blick auf Umweltparameter eine Präferenz für die Linear-Plateau-Funktion herleiten. Dieses methodische Versäumnis ist so schwerwiegend, dass alle aus dieser einseitigen Betrachtung resultierenden Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Autoren in der Folge nicht belastbar sind.

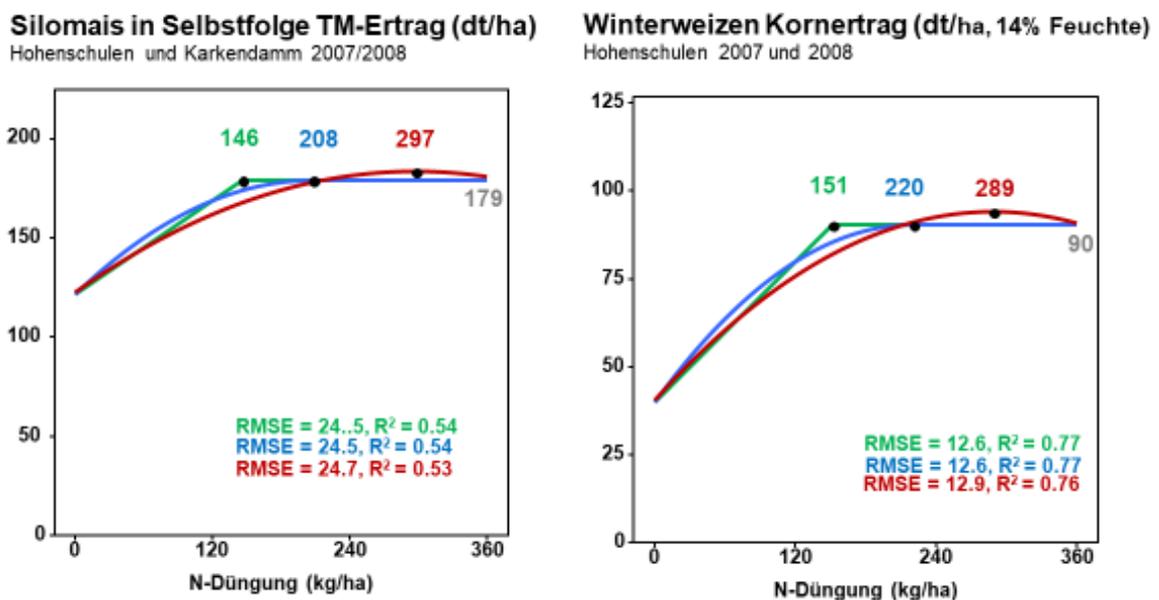


Abbildung 1: Schematische Darstellung unterschiedlicher Funktionen (hier: Linear-Plateau-Funktion (grün); Quadrat-Plateau-Funktion (blau) und quadratische Funktion (rot) zur Herleitung der optimalen N-Intensität bei Mais (links) und Winterweizen (rechts), eigene Darstellung nach Herrmann *et al.* (2017)

Dies umso mehr, als die so hergeleiteten *ex post* N_{opt} Ergebnisse (Tabellen 3 und 4 der Autoren) für Weizen und Raps in einer aus den Daten zusammengesetzten Raps-Weizen-Weizen-Fruchtfolge zu N-Salden im Mittel der Fruchtfolge von +48 kg N/ha (ohne Herbstdüngung zu Raps) bzw. 59 kg N/ha (mit Herbstdüngung) führen und es gut belegt ist, dass N-Salden jenseits von 30 kg N/ha im Mittel der Fruchtfolge auf Standorten mit einer in aller Regel ebenfalls vorliegenden Überschussvergangenheit solcher Fruchtfolgen zu vermeidbaren Belastungen der Umwelt, insbesondere der Gewässer führen (Biernat *et al.*, 2020). Wird der konservative Kostensatz von 10 €/kg Überschussstickstoff jenseits eines N-Saldos von +30 kg je ha angesetzt, dann verursachen die N_{opt} -Varianten nicht internalisierte Schadenskosten von 180 bis 290 €/ha, deutlich mehr als die Differenz der NKFL, die laut der Autoren etwa 100 € beim Weizen für diesen Vergleich der Varianten beträgt. Stever-Schoo *et al.* (2020) zeigen jüngst sehr deutlich, dass diese Überschussproblematik in den spezialisierten Ackerbaubetrieben Norddeutschlands mit den dominanten Kulturarten Winterweizen und Raps nach wie vor evident ist mit der Konsequenz deutlich zu hoher N-Verluste über Dränabflüsse.

Wenn die Autoren dann auf Basis der den N-Bedarf tendenziell überschätzenden QP-Funktion zeigen, dass mit der DüV minus 20% Düngung mit 7,94 Tonnen Kornertrag/ha bei Weizen und 3,91 Tonnen Kornertrag/ha bei Raps fast genau der Standardertrag von 8 Tonnen/ha bei Weizen bzw. 4 Tonnen/ha bei Raps nach DüV erreicht wird und bei Weizen-Kornrohproteingehalte erreicht werden, die eine Backqualität nicht in Frage stellen (12,2%), dann ist es unverständlich, wie die Autoren zu der Auffassung gelangen können, dass minus 20% des so genannten Bedarfs nicht auskömmlich sein sollen – dies umso mehr als dieses Szenario immer noch zu positiven N-Salden im gewünschten Bereich von knapp über 0 kg N/ha im Durchschnitt einer hergeleiteten Fruchtfolge Raps-Weizen-Weizen führt - eine Fruchtfolge, die auch in den damaligen Experimenten der Autoren nicht untypisch gewesen sein dürfte.

Zusammenfassend bleibt diesen Punkt betreffend zu konstatieren, dass die Autoren (i.) ausschließlich mit einer den Bedarf überschätzenden QP-Funktion (statt komplementär mit einer LP-Funktion) arbeiten und mit dieser Funktion in der Variante ‚20% unterhalb des Düngedarfs nach DüV‘ für die hauptsächlich angebauten A/B-Weizensorten (ii.) mit 7,94 Tonnen/ha, nahezu der Standardertrag nach DüV erreichen (97% von 8 Tonnen/ha – gleiches gilt entsprechend für den Winterraps), (iii.) im Mittel 12,2% Rohprotein im Erntegut erzielen, die dem Qualitätsstandard für Brotgetreide in dieser Klassifikation (12,0%) entsprechen und (iv.) N-Salden zwischen 0 und etwa +10 kg in typischen Raps-Getreide-Fruchtfolgen ausweisen, die dem Gebot der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit entsprechen und Nährstoffverluste vermeiden (DüngeG §1, Absatz 4).

3. Stickstoffertrag und N-Auswaschung

Im Kap. 3.6 schließlich befassen sich die Autoren mit der Beziehung zwischen N-Saldo und Nährstoffausträgen über den Pfad Sickerwasser, nun jedoch ausschließlich mit Daten, die im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs 192 in den 1990er Jahren am Standort Hohenschulen erhoben wurden. Dabei werden 2006 publizierte Daten (Sieling und Kage, 2006) nun nochmals modifiziert ausgewertet mit dem Ergebnis, dass die Beziehung zwischen dem N-Bilanzsaldo und den N-Austrägen immer noch außerordentlich schwach ausgeprägt ist und sich selbst ein über 10 Jahre akkumulierter Unterschied in den N-Salden von mehr als 1000 kg N/ha nicht in entsprechender Weise im Auswaschungsgeschehen niederschlägt. In den Mineraldüngervarianten werden N-Auswaschungen zwischen 0 und 45 g je kg N-Bilanzüberschuss identifiziert. Das ist ungewöhnlich wenig und dies wird insofern indirekt von den Autoren eingeräumt, als sie die Meta-Analyse von Zhao *et al.* (2022) heranziehen, die unter Berücksichtigung der marginalen Stickstoffeffizienz, also unter Berücksichtigung eines zusätzlich gedüngten Kilogramms Stickstoff im Bereich des Optimums, welches einen N-Überschuss verursacht, von einer N-Auswaschung von 300 g je kg N-Bilanzüberschuss ausgehen. Diese Größenordnung wiederum deckt sich mit den Ergebnissen vielen Arbeiten, die seitens der Autoren nicht zitiert werden (Biernat *et al.*, 2020; Wachendorf *et al.*, 2004, 2006; Hermann *et al.* 2005; Kühling *et al.* 2020). Am Standort Hohenschulen haben wir im Übrigen gezeigt, dass im ersten Jahr der ON-Düngung zu Mais nach einem hoch versorgten Stoppelweizen die N-Austräge sofort sehr deutlich zurückgehen und die N-Konzentration im Sickerwasser mit 5-10 mg/l sehr niedrige Werte einnimmt, während die hoch versorgten Maisbestände mit den erwarteten hohen N-Konzentrationen reagieren, es ist also mitnichten so, dass Hohenschulen ein *per se* durch hohe N-Austräge charakterisierter Standort ist – unter Ackergrasbeständen sind dort die N-Austräge sogar zu vernachlässigen (Struck *et al.*, 2019). Unstrittig ist, dass beim Vergleich von N-Salden und N-Frachten mit dem Sickerwasser die Sickerwassermenge einzubeziehen ist und für die typischen Sickerwassermengen von 250-300 mm in den Weizen- und Rapsanbaugebieten (Nord-) Deutschlands sind diese 30% des Überschusses, die über den Pfad Sickerwasser das System Boden-Pflanze verlassen, in vielen Arbeiten evident. Darüber hinaus zeigen Vogler *et al.* (2022) mit Arbeiten zu Winterroggen und Winterweizen in Dänemark sehr überzeugend die Bedeutung des potentiellen ‚N-carry over Effekts‘ für die marginale N-Auswaschung auf, indem sie nachweisen, dass N-Überschüsse nicht nur das aktuelle Auswaschungsgeschehen im Folgewinter beeinflussen, sondern kumulieren, d.h. N-Überschüsse in einem Jahr wirken in den Folgewintern nach mit der Konsequenz, dass die Beziehung N-Saldo zu N-Austrag unter den Bedingungen des gemäßigten Klimas mit Sickerwassermengen zwischen 200 und 350 mm völlig unstrittig ist und somit N-Überschüsse zu vermeiden sind.

Wie kann es nun zu derartig unplausiblen Abweichungen kommen? Als jemand, der in den 1990er Jahren teil hatte an den Arbeiten im Sonderforschungsbereich 192, liegt die Vermutung nahe, dass mit der damals gewählten Versuchsdurchführung mit 3 m breiten Parzellen, angelegt quer zum Hang an einem Nordhang mit bis zu 8 % Hangneigung und direkt nebeneinander liegenden sehr unterschiedlichen Dünge- bzw. Pflanzenschutzvarianten, zwar mittels Kerndrusch eine valide Ertragsermittlung möglich war, aber die Validität der Daten zu den Nitratkonzentrationen im Sickerwasser in einer Profiltiefe von 150 cm definitiv nicht gegeben ist. Bei einer Hangneigung von diesem Ausmaß und teilweise unvermeidbarem oberflächlichen Abfluss u.a. nach Starkregen bzw. nach Frost-/Tauereignissen im Winter wird in 150 cm Bodentiefe an der keramischen Saugkerze alles an oberflächlichem Abfluss und an potentiellen lateralen Flüssen gemessen, aber mit Sicherheit nicht nur das, was auf den darüber liegenden Parzellen an N-Überschüssen aufgetreten ist. Nur so sind auch die nach langjähriger Aushagerung immer noch sehr hohen Konzentrationen unter den Nullvarianten zu erklären.

4. Schlussfolgerungen der Autoren

Nach der kritischen Würdigung der Einbettung der Arbeit in den rechtlichen Rahmen, der methodischen Vorgehensweise ebenso wie der Ableitung der Beziehungen zwischen N-Saldo und N-Auswaschung auf Basis der Daten aus Hohenschulen ist es folgerichtig, dass den Schlussfolgerungen der Autoren in den wesentlichen Aussagen nicht gefolgt werden kann. So zeigen die Ergebnisse der Autoren die Verhältnismäßigkeit einer Reduktion des N-Düngungsbedarfs um 20% auf, da dieser - wie schon vorher in zwei Gutachten hinterlegt (Taube, 2018, 2021) - weitgehend dem tatsächlichen Bedarf für einen Standardertrag entspricht und die Bodenfruchtbarkeit nicht beeinträchtigt, wie langjährige Untersuchungen der Arbeiten im VDLUFA belegen (Heyn und Olf, 2018).

Die von den Autoren propagierten alternativen Maßnahmen wie der Einsatz von Zwischenfrüchten, die Anpassung der Bodenbearbeitung und die Umstellung der Fruchtfolge sind selbstredend geboten und richtig, aber nicht alternativ zur Reduzierung der Düngung, sondern komplementär dazu. Werden nämlich Zwischenfrüchte über Winter eingesetzt, müssen diese ganz anders in der Düngebedarfsermittlung berücksichtigt werden als das bisher mit marginalen Werten für die Nachlieferung in der DüV der Fall ist: nämlich weitgehend mit dem vermiedenen N-Verlust ohne Zwischenfrucht und zwar deshalb, weil es sich bei den Zwischenfrüchten zumeist um Pflanzenmaterial mit engem C:N-Verhältnis handelt (Böldt *et al.*, 2021), welches zeitnah düngewirksam wird (Vogeler *et al.*, 2022) – wenn nicht im ersten Jahr nach der Zwischenfrucht, dann in den Folgejahren und wenn die Mineralisation der im Winter absterbenden Zwischenfrüchte zu früh einsetzt, dann kann die N-

Auswaschung sogar noch erhöht werden. (Böldt *et al.*, 2021). Wenn dieser N-Pool nicht adäquat als langjährig düngerelevant eingeordnet wird, dann werden die N-Austräge zeitversetzt steigen, so wie das in einer der wenigen langjährig durchgeführten Arbeiten zum Thema Zwischenfrüchte und Nährstoffausträge von Thomsen und Christensen (2006) überzeugend dokumentiert ist. Kurzfristig angelegte Forschungsarbeiten über die Leistungen von Zwischenfrüchten zur Vermeidung von N-Austrägen und zum Beitrag der N-Versorgung der Folgefrüchte sind mithin ohne entsprechende Modellierungsansätze (vgl. Vogeler *et al.*, 2022) wenig aussagefähig für längerfristige Szenarien

Die Autoren mahnen in ihren Schlussfolgerungen neben ökonomischen Analysen auch die Bewertung der Emissionen im Sinne der Internalisierung der externen Kosten an – dabei erlauben in der Literatur hinterlegte Schadengrößenordnungen eine Einordnung - dies allerdings nur auf der Basis von Fruchtfolgeszenarien, nicht von Einzelkulturen. Überhaupt fehlt eine Reflektion des Systemgedankens zur Bewertung der Intensität im Ackerbau weitgehend. Eine alleinige Fokussierung auf die N-Düngung zweier Kulturarten ohne die konstruktive Einordnung in einen weiteren Kontext ‚Ackerbausysteme‘ ist nicht ausreichend. Zumindest im Kapitel Diskussion und Schlussfolgerungen wäre dies angebracht gewesen und zwar unter anderem aus folgenden weiteren Gründen, um nur einige zu nennen: Kein Landwirt wird in den ‚roten Gebieten‘ pauschal minus 20% bei allen Kulturen düngen, da sollte man dem pflanzenbaulichen Wissen und der unternehmerischen Kreativität in der landwirtschaftlichen Praxis mehr zutrauen. Wir wissen, dass ein Mais nach Stoppelweizen in Hohenschulen ohne N-Düngung 130-150 kg N/ha aufnimmt (Svoboda *et al.* 2013) und nahezu den Maximalertrag realisiert, ebenso wie dies bei Mais nach Ackergras der Fall ist (Volkers *et al.*, 2002), d.h. stark N-bedürftige Kulturen werden z.B. mit 85-90% des ‚Bedarfs‘ gedüngt ohne relevante monetäre Ertragsverluste und andere Kulturen, die neu in die Fruchtfolge aufgenommen werden, wie der Mais (zur Zeit Silomais, zukünftig auch im Norden die Marktfrucht Körnermais) werden mit 50-60% des ‚Bedarfs‘ gedüngt, weil der Bedarf bei Mais deutlich zu hoch angesetzt ist, insbesondere was den Standardrohproteingehalt zur Ernte betrifft (vgl. Taube 2018, Herrmann *et al.*, 2005). Positive Koppelwirkungen sind deutlich reduzierte N-Austräge nach dem Mais (Svoboda *et al.*, 2013), im Idealfall wird eine Maiskultur mit einer Grasuntersaat verknüpft (Wachendorf *et al.*, 2006). Kooperationen zwischen Marktfrucht- und Futterbaubetrieben mit gemeinsamen Fruchtfolgen unter Einsatz von mehrjährigem Klee gras liefern N-Residuen aus dem Klee gras, die um den Faktor 4-5 höher anzusetzen sind als in der DüV vorgegeben (Loges *et al.*, 2018, Alderkamp *et al.*, 2022) oder eine Kombination von reduzierter Düngung und Insektenschutz mit dem 90/10-Modell (Taube, 2022) zeigen auf, was alles möglich ist, wenn diese Restriktionen im Sinne des Gewässerschutzes als Chance für eine bessere Landwirtschaft gesehen werden im Rahmen einer ökologischen Intensivierung, so wie es in der EU-Farm to Fork Strategie in den Grundlinien aufgezeigt wird.

Wir werden die N-Überschüsse in Deutschland in den nächsten 20 Jahren von derzeit 90-100 kg N/ha auf unter 50 kg N/ha halbieren müssen (UBA 2022; Grethe *et al.*, 2021, Taube *et al.*, 2013), das bedeutet für den spezialisierten Ackerbau N-Salden-Zielwerte zwischen 0 und + 20 kg N/ha - Werte, die von gut wirtschaften Betrieben schon heute realisiert werden. Angesichts dieser Herausforderungen sind die Schlussfolgerungen der Autoren nicht zukunftsweisend.

Fazit

Die Autoren zeigen mit der Auswertung umfangreicher Datensätze zur Ermittlung des N-Bedarfs von Winterweizen und Winterraps unter Berücksichtigung der Vorgaben zur aktuellen Düngeverordnung (DüV), dass die Standarderträge der DüV bei A/B-Winterweizen (8 Tonnen je ha bei mehr als 12% Rohprotein) ebenso wie die Standarderträge bei Winterraps (4 Tonnen je ha) mit einer N-Düngung von 15-20% unter dem Bedarf nach DüV erreicht werden. Die Anpassung der entsprechenden Zahlen in der DüV seitens des BMEL ist somit geboten, um der Zweckbestimmung der Düngung entsprechend DüngG §1 nachzukommen. Mit dieser Reduktion des Düngedarfs wird gleichermaßen der nachhaltigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit Rechnung getragen ebenso wie der Minimierung von Nährstoffüberschüssen bei hohen Ertragsniveaus. Zudem stellt diese Anpassung eine Motivation dar, die im Beitrag skizzierten weiteren Maßnahmen der guten fachlichen Praxis auf den Betrieben in der Breite umzusetzen und zu optimieren.

Im Hinblick auf die Funktion der DüV als Instrument zur Überprüfung der guten fachlichen Praxis der Düngung wird deutlich, dass die Fokussierung auf einzelne Kulturen ohne Berücksichtigung typischer Standard-Fruchtfolgen mit und ohne Zwischenfrüchte Schwächen aufweist und daher durch die eine ambitionierte novellierte Stoffstrombilanzverordnung (UBA, 2020) kurzfristig ergänzt und mittelfristig substituiert werden sollte, allein um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass nicht die Höhe der Düngung, sondern der Nährstoffbilanzsaldo des Anbausystems die zentrale Zielgröße darstellen sollte.

Zusammenfassung

Kage *et al.* (2022) haben eine umfängliche und beachtliche Auswertung und Analyse von mehrortigen und mehrjährigen Stickstoffsteigerungsversuchen sowohl zu Winterraps als auch zu Winterweizen vorgelegt mit dem Ziel, so die ‚DüV zu evaluieren‘ und ‚optimale N-Düngungsintensitäten‘ für die genannten Kulturarten herzuleiten. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Vorgaben der DüV die Stickstoffbedarfswerte betreffend bei beiden untersuchten Kulturen zu wirtschaftlichen Einbußen von 18-20% im Vergleich zur Düngung in Höhe des ökonomischen Optimums führen und eine weitere

Absenkung des Düngeniveaus um 20%, wie in den sogenannten ‚roten Gebieten‘ vorgegeben, nicht geboten sei, da andere Maßnahmen zur Vermeidung von Nährstoffausträgen zur Verfügung stünden.

Dem wird im vorliegenden Aufsatz widersprochen: Unter Berücksichtigung (i.) adäquater mathematischer Funktionen zur Beschreibung der Ertrags-response auf steigende N-Düngung; (ii.) der Standarderträge für Winterweizen und Winterraps in der DüV und (iii.) der Beziehungen zwischen Stickstoff-Salden und N-Verlusten über den Pfad Sickerwasser wird konstatiert, dass gemäß der Zweckbestimmung des Düngegesetzes (§1, Absatz 4: *Nährstoffverluste in die Umwelt so weit wie möglich zu vermeiden*) eine Absenkung der Bedarfswerte der N-Versorgung in der DüV für Winterweizen und Winterraps um 15-20% geboten ist. Mit dieser Reduktion des Düngedarfs wird gleichermaßen der nachhaltigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit Rechnung getragen ebenso wie der Minimierung von Nährstoffüberschüssen bei hohen Ertragsniveaus. Zudem stellt diese Anpassung eine Motivation dar, die im Beitrag skizzierten weiteren Maßnahmen der guten fachlichen Praxis auf den Betrieben in der Breite umzusetzen und im Sinne der EU-Farm to Fork – Strategie zu optimieren.

Summary

Kage et al. (2022) have presented a comprehensive and considerable evaluation and analysis of multi-location and multi-year trials with increasing N fertilisation rates for both winter rape and winter wheat with the aim of 'evaluating the DüV', and deriving 'optimal N fertilisation intensities' for these crops. The authors conclude that the specifications of the DüV regarding the nitrogen requirement values lead to economic losses of 18-20% for these two crops compared to fertilisation at the level of the economic optimum and that a further reduction of the fertilisation level by 20% as specified in the so-called 'red areas' is not necessary, as other measures are available to avoid nutrient losses.

This statement is contested in the present paper: Taking into account (i.) adequate mathematical functions to describe the yield response to increasing N fertilisation; (ii.) the standard yields for winter wheat and winter rape in the DüV; and (iii.) the relationships between nitrogen balances and N losses via drainage water, it is shown that according to the purpose of the Fertiliser Act (§1, paragraph 4: to avoid nutrient losses into the environment as far as possible) a reduction of the required N supply for winter wheat and winter rape by 15-20% is required. The adjustment of the corresponding figures in the DüV on the part of the BMEL is thus essential. This reduction in fertiliser requirements ensures both sustainable preservation of soil fertility and minimises nutrient surpluses at high yield levels. In addition, this adjustment is a motivation to implement further measures of good practice outlined in the article on farms at a large scale and optimize their fertilizer management according to the EU Farm to Fork strategy.

Literatur

1. Alderkamp, L.M., Vogeler, I., Poyda, A., Manevski, K., van Middelaar, C.E., Taube, F., 2022. Yields and Nitrogen Dynamics in Ley-Arable Systems - Comparing Different Approaches in the APSIM Model. *Agron* 12, 738. [10.3390/agronomy12030738](https://doi.org/10.3390/agronomy12030738)
2. Bachmaier, M., 2012. Sources of inaccuracy when estimating economically optimum N fertilizer rates. *Agric Sci* 3, 331–338. [10.4236/as.2012.33037](https://doi.org/10.4236/as.2012.33037)
3. Biernat, L., Taube, F., Vogeler, I., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R., 2020. Is organic agriculture in line with the EU-Nitrate directive? On-farm nitrate leaching from organic and conventional arable crop rotations. *Agric Ecosyst Environ* 298. [10.1016/j.agee.2020.106964](https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106964)
4. BMEL, 2020: Auswirkungen der geänderten Düngeverordnung (DüV) auf die Umsetzung der Cross Compliance Regelungen <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/duengeverordnung-cross-compliance.html>
5. Böldt, M., Taube, F., Vogeler, I., Reinsch, T., Kluß, C., Loges, R., 2021. Evaluating different catch crop strategies for closing the nitrogen cycle in cropping systems - field experiments and modelling. *Sustainability* 13, 394. [10.3390/su13010394](https://doi.org/10.3390/su13010394)
6. Dhakal, C., Lange, K., 2021. Crop yield response functions in nutrient application: A review. *Agron J* 113, 5222–5234. [10.1002/agj2.20863](https://doi.org/10.1002/agj2.20863)
7. DüV, 2020. Verordnung zur Änderung der Düngeverordnung und anderer Vorschriften vom 28. April 2020 [bgbl120s0846.pdf](https://www.gesetze-bundestag.de/bjds/bjdsdocs/bgbl120s0846.pdf)
8. Grethe, H., Martinez, J, Osterburg, B., Taube, F., Thom, F. 2021. Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die Drei Zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität. Gutachten für die Stiftung Klimaneutralität. [2021-06-01-Klimaneutralitaet Landwirtschaft.pdf](https://www.klimaneutralitaet-landwirtschaft.de/2021-06-01-Klimaneutralitaet_Landwirtschaft.pdf)
9. Grizzetti, B., Bouraoui, F., Billen, G., van Grinsven, H., Cardoso, A.C., Thieu, V., Garnier, J., Curtis, C., Howarth, R., Johnes, P., 2011. Nitrogen as a threat to European water quality, The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press, 379–404. [10.1017/CBO9780511976988.020](https://doi.org/10.1017/CBO9780511976988.020)
10. Henke, J., Breustedt, G., Sieling, K., Kage, H. 2007. Impact of uncertainty on the optimum nitrogen fertilization rate and agronomic, ecological and economic factors in an oilseed rape based crop rotation. *J Agric Sci* 145, 455-468. [10.1017/S0021859607007204](https://doi.org/10.1017/S0021859607007204)
11. Henning, C., Witzke, P., Panknin, L., Grunenberg, M. (2021). Ökonomische und Ökologische Auswirkungen des Green Deals in der Agrarwirtschaft. Eine Simulationsstudie der Effekte der F2F-Strategie auf Produktion, Handel, Einkommen und Umwelt mit dem CAPRI-Modell. Final Report.
12. [Farm to Fork Volle Studie zur Folgenabschaetzung des Green Deal.pdf](#)
13. Herrmann, A., Kersebaum, K.C., Taube, F., 2005. Nitrogen Fluxes in Silage Maize Production: Relationship between Nitrogen Content at Silage Maturity and Nitrate Concentration in Soil Leachate. *Nutr Cycl Agroecosyst* 73, 59–74. [10.1007/s10705-005-7961-6](https://doi.org/10.1007/s10705-005-7961-6)

14. Herrmann, A., Kage, H., Taube, F., Sieling, K., 2017. Effect of biogas digestate, animal manure and mineral fertilizer application on nitrogen flows in biogas feedstock production. *Eur J Agron* 91, 63–73. [10.1016/j.eja.2017.09.011](https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.011)
15. Heyn J. und Olfs H.-W. 2018. Wirkungen reduzierter N-Düngung auf Produktivität, Bodenfruchtbarkeit und N-Austragsgefährdung – Beurteilung anhand mehrjähriger Feldversuche. VDLUFA Schriftenreihe 72.
16. Kage, H., Rübiger, T., Sieling, K., 2022 Stickstoffdüngung zu Winterraps und Winterweizen. Eine Evaluierung der Düngeverordnung, methodischer Aspekte der Auswertung von Düngeversuchen sowie der Beziehung zwischen Düngungshöhe und Stickstoffauswaschung. *Berichte über Landwirtschaft* 100, 1 [10.12767/buel.v100i1.415](https://doi.org/10.12767/buel.v100i1.415)
17. Kühling, I., Beiküfner, M., Vergara, M., Trautz, D., 2020. Effects of Adapted N-Fertilisation Strategies on Nitrate Leaching and Yield Performance of Arable Crops in North-Western Germany. *Agron* 11, 64. [10.3390/agronomy11010064](https://doi.org/10.3390/agronomy11010064)
18. Loges, R., Bunne, I., Reinsch, T., Malisch, C., Kluß, C., Herrmann, A., Taube, F., 2018. Forage production in rotational systems generates similar yields compared to maize monocultures but improves soil carbon stocks. *Eur J Agron* 97, 11-19 [10.1016/j.eja.2018.04.010](https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.04.010)
19. Paetow, H. 2023 Nachhaltige Landwirtschaft – Beurteilungs- und Bewertungskriterien. Vortrage Jahrestagung Buchführungsverband 2023. „Landwirtschaft der Zukunft – nachhaltig, wirtschaftlich, vielfältig!“ 12.01.2023 in Neumünster [Paetow.pdf](#)
20. Sieling, K., Kage, H., 2006. N balance as an indicator of N leaching in an oilseed rape – winter wheat – winter barley rotation. *Agric Ecosyst Environ* 115, 261–269. [10.1016/j.agee.2006.01.011](https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.01.011)
21. Stever-Schoo, B., Ostermann, A., Stock, O., Kücke, M., Greef, J.-M., 2020. Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“ - Studie „Messprogramme der Bundesländer und angrenzender EU-Staaten (NL, DK) zum Abgleich des Frühindikatorensystems“. *Berichte JKI* 209 [10.5073/BERJKI.2020.209.000](https://doi.org/10.5073/BERJKI.2020.209.000)
22. Struck, I.J., Reinsch, T., Herrmann, A., Kluß, C., Loges, R., Taube, F., 2019. Yield potential and nitrogen dynamics of no-till silage maize (*zea mays* L.) under maritime climate conditions. *Eur J Agron* 107, 30–42. [10.1016/j.eja.2019.04.009](https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.04.009)
23. Svoboda, N., Taube, F., Kluß, C., Wienforth, B., Kage, H., Ohl, S., Hartung, E., Herrmann, A., 2013a. Crop production for biogas and water protection—A trade-off? *Agric Ecosyst Environ* 177, 36–47. [10.1016/j.agee.2013.05.024](https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.05.024)
24. Svoboda, N., Taube, F., Wienforth, B., Kluß, C., Kage, H., Herrmann, A., 2013b. Nitrogen leaching losses after biogas residue application to maize. *Soil Till Res* 130, 69–80. [10.1016/j.still.2013.02.006](https://doi.org/10.1016/j.still.2013.02.006)
25. Taube, F., Balmann, A., Bauhus, J., Birner, R., Bokelmann, W., Christen, O., Gauly, M., Grethe, H., Holm-Müller, K., Horst, W., Knierim, U., Nieberg, H., Latacz-Lohmann, U., Qaim, M., Spiller, A., Täuber, S., Weingarten, P., Wiesler, F., 2013. Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. Kurzstellungnahme der Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik und für Düngungsfragen beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesregierung zur Novellierung der "Düngeverordnung". *Berichte über Landwirtschaft, Sonderausgabe* 219, September 2013 [10.12767/buel.v0i219](https://doi.org/10.12767/buel.v0i219)

26. Taube F 2018. Expertise zur Bewertung des neuen Düngerechts (DüG, DüV, StoffBilV) von 2017 in Deutschland im Hinblick auf den Gewässerschutz. Gutachten im Auftrag von BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. [Taube 2018 Expertise Bewertung DueG DueV StoffBilV.pdf](#)
27. Taube, F. 2021. Ist 100 % Ökologisierung besser als 20 % Ökolandbau? Agrarspectrum. Schriftenreihe des DAF 53. [agrarspectrum 53.pdf](#)
28. Taube, F. 2021. Die Regelungen zur guten fachlichen Praxis der Düngung (DüV 2020) widersprechen der Zweckbestimmung des Düngegesetzes und tragen zur Verfehlung der Umweltziele Deutschlands und der EU bei. Gutachten im Auftrag von BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. [PI 20210707 Expertise-Prof-Taube-Bewertung-Düngerecht-2020.pdf](#)
29. Taube, F. 2021. Vorschläge der Zukunftskommission Landwirtschaft mit DüV umsetzen. *Agrar Europe Sonderbeilage* 36/21, 6. Sept. 2021 [age-sb-36-21-taube.pdf](#)
30. Thomsen, I.K., Christensen, B.T., 2006. Nitrogen conserving potential of successive ryegrass catch crops in continuous spring barley. *Soil Use Manag* 15, 195–200. [10.1111/j.1475-2743.1999.tb00088.x](#)
31. UBA, 2020. Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung: Stickstoff- und Phosphor-Überschüsse nachhaltig begrenzen. Fachliche Stellungnahme zur Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung. Umweltbundesamt (UBA) Texte 200/2020. [2020 11 05 texte 200 2020 papier novellierung stoffbilv.pdf](#)
32. UBA, 2020. Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten. Kostensätze, Stand 12/2020. Umweltbundesamt (UBA) [2020-12-21 methodenkonvention 3 1 kostensaetze.pdf](#)
33. UBA, 2022. Indikator: Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft. Umweltbundesamt (UBA) [de indikator agri-01 stickstoffueberschuss-landwirt 2022-07-18 0.pdf](#)
34. Van Grinsven, H.J.M., Holland, M., Jacobsen, B.H., Klimont, Z., Sutton, M. a., Jaap Willems, W., 2013. Costs and Benefits of Nitrogen for Europe and Implications for Mitigation. *Environ Sci Technol* 47, 3571–3579. [10.1021/es303804g](#)
35. Vogeler, I., Thomsen, I.K., Jensen, J.L., Hansen, E.M., 2022. Marginal nitrate leaching around the recommended nitrogen fertilizer rate in winter cereals. *Soil Use Manag* 38, 503–514. [10.1111/sum.12673](#)
36. Volkers K., Wachendorf M., Taube F. (2002) Management of forage maize for reduced nitrogen surpluses - Results from an integrated research project. *Grassl Sci Eur*, 7, 744-745
37. Wachendorf, M., Büchter, M., Trott, H., Taube, F., 2004. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. II. Impact of defoliation system and nitrogen input on nitrate leaching losses. *Grass Forage Sci* 59, 307–307. [10.1111/j.1365-2494.2004.00430.x](#)
38. Wachendorf, M., Büchter, M., Volkers, K.C., Bobe, J., Rave, G., Loges, R., Taube, F., 2006. Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. V. Impact of grass understorey, slurry application and mineral N fertilizer on nitrate leaching under maize for silage. *Grass Forage Sci* 61, 243–252. [10.1111/j.1365-2494.2006.00528.x](#)

39. WBA 2013 Kurzstellungnahme der Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) zur Novellierung der "Düngeverordnung" (DüV) [StellungnahmeDuengeVO.pdf](#)
40. Zhao, J., Pullens, J.W.M., Sørensen, P., Blicher-Mathiesen, G., Olesen, J.E., Børgesen, C.D., 2022. Agronomic and environmental factors influencing the marginal increase in nitrate leaching by adding extra mineral nitrogen fertilizer. *Agric, Ecosyst Environ* 327, 107808. [10.1016/j.agee.2021.107808](https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107808)

Anschrift des Autors

Prof. Dr. Friedhelm Taube
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau
Hermann-Rodewald-Straße 9
24118 Kiel

ftaube@gfo.uni-kiel.de