

TEXTE

41/2023

# Hintergrundbericht zur Umweltbewertung von Düngemittelzusatzstoffen

## Ausgangslage, Datengrundlagen, Methoden und Risikoregulierung

von:

Ursula Karges, Dr. Christine Kübeck, Dr. Tim aus der Beek

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH, Mülheim an der Ruhr

Theresa Seith, Dr. Richard Beisecker

IfÖL GmbH Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft, Kassel

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt



TEXTE 41/2023

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und  
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3720 64 413 0  
FB000984

## **Hintergrundbericht zur Umweltbewertung von Düngemittelzusatzstoffen**

Ausgangslage, Datengrundlagen, Methoden und  
Risikoregulierung

von

Ursula Karges, Dr. Christine Kübeck, Dr. Tim aus der Beek  
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung  
gGmbH, Mülheim an der Ruhr

Theresa Seith, Dr. Richard Beisecker  
IfÖL GmbH Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft,  
Kassel

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet : [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

[facebook/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
[twitter/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### Durchführung der Studie:

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH  
Moritzstraße 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft (IfÖL) GmbH  
Windhäuser Weg 8  
34123 Kassel

### Abschlussdatum:

Oktober 2022

### Redaktion:

Fachgebiet IV 1.3 Pflanzenschutzmittel  
Gesa Amelung und Lisa Noll PhD

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, März 2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

### **Kurzbeschreibung: Umweltbewertung von Düngemittelzusatzstoffen**

Änderungen im Düngerecht und eine zunehmende Anzahl an Umweltfunden rückten Düngemittelzusatzstoffe (DMZ) zuletzt verstärkt in den Fokus von Anwendern, Herstellern und Kontrollinstanzen. Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren (NI und UI) sollen Stickstoffemissionen in angrenzende Umweltkompartimente verringern und zu einer erhöhten Stickstoffnutzungseffizienz der Kulturen beitragen. Biostimulanzien sollen unterstützend und aktivierend auf Stoffwechselforgänge in den Pflanzen wirken und dadurch Nährstoffaufnahme, Stresstoleranz und Produktqualität verbessern. Die teils sehr unterschiedlichen Wirkungsweisen sowie uneinheitliche Zielsetzungen in Studien und noch nicht für mitteleuropäische Verhältnisse standardisierte Studiendesigns erschweren eine Einordnung von Prüfungsergebnissen. Die Datenlage in der Literatur zu Wirkungsweise, Effizienz und auch den Umweltauswirkungen ist daher bisher für viele der Inhibitoren und Biostimulanzien sehr uneinheitlich und in den Ergebnissen oft nicht vergleichbar. Aufgrund der teilweise unbekanntem Stoffeigenschaften und Anwendungsdaten sind die mit der unmittelbaren Ausbringung in die Umwelt verbundenen Risiken für viele der NI, UI und Biostimulanzien oftmals noch unbekannt. Zielkonflikte ergeben sich insbesondere dort, wo den intendierten Wirkungen negative Umweltauswirkungen entgegenstehen können. So steht, beispielsweise im Falle der NI, die beabsichtigte Wirkung verringerter Nitratauswaschungen ins Grundwasser der durch Nachweise in Oberflächengewässern verstärkten Besorgnis über Gewässereinträge der Substanzen (und Abbauprodukten) selbst gegenüber. Eine generell fehlende Anzeigepflicht erschwert dabei die Abschätzung, welche Produkte in welchen Mengen und mit welchen Eigenschaften tatsächlich in Deutschland ausgebracht werden und in die Umwelt gelangen können. Dadurch ist eine eindeutige Zuordnung der Wirkstofffunde zu den unterschiedlichen Eintragungspfaden nicht möglich. Zudem sind die gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) tonnageabhängig gestaffelten Mindestanforderungen zur Abschätzung von Umweltverhalten und -risiko, auf denen die Zulassungsverfahren für diese Stoffe aufbauen, aus Sicht des vorsorgenden Umweltschutzes, gerade im Bereich der terrestrischen Ökotoxikologie, oft ungenügend. Erweiterte Datenanforderungen für ökotoxikologische Tests sollten der großflächigen Ausbringung in die Umwelt und den möglichen Auswirkungen auf die Nichtziel-Bodenmikroorganismen Rechnung tragen, wobei noch Forschungsbedarf bezüglich der Auswahl einer ökotoxikologisch sinnvoll angepassten Testbatterie besteht. Hier besteht noch ein erhebliches Defizit, was die Bewertung der Umweltrisiken erschwert.

**Abstract: Environmental assessment of fertiliser additives**

Recent changes in fertiliser legislation and an increasing number of environmental findings put fertiliser additives (FAs) in the spotlight of users, manufacturers, and regulatory agencies. Nitrification and urease inhibitors (NI and UI) are intended to reduce nitrogen emissions to adjacent environmental compartments and to promote increased nitrogen use efficiency in crops. To improve nutrient uptake, stress tolerance and product quality, biostimulants are designed to enhance or activate plant metabolic processes. However, due to very different modes of action and inconsistent objectives in studies, as well as study designs that are not yet standardized for Central European conditions, experimental results are often not comparable. Hence, available data in literature on mode of action, efficiency and also environmental effects are rather disparate for many inhibitors and biostimulants, so that results often lack comparability. Due to partly lacking information on substance properties and application data, there are still unknown risks for many NIs, UIs, and biostimulants when applied directly into the environment. Competing interests arise in particular where adverse environmental effects potentially counter intend benefits. With regard to NI, for example, the intended reduction in nitrate leaching to groundwater is opposed by increasing concerns on discharges of these very substances (and their degradation products) to water bodies, given their proven occurrence in surface waters. The general lack of a notification requirement impedes the evaluation of the quantities and properties of the products that are actually applied in Germany and thus may enter the environment. Therefore, precise assignment of the active ingredient findings in the environment to individual entry pathways is not possible. In addition, the tonnage-based tiered requirements for the assessment of environmental fate and risk, as laid down in Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH Regulation), on which the authorisation procedures for these substances are based, remain mostly deficient in terms of precautionary environmental protection. This is particularly true in the field of terrestrial ecotoxicology. Extended data requirements for ecotoxicological tests need to address the large-scale application to the environment as well as potential consequences for non-target soil microorganisms. Research is still needed on a suitable ecotoxicologically adapted test battery.

## Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	11
Summary.....	14
1 Einleitung.....	16
2 Rechtlicher Hintergrund.....	18
2.1 Rechtlicher Hintergrund der Ausbringung.....	18
2.1.1 Rechtlicher Hintergrund der Zulassung.....	20
2.1.2 Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen.....	21
2.1.3 Konformitätsbewertung.....	22
3 Umweltbewertung, Umweltexposition.....	23
3.1 Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren.....	24
3.2 Biostimulanzen.....	32
4 Wirksamkeit.....	34
4.1 Wirksamkeit von NI und UI.....	34
4.1.1 Reduzierung der Nitrat-Auswaschung.....	35
4.1.2 Reduzierung der Ammoniakemissionen.....	36
4.1.3 Reduzierung der Lachgasemissionen.....	37
4.2 Wirksamkeit von Biostimulanzen.....	37
5 Fazit und Ausblick.....	39
6 Quellenverzeichnis.....	41
7 Verzeichnis der Rechtsgrundlagen.....	46
8 Anhang.....	47
A.1 Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren, die in Deutschland gemäß DümV (2019) zugelassen sind.....	47

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema zur rechtlichen Einordnung der Stoffgruppen von Düngemittelzusatzstoffen; rot hervorgehoben sind die Stoffgruppen, die schwerpunktmäßig auf der Fachtagung behandelt werden, die orange und gelb eingefärbten Kästen beinhalten Stoffgruppen der Düngemittelzusatzstoffe. ....	19
Abbildung 2: Konzept der Risikoabschätzung von Umweltchemikalien, vereinfachte Darstellung .....	24
Abbildung 3: Wege zum Stoffsicherheitsbericht nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) .....	30
Abbildung 4: Vorschlag einer angepassten, systematischen Teststrategie zur Abschätzung des Umweltrisikos durch Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren.....	32
Abbildung 5: Wirkungsweise von Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren.....	34

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vereinfachte Übersicht der Standarddatenanforderungen für Stoffe in der REACH-Registrierung (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) im Vergleich mit Anforderungen gemäß Pflanzenschutzrecht entsprechend den Datenanforderungen der Verordnungen (EU) Nr. 283/2013 und (EU) Nr. 284/2013	27
--	----

## Abkürzungsverzeichnis

<b>2-NPT</b>	N-(2-Nitrophenyl)phosphorsäuretriamid
<b>3-MP</b>	3-Methylpyrazol
<b>BMEL</b>	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
<b>CE</b>	Conformité Européenne
<b>CEN</b>	Europäisches Komitee für Normung
<b>CMC</b>	Komponentenmaterialkategorie
<b>DCD</b>	Dicyandiamid
<b>DMPP</b>	3,4-Dimethylpyrazolphosphat
<b>DMPSA</b>	2-(3,4-Dimethyl-1H-pyrazol-1-yl)bernsteinsäure
<b>DMZ</b>	Düngemittelzusatzstoff
<b>DüMV</b>	Düngemittelverordnung
<b>DüngG</b>	Düngegesetz
<b>DüV</b>	Düngeverordnung
<b>DVK</b>	Düngemittelverkehrskontrolle
<b>EG</b>	Europäische Gemeinschaft
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>GOW</b>	Gesundheitlicher Orientierungswert
<b>IfÖL</b>	Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft
<b>IVA</b>	Industrieverband Agrar
<b>IWW</b>	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH
<b>KAS</b>	Kalkammonsalpeter
<b>MEC</b>	Measured Environmental Concentration
<b>MPA</b>	N-((3(5)-Methyl-1H-pyrazol-1-yl)methyl)acetamid
<b>NBPT</b>	N-Butyl-thiophosphortriamid
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Distickstoffmonoxid - Lachgas
<b>NH<sub>3</sub></b>	Ammoniak
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	Ammoniumion
<b>NI</b>	Nitrifikationsinhibitor
<b>NUI</b>	Nitrifikations-/Ureaseinhibitoren (in Kombination)
<b>PEC</b>	Predicted Environmental Concentration
<b>PFC</b>	Produktfunktionskategorie
<b>PflSchG</b>	Pflanzenschutzgesetz
<b>t</b>	Tonnen
<b>TC</b>	Technisches Komitee
<b>THG</b>	Treibhausgas

<b>2-NPT</b>	N-(2-Nitrophenyl)phosphorsäuretriamid
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>UI</b>	Ureaseinhibitor
<b>WBD</b>	Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen

## Zusammenfassung

In der Landwirtschaft werden den Düngemitteln zunehmend Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren zugesetzt. Ihnen werden positive Wirkungen hinsichtlich verringerter Stickstoffemissionen in angrenzende Umweltkompartimente zugeschrieben. So können Ureaseinhibitoren die Ammoniakemissionen vermindern; Nitrifikationsinhibitoren können sowohl den Nitrataustrag mit dem Sickerwasser als auch die Lachgasemissionen reduzieren. Dennoch zeigt die Auswertung der einschlägigen Literatur, dass es für die genannten positiven Wirkungen große Spannweiten in Abhängigkeit von Standort, Düngerart und -form, der Versuchsdauer oder Kulturart gibt. Für den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren beispielsweise liegen sehr unterschiedliche Ergebnisse zur Verringerung der Nitratauswaschung vor. Biostimulanzien wirken unterstützend und aktivierend auf Stoffwechselforgänge in den Pflanzen. Daher werden sie in der Landwirtschaft eingesetzt, um die Nährstoffaufnahme und Nährstoffausnutzung, die Stresstoleranz und die Produktqualität zu verbessern sowie die Erträge zu steigern. Allerdings besteht noch großer Forschungsbedarf sowohl hinsichtlich der Mechanismen als auch der nachweislichen Wirkungen beim Einsatz dieser sehr heterogenen Stoffgruppe.

Die zuletzt zunehmende Anzahl an Umweltfunden einzelner Wirkstoffe von Inhibitoren in Verbindung mit den durch Änderungen der Düngeverordnung (DüV, 2020) steigenden Anwendungszahlen zeigen die Notwendigkeit einer verbesserten Bewertung des Umweltverhaltens und des davon ausgehenden Umweltrisikos beim Einsatz von DMZ.

Die seit dem 16. Juli 2022 vollständig in Kraft getretene neue EU-Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 markiert mit der Abkehr vom hergebrachten Typensystem und der Einführung von Produktfunktionskategorien, eine Zäsur im europäischen Düngerecht. Sie soll den europäischen Binnenmarkt für Düngeprodukte öffnen, die derzeit nicht unter Harmonisierungsregeln fallen, wie bspw. Inhibitoren und pflanzliche Biostimulanzien. Diese werden künftig an einer CE-Kennzeichnung als für den EU-Markt harmonisierte Produkte zu erkennen sein. Zugleich dürfen auf Basis der gegenseitigen Anerkennung weiterhin nach nationalem Recht hergestellte und zugelassene Düngeprodukte in einem anderen Mitgliedstaat auf den Markt gebracht werden.

Die Düngemittelverordnung (DüMV, 2019) fordert von zugelassenen Stoffen wie den Inhibitoren, dass von der fachgerechten Anwendung keine Gefahr für die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen und für den Naturhaushalt als solchen ausgeht. Die Ausformulierung konkreter Anforderungen liegt dann bei den nachgeschalteten Regelwerken oder ist im Rahmen der Zulassung zu treffen. Da das nationale Zulassungsverfahren im Bereich der Düngemittel ein informelles ist, auf Einzelfallentscheidungen beruht und aufgrund der nur sehr limitiert öffentlich zugänglichen Information zu detaillierten Prüfanforderungen eher intransparent ist, lassen sich hieraus nur wenig fundierte Aussagen zum Stoffverhalten und der resultierenden Bewertung im Einzelnen ableiten. Basis der Umweltbewertung für Wirkstoffe im nationalen Zulassungsprozess sind die im Rahmen der Registrierung nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung) zusammengetragenen Informationen. Hier sind die Anforderungen jedoch tonnageabhängig gestaffelt. Umfang und Tiefe der für die nationale Zulassung erhältlichen Basisinformationen können zwischen unterschiedlichen Wirkstoffen und Produkten also erheblich schwanken. Zudem sind nach REACH-VO Informationen zu terrestrischen Prüfungen und zu Metaboliten i. d. R. erst bei hohen Tonnagen zu erbringen. Diese sind jedoch gerade für auf oder in den Boden ausgebrachte Substanzen von Relevanz.

Aktuell sind nach deutscher DüMV zehn Inhibitoren zugelassen, davon sieben Nitrifikationsinhibitoren und drei Ureaseinhibitoren. Von den Nitrifikationsinhibitoren, für die es inzwischen in der Forschung auch verlässliche und ausreichend empfindliche Analysemethoden gibt, wurden insbesondere die Wirkstoffe Dicyandiamid (DCD) und 1,2,4-Triazol öfter in deutschen Oberflächengewässern und vereinzelt in Grundwässern nachgewiesen. Für andere Stoffe wie MPA (N-((3(5)-Methyl-1H-pyrazol-1-yl)methyl)acetamid) steht die Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden noch aus, bevor sicher über das Ausmaß einer möglichen Umweltverbreitung geurteilt werden kann.

Für Biostimulanzien ergeben sich in der nationalen Zulassung Schwierigkeiten durch die Uneindeutigkeit der Zuordnung zu den unterschiedlichen Rechtsregimen des Düngerechts und des Pflanzenschutzrechts. Hinter dem Begriff Biostimulanzien verbirgt sich eine sehr heterogene Produktgruppe teils chemischer, teils biologischer Stoffzugehörigkeit. Allgemeingültige Standards zur Abschätzung ihres Umweltverhaltens und der Umweltwirkungen sind deshalb für die gesamte Gruppe kaum zu formulieren. Die Anforderungen für die „chemischen“ Biostimulanzien sind dabei tendenziell vergleichbar mit anderen Stoffen aus dem Bereich Düngenanwendungen, etwa den Inhibitoren. Prinzipiell sind von Mikroorganismenpräparaten ökotoxikologische Risiken, wie bspw. Phytoparasitismus, Toxinbildung in der Pflanze oder eine Veränderung des Bodenmikrobioms denkbar. Zudem ergeben sich bei den Mikroorganismen zusätzlich zu der Bewertung ihrer unmittelbaren Umweltauswirkungen, etwa auf die Bodenbiozönose, auch Fragen hinsichtlich möglicher Stoffwechselprodukte und deren Bewertung, die es mit Blick auf die steigenden Anwendungszahlen zu adressieren gilt. In der neuen europäischen Düngeprodukteverordnung werden Biostimulanzien erstmals einheitlich als eigenständige Produktfunktionskategorie genannt und nach ihrer Wirkung definiert und behandelt. Seit dem Inkrafttreten der EU-Düngeprodukteverordnung mit Stichtag 16. Juli 2022 sind auf EU-Ebene konkrete Prüfstandards für die Anforderungen, die für die CE-Kennzeichnung von Düngeprodukten und die Konformitätsbewertungsverfahren gelten, zu erfüllen. Dies setzt einheitliche Wirksamkeitskriterien und Prüfstandards sowie Minimalanforderungen zur Sicherstellung der Gesundheit von Mensch, Tier oder Pflanze und der Sicherheit und Umweltverträglichkeit voraus, welche, so noch nicht vorhanden, von Expertenkomitees (im Falle der Biostimulanzien bspw. das neu berufene CEN/TC 455) erarbeitet wurden bzw. werden, wobei der Diversität innerhalb der Produktfunktionsgruppe Rechnung zu tragen ist.

Unterschiedliche Zulassungsanforderungen und Bewertungsverfahren der Mitgliedstaaten sowie eine generell fehlende Anzeigepflicht erschweren die Abschätzung, welche Produkte mit welchen Eigenschaften und in welchen Mengen tatsächlich in Deutschland ausgebracht werden und in die Umwelt gelangen können. Zwar wird in Deutschland im Rahmen der Agrarstatistik der Inlandsabsatz von Düngemitteln erhoben (AgrStatG, §89), allerdings werden Düngeprodukte mit Zusatzstoffen, wie Hemmstoffe und Biostimulanzien nicht einzeln erfasst. Eine Abschätzung der in Deutschland tatsächlich ausgebrachten Mengen und eine Bewertung des sich daraus ergebenden Risikos für Umwelt und Naturhaushalt sind somit auf dieser Basis bisher nicht möglich, ebenso wenig, wie die eindeutige Zuordnung der Wirkstofffunde zu den einzelnen Eintragungspfadern.

Neben der transparenten Erfassung der tatsächlichen Ausbringungsmengen und der Aufklärung der Eintragungspfade ist für eine realitätsnahe Risikobeurteilung ein intensiviertes Monitoring der Wirkstoffe und deren Abbauprodukte in den verschiedenen Umweltmedien unerlässlich. Ein entscheidender Aspekt aus Sicht des vorsorgenden Umweltschutzes ist zudem die Erweiterung und Anpassung der Datenanforderungen im Zulassungsprozess und die transparente Offenlegung, welches Produkt wie geprüft und anhand welcher Kriterien zugelassen wurde. Der großflächigen intendierten Ausbringung in die Umwelt sollte Rechnung getragen werden, die

tonnageabhängige Staffelung der Prüfanforderungen aufgegeben und aufgrund der unmittelbaren Ausbringung in dieses Kompartiment: insbesondere erhöhte Anforderungen an bodenökotoxikologische Prüfungen gestellt werden.

Das hier vorliegende Papier gibt einen Überblick über den aktuellen Kenntnisstand zur Umweltbewertung, zum rechtlichen Rahmen und den Wirkungsweisen von NI, UI und Biostimulanzien. Es stellt somit eine Ausgangsgrundlage für die Entwicklung und Anpassung zukünftiger Maßnahmen und Untersuchungen dar. Kenntnislücken und Defizite, etwa in der Umweltrisikobewertung, werden aufgezeigt und Hinweise für weiteren Forschungsbedarf sowie angepassten Zulassungsanforderungen unter dem Gesichtspunkt einer vorsorgeorientierten Umweltbewertung gegeben.

## Summary

Nitrification and urease inhibitors are increasingly added to fertilisers in agriculture. They are considered to have beneficial effects in terms of reduced nitrogen emissions to adjacent environments. For example, urease inhibitors may decrease ammonia emissions; nitrification inhibitors may reduce both nitrate leaching and nitrous oxide emissions. However, reviews of related literature indicate a wide range of the beneficial effects mentioned, depending on application site, type and form of fertiliser, period of experimentation, or crop type. Results on the reduction of nitrate leaching, for example, vary widely regarding application of nitrification inhibitors. Biostimulants can have a supporting and activating effect on metabolic processes in plants. They are therefore used in agriculture to improve plant nutrient uptake and use efficiency, stress tolerance and product quality, as well as to increase yields. However, there is still a considerable need for research into both the mechanisms as well as proven effects in the application of this very heterogeneous group of substances.

Recent increases in environmental detections of individual active ingredients of inhibitors along with rising application rates due to changes in the German Fertilising Ordinance (FngO, 2020) emphasise the need for an improved assessment of environmental behaviour and the related environmental risk in the application of FAs.

By abandoning the established type system and introducing product function categories, the new EU Fertiliser Products Regulation (EU) No. 2019/1009, which has been in full force since 16 July 2022, marks a new stage in European fertiliser legislation. It is intended to open up the European internal market for fertiliser products currently not covered by harmonisation rules, such as inhibitors and plant biostimulants. Such products will henceforth be recognisable as harmonised for the EU market by a CE label. In parallel, fertiliser products lawfully manufactured and authorised in one member state may continue to be marketed in another member state on the basis of mutual recognition.

Substances approved under the German Fertiliser Ordinance (FO, 2019), such as inhibitors, must not endanger soil fertility, the health of humans, animals, and crops, or the ecosystem as a whole when used according to good agricultural practice. Specific requirements are laid down in the subordinate regulations or within the framework of the authorisation. Given the informality of the national authorisation procedure for fertilisers, which is based on case-by-case decisions and lacks transparency due to the very limited information publicly available on detailed test requirements, it is difficult to derive any reliable conclusions on substance behaviour and the resulting assessment in detail. In the national authorisation process, the environmental assessment of active substances is primarily based on information compiled in the course of chemical registration under Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH Regulation). In this context, however, the information requirements are tiered according to tonnage. Hence, the scope and depth of the basic information available for national authorisation may vary considerably for different active substances and products. In addition, according to REACH, data on terrestrial tests and metabolites are usually only required for high tonnages. This information is, however, of particular relevance for substances that are applied directly onto soil.

There are currently ten inhibitors approved under the German FO, of which seven are nitrification inhibitors and three are urease inhibitors. With regard to the nitrification inhibitors, the active substances dicyandiamide (DCD) and 1,2,4-triazole in particular were repeatedly detected in German surface waters and occasionally in groundwaters. For other substances such as MPA (N-((3(5)-methyl-1H-pyrazol-1-yl)methyl)acetamide), suitable analytical methods have yet to be developed in order to allow reliable judgements on the extent of a potential environmental distribution.

For biostimulants, difficulties arise in national authorisation on account of the ambiguity of their assignment to the different legal regimes of fertiliser law and plant protection law. A highly heterogeneous product group of partly chemical and partly biological substances is concealed with the term biostimulants. It is therefore almost impossible to formulate generally applicable standards for assessing their environmental behaviour and environmental impacts for the entire group. However, standards for "chemical" biostimulants are comparable to those for other substances used in fertiliser applications, such as inhibitors. With microorganism products, ecotoxicological risks such as phytoparasitism, toxin formation in plants or an alteration of the soil microbiome are conceivable. Furthermore, besides their immediate environmental impact, e. g. on the soil biocoenosis, questions also arise with regard to possible metabolites and how to assess them, all of which need to be addressed in view of the increasing application rates.

The new EU fertilising products Regulation introduces biostimulants as a separate product function category defined by their effect. In accordance with the EU Fertiliser Products Regulation, specific standards for testing must be met with regard to the requirements that apply to the CE labelling of fertiliser products and compliance assessment procedures. Uniform efficacy criteria and test standards as well as basic requirements to ensure human, animal or plant health, safety, and environmental sustainability are required. These are developed by technical committees (e. g. CEN/TC 455), whereby special consideration needs to address the diversity within this product function category.

Differing authorisation requirements and assessment procedures among the EU Member States, as well as a general lack of notification requirements, impede the evaluation as to which products, in what quantities and with what properties, are actually applied in Germany and may enter the environment. Although domestic sales of fertilisers are recorded in Germany as part of agricultural statistics (AgrStatG, §89), fertiliser products with additives, such as inhibitors and biostimulants, are not individually recorded. Thus, an estimate of the quantities actually applied in Germany and an assessment of the resulting risk for the environment and the natural balance are infeasible on this basis. Nor is it possible to unambiguously assign the active substance detections to the individual entry pathways.

Besides the need for transparent registration of the actual application quantities and identification of the entry pathways, an intensified monitoring of the active substances and their degradation products in the various environmental media is indispensable in order to achieve a realistic risk assessment. A decisive request in terms of precautionary environmental protection is to expand and adapt the data requirements in the authorisation process. Transparent disclosure of which product has been authorised and based on which criteria is also required. Taking into account the intended large-scale application into the environment, testing requirements must no longer be tiered according to tonnage. In particular, increased requirements for terrestrial ecotoxicological tests should apply due to the immediate application into this compartment.

This paper provides an overview of the current state of knowledge on environmental assessment, the legal framework and the modes of action of NI, UI, and biostimulants. As such, it constitutes a starting point for the development and adaptation of forthcoming measures and studies. It identifies knowledge gaps and shortcomings, e. g. in environmental risk assessment, and provides indications for further research demand as well as for adjusted authorisation requirements in terms of a precautionary environmental assessment.

## 1 Einleitung

Düngemittelzusatzstoffe (DMZ) haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und müssen unter bestimmten Bedingungen zur Minderung von Stickstoffausträgen in die Umwelt (Wasser, Boden, Luft) verpflichtend in der Landwirtschaft eingesetzt werden, um die vereinbarten Reduktionsziele im Klimaschutzgesetz, der NEC-Richtlinie (National Emission Ceilings Directive) und der Nitratrichtlinie zu erreichen.

Damit einhergehend können DMZ und ihre Metaboliten in die terrestrische und aquatische Umwelt gelangen, wo sie ein toxikologisches Risiko für Umwelt und Mensch – insbesondere über den Expositionspfad Trinkwasser – darstellen können. Aufgrund der Vielzahl der als DMZ eingesetzten Substanzen und deren teilweise unbekanntem Stoffeigenschaften und Anwendungsdaten sind die mit der unmittelbaren Ausbringung in die Umwelt verbundenen Risiken oftmals unbekannt.

Vor diesem Hintergrund stellt die unvollständige Bewertung der Düngemittelzusatzstoffe (DMZ) und ihres Einflusses auf Umwelt und Naturhaushalt eine unbefriedigende Situation dar. Beispielsweise wurde der Nitrifikationshemmer „3-Methylpyrazol“ durch die ECHA als möglicher endokriner Disruptor eingestuft. Eine regulatorische Konsequenz erfolgte im Rahmen der Düngemittelzulassung bisher nicht und ist nach der neuen, seit Juli 2022 geltenden, Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 auch nicht vorgesehen.

Die Notwendigkeit, vertiefende Kenntnisse zu den Umweltauswirkungen von DMZ zu erlangen und transparent zu machen, ist behördlicherseits aber auch seitens der Wasserversorgung erkannt worden. Sie wird bspw. durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) in dem hier vorgestellten Projekt adressiert. Für die Wasserversorgung war insbesondere die steigende Besorgnis durch Umweltfunde einzelner, auch als DMZ zugelassener Stoffe in Gewässern (Schaffer und Schmid, 2019; Scheurer et al., 2014, 2016) und die durch die Änderungen im Düngerecht absehbare, zunehmende Anwendung von DMZ, Anlass, Chancen und Risiken der Anwendung dieser Stoffe in eigenen Forschungsprojekten mit Fokus auf die Trinkwassergewinnung zu untersuchen (DVGW, 2020).

Zur Diskussion des aktuellen Stands von Ausgangslage, Datengrundlagen, Methoden, Risiken und Regulierungsansätzen wurde im September 2021 eine Fachtagung des Umweltbundesamts zu DMZ mit rund 90 Interessenvertretern\*Interessenvertreterinnen durchgeführt. Aufgrund der Vielzahl der DMZ-Stoffgruppen wurden hierbei zwei Stoffgruppen priorisiert, welche eine große Relevanz für die Umwelt aufweisen. Dabei wurde einerseits der Fokus auf die Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren (NI, UI bzw. in Kombination NUI) und andererseits auf die im Düngerecht relativ neue und zunehmend bedeutsame Gruppe der Biostimulanzien gelegt. Für beide Stoffgruppen wurden Grundlagen für die Umweltbewertung, deren rechtliche Einordnung sowie Regulierungsmöglichkeit diskutiert. In dem hier vorliegenden Papier werden die zugehörigen Ergebnisse zusammengefasst und wissenschaftlich eingeordnet. Die jeweiligen Methoden und Detailergebnisse können dem Abschlussbericht zur DMZ-Fachtagung (Karges et al., 2022) entnommen werden.

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Themas, der Relevanz für die Umwelt und die Trinkwasserressourcen sowie bereits geltender bzw. in Vorbereitung befindlicher Regelungen im Umweltbereich, zum Beispiel über das Verschlechterungsverbot der Wasserrahmenrichtlinie (2000) sowie dem EU-Aktionsplan „Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden“ (EU, 2021), stellt das hier vorliegende Papier eine Ausgangsgrundlage für die Entwicklung und Anpassung zukünftiger Maßnahmen und Untersuchungen dar. Dies beinhaltet Hinweise zum weiteren

Forschungsbedarf, zu Kenntnislücken, zum rechtlichen Optimierungsbedarf und zu verbesserten Regulierungen von DMZ.

## 2 Rechtlicher Hintergrund

Der rechtliche Hintergrund, der die Vielzahl an Stoffen und Produkten regelt, die sich unter dem Begriff DMZ zusammenfassen lassen, ist komplex. Er umschließt sowohl nationalstaatliche Rechtsgrundlagen als auch europäische Verordnungen und Richtlinien und regelt insbesondere Fragen der Zulassung, der Anwendung und geeigneter Kontrollen.

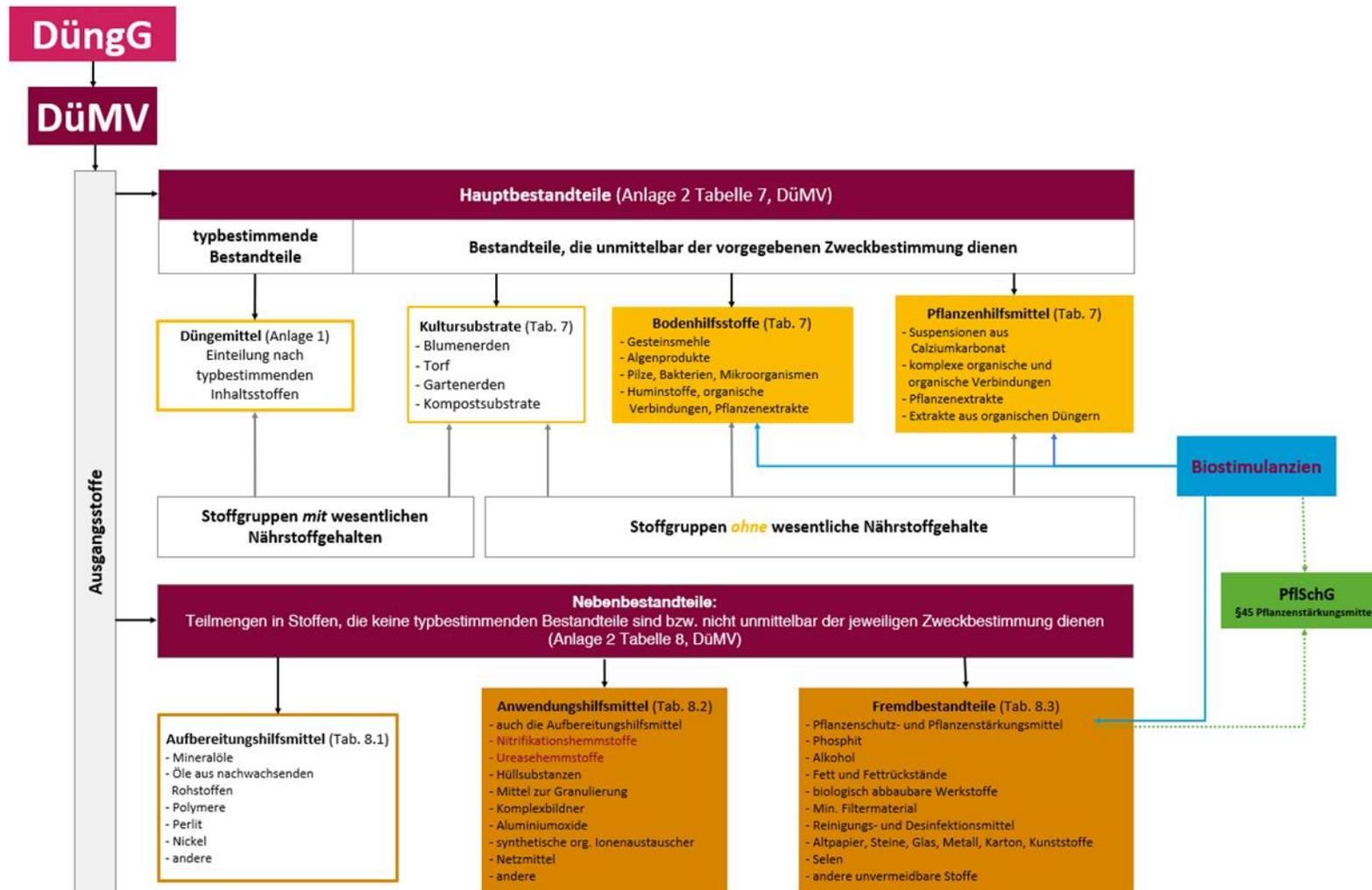
### 2.1 Rechtlicher Hintergrund der Ausbringung

Im rechtlichen Kontext der Ausbringung von DMZ sind für Deutschland das Düngegesetz (DüngG, 2021), die DüV (2021) und die DüMV (2019) relevant. Grundsätzlich werden die vier Produktkategorien Düngemittel, Kultursubstrate, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel unterschieden, die in Abhängigkeit der typbestimmenden bzw. zweckbestimmenden Hauptbestandteile definiert sind. Diesen Produktkategorien können als Nebenbestandteile viele verschiedene Stoffe zugesetzt werden, die als Aufbereitungs- und Anwendungshilfsmittel die Produktion oder Nutzung anwendungstechnisch unterstützen. Die DüMV unterscheidet zwischen den Stoffgruppen mit und ohne wesentliche Nährstoffgehalte. Zur besseren Einordnung zeigt Abbildung 1 schematisch die Einteilung der verschiedenen Produktkategorien Düngemittel, Kultursubstrate, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel nach der DüMV. Zu den Stoffgruppen ohne wesentliche Nährstoffgehalte zählen die Bodenhilfsstoffe und die Pflanzenhilfsmittel.

Die Nebenbestandteile sind in der DüMV in Anlage 2 Tabelle 8 gelistet und werden weiter in die Aufbereitungshilfsmittel, die Anwendungshilfsmittel und die Fremdbestandteile untergliedert. So werden NI, UI, Komplexbildner oder Netzmittel den Anwendungshilfsmitteln zugeordnet. Phosphite sowie Pflanzenschutz- und Pflanzenstärkungsmittel zählen zu den Fremdbestandteilen. Algenprodukte sowie Pilze, Bakterien und Mikroorganismen gehören in die Gruppe der Bodenhilfsstoffe.

Problematisch im nationalen Recht sind Überschneidungen bei der Gruppe der Biostimulanzien (vgl. Kapitel 3.2), die sich aus der unterschiedlichen Zuordnung als Bodenhilfsstoff bzw. Pflanzenhilfsstoff oder als Pflanzenstärkungsmittel ergeben (vgl. Tabelle 1). Abhängig vom Verwendungszweck kann ein Produkt entweder als „Pflanzenstärkungsmittel“ nach § 45 Pflanzenschutzgesetz oder als „Bodenhilfsstoff“ beziehungsweise „Pflanzenhilfsmittel“ nach der DüMV in Verkehr gebracht werden. Die Schwierigkeit ergibt sich aus der fehlenden Eindeutigkeit der Zuordnungen der einzelnen Biostimulanzien zu den drei Gruppen und damit aus der Abgrenzung der Anwendungsbereiche der beiden Rechtsregime. Insbesondere die Unterscheidung zwischen Pflanzenhilfsmitteln und Pflanzenstärkungsmitteln kann im Zulassungsverfahren Auslegungssache sein und bietet Interpretationsspielraum, sowohl für den Antragssteller als auch für Behörden und Anwender. Um eine Umgehung der umfassenden Datenanforderungen des Pflanzenschutzgesetzes zu vermeiden, ist für die Zulassung neben dem Verwendungszweck auch die stoffliche Wirkung des Produktes relevant. Besteht ein Produkt bspw. aus zwei chemischen Wirkstoffen, von denen einer als Pflanzenschutzmittel und der andere als Pflanzendünger wirkt, erfordert das Produkt sowohl eine pflanzenschutzrechtliche Zulassung als auch die Konformität mit den Anforderungen des Düngemittelrechts. Besteht ein Produkt aus einem chemischen Wirkstoff, der sowohl als Pflanzenschutzmittel als auch als Düngemittel wirkt, sind der überwiegende Zweck und die genaue stoffliche Zusammensetzung entscheidend für die Zulassung.

Abbildung 1: Schema zur rechtlichen Einordnung der Stoffgruppen von Düngemittelzusatzstoffen; rot hervorgehoben sind die Stoffgruppen, die schwerpunktmäßig auf der Fachtagung behandelt werden, die orange und gelb eingefärbten Kästen beinhalten Stoffgruppen der Düngemittelzusatzstoffe.



Quelle: Eigene Darstellung, IfÖL GmbH.

### 2.1.1 Rechtlicher Hintergrund der Zulassung

Damit ein Düngeprodukt auf dem europäischen Markt nach der seit Juli 2022 geltenden Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 zugelassen wird und bei seiner Bereitstellung eine CE-Kennzeichnung erhält, muss es den folgenden Anforderungen entsprechen:

- ▶ Vorgaben nach Anhang I für die betreffende Produktfunktionskategorie (PFC)
- ▶ Vorgaben nach Anhang II für die betreffende Komponentenmaterialkategorie (CMC)
- ▶ Kennzeichnungsvorschriften gemäß Anhang III

Die Definitionen beinhalten Anforderungen und Wirkeffekte der Produkte. Die hier betrachteten NI und UI sind als *Hemmstoff* in der PFC 5 definiert:

*„Ein Nitrifikationshemmstoff muss die biologische Oxidation von Ammoniumstickstoff ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) zu Nitritstickstoff ( $\text{NO}_2^-$ ) hemmen und auf diese Weise die Bildung von Nitratstickstoff ( $\text{NO}_3^-$ ) verlangsamen.“* Anforderung ist, dass durch NI im Zeitraum von 14 Tagen die Oxidation von Ammoniumstickstoff um 20 % verringert wird.

*„Ein Ureasehemmstoff hemmt die hydrolytische Aktivität von Harnstoff ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) durch das Ureaseenzym, das vorwiegend darauf zielt, die Ammoniakverflüchtigung zu verringern.“* Dabei ist als Anforderung festgelegt, dass die Hydrolysegeschwindigkeit des Harnstoffs durch Zugabe von UI um 20 % verringert wird.

Die Biostimulanzien sind in der PFC 6 definiert als *„EU-Düngeprodukt, das dazu dient, pflanzliche Ernährungsprozesse unabhängig vom Nährstoffgehalt des Produkts zu stimulieren, wobei ausschließlich auf die Verbesserung eines oder mehrerer der folgenden Merkmale der Pflanze oder der Rhizosphäre der Pflanze abgezielt wird:*

- a) Effizienz der Nährstoffverwertung
- b) Toleranz gegenüber abiotischem Stress
- c) Qualitätsmerkmale
- d) Verfügbarkeit von im Boden oder in der Rhizosphäre enthaltenen Nährstoffen“.

Bei den Biostimulanzien sind auch Grenzwerte für bestimmte Kontaminanten wie Cadmium, Blei oder anorganisches Arsen und die essentiellen Pflanzennährstoffe Kupfer und Zink sowie bestimmte Krankheitserreger für mikrobielle Pflanzen-Biostimulanzien festgelegt. Zudem muss ein Pflanzen-Biostimulans mit CE-Kennzeichnung zwingend die auf dem Etikett angegebenen Wirkungen für die dort genannten Pflanzen besitzen.

Auch nach dem Inkrafttreten der europäischen Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 ist es weiterhin möglich, dass Düngemittel nach nationalem Recht auf den Markt gebracht werden (BLE, 2021). In der Folge gibt es zwei Möglichkeiten der Zulassung von Düngemitteln:

- ▶ als EU-Düngeprodukt mit einer CE-Kennzeichnung nach der Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009
- ▶ als Düngemittel, das nach nationalem Recht (Deutschlands, sowie aller weiteren Mitgliedstaaten des Binnenmarktes) hergestellt und zugelassen ist (in diesem Fall gelten die Vorschriften nach der Verordnung Nr. 2019/515 für die gegenseitige Anerkennung von Waren und das Produkt erhält keine CE-Kennzeichnung)

Dadurch wird die Übersicht und Transparenz hinsichtlich der Zulassungsanforderungen erheblich erschwert. So sind Produkte, die durch die DüMV abgedeckt sind, in Deutschland grundsätzlich verkehrsfähig, ohne einer behördlichen Einzelzulassung zu bedürfen. Hingegen darf ein Produkt, das trotz sachgemäßer Anwendung zu einer Umwelt- oder Gesundheitsgefährdung führt, in Deutschland nicht in Verkehr gebracht werden, da es nicht dem DünG entspricht.

### 2.1.2 Wissenschaftlicher Beirat für Düngungsfragen

In Deutschland wird das BMEL in Fragestellungen rund um das Themenfeld Düngung vom **Wissenschaftlichen Beirat für Düngungsfragen (WBD)** beraten. Die Einrichtung des WBD und seine Aufgaben sind in der Düngungsbeiratsverordnung (DüBV, 2015) gesetzlich geregelt. Danach „berät er (der WBD) das Bundesministerium in Düngungsfragen durch gutachtliche Stellungnahmen und ist in seiner Tätigkeit unabhängig“ (DüBV, 2015; §1 Absatz 2). Der Beirat setzt sich aus zehn Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen zusammen, von denen drei im Fachgebiet Pflanzenernährung und zwei im Fachgebiet Pflanzenbau oder Bodenkunde tätig sind. Zusätzlich stammt jeweils ein Mitglied aus den Fachbereichen Ökologischer Landbau, Düngemittelanalytik, Toxikologie, Ökotoxikologie und Umwelt- und Tierhygiene. Die Mitglieder werden durch das BMEL berufen und arbeiten ehrenamtlich und unabhängig.

Die Aufgaben des WBD sind in der DüBV nicht definiert, werden aber auf der Homepage des BMEL (2022) aufgeführt. Demnach umfassen sie insbesondere das Erarbeiten

- ▶ „von Stellungnahmen zu düngerechtlichen Regelungsvorhaben auf nationaler und europäischer Ebene,
- ▶ von Empfehlungen zur Zulassung von neuen Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln, wobei die agronomische Wirksamkeit, die Umweltverträglichkeit und der Verbraucherschutz besondere Berücksichtigung erfahren,
- ▶ von Standpunkten zu speziellen Fragen der Düngung
- ▶ von Vorschlägen für geeignete Maßnahmen und Instrumente für eine effiziente und umweltverträgliche Düngung.“

Dabei bewertet der WBD die hygienische, toxikologische und ökotoxikologische Unbedenklichkeit der Stoffe, aufbauend auf den Basisinformationen aus den chemischen Sicherheitsdatenblättern gemäß der europäischen Chemikalienverordnung, der so genannten REACH-Verordnung. Decken diese nach Ansicht des WBD nicht die zulassungsrelevanten Kriterien ab, sind durch die Antragsteller weitere Informationen vorzulegen (Severin, 2021; Hartmann, 2021). Da in Deutschland kein formales Zulassungsverfahren für DMZ existiert, entspricht jeder einzelne Zulassungsprozess einer Einzelfallbewertung und unterliegt, anders als bspw. in der Pflanzenschutzmittelzulassung, keinen einheitlichen und transparenten Bewertungskriterien. Details oder nähere Informationen zu Bewertungskriterien, aufgrund welcher die Empfehlungen zu einzelnen Produkten und Wirkstoffen getroffen werden, werden in diesem Verfahren nicht veröffentlicht und sind weder für Anwender, noch für Forschung oder behördliche Gutachter nachvollziehbar. In der Regel folgt das BMEL den Empfehlungen des WBD als Fachgutachtergremium, auch wenn diese formell nicht bindend sind. Dem WBD kommt daher eine entscheidende Rolle in der nationalen Zulassung zu. Bei einer positiven Beurteilung eines neuen Düngeprodukts seitens des WBD kann eine von der Zustimmung des Bundesrates abhängige Änderung der DüMV erfolgen.

### **2.1.3 Konformitätsbewertung**

In der europäischen Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 wird in Kapitel IV die Konformitätsprüfung von Düngeprodukten geregelt. Unter Konformitätsbewertung wird das Verfahren zum Nachweis, dass die Anforderungen der Verordnung an ein EU-Düngeprodukt erfüllt worden sind, verstanden. Dazu werden sogenannte Konformitätsbewertungsstellen eingerichtet, welche die Konformitätsbewertung (Prüfungen, Zertifizierungen und Inspektionen) durchführen. In Deutschland hat die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) die Aufgaben zur Bewertung und Notifizierung von Konformitätsbewertungsstellen und zur Überwachung der notifizierten Stellen einschließlich deren Zweigunternehmen übernommen.

### 3 Umweltbewertung, Umweltexposition

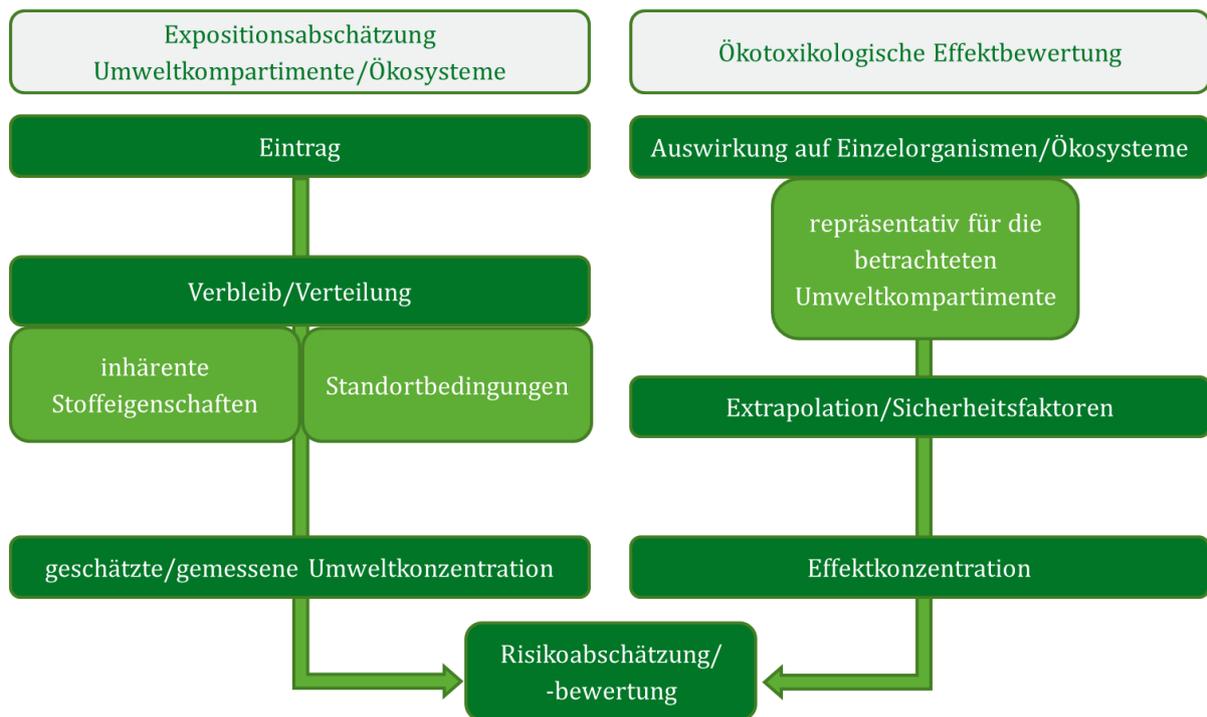
Zunehmende Kenntnisse über das Verhalten und den Verbleib von Umweltchemikalien und ihrer Metaboliten in den verschiedenen Umweltkompartimenten verlangen verstärkt nach einer umfassenden Bewertung dieser Stoffe und des von ihnen ausgehenden Umweltrisikos. Dies gilt für die mit der Düngung unmittelbar in den Boden ausgebrachten NI und UI und analog für all jene Substanzen, die direkt oder indirekt in die Umwelt ausgebracht werden, wie es bei der heterogenen Gruppe der Biostimulanzien der Fall ist.

Expositions- und Risikobewertung sind die maßgeblichen Bestandteile einer umfassenden Umweltrisikobewertung. Dabei sind in der Expositionsbewertung die zu erwartenden (PEC - *Predicted Environmental Concentration*) oder gemessenen Umweltkonzentrationen (MEC - *Measured Environmental Concentration*) unter Einbeziehung realistischer Eintragsmengen für die verschiedenen Kompartimente zu ermitteln. In die ökotoxikologische Effektbewertung gehen Daten über die toxischen Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen ein sowie Sicherheitsfaktoren, durch die die verbleibenden Unsicherheiten adressiert werden sollen. Die Konzentration, bei der gerade noch kein toxischer Effekt auftritt, wird dabei durch den PNEC (*Predicted No Effect Concentration*) beschrieben. In der darauffolgenden Risikobewertung werden PEC und PNEC (einschließlich eines Sicherheitsfaktors) verglichen, um das Risiko abzuleiten, welches bei einer bestimmten Anwendung von einem Stoff auf die Nicht-Zielorganismen eines Kompartiments ausgeht (Fent, 2013). Das grundlegende Konzept ist in Abbildung 2 dargestellt.

Schutzziele solcher Expositionsabschätzungen für die NI und UI ergeben sich aus ihrer flächenhaften Applikation auf oder in die oberen Bodenschichten. Relevante Eintragspfade in umgebende Umweltmedien sind dabei Abschwemmung nach Starkregenereignissen, der Eintrag über Drainagen in Oberflächengewässer, die Versickerung, Staubabdrift und unter Umständen Verflüchtigung. Zu den Schutzziele für die Expositionsabschätzung von NI und UI zählen daher Oberflächengewässer (einschließlich Sediment), Grundwasser – mit Blick auf eine mögliche indirekte Exposition des Menschen über das Trinkwasser – und unter Umständen die Luft sowie insbesondere aufgrund der unmittelbaren Applikation terrestrische Ökosysteme. Zu den für eine Expositionsbeurteilung benötigten inhärenten Stoffeigenschaften und deren beschreibende Parameter, die Aufschluss über den Verbleib und die Verteilung eines Stoffes in den Umweltkompartimenten geben können, zählen bspw. (aber nicht ausschließlich): Verteilungskoeffizienten, Stabilität gegenüber Abbau und Hydrolyse, Dampfdruck und in Abhängigkeit der Fragestellung weitere Parameter.

Da jährlich mehrere tausend Tonnen Düngemittel auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden, sollte sichergestellt werden, dass NI, UI und Biostimulanzien nicht aufgrund ihrer physikalisch/chemischen sowie (öko-)toxikologischen Eigenschaften selbst zu negativen Auswirkungen auf die Umwelt führen und dadurch den eingangs beabsichtigten positiven Effekt überlagern.

**Abbildung 2: Konzept der Risikoabschätzung von Umweltchemikalien, vereinfachte Darstellung**



Quelle: IWW; angepasst nach Fent, 2013

Anders als bei den NI und UI handelt es sich bei den Biostimulanzien nicht nur um chemische Stoffe oder Stoffgemische – auch Mikroorganismen, Algenpräparate, Pflanzenextrakte oder Extrakte tierischer Produkte können je nach Wirkung zu den Biostimulanzien zählen (Bickert et al., 2018). Da auch diese unmittelbar in die Umwelt ausgebracht werden sollen, sind im Zulassungsprozess ebenfalls schädliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt zu adressieren und auszuschließen. Offene Fragen ergeben sich insbesondere im Bereich der Mikroorganismenpräparate zum Beispiel dahingehend, wie konkret auf mögliche toxische Stoffwechselprodukte geprüft wird.

### 3.1 Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren

Die Ausbringung von NI und UI kann über Einträge in die verschiedenen Umweltkompartimente mit potenziellen Risiken für assoziierte Ökosysteme einhergehen (Kösler et al., 2019; Salis et al., 2019). Einzelne Untersuchungen geben Hinweise auf die Verbreitung einiger der Wirkstoffe in deutschen Gewässersystemen, auch wenn die Positivbefunde bisher nicht eindeutig dem Einsatz in Düngemitteln zugeordnet werden können. So zeigte das Daten-Monitoring zum Vorkommen von 1,2,4-Triazol und DCD in deutschen Fließgewässern bspw. im Rhein für beide Wirkstoffe Spitzenkonzentrationen im Bereich einiger µg/L (~2 µg/L DCD, > 5 µg/L 1,2,4-Triazol). Dabei änderten sich Häufigkeit und Höhe der Positivbefunde beider Stoffe über den Flussverlauf, allerdings mit gegenläufigem Trend (Scheurer et al., 2014). Auch ein in Niedersachsen durchgeführtes Überblickscreening im Oberflächengewässersystem zu den Belastungen mit 2-NPT, NBPT, DCD, 3-MP, 1,2,4-Triazol und DMPP, welches v. a. auf kleinere Gewässer mit ausgeprägtem landwirtschaftlichem Einfluss fokussierte, zeigte vergleichbare Konzentrationsniveaus für DCD und 1,2,4-Triazol. Für die weiteren NI und UI ließ sich mit der angewandten Methodik keine Belastung nachweisen, wobei die hohen analytischen Bestimmungsgrenzen für DMPP und 3-M von 0,25 µg/L bzw. 0,1 µg/L zu berücksichtigen sind (Schaffer & Schmid, 2019).

Zusätzlich zu möglichen Effekten auf aquatische Ökosysteme stellen sich aus Sicht der Umweltbewertung daher grundlegende Fragen zur Abschätzung des Umweltverhaltens der Wirkstoffe, wie etwa zu ihrer Migrationsfähigkeit und dem Abbauverhalten.

Nach europäischem wie auch dem deutschen Düngerecht sind Mensch, Tier, Pflanze und Naturhaushalt vor schädliche Auswirkungen und Gefahren durch die Düngung bzw. durch die Düngeprodukte und die darin enthaltenen Stoffe zu schützen. Dies erfordert ein umfassendes Verständnis möglicher Gefahren und Risiken, die eine Anwendung dieser Stoffe nach sich ziehen können. Aufgrund ihrer unmittelbaren Ausbringung in die Umwelt sollte daher eine tonnageunabhängige Umweltrisikoprüfung und -bewertung für NI und UI erfolgen.

Die hier näher betrachteten NI und UI, die in einem national in Deutschland zugelassenen oder einem EU-Düngemittel enthalten sind und ebenfalls mit einer beabsichtigten Wirkung unmittelbar in die Umwelt ausgebracht werden, sind in erster Linie gemäß der REACH-Verordnung als Allgemeinchemikalien bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) registriert. Düngerechtliche, nationale wie europäische Zulassungsverfahren basieren auf den in diesem Verfahren gesammelten Informationen. Im Zuge der Registrierung müssen registrantenseitig alle relevanten Informationen in einem Dossier gesammelt und eingereicht werden. Dieses Dossier beinhaltet sowohl die in den Anhängen VI, VII und VIII der REACH-Verordnung angeforderten Standardinformationen zu inhärenten Stoffeigenschaften (s. Tab. 1), als auch, ab einer Tonnage von 10 t a<sup>-1</sup>, einen Stoffsicherheitsbericht, in dem die Ergebnisse einer Stoffsicherheitsbeurteilung zusammengefasst sind. Die Anforderungen für die Stoffinformationen sind tonnageabhängig und entsprechend der jährlichen Herstellungs- oder Importmenge pro Registrant gestaffelt. Begründete Abweichungen von den Minimalanforderungen sind möglich, sodass nicht zwingend in allen Dossiers auch alle angeforderten Daten tatsächlich vorliegen und in weitere Beurteilungen einfließen können. Die Beurteilung, ob die jeweiligen Stoffe schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt haben können, obliegt in erster Linie den Registranten selbst. Diese haben zudem die Verpflichtung, ihnen vorliegende Daten und Informationen, die über die Standardanforderungen hinausgehen, zu sammeln und anzugeben. Die auf diesen Informationen basierenden nachgeschalteten Umweltrisikoprüfungen der Wirkstoffe im Rahmen der Anwendungszulassung sind dadurch oft schlecht vergleichbar.

Zwar sind die für eine Umweltrisikoprüfung erforderlichen Schritte und Informationsanforderungen prinzipiell auch in der REACH-Verordnung verankert, wobei der Stoffsicherheitsbericht in letzter Konsequenz der Beurteilung von Gefahren und der Feststellung von Expositionsszenarien dient. Die Expositionsbeurteilung sowie die Risikobeschreibung sind jedoch nicht für jeden Stoff per se erforderlich. Sie müssen grundsätzlich erst für Stoffe in den Tonnagebändern  $\geq 10 \text{ t a}^{-1}$  erfolgen. Das gilt allerdings nur dann, wenn der jeweilige Stoff im ersten Schritt der Gefahrenbewertung nach den in Artikel 14 Absatz 4 genannten Gefahrenklassen, welche die Ermittlung schädlicher Wirkung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt beinhalten, als gefährlich einzustufen ist, oder er die Kriterien PBT (persistent, bioakkumulativ, toxisch) oder vPvB (sehr persistent, sehr bioakkumulativ) erfüllt. Als Umweltgefahren sind hier die gewässergefährdende und die ozonschichtschädigende Wirkung der Stoffe gelistet. Eine eigene Gefahrenklasse, die eine Gefährdung der Bodenökosysteme abbildet und somit das Kompartiment, welches von einer Applikation der NI und UI am unmittelbarsten betroffen ist, ist in den Anforderungen nicht enthalten. Zudem gründet sich die in die Stoffsicherheitsbeurteilung aufzunehmende „Ermittlung schädlicher Wirkungen auf die Umwelt“ auf die im technischen Dossier enthaltenen Informationen. Die Standardanforderungen hierfür folgen wiederum der tonnageabhängigen Staffelung entsprechend der jährlichen Herstellungsmengen. Erst ab einer Tonnage von  $\geq 100 \text{ t a}^{-1}$  sind einfache ökotoxikologische

Tests zur Wirkung auf terrestrische Organismen vorgesehen. Aussagekräftigere Tests für Bodenökosysteme, wie die Prüfung der Langzeittoxizität der Stoffe für Wirbellose und für Pflanzen, sind sogar erst ab einer Tonnage von  $\geq 1000 \text{ t a}^{-1}$  verpflichtend. Ohne diese Informationen ist aber eine fundierte Aussage über das Risiko für terrestrische Ökosysteme durch die Ausbringung von NI und UI kaum zu treffen (vgl. Abb. 2, 3; Tab. 1).

Ein verbessertes Vorgehen zur Umweltrisikobewertung sollte sich an den Anforderungen für andere Stoffe mit landwirtschaftlicher Anwendung orientieren. So sind bspw. zwar die beabsichtigte Wirkung und die Toxizität vieler Pflanzenschutzmittel deutlich problematischer einzuschätzen als die der NI und UI, vergleichbar sind jedoch der intendierte landwirtschaftliche Einsatz und das Verbot negativer Umweltauswirkungen durch ihre Anwendung (Verordnung (EG) Nr. 1107/2009). Pflanzenschutzmittelwirkstoffe werden mit einer gezielten Wirkabsicht, etwa gegenüber bestimmten Organismen, in die Umwelt ausgebracht. Eine umfassende Umweltrisikobewertung ist zwingender Bestandteil ihres in der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 und den in nachgeschalteten Verordnungen festgeschriebenen Zulassungsverfahrens (für Anforderungen vgl. Tabelle A des Anhangs). Ein chemischer Wirkstoff, der nach diesem Verfahren als Pflanzenschutzmittel zugelassen wird, gilt auch als registriert gemäß der REACH-Verordnung.

Tabelle 1 sind die Standarddatenanforderungen (Ausnahmen ausgenommen) in den aufeinanderfolgenden Tonnagebändern und die Zuordnung der NI und UI zu den Tonnagebändern zu entnehmen. Deutlich wird, dass aufgrund der differierenden Mengen unterschiedliche Datenanforderungen für die verschiedenen NI und UI bestehen. Die aktuell in Deutschland zugelassenen sieben NI und drei UI sind den Anhängen entsprechend ihren Tonnagebändern exemplarisch zugeordnet.

**Tabelle 1: Vereinfachte Übersicht der Standarddatenanforderungen für Stoffe in der REACH-Registrierung (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) im Vergleich mit Anforderungen gemäß Pflanzenschutzrecht entsprechend den Datenanforderungen der Verordnungen (EU) Nr. 283/2013 und (EU) Nr. 284/2013**

Zuordnung der NI und UI zu den Tonnagebändern; Aufgrund der Vielzahl an möglichen Ausnahmen sind diese in der Übersicht nicht gelistet.

	Datenanforderungen gemäß REACH				Datenanforderungen für Pflanzenschutzmittel
	<b>Anhang VII</b> <i>Non-Phase-in-Stoffe &amp; Phase-in-Stoffe 1-10t/a, die die Kriterien des Anhangs III erfüllen und &amp; Alle Stoffe: ≥ 10t/a</i>	<b>Anhang VIII</b> <i>Stoffe ≥ 10t/a</i>	<b>Anhang IX</b> <i>Stoffe ≥ 100 t/a</i>	<b>Anhang X</b> <i>Stoffe ≥ 1000 t/a</i>	
Nitrifikationsinhibitoren	Nitrapyrin, 1,2,4-Triazol		3-MP; DMPP; DMPSA, MPA	DCD	
Uresaeinhibitoren		2-NPT; NPPT	NBPT		
7. Angaben zu den physikalisch- chemischen Eigenschaften des Stoffes					
7. Physikochemische Daten	Aggregatzustand; Schmelz-/Gefrierpunkt; Siedepunkt/Siedebereich; Relative Dichte; Dampfdruck; Oberflächenspannung; Wasserlöslichkeit; Verteilungskoeffizient; Flammpunkt; Entzündlichkeit; Explosionsfähigkeit; Selbstentzündungstemperatur; Brandfördernde Eigenschaften; Granulometrie		Stabilität in organischen Lösemitteln und Identität der Zerfallsprodukte; Dissoziationskonstante; Viskosität		Anforderungen vergleichbar mit Anhang VII  Zusätzlich: Parameter der Identifikation u.a.: - Spektren (UV/VIS, IR, NMR, MS) & Extinktion
9. Angaben zur Ökotoxizität					
9.1 Aquatische Toxizität	Kurzzeittoxizität (oder Langzeittoxizität) bei	Kurzzeittoxizität (oder Langzeittoxizität) für	Langzeittoxizität für Daphnien und für		u.a.:

		Datenanforderungen gemäß REACH			Datenanforderungen für Pflanzenschutzmittel	
	Wirbellosen -bevorzugt Daphnien; Hemmung des Wasserpflanzenwachstums (bevorzugt Algen)	Fische; Hemmung der Atmung von Belebtschlamm, alternativ: Nitrifikationshemmung - wenn die vorliegenden Daten darauf hindeuten, dass der Stoff das Wachstum oder die Funktion von Mikroben, insbesondere von nitrifizierenden Bakterien hemmt	Fische; Toxizität für Fische im frühen Entwicklungsstadium (Fish-early-life-stage) und für Fischembryonen und Jungfische mit Dottersack, Wachstumstest an Jungfischen			- Akute, Langzeit-, und chronische Toxizität bei Fischen (Toxizität für Fische im frühen Entwicklungsstadium (Fish-early-life-stage + Lebenszyklus) - Akute und chronische Toxizität bei <i>Daphnia magna</i> - Hemmung des Algenwachstums
9.2 Abbaubarkeit	Biotisch; Abbaubarkeit	Abiotisch (weitere Prüfungen möglich); Hydrolyse in Abhängigkeit vom pH-Wert	Simulationstests zur Prüfung der biologischen Abbaubarkeit: des Endabbaus im Oberflächenwasser - des Abbaus im Boden - der Abbaubarkeit im Sediment; <b>Identifikation der Abbauprodukte</b>	Ggf. eingehendere/erweiterte Prüfung auf biologische Abbaubarkeit, in Abhängigkeit von der Stoffsicherheitsbeurteilung nach Anhang I	u.a.: Aerober, anaerober und photolytischer Abbau des Wirkstoffs, der Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte im Boden Abbauweg und -geschwindigkeit - hydrolytischen, fotochemischen und biologischer Abbau des Wirkstoffs, der Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte in aquatischen Systemen sowie im Wasser-Sediment System Abbauweg und -geschwindigkeit - Abbauweg und -geschwindigkeit in der Luft - für persistente Wirkstoffen Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte sind Freilandversuche zur Dissipation und Akkumulation im Boden vorzulegen - Rückstandsdefinitionen für die Risikobewertung und ggf. für das Monitoring	
9.3 Verbleib und Verhalten in der Umwelt		Adsorptions-/Desorptions-Screening	Bioakkumulation in Wasserlebewesen, vorzugsweise in Fischen; Adsorption/Desorption: weitere Angaben als nach Anhang VII	Ggf. weitere Prüfungen, in Abhängigkeit von der Stoffsicherheitsbeurteilung nach Anhang I	u.a.: - Verbleib und Verhalten des Wirkstoffs, der Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte im Boden, in der Luft, in Wasser und im Sediment - Adsorption und Desorption des Wirkstoffs, der Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte - für mobile Wirkstoffe, Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukte sind ggf. Säulenversuche zur Versickerung, Lysimeterversuche oder Freiland-Versickerungsstudien vorzulegen - Atmosphärischer Transport - Lokale und globale Auswirkungen	

	Datenanforderungen gemäß REACH			Datenanforderungen für Pflanzenschutzmittel	
9.4 Wirkung auf terrestrische Organismen			Kurzzeittoxizität für Wirbellose und für Pflanzen; Wirkung auf Mikroorganismen im Boden	Langzeittoxizität für Wirbellose und für Pflanzen - nicht erforderlich, wenn keine direkte oder indirekte Exposition des Bodens zu erwarten ist	u.a.: - Auswirkungen (u.a. akute, chronische, Kontakt-Toxizität) auf die nicht zu den Zielgruppen gehörende Bodenmeso- und -makrofauna + Arthropoden + Bienen - Auswirkungen auf die Stickstoffumwandlung im Boden  - Auswirkungen auf Nichtziel-Pflanzen
9.5 Langzeittoxizität für im Sediment lebende Organismen				Ggf. Prüfung auf Langzeittoxizität für im Sediment lebende Organismen	Ggf. chronisches Risiko für <i>Chironomus riparius</i> bzw. <i>Lumbriculus</i> spp. (ggf. andere Testtierart)
9.6 Langzeittoxizität für Vögel				Nur unter sorgfältiger Abwägung der Notwendigkeit: Prüfung auf Langzeittoxizität für Vögel	- Akute orale Toxizität - Reproduktionstoxizität  Toxizität für Säugetiere * - Akute orale Toxizität - Reproduktionstoxizität

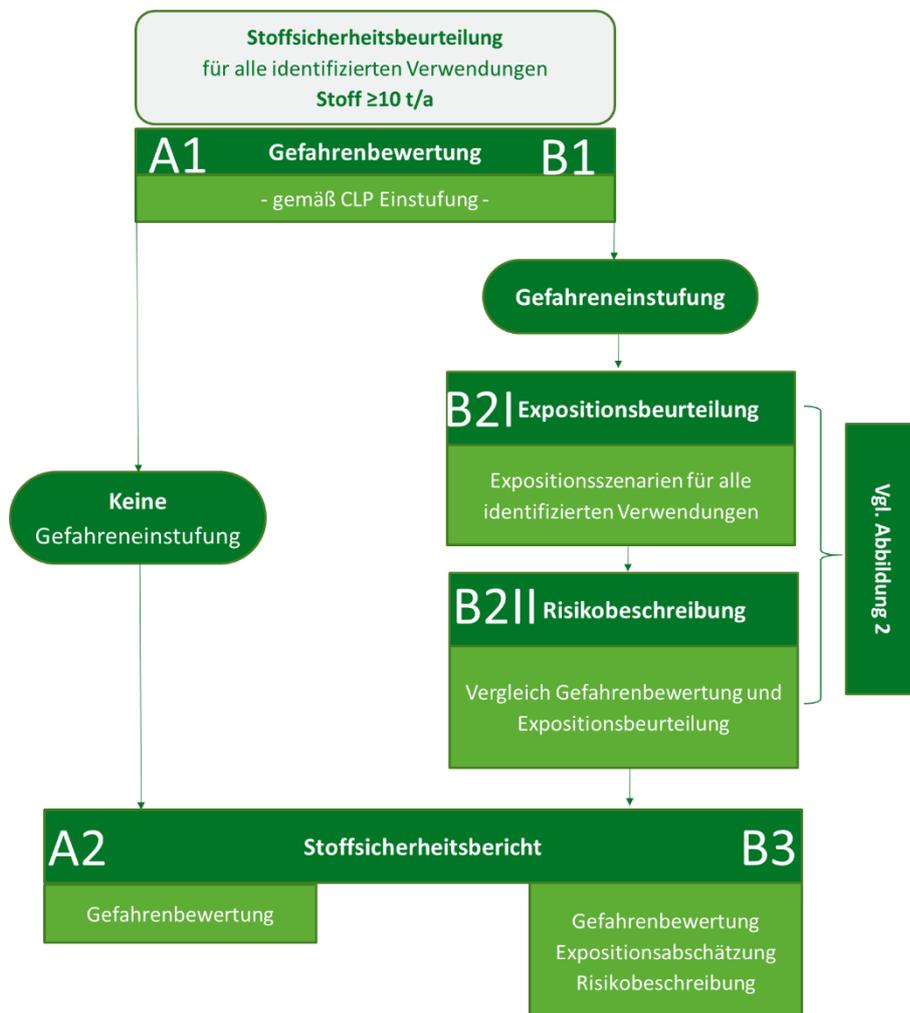
Nummerierung Spalte 1: Gemäß Anhang VII-X der REACH-VO.

\*Toxizität für Säugetiere: Standarddatenanforderung in der PSM Zulassung.

Einige der für eine erste Abschätzung des Umweltverhaltens relevanten Informationen zu den Stoffeigenschaften der NI und UI sind bereits bei geringsten Tonnagen gefordert, wie Verteilungskoeffizienten im Rahmen der physikalisch-chemischen Daten und die nach Anhang VII ( $\geq 10 \text{ t a}^{-1}$ ) geforderten Basisinformationen zu Abbaubarkeit und dem Umweltverhalten (vgl. Tab. 1). Die Verteilungskoeffizienten sind dabei wesentlich für die Abschätzung des Verlagerungsverhaltens eines Stoffes im Boden. So deuten niedrige  $K_{ow}$ -Werte (und daraus ableitbare  $K_{oc}$ ) eine hohe Mobilität in der wässrigen Bodenphase und damit prinzipiell ein erhöhtes Auswaschungsrisiko an, die Persistenz eines Stoffes wiederum ist bspw. über  $DT_{50}$ -Werte (Zeit, nach der die Hälfte der Menge einer Substanz abgebaut ist) darstellbar.

Für eine umfängliche Expositionsabschätzung, wie sie für eine Bewertung möglicher Auswirkungen auf den Naturhaushalt vonnöten wäre, sind diese Informationen jedoch unzureichend. Hierfür bedarf es weiterer Daten zu Adsorption/Desorption sowie Simulationstests zum Abbau im Boden, welche nach REACH erst ab einem Tonnageband  $>100 \text{ t a}^{-1}$  vorgeschrieben sind.

**Abbildung 3: Wege zum Stoffsicherheitsbericht nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH)**



Dunkelgrün: Hauptschritte der Durchführung, hellgrün: erläuternd.

Pfad A bildet den Weg zum Sicherheitsbericht für Stoffe  $\geq 10 \text{ t/a}$  ab, wenn keine Gefahreneinstufung nach Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 Artikel 14 Absatz 4 vorliegt. Pfad B greift, wenn eine Gefahreneinstufung auf Basis der vorliegenden Informationen ermittelt wurde.

Quelle: eigene Darstellung, IWW

Die Tonnageabhängigkeit der Prüf- und Informationsanforderungen wirkt sich auch auf die allgemeine Stoffsicherheitsbeurteilung aus. Allein aus den dieserart gestaffelten Datenanforderungen in der Gefahrenbewertung der Stoffsicherheitsbeurteilung muss sich bei Stoffen in niedrigen Tonnagen nicht zwingend eine „Gefahr“ nach Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP<sup>1</sup>) ergeben, so dass dann keine Expositionsbeurteilung erforderlich wäre. Daraus ergeben sich generelle Bedenken zur Abschätzung der Eintragsmenge und der Auswirkungen dieser Stoffe durch Düngeanwendungen und der Exposition von Umweltkompartimenten und assoziierten Ökosystemen im Kontext der Zulassung.

Die durch die Staffelung der Datenanforderung unterschiedlich limitierten Informationen und das teilweise Fehlen angepasster ökotoxikologischer Effektprüfungen zeigen die Defizite einer Umweltbewertung für Chemikalien wie die NI und UI allein auf Basis der REACH- Informationen auf. Die intendierte Wirkung wie auch die unmittelbare und großflächige Umweltausbringung sollte sich in den Informationsanforderungen der Registrierung, spätestens aber in den Zulassungsprozessen, widerspiegeln. Idealerweise sind daher die Datenanforderungen an Agrochemikalien wie NI und UI, im Unterschied zu anderen REACH regulierten Industriechemikalien, so auszuweiten, dass sie dem geplanten Einsatz Rechnung tragen. Nach Maßgabe des Vorsorgeprinzips empfiehlt es sich, die Tonnageabhängigkeit der Informationsanforderungen für solche Chemikalien zugunsten eines an die Bewertung möglicher Auswirkungen auf den Naturhaushalt angepassten Anforderungskataloges aufzugeben, bzw. die Datenanforderungen über die verschiedenen Tonnagebänder zu vereinen (vgl. Tabelle 1). Ziel sollte es sein, auf Basis dieser Daten eine belastbare Aussage zu treffen, in welchem Maße die assoziierten Ökosysteme und Umweltkompartimente durch die Anwendung der Düngeprodukte belastet werden.

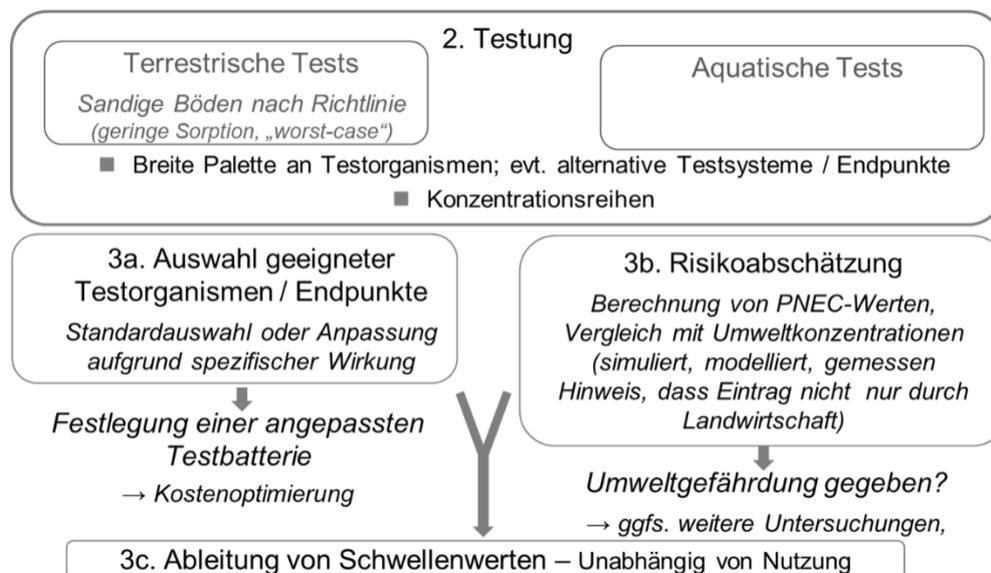
Angelehnt an die PSM-Zulassung zählen hierzu unter anderem Informationen und Untersuchungen zu Abbauwegen, Abbaumechanismen und Abbaugeschwindigkeiten in Boden, Wasser und Luft, sowie vertiefte ökotoxikologische Untersuchungen terrestrischer und aquatischer Ökosysteme.

Von Seiten des WBD wurde deshalb vorgeschlagen die Datenanforderungen für ökotoxikologische Tests der NI und UI entsprechend anzupassen. Dazu sollten geeignete Studiendesigns und Testsysteme mit angepassten Testorganismen gewählt werden, anhand derer sich das Umweltrisiko durch die Anwendung von NI und UI möglichst realitätsnah abschätzen lässt (Abbildung 4). Gerade in Bezug auf die Nichtziel-Bodenmikroorganismen besteht jedoch noch Forschungsbedarf bezüglich der Auswahl einer ökotoxikologisch sinnvoll angepassten Testbatterie (Hund-Rinke, 2021).

---

<sup>1</sup> CLP-Verordnung: *Classification, Labelling and Packaging* - europäischen Rechtsgrundlage für die Gefahreneinstufungen von Chemikalien

**Abbildung 4: Vorschlag einer angepassten, systematischen Teststrategie zur Abschätzung des Umweltrisikos durch Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren**



Quelle: K. Hund-Rinke, Fraunhofer IME; in „Nitrifikations- und Ureasehemmer (Fokus: Ökotoxikologie)“; Vortrag im Rahmen der UBA Fachtagung für Düngemittelzusatzstoffe, 2021

### 3.2 Biostimulanzien

Der Begriff Biostimulanzien beinhaltet eine breite Palette von Verbindungen bzw. aktiven Substanzen, für die bisher keine abschließende, wissenschaftlich anerkannte Aufstellung gefunden wurde (Garcia-Garcia et al., 2020; du Jardin, 2015). Sie werden im Rahmen der europäischen Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 erstmals einheitlich als eigenständige Produktfunktionskategorie geregelt, wurden allerdings bisher teilweise über die Pflanzenschutzmittelverordnung (EG) Nr. 1107/2009 geregelt. Diese wurde gemäß Artikel 47 (EU) Nr. 2019/1009 derart verändert, dass Pflanzenbiostimulanzien die zuvor ggf. darunter fielen nun explizit aus dem Gültigkeitsbereich der Verordnung herausfallen, wodurch die Möglichkeiten einer umfassenden Umweltrisikoprüfung für diese Stoffe sehr beschränkt wird. Die in der europäischen Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 verwendete Begriffsbestimmung ist nunmehr anforderungsbasiert. Biostimulanzien sind somit über ihre Wirkung und nicht über die Inhaltsstoffe definiert als Düngeprodukte, die pflanzliche Ernährungsprozesse stimulieren und damit die Nährstoffaufnahme oder -verwertung verbessern können (Ricci et al., 2019).

Als solche können Biostimulanzien den verschiedensten Ausgangsprodukten angehören. Ein einheitliches Vorgehen oder ein Konzept für die Umweltbewertung, welches alle Biostimulanzien abdeckt, ist schon aufgrund dieser Diversität erschwert, ebenso wie die Untersuchung der Auswirkungen eines Einzelbestandteils aufgrund der oft komplexen Zusammensetzung biostimulanter Produkte (Bulgari et al., 2019).

Die neue Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 trifft eine grundlegende Unterscheidung zwischen mikrobiellen Pflanzenbiostimulanzien wie Pilzen und Bakterien und nicht-mikrobiellen Pflanzenbiostimulanzien. Diese lassen sich wiederum entsprechend ihrer Hauptherkünfte weiter unterteilen in bspw. Algen- und Pflanzenextrakte, Fulvo- und Huminsäuren, Aminosäuren und Proteine, anorganische Stoffe (Ebert, 2020). Die in den Anforderungen der Verordnung unter Anhang 1, PFC 6 angegebenen Grenzwerte für Schwermetallgehalte dürfen weder von mikrobiellen noch von nicht-mikrobiellen

Biostimulanzien überschritten werden. Zudem ist für alle Stoffe, die unter Anhang 2, Komponentenmaterialkategorie (CMC) 1, fallen, ein Stoffsicherheitsbericht für die Verwendung als Düngeprodukt nach Anhang IV der REACH-Verordnung (2006) anzufertigen. Damit unterliegt jedoch ein Großteil der Biostimulanzien, wie solche mikrobiellen Ursprungs, nicht dieser Anforderung. Anforderungen zur Prüfung ihrer Umweltwirkungen sind bislang nicht näher geregelt (EU-Kommission, 2021a). Arbeitsgemeinschaften und Gremien der europäischen Normungsorganisationen, wie bspw. CEN/TC 455 oder CEN/TC 223, sowie die Expertengruppe für Düngemittel der EU-Kommission sind aktuell mit der Erstellung standardisierter Vorgaben und Definitionen, etwa für Spezifikationen und Prüfgrundlagen, befasst (Ebert, 2020; EU-Kommission, 2021b; Hartmann, 2021).

Den Umweltbedenken und Hygieneanforderungen Rechnung tragend, wurde in der europäischen Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 für die Gruppe der mikrobiellen Biostimulanzien (PFC 6) unter CMC 7 eine „Positivliste“ definiert mit Mikroorganismen, die in diesen enthalten sein dürfen. Sie umfasst aktuell *Azotobacter* spp., Mykorrhizapilze, *Rhizobium* spp. und *Azospirillum* spp. Ökotoxikologische Risiken, die von solchen Mikroorganismenpräparaten ausgehen können, sind bspw. Phytoparasitismus, Toxinbildung in der Pflanze oder eine Veränderung des Bodenmikrobioms (Baum et al., 2021). Nach Einschätzung von Experten\*Expertinnen werden diese Risiken in der landwirtschaftlichen Anwendung für die Biostimulanzien der Positivliste bislang als eher gering bewertet (Baum et al., 2021; Karges et al., 2022). Allerdings sprechen Beispiele aus dem biologischen Pflanzenschutz dafür, dass selbst bei etablierten Mikroorganismen ein Restrisiko nicht auszuschließen ist (Pfordt et al., 2020). Ein Monitoring der längerfristigen Auswirkungen mikrobieller Biostimulanzien im landwirtschaftlichen Anbau, insbesondere beim Einsatz lebendiger Mikroorganismen, ist daher auch aus Vorsorgegesichtspunkten empfehlenswert.

## 4 Wirksamkeit

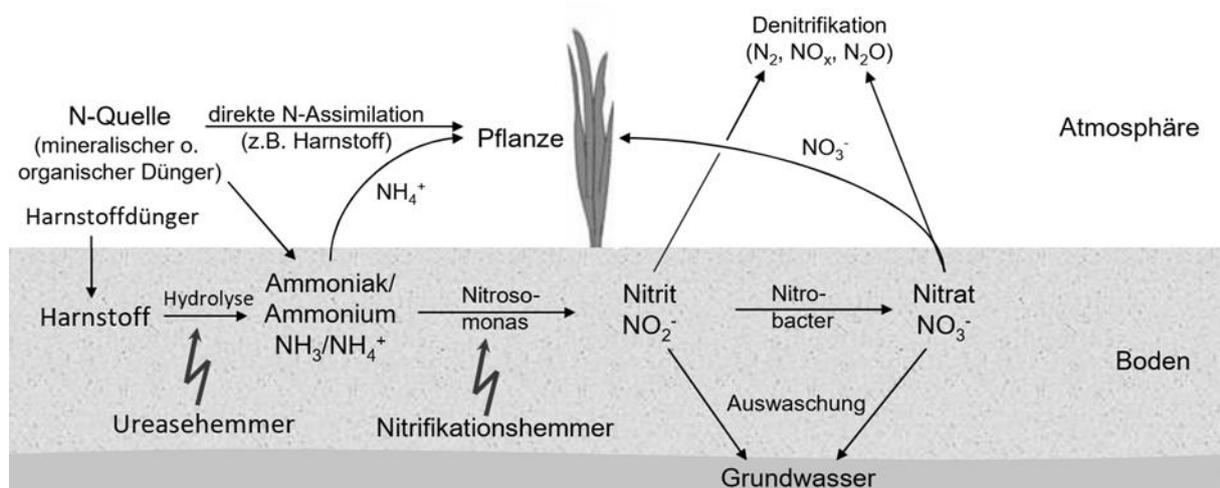
Im nachfolgenden Kapitel werden überblicksmäßig die wichtigsten Ergebnisse zur Wirksamkeit der hier betrachteten Stoffe NI und UI sowie der Stoffgruppe der Biostimulanzien zusammenfassend dargestellt.

### 4.1 Wirksamkeit von NI und UI

NI, UI und NUI werden in der Landwirtschaft eingesetzt, um Stickstoffverluste zu verringern, indem die mikrobielle Stickstoffumwandlung im Boden besser an den Stickstoffbedarf und die Stickstoffaufnahme durch die Kulturpflanzen angepasst wird. Die NI und UI unterscheiden sich in ihrer Wirkungsweise und den Effekten und somit auch in ihrem Einsatz. NI können zu allen ammoniumhaltigen Düngern eingesetzt werden, so auch zu Güllen und Gärresten, um die Nitrifikation von Ammonium zu Nitrat zu verzögern. Da Ammonium im Boden weniger mobil ist als Nitrat, ist der Düngestickstoff weniger auswaschungsgefährdet. Allerdings können dabei je nach Bodenverhältnissen (pH-Wert, Feuchte) auch höhere gasförmige N-Verluste durch Ammoniak (hohe pH-Werte) auftreten.

In der novellierten DüV wird erstmals der Einsatz von UI bei der Anwendung von Harnstoffdüngern als übergeordnete Maßnahme eines effizienten Düngemiteleinsatzes zur Verminderung der Ammoniakemissionen bei der Ausbringung gesetzlich geregelt. Die Anwendung von UI in Harnstoffdüngern ist in Deutschland nach DüV verpflichtend, sofern diese nicht unverzüglich, spätestens jedoch innerhalb von 4 Stunden nach der Aufbringung eingearbeitet werden. Die Verpflichtung zum Einsatz von UI bei Harnstoffdüngern ergibt sich in erster Linie aus den bei der Anwendung von Harnstoffdüngern auftretenden, zum Teil erheblichen Ammoniakemissionen. Gemäß Bundesratdrucksache 148/17 wird dies damit begründet, dass „zur Verminderung von Stickstoffeinträgen in nicht landwirtschaftlich genutzte Ökosysteme über den Luftpfad Maßnahmen erforderlich sind, die zu einer deutlichen Verringerung der emittierten Ammoniakemissionen führen“. Diese Verpflichtung zählt damit auch zu den Maßnahmen innerhalb des nationalen Luftreinhalteprogramms (BMU, 2019).

**Abbildung 5: Wirkungsweise von Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren**



Quelle: Scheurer et al (2014), angepasst für das DVGW-Projekt „INHIBIT“.

Abbildung 5 zeigt die Wirkweise der mikrobiellen Hemmung der Nitrifikation durch NI und UI, aber auch, dass NI und UI unterschiedliche Angriffspunkte innerhalb des Stickstoffkreislaufs im

Boden haben. Die europäische Düngeprodukteverordnung (EU) Nr. 2019/1009 greift diese Sachlage auf, indem dort die NI und UI über ihr Wirkprinzip als Hemmstoff in der Produktfunktionskategorie PFC 5 definiert werden (vgl. 2.1.1).

In Deutschland sind derzeit mehr NI und UI zugelassen, als in der noch geltenden europäischen Düngemittelverordnung (EG) Nr. 2003/2003 genannt werden. Eine Übersicht zu den nach den Verordnungen auf EU-Ebene sowie der nationalen DüMV zugelassenen NI und UI ist im Abschlussbericht zu diesem Vorhaben gegeben (Karges et al., 2022). Eine Übersicht nach DüMV findet sich darüber hinaus in Tabelle A1 des Anhangs.

Durch den Einsatz von NI und UI sollen Stickstoffverluste bei der landwirtschaftlichen Anwendung von Düngemitteln reduziert werden. Neben einer Reduzierung der Stickstoffauswaschung in Form von Nitrat zielt der Einsatz dieser Stoffe vor allem auf die Reduktion gasförmiger Stickstoffverluste durch Ammoniak- und die Reduzierung der Lachgasemissionen ab.

Die anschließenden Unterkapitel stellen übersichtsmäßig die wichtigsten Ergebnisse der Literaturrecherche zum Einsatz von NI und UI zur Reduzierung der Nitratauswaschung, der Ammoniakemissionen und der Lachgasemissionen zusammen. Generell muss vorangestellt werden, dass die positiven Effekte für den Klima- und Gewässerschutz stark abhängig von den Standort-, Umwelt- und Bewirtschaftungseinflüssen sind und somit das Verhältnis zwischen Vorsorgeprinzip hinsichtlich Klima- und Gewässerschutz und der tatsächlichen, messbaren Wirkung kritisch betrachtet werden muss.

#### **4.1.1 Reduzierung der Nitrat-Auswaschung**

Eine bedarfs- und zeitgerechte Stickstoffdüngung sorgt dafür, dass die Kulturpflanzen den vorhandenen Stickstoff im Boden effizient aufnehmen. Liegen zum Beginn der winterlichen Sickerwasserbildung noch erhebliche Mengen an Nitrat im Boden vor, das während der Vegetationsperiode nicht von den Kulturpflanzen aufgenommen wurde, kann das leicht mobile Nitrat mit dem Sickerwasser in tiefere Bodenschichten und anschließend ins Grundwasser ausgewaschen werden oder gelangt so in Oberflächengewässer und kann dort zur Eutrophierung führen. Im Grundwasser und Trinkwasser ist das Nitrat unerwünscht, da es im menschlichen Körper in das gesundheitlich bedenkliche Nitrit umgewandelt werden kann. Daher wird in der Trinkwasserverordnung ein Grenzwert von 50 mg/L Nitrat vorgeschrieben. Auch nach der europäischen Nitratrichtlinie (EU-RL 91/676/EWG) sowie der Grundwasserverordnung (GrwV, 2017) und der Oberflächenwasserverordnung (OGewV, 2020) sind die landwirtschaftlichen Nitratreinträge zu verringern und ein Schwellenwert von 50 mg/L Nitrat im Grundwasser und in Oberflächengewässern einzuhalten.

NI verzögern die Umwandlung des weniger mobilen Ammoniumions in Nitrat, wodurch das Auswaschungsrisiko von Stickstoff reduziert werden kann (Di und Cameron, 2002; Barth et al., 2019; Zerulla et al., 2001; Gaßner, 2014). Es gibt aber auch Untersuchungen, in denen der Einsatz von NI nicht immer die Nitratausträge in die gesättigte Zone vermindert (Corré und Zwart, 1995; Gioacchini et al., 2002; Misselbrook et al., 2014). Dies ist bedingt durch mehrere Einflussfaktoren wie Bodenparameter (z. B. Barth et al., 2001 oder Barth et al., 2019), Anwendungsform der Dünger (z. B. Barth et al., 2008), Klima und aktuelle Witterung oder Bewirtschaftungsweise (z. B. Di und Cameron, 2002), welche die mikrobiellen Umsätze im Boden beeinflussen. Auch spielt die Wirkungsdauer der NI eine große Rolle, die unter Feldbedingungen höchstens acht Wochen beträgt (DVGW, 2022; Barth et al., 2008). Insgesamt sind eindeutige und allgemeingültige Aussagen zur Wirksamkeit der Reduzierung von

Nitratauswaschung durch den Einsatz von NI aufgrund der unterschiedlichen Studienergebnisse nicht möglich.

#### 4.1.2 Reduzierung der Ammoniakemissionen

Ammoniak ist ein Vorläufer für Feinstaubpartikel, trägt über trockene und nasse Deposition zur Versauerung und Eutrophierung von Ökosystemen und indirekt zur Emission von Lachgas bei (Geupel et al., 2021). Ammoniakemissionen stammen zu 95 % aus der Landwirtschaft, wobei die Hälfte davon aus der Ausbringung organischer Düngemittel, mineralischer Düngemittel und Gärresten rührt (BMU, 2019). Die Emissionen waren zwischen 2005 und 2016 steigend, bedingt unter anderem durch eine Zunahme des Anteils an Harnstoffdünger bei der mineralischen Düngung (BMU, 2019). Daher setzt sich das nationale Luftreinhalteprogramm (BMU, 2019) zum Ziel, Ammoniakemissionen als indirekte klimarelevante Spurengase in der Landwirtschaft deutlich zu reduzieren. Eine mögliche Maßnahme zum Erreichen dieses Ziels ist der Einsatz von UI (Hu und Schmidhalter, 2021) sowie auch der kombinierte Einsatz von NI und UI (NUI) (Ni et al., 2017) bei der Stickstoffdüngung in der Landwirtschaft.

Mit Novellierung der DüV (2017) werden UI bei der Ausbringung von Harnstoffdüngern vorgeschrieben, sollte der Harnstoffdünger nicht innerhalb von vier Stunden nach Ausbringung eingearbeitet werden. UI hemmen enzymatisch die katalytische Harnstoffhydrolyse (Abbildung 5). Dass UI signifikant die Ammoniakemissionen verringern, ist durch viele Untersuchungen (San Francisco et al., 2011; Gaßner, 2014; Misselbrook et al., 2014; Ni et al., 2014; Schraml et al., 2016; Castellano-Hinojosa et al., 2020, Hu et al., 2020) und Metaanalysen (Pan et al., 2016; Silva et al., 2017; Lam et al., 2017) bestätigt. Allerdings sind die Studienergebnisse untereinander nur bedingt vergleichbar, was neben den jeweils unterschiedlichen Standortbedingungen und klimatischen Verhältnissen in den unterschiedlichen Untersuchungsansätzen und Studiendesigns begründet ist, woraus eine große Spanne hinsichtlich des konkreten Minderungspotenzials resultiert.

Die Zugabe von NI zu ammoniumhaltigen mineralischen oder organischen Düngern verzögert die Nitrifikation, wodurch Ammonium länger im Boden verbleibt. Standort- und Witterungsbedingungen wie Bodentemperatur und pH-Wert können das Ammonium-Ammoniak-Dissoziationsgleichgewicht in der Bodenlösung hin zu Ammoniak verschieben, wodurch prinzipiell erhöhte Ammoniak-Verluste/-Emissionen begünstigt werden. Dies kann insbesondere der Fall sein bei sandigen Böden, Böden mit geringer Kationenaustauschkapazität und Böden mit organischer Auflage (Lam et al., 2017; Gioacchini et al., 2002; San Francisco et al., 2011; Cantarella et al., 2018; Castellano-Hinojosa et al., 2020; Kim et al., 2012). Dadurch können die positiven Effekte der Reduzierung der Lachgasemissionen durch teilweise erhöhte Ammoniakemissionen wieder aufgehoben werden.

Für Kombinationsprodukte, die sowohl NI als auch UI enthalten (NUI), kann die gleiche Problematik wie oben beschrieben auftreten. Es kann zu einer Erhöhung der Ammoniumphase im Boden durch die NI kommen, wodurch das Risiko von Ammoniakemissionen steigt (Kim et al., 2012; Castellano-Hinojosa et al., 2020). Allerdings gibt es auch gegenteilige Ergebnisse: So zeigen die Inkubationsstudien von Ni et al. (2017) keinen Unterschied der Ammoniakemissionen bei Zugabe von NUI im Vergleich zur Zugabe ohne NI.

Insgesamt zeigt sich auch für die Reduktion der Ammoniakemissionen, dass die einzelnen Studien nur teilweise vergleichbar sind und daher generelle und allgemeingültige Aussagen mit Vorsicht zu betrachten sind.

### 4.1.3 Reduzierung der Lachgasemissionen

Eine nicht unerhebliche Quelle für direkte Lachgasemissionen ist die Stickstoffdüngung. Lachgas ist eines der wichtigsten Treibhausgase und ca. 300-mal klimaschädlicher als Kohlendioxid. Durch die NEC-Richtlinie (EU) 2016/2284 verpflichtet sich Deutschland, die nationalen Emissionen von NH<sub>3</sub> ab 2020 um 5 % und ab 2030 um 29 % gegenüber 2005 zu senken. Darunter fallen auch Maßnahmen zur Minderung der Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft, wie die Optimierung der N-Effizienz.

In diesem Zusammenhang ist die intendierte Wirkung der NI bei der Ausbringung von ammoniumhaltigen Düngern mittels der Verzögerung der Nitrifikation zu einer Reduktion von Lachgasemissionen beizutragen, ist vielfach belegt (Akiyama et al., 2010; Ruser und Schulz, 2015; Recio et al., 2019; Flessa et al., 2014; Pfab et al., 2012; Lam et al., 2017; Hu et al., 2020; Cowan et al., 2020, ten Huf und Olf, 2020; Linzmeier et al., 2001). Dabei spielen insbesondere die Anwendungsweise, die Witterung und der Vorrat an organisch gebundenem Stickstoff im Boden eine große Rolle. Aber auch die Bodenart (Friedl et al., 2020) oder die Bodenfeuchte (Wu et al., 2017) haben Einfluss auf die Lachgasemissionen. Für diesen Wirkungspfad gibt es viele Standort- und Bewirtschaftungseinflüsse, welche die Wirkung der NI beeinflussen, weshalb die Studienergebnisse untereinander nur schwer vergleichbar sind.

Die Auswertung der Wirkung von NI zur Reduzierung der Lachgasemissionen zeigt, dass die potenzielle Erhöhung der Ammoniakemissionen als Nebeneffekt mit in die Bewertung der Wirksamkeit für den Klimaschutz einbezogen werden muss. Es handelt sich somit um eine indirekte Wirkung, durch die wiederum Stickstoffeinträge in atmosphärische Ökosysteme erhöht werden. Dabei können zum Teil die erhöhten Ammoniakemissionen den positiven Klimaeffekt der NI durch Reduktion der Lachgasemissionen überlagern (Lam et al., 2017), so dass insgesamt der gewünschte Nutzen für den Klimaschutz nicht mehr gegeben ist.

## 4.2 Wirksamkeit von Biostimulanzien

In der Landwirtschaft werden Biostimulanzien eingesetzt, um die Nährstoffaufnahme und -ausnutzung, Stresstoleranz, Produktqualität sowie Ertragsleistung von Kulturpflanzen zu verbessern (Van Oosten et al., 2017). Dies geschieht nach aktueller Fachmeinung weniger über die Nährstoffmobilisierung als viel mehr über die Förderung des Wurzelwachstums, durch die mehr Bodenraum erschlossen wird und somit mehr Nährstoffe zugänglich werden (Nkebiwe et al., 2016). Auch wirken Biostimulanzien unterstützend und aktivierend auf Stoffwechselforgänge in den Pflanzen. Somit sind bei den Biostimulanzien insbesondere die Effekte auf Stoffwechselforgänge in den Kulturpflanzen aus der synergistischen Interaktion mit Boden und Pflanze bedeutsam (Paul und Lade, 2014; Neumann, 2017; Hestrin et al., 2019; Raupp, 2020). Allerdings sind für eine Vielzahl an Biostimulanzien die Mechanismen hinter der Wirkung nicht geklärt, so dass hier noch erheblicher Forschungsbedarf besteht (Van Oosten et al., 2017).

Einige Untersuchungen belegen positive Effekte auf Ertrag und Pflanzenwachstum durch Zugabe von Biostimulanzien wie Algenextrakten, Mykorrhiza-bildenden Pilzen, Rhizobakterien oder Aminosäuren und Peptidmischungen aus Protein-Hydrolysaten (Neumann, 2017; Olivares et al., 2017; Roupheal und Colla, 2020). Allerdings handelt es sich dabei um Ergebnisse aus Labor- und Gefäßversuchen sowie aus dem Einsatz in geschlossenen Systemen im Gartenbau und im Gewächshaus. Beim Einsatz auf Feldebene unter Freilandbedingungen sind die Ergebnisse deutlich unterschiedlicher (Wiesler und Armbruster, 2021) und zeigen größere Spannweiten, die von keiner Wirkung (Hege et al., 2005 und Wendland et al., 2006) bis zu Ertragssteigerungen um bis zu 20 % reichen (Neumann, 2017). Für die Zugabe von Phosphit zu Raps und

Winterweizen als Flächenkulturen in Feldversuchen zeigte sich hingegen ein wissenschaftlich nachweislich verbessertes Pflanzenwachstum sowie signifikante Ertragssteigerungen (Verreet et al., 2020; Verreet et al., 2019).

In einem europaweiten Verbundprojekt zu Biostimulanzien wurden die größten Wirkungseffekte in der Kombination aus verschiedenen Biostimulanzien wie Mykorrhizabildenden Pilzen, Rhizobakterien, Algenextrakten oder Pflanzenextrakten mit Düngern – vor allem bei ammoniumbetonter Düngung oder bei einer zusätzlichen Düngung von Spurennährstoffen – nachgewiesen (Neumann, 2017). Insgesamt ist festzuhalten, dass ein großer Einfluss von Umwelt- und Standorteigenschaften sowie von Anbaumaßnahmen auf die Wirkeffekte der Biostimulanzien besteht, wodurch eindeutige Wirkungszusammenhänge schwer nachweisbar sind.

Der landwirtschaftliche Einsatz von Biostimulanzien ist in den letzten Jahren stark angestiegen (IVA, 2020, 2021). Daher ist es einerseits unumgänglich, die Wirksamkeit und die Mechanismen sowohl auf molekularer Ebene als auch auf Feldebene durch standardisierte Verfahren unter Freilandbedingungen zu belegen und andererseits einheitliche Standards bei der Regulierung und Zulassung der sehr heterogenen Produktgruppen festzulegen (Barros-Rodríguez et al., 2020; Ricci et al., 2019). Zum derzeitigen Kenntnisstand gibt es noch keine ausreichenden Informationen bezüglich der Umweltrisiken, die gegebenenfalls von Biostimulanzien ausgehen können. Auch wurden keine Informationen zu Monitoringprogrammen im Zusammenhang mit Biostimulanzien gefunden.

## 5 Fazit und Ausblick

DMZ haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen und umfassen unterschiedliche Stoffgruppen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Die DüMV unterscheidet dabei die vier Produktkategorien Düngemittel, Kultursubstrate, Bodenhilfsstoffe und Pflanzenhilfsmittel, die in Abhängigkeit der typbestimmenden bzw. zweckbestimmenden Hauptbestandteile definiert sind. In dem vorliegenden Dokument wurde der Fokus dabei auf die zwei Stoffgruppen der Nitrifikations- (NI) und Ureaseinhibitoren (UI) sowie die in der landwirtschaftlichen Praxis immer häufiger eingesetzten Biostimulanzien gelegt, die durch ihre Aufnahme in das novellierte EU-Düngerecht und die gestiegenen Absatzmengen von besonderem Interesse sind.

NI und UI werden in der Landwirtschaft eingesetzt, weil ihnen positive Wirkungen hinsichtlich verringerter Stickstoffemissionen in angrenzende Umweltkompartimente zugeschrieben werden. Allerdings sind Wirkstofffunde von einzelnen NI in Gewässern Anlass zur Besorgnis hinsichtlich negativer Umwelteffekte. Bei den NI und UI stehen vor allem die Zielkonflikte zwischen dem Klimaschutz (Verringerung der Treibhausgasemissionen durch Einsatz der Inhibitoren) und dem Umwelt- und Gewässerschutz (Eintrag und Vorkommen einzelner Inhibitoren als potenziell persistente, mobile Stoffe) im Vordergrund. Hier erweist sich die unklare Datenlage hinsichtlich der tatsächlichen Absatzmengen als besonders hinderlich für eine konkrete Abschätzung der Risiken für Umwelt und (Trink-)Wasserressourcen. Auch die Registrierung nach der REACH-Verordnung liefert oftmals keine ausreichenden Informationen bezüglich Persistenz, Mobilität und Toxizität für die terrestrische und aquatische Umwelt. Die für Industriechemikalien ohne intendierte Umweltausbringung ausgelegten Datenanforderungen sind in der Regel unzureichend für Stoffe wie NI und UI, für die eine Intention zur unmittelbaren Ausbringung und Wirkung in der Umwelt besteht. Durch die Verknüpfung der Datenanforderungen mit weit gefassten Tonnagebändern in der REACH-Verordnung existieren für manche NI und UI nur wenig ökotoxikologische Studien, insbesondere für terrestrische Ökosysteme. Aussagekräftige ökotoxikologische Tests, die an die tatsächliche Expositionssituation angepasst sind, sind jedoch für die Umweltbewertung und im Rahmen eines am Vorsorgeprinzip orientierten Zulassungsverfahrens unabdingbar. Hier besteht weiterhin Nachbesserungsbedarf. Die am Vorsorgeprinzip ausgerichtete Zulassung der Wirkstoffe erfordert ein transparentes Verfahren mit klaren rechtlichen Zuständigkeiten sowie tonnageunabhängigen, an den landwirtschaftlichen Einsatz und die Ausbringung unmittelbar in der Umwelt angepassten, Informationsanforderungen, wobei mit Blick auf die Risikobewertung der behördliche Zugriff auf die zulassungsrelevanten Studien zum Umweltverhalten und der Ökotoxizität gewährleistet sein sollte.

Rechtlich werden die NI und UI den Anwendungshilfsmitteln gemäß der Liste der Nebenbestandteile nach DüMV zugeordnet, während die Biostimulanzien in Abhängigkeit des Verwendungszwecks entweder den Pflanzenhilfsmitteln bzw. Bodenhilfsstoffen nach DüMV zugeordnet oder als Pflanzenstärkungsmittel der Zulassung nach dem Pflanzenschutzgesetz unterliegen. Die fehlende Eindeutigkeit der Zuordnung der Biostimulanzien führt zu Überschneidungen und Unklarheiten hinsichtlich der Anforderungen bei der Zulassung und dem Inverkehrbringen dieser Stoffgruppe sowie der Abgrenzung der jeweiligen Rechtsbereiche. Zwar markiert die im Juli 2022 in Kraft getretene EU-Düngerechtsverordnung (EU) Nr. 2019/1009 eine Abkehr vom hergebrachten Typensystem und der Einführung von Produktfunktionskategorien, führt aber letztlich nicht zu mehr Transparenz und Eindeutigkeit hinsichtlich der Zulassungsanforderungen. Insbesondere da auf Basis der gegenseitigen Anerkennung in der EU weiterhin nach nationalem Recht eines Mitgliedstaates hergestellte und

zugelassene Düngeprodukte auch in einem anderen Mitgliedstaat auf den Markt gebracht werden dürfen.

Zwar wird in Deutschland nach dem AgrStatG der Inlandsabsatz von Düngemitteln erfasst, es werden bisher jedoch keine Daten zu den Zusatzstoffen in den Düngemitteln sowie den Biostimulanzen erhoben. Daher ist die Menge der tatsächlich gezielt in die Umwelt ausgebrachten NI und UI und der Biostimulanzen nicht bekannt, so dass die Eintragspfade der Umweltfunde dieser Wirkstoffe nicht oder nur unzureichend bekannt sind. Kenntnisse der konkreten Absatzmengen der Handelsprodukte mit Angaben zu den Wirkstoffkonzentrationen sind erforderlich, um das Expositionsrisiko in die verschiedenen Umweltkompartimente einschätzen und gezielte Maßnahmen im Rahmen der Fundaufklärung ergreifen zu können.

Bisher wurden in Deutschland nur wenige Monitoringstudien für die NI und UI durchgeführt. Da bekannt ist, dass einige der zugelassenen NI nicht nur als DMZ verwendet werden, sondern auch als Abbauprodukt aus anderen im Bauwesen, der Industrie und der Landwirtschaft eingesetzten Produkten entstehen können, sollten Umweltfunde mit der Untersuchung und Aufklärung der ursächlichen Eintragspfade verknüpft werden. Bei der Fundaufklärung im Grundwasser sollte der Eintragspfad Boden-Grundwasser vertiefend wissenschaftlich untersucht werden um ein besseres Prozessverständnis des Eintragungsgeschehens zu erreichen. Hierfür wären bspw. Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Rahmen von mehrjährigen Monitoringprogrammen geeignete Mittel.

Für die sehr heterogene Produktgruppe der Biostimulanzen liegen bisher nur wenige Erkenntnisse zur Umweltbewertung, zu ausgebrachten Mengen und zur Wirksamkeit vor. Da der landwirtschaftliche Einsatz von Biostimulanzen in den letzten Jahren stark angestiegen ist sollte den Untersuchungen möglicher schädlicher Auswirkungen der Ausbringung von Biostimulanzen, insbesondere auf assoziierte Ökosysteme, verstärkte Bedeutung beigemessen werden. Genaue Kenntnisse der Auswirkungen der verschiedenen Biostimulanzen insbesondere auf das Boden(mikro)biom sind bislang oft noch unzureichend. Langfristige Monitorings sind selten oder schlecht auf andere Untersuchungsgebiete übertragbar. Da viele Biostimulanzen nicht nach der REACH-Verordnung registriert werden müssen, existieren für diese oft keine ökologischen Bewertungen und Mengenangaben, so dass hierzu noch erheblicher Forschungsbedarf besteht.

Neben den notwendigen Anpassungen an die zulassungsrelevanten Anforderungen, würden deutschlandweite Monitoringprogramme für NI, UI und Biostimulanzen in Böden, Oberflächengewässern und Grundwasser dazu beitragen, ein potenzielles Risiko für die Umwelt – sowie über den Trinkwasserpfad für den Menschen – besser einzuschätzen und ggf. regulatorisch gegensteuern zu können.

## 6 Quellenverzeichnis

- Akiyama, H., Yan, X., Yagi, K. (2010): Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N<sub>2</sub>O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology*, 16(6), 1837-1846.
- Barros-Rodríguez, A., Rangseekaew, P., Lasudee, K., Pathom-aree, W., Manzanera, M. (2020): Regulatory risks associated with bacteria as biostimulants and biofertilizers in the frame of the European Regulation (EU) 2019/1009. *Science of The Total Environment*, 740, 140239.
- BLE-Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2021): FAQs - Häufig gestellte Fragen an die notifizierende Behörde zur Verordnung (EU) 2019/1009 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt. [https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Duengeprodukte/BLE\\_FAQs\\_zur\\_Verordnung\\_2019\\_1009.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Landwirtschaft/EU-Duengeprodukte/BLE_FAQs_zur_Verordnung_2019_1009.pdf?__blob=publicationFile&v=7) (Stand: 06.04.2021)
- Barth, G., von Tucher, S., Schmidhalter, U. (2001): Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. In: *Biology and Fertility of Soils* 34, S. 98–102.
- Barth, G., von Tucher, S., Schmidhalter, U. (2008): Effectiveness of 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate (DMPP) as Nitrification Inhibitor in Soil as Influenced by Inhibitor Concentration, Application Form, and Soil Matrix Potential. In: *Pedosphere* 18 (3), S. 378–385.
- Barth, G., von Tucher, S., Schmidhalter, U., Otto, R., Motavalli, P., Ferraz-Almeida, R., Meinl Schmiedt Sattolo, T., Cantarella, H., Vitti, G. C. (2019): Performance of nitrification inhibitors with different nitrogen fertilizers and soil textures. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(5), 694-700.
- Baum, C., Vitow, N., Schulz, S., Schloter, M. (2021): Mikroorganismenpräparate und Bodenmikrobiologie – Einsatz, Nutzen und mögliche Risiken. Konferenzbeitrag UBA Fachtagung zur Umweltbewertung von Düngemittelzusatzstoffen.
- Bickert, C., Rutt, K., Erdle, K. (2018): Biostimulanzien - Hoffnung bei Düngung und Pflanzenschutz? DLG e.V., Frankfurt am Main, S.
- Bulgari, R., Franzoni, G., Ferrante, A. (2019): Biostimulants Application in Horticultural Crops under Abiotic Stress Conditions. *Agronomy*. 9(6):306. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) 2022: <https://www.bmel.de/DE/ministerium/organisation/beiraete/dueng-organisation.html> (25.05.2022)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (Hg.) (2019): Nationales Luftreinhaltprogramm der Bundesrepublik Deutschland. nach Artikel 6 und Artikel 10 der Richtlinie (EU) 2016/2284 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe sowie nach §§ 4 und 16 der Verordnung über nationale Verpflichtungen zur Reduktion bestimmter Luftschadstoffe (43. BImSchV).
- Cantarella, H., Otto, R., Soares, J. R., Silva, A. G. d. B. (2018): Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. *Journal of Advanced Research*, 2018(13), 19-27.
- Castellano-Hinojosa, A., González-López, J., Vallejo, A., Bedmar, E. J. (2020): Effect of urease and nitrification inhibitors on ammonia volatilization and abundance of N-cycling genes in an agricultural soil *Journal of plant nutrition and soil science*, 2020(1), 99-109.
- Corré, W. J., Zwart, K. (1995): Effects of DCD addition to slurry on nitrate leaching in sandy soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 43(2), 195-204.
- Cowan, N., Carnell, E., Skiba, U., Dragosits, U., Drewer, J., Levy, P. (2020): Nitrous oxide emission factors of mineral fertilisers in the UK and Ireland: A Bayesian analysis of 20 years of experimental data. *Environment International*, 135, 105366.

Di, H., Cameron, K. (2002): The use of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), to decrease nitrate leaching and nitrous oxide emissions in a simulated grazed and irrigated grassland. *Soil use and management*, 18(4), 395-403.

DVGW (2022): INHIBIT - Abschlussbericht W 201917- Chancen und Risiken von Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren für den Gewässerschutz. <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-inhibit> (Stand 03.06.2022).

Ebert, G. (2020): Biostimulanzien - Innovative Produkte für den Pflanzenbau. Konferenzbeitrag Virtuelles Symposium Biostimulanzien. Frankfurt am Main.

EU (2021): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und des Ausschuss der Regionen. Auf dem Weg zu einem gesunden Planeten für alle EU-Aktionsplan: „Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden“. Brüssel, 12.05.2021.

EU-Kommission (2021a): Antwort von Herrn Breton im Namen der Europäischen Kommission auf die schriftliche Anfrage E-002636/2021. Brüssel, 7.7.2021. [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2021-002636-ASW\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2021-002636-ASW_EN.pdf) (Stand 03.03.2022)

EU-Kommission (2021b): Expertengruppe der Kommission für Düngemittel (E01320). <https://ec.europa.eu/transparency/expert-groups-register/screen/expert-groups/consult?lang=en&groupID=1320>. (Stand 16.03.2022)

Fent, K. (2013): Ökotoxikologie: Umweltchemie-Toxikologie-Ökologie. Georg Thieme Verlag, ISBN/ISSN 3131693045, S.

Flessa, H., Greef, J. M., Hofmeier, M., Dittert, K., Ruser, R., Poddey, E., Osterburg, B., Wulf, S., Pacholski, A. (2014): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft : Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. In: *Forschung*, (Hrsg.), Senat der Bundesforschungsinstitute des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin, ISBN/ISSN 2363-6823978-3-95547-015-9.

Friedl, J., Scheer, C., Rowlings, D. W., Deltedesco, E., Gorfer, M., Rosa, D. (2020): Effect of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) on N-turnover, the N<sub>2</sub>O reductase-gene nosZ and N<sub>2</sub>O:N<sub>2</sub> partitioning from agricultural soils. In: *Scientific reports* 10 (1), S. 2399.

Gaßner, M. (2014): Ammoniak- und Lachgasemissionen nach Anwendung von Kalkammonsalpeter und Harnstoff in Kombination mit Urease- und Nitrifikationsinhibitoren bei Weizen Dissertation an der Technische Universität München (Betreuer: Schmidhalter, U). München, 167 S.

García-García, A.L., Garcia Machado, F., Borges, A. A., Morales-Sierra, S., Boto, A., Jimenez-Arias, D. (2020): Pure Organic Active Compounds Against Abiotic Stress: A Biostimulant Overview. *Frontiers in Plant Science*. 11. 10.3389/fpls.2020.575829.

Geupel, M., Richter, S., Schlesinger, L. (2021). Stickstoff – Element mit Wirkung. Umweltbundesamt

Gioacchini, P., Nistri, A., Marzadori, C., Giovannini, C., Vittori Antisari, L., Gessa, C. (2002): Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. *Biology and Fertility of Soils*, 36(2), 129-135.

Hartmann, S. (2021): Zulassung und Einsatz von DMZ aus Sicht der Industrie. Konferenzbeitrag UBA-Fachtagung zur Umweltbewertung von Düngemittelzusatzstoffen.

Hege, U., Schmidt, K., Offenberger, K. (2005): Versuchsergebnisse aus Bayern Ernte 2003 bis 2005 Wirkung von Bodenhilfsstoffen und Pflanzenhilfsmitteln. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Institut für Agrarökologie - Düngung, Freising, S.

Hestrin, R., Hammer, E. C., Mueller, C. W., Lehmann, J. (2019): Synergies between mycorrhizal fungi and soil microbial communities increase plant nitrogen acquisition. *Communications biology*, 2(1), 1-9.

Hu, Y., Gaßner, M. P., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U. (2020): Direct and Indirect Effects of Urease and Nitrification Inhibitors on N<sub>2</sub>O-N Losses from Urea Fertilization to Winter Wheat in Southern Germany. *Atmosphere*, 11(8).

Hu, Y., Schmidhalter, U. (2021): Urease inhibitors: opportunities for meeting EU national obligations to reduce ammonia emission ceilings by 2030 in EU countries. In: *Environ. Res. Lett.* 16 (8), S. 84047.

Hund-Rinke, K. (2021): Nitrifikations- und Ureasehemmer (Fokus: Ökotoxikologie). Konferenzbeitrag UBA Fachtagung zur Umweltbewertung von Düngemittelzusatzstoffen.

IVA (2020): Presseinformation – Der Düngemittelmarkt 2018/19.

[https://www.iva.de/sites/default/files/pdfs/der\\_duengemittelmarkt\\_2018-19\\_jpk\\_050520.pdf](https://www.iva.de/sites/default/files/pdfs/der_duengemittelmarkt_2018-19_jpk_050520.pdf) (15.12.2021)

IVA (2021): Biostimulanzien – Bausteine für eine moderne und nachhaltige Landwirtschaft.

[https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/%25uid/publikationen/flyer\\_biostimulanzien\\_layout\\_final\\_210304.pdf](https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/%25uid/publikationen/flyer_biostimulanzien_layout_final_210304.pdf) (15.12.2021).

Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticulturae*, 196, 3-14. doi: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

Kim, D.-G., Saggari, S., Roudier, P. (2012): The effect of nitrification inhibitors on soil ammonia emissions in nitrogen managed soils: a meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 93(1), 51-64.

Kösler, J. E., Calvo, O. C., Franzaring, J., Fangmeier, A. (2019): Evaluating the ecotoxicity of nitrification inhibitors using terrestrial and aquatic test organisms. *Environmental Sciences Europe*, 31(1), 1-11.

Lam, S. K., Suter, H., Mosier, A. R., Chen, D. (2017): Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N<sub>2</sub>O emission: a double-edged sword? *Global Change Biology*, 23(2), 485-489.

Linzmeier, W., Gutser, R., Schmidhalter, U. (2001): Nitrous oxide emission from soil and from a nitrogen-15-labelled fertilizer with the new nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). In: *Biology and Fertility of Soils* 34 (2), S. 103–108. DOI: 10.1007/s003740100383.

Misselbrook, T. H., Cardenas, L. M., Camp, V., Thorman, R. E., Williams, J. R., Rollett, A. J., Chambers, B. J. (2014): An assessment of nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emissions from UK agriculture. *Environmental Research Letters*, 9(11), 115006.

Neumann, G. (2017): BIOEFFECTOR – Project Final Report (Resource Preservation by Application of BIOeffectors in European Crop Production).

Ni, Kang, Pacholski, A., Kage, H. (2014): Ammonia volatilization after application of urea to winter wheat over 3 years affected by novel urease and nitrification inhibitors. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 197, S. 184–194. DOI: 10.1016/j.agee.2014.08.007.

Ni, K., Kage, H., Pacholski, A. (2017): Effects of novel nitrification and urease inhibitors (DCD/TZ and 2-NPT) on N<sub>2</sub>O emissions from surface applied urea: An incubation study. In: *Atmospheric Environment* 175, S. 75–82. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.12.002.

Nkebiwe, P. M., Weinmann, M., Müller, T. (2016): Improving fertilizer-depot exploitation and maize growth by inoculation with plant growth-promoting bacteria: from lab to field. In: *Chem. Biol. Technol. Agric.* 3 (1). DOI: 10.1186/s40538-016-0065-5.

Olivares, F. L., Busato, J. G., de Paula, A. M., da Silva, Lima L, Aguiar, N. O., Canellas, L. P. (2017): Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), 30.

Pan, B., Lam, S. K., Mosier, A., Luo, Y., Chen, D. (2016): Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: A global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (232), 283–289.

- Paul, D., Lade, H. (2014): Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soils: a review. *Agronomy for sustainable development*, 34(4), 737-752.
- Pfab, H., Palmer, I., Buegger, F., Fiedler, S., Müller, T., Ruser, R. (2012): Influence of a nitrification inhibitor and of placed N-fertilization on N<sub>2</sub>O fluxes from a vegetable cropped loamy soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 150, 91-101.
- Pfordt, A., Schiwek, S., Karlovsky, P., & von Tiedemann, A. (2020). *Trichoderma afroharzianum* ear rot—a new disease on maize in Europe. *Frontiers in Agronomy*, 11.
- Raupp, M. G. (2020): The Use of Bio-Effectors for Crop Nutrition. *madora gmbh, Lörrach*, 113 S.
- Recio, J., Alvarez, J. M., Rodriguez-Quijano, M., Vallejo, A. (2019): Nitrification inhibitor DMPSA mitigated N<sub>2</sub>O emission and promoted NO sink in rainfed wheat. *Environmental Pollution*, 245, 199-207.
- Ricci M., Tilbury L., Daridon B., Sukalac K (2019) General Principles to Justify Plant Biostimulant Claims. *Front. Plant Sci.* 10:494. doi: 10.3389/fpls.2019.00494
- Rouphael, Y., Colla, G. (2020): Editorial: Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in plant science*, 11, 40-40.
- Ruser, R., Schulz, R. (2015): The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) release from agricultural soils—a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178(2), 171-188.
- Salis, R. K., Bruder, A., Piggott, J.J., Summerfield, T. C., Matthaei, C. D.: Multiple-stressor effects of dicyandiamide (DCD) and agricultural stressors on trait-based responses of stream benthic algal communities. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.111
- San Francisco, S., Urrutia, O., Martin, V., Peristeropoulos, A., Garcia-Mina, J. M. (2011): Efficiency of urease and nitrification inhibitors in reducing ammonia volatilization from diverse nitrogen fertilizers applied to different soil types and wheat straw mulching. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(9), 1569-1575.
- Schraml, M., Gutser, R., Maier, H., Schmidhalter, U. (2016): Ammonia loss from urea in grassland and its mitigation by the new urease inhibitor 2-NPT. *The Journal of Agricultural Science*, 154(8), 1453-1462.
- Severin, K. (2021): Zulassungsverfahren von Düngemittelzusatzstoffen - Konfliktpotentiale im Regulierungsprozess, Konferenzbeitrag UBA-Fachtagung zur Umweltbewertung von Düngemittelzusatzstoffen.
- Silva, A. G., Sequeira, C. H., Sermarini, R. A., Otto, R. (2017): Urease inhibitor NBPT on ammonia volatilization and crop productivity: A meta-analysis. *Agronomy Journal*, 109(1), 1-13.
- Huf ten, M., Olf, H.-W. (2020): Effect of the nitrification inhibitor DMPP on nitrous oxide emissions and the stabilization of ammonium following the injection of dairy slurry and digestate in a soil-column experiment. In: *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 183 (2), S. 129–135. DOI: 10.1002/jpln.201900025.
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., Maggio, A. (2017): The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(1), 1-12.
- Verreet, J.-A., Birr, T., Prah, K., Loof, S., Cai, D., Zhou, Z. (2020): Alternatives Produktionsmittel oder Hokuspokus? Einsatz von Biostimulanzien in der Landwirtschaft. S.
- Verreet J.-A., Klink, H., Birr, T., Prah, K. (2019): Phosphit. White paper prepared for BBSRC LINK grant partners. Universität Kiel (CAU), zuletzt geprüft am 13.01.2020, Kiel, S.
- Wendland, M., Salzedo, G., Offenberger, K. (2006): Wirkung von Effektiven Mikroorganismen im ökologischen Landbau - Versuchsergebnisse aus Bayern 2004 bis 2006. *Freising*, S.
- Wiesler, F., Armbruster, M. (2021): Biostimulanzien - ein Baustein für den integrierten Anbau? Eine neue Stoffgruppe in der EU-Düngerprodukteverordnung. *Landwirtschaftliches Wochenblatt*

Wu, D., Cárdenas, L. M., Calvet, S., Brüggemann, N., Loick, N., Liu, S., Bol, R. (2017): The effect of nitrification inhibitor on N<sub>2</sub>O, NO and N<sub>2</sub> emissions under different soil moisture levels in a permanent grassland soil. In: *Soil Biology and Biochemistry* 113, S. 153–160.

Zerulla, W., Barth, T., Dressel, J., Erhardt K, Horchler von Locquenghien, K., Pasda, G., Rädle, M., Wissemeier, A. (2001): 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) – a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biology and Fertility of Soils*, 34(2), 79-84.

## 7 Verzeichnis der Rechtsgrundlagen

Deutschland:

Bundesratsdrucksache 148/17: Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen.

DüMV (2019): Düngemittelverordnung vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 2. Oktober 2019 (BGBl. I S. 1414) geändert worden ist.

DüngG (2021): Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136), das zuletzt durch Artikel 96 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

DüV (2021): Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die zuletzt durch Artikel 97 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

GrwV 2017: Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. 1 S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 4. Mai 2017 (BGBl. 1 S. 1044) geändert worden ist.

OGewV 2020: Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BBl. 1 S. 1373), die zuletzt durch Artikel 2 Absatz 4 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. 1 S. 2873) geändert worden ist.

PflSchG (2020): Pflanzenschutzgesetz vom 6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148, 1281), das zuletzt durch Artikel 278 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

EU:

EU-RL 2016/2284: Richtlinie (EU) 2016/2284/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Oktober 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG. Amtsblatt der Europäischen Union, L 244, 1 – 31.

Düngemittelverordnung (2003): Verordnung (EG) Nr. 2003/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über Düngemittel (Text von Bedeutung für den EWR).

Düngeprodukteverordnung (2019): Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003.

Nitratrichtlinie (1991): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91/676/EWG).

REACH-Verordnung (2006): Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission.

Richtlinie 2016/2284 (2016): Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG.

Verordnung 2019/515 (2019): Verordnung (EU) 2019/515 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2019 über die gegenseitige Anerkennung von Waren, die in einem anderen Mitgliedstaat rechtmäßig in Verkehr gebracht worden sind und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 764/2008.

## 8 Anhang

### A.1 Nitrifikations- und Ureaseinhibitoren, die in Deutschland gemäß DüMV (2019) zugelassen sind

Wirkstoff	Abkürzung	Summenformel	Zulassung gemäß DüMV (2019)
Dicyandiamid	DCD	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub>	vor 2003
3-Methylpyrazol	3-MP	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> N <sub>2</sub>	vor 2003
1H-1,2,4-Triazol	Triazol	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N <sub>3</sub>	2003
3,4-dimethyl-1H-pyrazole 3,4-Dimethylpyrazolphosphat	DMPP	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> N <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2003
N-((3(5)-Methyl-1H-pyrazol-1-yl)methyl)acetamid	MPA	C <sub>7</sub> H <sub>11</sub> N <sub>3</sub> O	2015
Nitrapyrin [2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridin]	Nitrapyrin	C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> Cl <sub>4</sub> N	2015
Isomerengemisch aus 2-(4,5-Dimethyl-1H-pyrazol-1-yl)bernsteinsäure und 2-(3,4-Dimethyl-1H-pyrazol-1-yl)bernsteinsäure	DMPSA	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2019
<i>N-(2-Nitrophenyl)phosphorsäuretriamid</i>	2-NPT	C <sub>6</sub> H <sub>9</sub> N <sub>4</sub> O <sub>3</sub> P	2008
<i>N-Butyl-thiophosphortriamid</i>	NBPT	C <sub>4</sub> H <sub>14</sub> N <sub>3</sub> PS	2015
<i>N-Propylthiophosphortriamid</i>	NPPT	C <sub>3</sub> H <sub>12</sub> N <sub>3</sub> PS	2015

*Ureaseinhibitoren als kursiv gekennzeichnet*