Burkhard Stever-Schoo, Anne Ostermann, Oliver Stock,
Martin Kücke, Jörg-Michael Greef

Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“

Studie „Messprogramme der Bundesländer und angrenzender EU-Staaten (NL, DK) zum Abgleich des Frühindikatorensystems“

Berichte aus dem Julius Kühn-Institut

209

Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Kontaktadresse/ Contact
Dr. Burkhard Stever-Schoo
Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
Bundesallee 58
38116 Braunschweig
Germany
E-Mail: pb@julius-kuehn.de

Telefon +49 (0) 531 596-2353
Telefax +49 (0) 531 596-2399

Wir unterstützen den offenen Zugang zu wissenschaftlichem Wissen.
Die Berichte aus dem Julius Kühn-Institut erscheinen daher als OPEN ACCESS-Zeitschrift.

We advocate open access to scientific knowledge.
Reports from the Julius Kühn Institute are therefore published as open access journal.

Berichte aus dem Julius Kühn-Institut sind online verfügbar unter https://ojs.openagrar.de/index.php/BerichteJKI
Reports from the Julius Kühn Institute are available free of charge under https://ojs.openagrar.de/index.php/BerichteJKI

Herausgeber / Editor
Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Braunschweig, Deutschland
Julius Kühn Institute, Federal Research Centre for Cultivated Plants, Braunschweig, Germany

Vertrieb
Saphir Verlag, Gutsstraße 15, 38551 Ribbesbüttel
Telefon +49 (0) 5374 6576
Telefax +49 (0) 5374 6577

ISSN 1866-590X
DOI 10.5073/berjki.2020.209.000

© Der Autor/ Die Autorin 2020.
Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de).

© The Author(s) 2020.
This work is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en).

Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“

Studie "Messprogramme der Bundesländer und angrenzender EU-Staaten (NL, DK) zum Abgleich des Frühindikatorensystems"

Julius Kühn-Institut

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde

38116 Braunschweig

Autoren:

Burkhard Stever-Schoo

Anne Ostermann

Oliver Stock

Martin Kücke

Jörg-Michael Greef

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Gefördert über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen 2815MD001.

Zusammenfassung

Im Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“ werden in fünf Bundesländern auf 48 teilnehmenden Betrieben mit 576 Testflächen unter vollständig harmonisierten Vorgaben Stickstoffbilanzen berechnet sowie Stickstoffgehalte in Böden und im Sickerwasser analysiert. Aus diesen Daten soll ein Frühindikatorensystem entwickelt werden, um Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftungsmaßnahmen und Nitratbelastungen sowie zeitliche Änderungen frühzeitig aufzuzeigen. Dadurch wird die häufig gegebene zeitliche und räumliche Entkopplung zwischen Bewirtschaftungsänderungen und der Nitratkonzentration in Grundwassermessstellen überwunden. Die Ergebnisse können einen wertvollen Beitrag im Rahmen der Nitratberichterstattung leisten. Ein solches Monitoring-Konzept erfordert eine bundesweit harmonisierte Vorgehensweise, um eine einheitliche Datenerhebung und damit eine Vergleichbarkeit sowie Übertragbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Diese Studie ist ein wichtiger Baustein des Demonstrationsvorhabens und hat das Ziel einen Überblick über das Vorgehen der Bundesländer beim Nitrat-Monitoring auf landwirtschaftlich genutzten Flächen zu geben und relevante Erkenntnisse und Erfahrungen für das zu erarbeitende Frühindikatorensystem hervorzuheben.

Dazu wurden mit den Länderministerien und den Fachbehörden für Landwirtschaft und Umwelt Gespräche geführt und Informationsrecherchen betrieben. Des Weiteren wurde vergleichend das Vorgehen in Dänemark und den Niederlanden untersucht. Besonders berücksichtigt wurden Monitoring-Aktivitäten im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie, der EG-Wasserrahmenrichtlinie, dem Wasserhaushaltsgesetz und der EG-Trinkwasserrichtlinie. Das Vorgehen und die Erfahrungen der Länder beim Nitrat-Monitoring sind - bis auf wenige Ausnahmen - nicht in wissenschaftlich referierten Fachzeitschiften veröffentlicht. Die Herkunft der beschafften Informationen ist aus diesem Grunde sehr vielfältig und setzt sich zusammen aus Behördenmitteilungen, gesetzlichen Berichtspflichten der Länder, Fachartikeln, Abschlussberichten, Jahresberichten, Internetauftritten und Fachvorträgen.

In allen Bundesländern gibt es Aktivitäten zur Aufklärung und Quantifizierung des Zusammenhanges zwischen Bewirtschaftungsmaßnahmen und Nitrateinträgen in Sicker- und Dränwasser, in Grundwasserkörper und Oberflächengewässer. In einigen Ländern hat insbesondere die Umsetzungspflicht der EG-Wasserrahmenrichtlinie zu einer deutlichen Ausweitung der Untersuchungen beigetragen, während andere auf bereits etablierte Aktivitäten zur Erfüllung der EG-Nitratrichtlinie und des Wasserhaushaltsgesetzes aufbauen konnten. Seitens der Länder wird verstärkt auf eine zeitnahe Erfassung der Wirksamkeit von Maßnahmen mit Hilfe von Indikatoren hingearbeitet. Überdies liefern Forschungsprojekte und Versuche wichtige Informationen zur zielgerichteten Planung und Durchführung von Grundwasserschutzmaßnahmen, die sich z.B. mit der Ermittlung gebietscharakteristischer bodenkundlicher und hydrogeologischer Daten, der Erfassung der Beschaffenheit und Fließeigenschaften des Wassers oder der Erhebung und Analyse grundwasserschutzrelevanter Daten landwirtschaftlicher Betriebe beschäftigen. Anhand ihrer Monitoring- und Forschungsaktivitäten haben die Länder umfangreiche Erfahrungen über die Anwendbarkeit und Aussagekraft unterschiedlicher Indikatoren gesammelt. Festzustellen ist allerdings auch, dass sich die Ausrichtung, der Fortschritt und die methodische Durchführung der Monitoring- und Untersuchungsaktivitäten zum Teil erheblich unterscheiden. Die Monitoringprogramme der Länder beinhalten meist sowohl kalkulatorische als auch stofflich-analytische Indikatoren. Einige Länder führen z.B. regelmäßig großflächige N_{min}-Messkampagnen zur Quantifizierung reaktiver Stickstoffverbindungen im Boden durch, während andere vor allem auf die Auswertung statistischer

Daten zur Berechnung von Nährstoffbilanzen unterschiedlicher Skalierung und darauf aufbauender Modellierungen setzen.

Nährstoffbilanzen erlauben die Betrachtung sämtlicher landwirtschaftlicher Flächen auf verschiedensten Skalen und sind mit vergleichsweise geringem Aufwand ableitbar. Die Aussagekraft der Ergebnisse in Bezug auf die Nitratbelastung ist allerdings in erheblichem Maße abhängig von der Qualität der erhobenen Daten und der betrachteten Bezugsebene. Auch bei schlagspezifischen Betrachtungen haben Untersuchungen einiger Länder gezeigt, dass ein Zusammenhang von Schlagbilanzüberschüssen mit tatsächlich im Boden befindlichen Stickstoffmengen und den daraus resultierenden Auswaschungsverlusten häufig nur bei der Betrachtung langjähriger Zeitreihen, jedoch nicht jahresscharf abgeleitet werden kann. Dies kann vor allem auf die Faktorkombination aus Bewirtschaftung, Standort und Witterung und die dadurch bedingte Stickstoffdynamik im Boden zurückgeführt werden.

Häufig wird die Herbst-N_{min}-Methode für das Monitoring von Einzelmaßnahmen aber vereinzelt auch beim Gebietsmonitoring verwendet. Die Herbst-N_{min}-Methode erlaubt eine vergleichsweise einfache Erhebung von Messwerten unter Einbeziehung der Stickstoffdynamik. Unter Berücksichtigung des Sickerwasseraufkommens lassen sich aus den Messwerten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser prognostizieren. Die Methode ist zu diesem Zweck allerdings nicht für alle Standorte gleichermaßen geeignet. Zudem weichen Vorgaben der Länder für den Beprobungszeitpunkt, die Probengewinnung, den Transport sowie die Analyse bislang zum Teil voneinander ab, so dass die Vergleichbarkeit der Messergebnisse nicht immer sichergestellt ist.

In einigen Ländern werden zudem auf repräsentativen Standorten Nitrat-Tiefenprofile eingesetzt. Nitrat-Tiefenprofile eignen sich zur Abbildung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für mehrere zurückliegende Jahre und erlauben die Validierung der aus N_{min}-Untersuchungen prognostizierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser. Weiterhin werden Saugkerzenanlagen sowie Unterflurlysimeter zur genauen Bestimmung des Nährstoffaustrags mit dem Sickerwasser in Versuchen, zum Teil aber auch zu Monitoringzwecken, betrieben. Die Systeme liefern zwar sehr genaue Daten und eignen sich daher gut zur räumlich begrenzten Bewertung der Wirksamkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen, lassen jedoch kaum flächenhafte Betrachtungen zu.

Die Ergebnisse aus den Ländern weisen darauf hin, dass ein effizientes Nitratmonitoring idealerweise sowohl kalkulatorische (N-Bilanzen) als auch stofflich-analytische (N_{min}-Methode und Nitrat-Tiefenprofile) Indikatoren beinhalten sollte. Dabei sind für die Gewinnung repräsentativer Aussagen, die Etablierung eines geeigneten Testbetriebsnetzes und die Formulierung länderübergreifend harmonisierter Regelungen zur Datenerhebung und Messung Voraussetzungen. Die Erhebungen sollten nach Möglichkeit um Modellrechnungen erweitert werden, um ein besseres Prozessverständnis zu erreichen und die Ergebnisse auf größere räumliche Skalen übertragen zu können. Das Demonstrationsvorhaben schafft mit dem kombinierten Ansatz aus einheitlich angewandten kalkulatorischen und analytischen Verfahren perspektivisch die Grundlage für ein Monitoring, welches die aktuelle Situation der Nitratbelastung zuverlässig abbilden kann und dadurch einen wichtigen Beitrag zur Nitratberichterstattung leistet. Dazu ist im Fortlauf des Vorhabens die Anwendung und Überprüfung des Indikatorensets in weiteren Testgebieten mit anderen Betriebsstrukturen und Standortverhältnissen erforderlich.

Summary

In the demonstration project „Indicators for the early detection of nitrate loads in soil under crop production", data on nitrogen balances as well as mineral nitrogen concentrations in soil profiles and percolating waters are collected in five federal states of Germany with a total of 48 farms and 576 test sites. Data collections and analyses are conducted under consideration of strictly harmonised guidelines. The project aims at testing the early indicators to directly show the effects of adjusted agricultural practices on nitrate loads. Furthermore, the indicators are supposed to be transferred into a monitoring system. By this means, a temporal or spatial decoupling between adjustments of agricultural management practices and nitrate concentrations in ground water wells can be overcome. This might help to better achieve the goals of the EU Nitrates Directive. Such a monitoring concept requires a harmonised approach across the federal states to enable the comparability of the results across farms and test regions. The present study is a meaningful step stone of the demonstration project. It provides an overview on current activities in nitrate monitoring of the German federal states as well as Denmark and the Netherlands. Furthermore, relevant insights and results for the development and implementation of an early detection monitoring of nitrate loads by different indicators are highlighted.

Federal state ministries and associated professional authorities for agriculture and environment were interviewed and literature was reviewed. For a comparison of the monitoring activities with neighbouring EU member states, ministries of Denmark and the Netherlands were also involved. A special focus was laid on activities linked to the implementation of the EU Nitrates Directive, the EU Water Framework Directive and the EU Directive on the Quality of Water intended for human consumption as well as the German Water Ressources Act. Considering German monitoring efforts, insights and results are predominantly not available in peer-reviewed academic journals. The origin of information therefore is manifold, consisting of information from public authorities, legal obligations to report, professional articles, project reports, annual reports and internet articles or specialist's presentations.

In all Federal states comprehensive efforts to investigate and assess the relationship between agricultural management and nitrate loads in leachate, drainage water, ground water, and surface water have been made or are in progress. In some Federal states especially the implementation of the EU Water Framework Directive led to an intensification of monitoring efforts, while other Federal States concentrate on monitoring networks already established for the implementation of the EU Nitrates Directive and the Federal Water Act. There are several different approaches utilised by the federal states to reach an early detection of nitrate loads by different indicators. Research projects, e.g. assessing regional pedo-geological and hydrological properties as well as the acquisition of agricultural data relevant for ground water quality, deliver valuable additive data for a target-oriented planning and conduction of measures for ground water protection. The federal states have collected comprehensive experience and knowledge for the applicability and use of different indicators in nitrate monitoring. Monitoring programmes mostly consist of both, calculative and analytical indicators. However, it must also be noted that the monitoring and research approaches often differ markedly between states regarding content alignment, state of work or methodical procedures. For example, some states conduct measurements of mineral nitrogen (N_{min}) on large scales for quantifying residual nitrogen in soil in autumn, while other states concentrate on the assessment of nitrogen balances

based on agricultural surveys and accountancy data. Sometimes these approaches are combined with the use of geo-hydrological model approaches at different spatial and temporal scales.

Nutrient balances allow to estimate nitrogen surpluses at diverse spatial scales, i.e., from the field over the farm towards whole agricultural regions, with comparably little effort. The predictive power of these balances depends markedly on the quality of the collected data and on the degree of data aggregation. However, even considering a field-specific assessment of nitrate loads from nitrogen balances, results of some states show a sufficient relationship to nitrate concentrations in ground water only, if long time data series are available. The comparably low correlation of single-year data is mainly attributable to the year-specific interactions of agricultural practices, weather and soil conditions and the underlying nitrogen dynamics in the soil.

In most states, N_{min}-measurements in autumn are part of monitoring programmes at the field scale and to lesser extend at the regional scale, too. N_{min}-measurements can be conducted with comparatively little effort and the values include year-specific information on nitrogen dynamic. Considering the amount of percolating water, N_{min} values can be used to predict nitrate concentrations in leachate. However, for these predictions, the N_{min}-method is not necessarily reliable under all possible site conditions. Furthermore, timing and method of sampling, as well as the way of transport, storage, and analysis need to be specified to ensure comparability of measured values. These methods and conditions sometimes differ between states.

Depth profiles of nitrate are used for monitoring purposes at representative sites by several states in addition to N_{min}-root-zone measurements.. Nitrate measurements in the leaching zone are suitable for illustrating nitrate loads from recent years and enable the validation of calculated nitrate loads from N_{min}-measurements. Furthermore, suction plates or suction cups as well as lysimeters are used for more exact measurements of nitrate concentrations in leachate in experiments but for monitoring purposes, too. Although, these measurements provide exact data on nitrate leaching at a certain site, a large-scale representative monitoring is practically not feasible due to the high technical efforts.

The results from the federal states and the neighbour states, The Netherlands and Denmark indicate that an efficient nitrate monitoring should be ideally based on both, calculative (N-balances) and analytical indicators (e.g. N_{min}-measurements and nitrate depth profiles) surveyed from representative farm networks and according to standardised methods. Additionally, these data should be used in process-based as well as aereal material-flow models.

With the present demonstration project, a combined and harmonized approach of calculative and analytical procedures is created, which can illustrate the actual status of nitrate pollution reliably and provides helpful information for nitrate reporting. To achieve this objective, the indicator system of the demonstration project should be applied in additional test regions with other agricultural structures and site conditions to proof the adequacy of the monitoring concept.

Inhaltsübersicht

Zusammenfassung **1**

Summary **3**

Abkürzungsverzeichnis **11**

Tabellenverzeichnis **16**

Vorwort **18**

1 Einleitung **19**

2 Methodik **21**

3 Ergebnisse **22**

3.1. Baden-Württemberg 22

3.1.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen 22

3.1.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben 25

3.1.2.1. Modell STOFFBILANZ im Modellverbund „MoNit“ 25

3.1.2.2. Modell STOFFBILANZ im Forschungsprojekt „LOGAR“ 28

3.1.2.3. Modell MONERIS-BW 28

3.1.2.4. Versuche und Projekte zum gewässerschonenden Pflanzenbau 31

3.2. Bayern 33

3.2.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen 33

3.2.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben 34

3.2.2.1. Modellierung diffuser Nährstoffeinträge und Stoffströme in Bayern 34

3.2.2.2. Projekt Hohenthann: Landwirtschaft und Grundwasserschutz in den Gebieten Hohenthann, Pfeffenhausen und Rottenburg a. d. Laaber 34

3.2.2.3. Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser unter Wirtschaftsgrünland 37

3.2.2.4. Ertrags- und Qualitätserhebungen sowie Bodenuntersuchungen auf Dauergrünlandflächen (Praxisschläge) 38

3.2.2.5. 10-Jähriges Stickstoffmonitoring mit N_{min}-Untersuchungen 38

3.3. Brandenburg 41

3.3.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen ... 41

3.3.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben ... 42

3.3.2.1. Nitratprojekt Brandenburg ... 42

3.4. Hessen ... 44

3.4.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen ... 44

3.4.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben ... 45

3.4.2.1. Maßnahmen im Hessischen Ried ... 45

3.4.2.2. Maßnahmeprogramm Hessen 2015-2021 ... 46

3.4.2.3. Projekt: Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser-AGRUM+ ... 46

3.5. Mecklenburg-Vorpommern ... 49

3.5.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen ... 49

3.5.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben ... 51

3.5.2.1. Ermittlung der potentiellen Nitratauswaschungsgefährdung der Böden ... 51

3.5.2.2. Berechnung regionalisierter Flächenbilanzen ... 51

3.5.2.3. Modellierung des Wasser- und Nährstoffhaushalts ... 52

3.5.2.4. Ermittlung der Verweilzeiten des Sicker- und Grundwassers ... 53

3.5.2.5. Sondermessprogramm Dränabläufe ... 54

3.5.2.6. Ermittlung des Stickstoffumsatzes im Grundwasserleiter ... 55

3.5.2.7. Lysimeteruntersuchungen zur Sickerwasserqualität ... 55

3.6. Niedersachsen ... 58

3.6.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen ... 58

3.6.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben ... 60

3.6.2.1. Nährstoffbericht Wirtschaftsdünger ... 60

3.6.2.2. Basis-Emissionsmonitoring ... 60

3.6.2.3. Erfolgskontrolle bei Grundwasserschutzmaßnahmen ... 61

3.6.2.4. Erfahrungen zur Anwendung der Herbst-N_{min}-Methode beim Maßnahmenmonitoring ... 64

3.6.2.5. Erfahrungen zur Anwendung der Herbst-N_{min}-Methode beim Gebietsmonitoring ... 65

3.6.2.6. Prognose von Nitratkonzentrationen und Nitratfrachten ... 66

3.6.2.7. Validierung prognostizierter Nitratkonzentrationen und Nitratfrachten ... 66

3.6.2.8. Weitere Verfahren zur Messung oder Prognose von Nitratkonzentrationen im Sickerwasser ... 67

3.6.2.9. Bestimmung der Denitrifikation im Grundwasser ... 69

3.6.2.10. Modell- und Pilotvorhaben Belm-Nettetal ... 69

3.6.2.11. Sickerwasseruntersuchungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen ... 70

3.6.2.12. AGRUM-Modellverbund ... 71

3.7. Nordrhein-Westfalen ... 75

3.7.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen ... 75

3.7.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben ... 77

3.7.2.1. Modellbetriebe ... 77

3.7.2.2. WRRL-Referenzflächen und Referenzflächen-Viewer ... 78

3.7.2.3. N_{min}-Monitoring im Rahmen der WRRL-Beratung ... 78

3.7.2.4. N_{min}-Monitoring Zwischenfrüchte ... 79

3.7.2.5. Saugplattenprojekt NRW ... 79

3.7.2.6. Nährstoffbericht NRW ... 80

3.7.2.7. Kooperationsprojekt GROWA + NRW 2021 ... 81

3.8. Rheinland-Pfalz ... 83

3.8.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen ... 83

3.9. Sachsen ... 86

3.9.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen ... 86

3.9.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben ... 87

3.9.2.1. Modell STOFFBILANZ 87

3.9.2.2. Projekt „Analyse der N-Managements von Praxisbetrieben in Sachsen“ 89

3.9.2.3. Projekt „Dynamische Bilanzierung von Humusgehalt und Nährstoffaustrag im regionalen Maßstab im Kontext von Landnutzungs- und Klimawandel“ 89

3.9.2.4. Forschungsvorhaben zur Bewertung von Szenarien zur Reduzierung von Nitrateinträgen mittels gekoppelten Nitrattransportmodellen (REPRO, ArcEGMO-PSCN, Modflow und MT3D-FL) 90

3.9.2.5. Stickstoffmonitoring sächsischer Böden 91

3.9.2.6. Wasser- und Stoffmanagement in intensiv genutzten Einzugsgebieten 94

3.9.2.7. Modellgestützte Abschätzung und Szenarienberechnung zur Wirkung stoffeintragsmindernder Fördervorhaben der Richtlinie „Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen“(RL AUK/2015) auf die Nitratbelastung des Sicker- und Grundwassers in drei Einzugsgebieten mit dem gekoppelten Wasserhaushalts- und Stofftransportmodell ReArMo 95

3.10. Sachsen-Anhalt 97

3.10.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen 97

3.10.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben 98

3.10.2.1. Verknüpfung des Modells STOFFBILANZ mit dem Modellpaket GROWA-WEKU-MePhos 98

3.10.2.2. Anwendung der Modellkombination STOFFBILANZ/GROWA-WEKU/DENUZ-MePhos 99

3.10.2.3. Kooperation Lysimeter 100

3.10.2.4. Modellvorhaben Querfurter Platte 101

3.10.2.5. Saugplattenanlagen 102

3.10.2.6. Auswertung betrieblicher Stickstoffbilanzen 102

3.10.2.7. N_{min}-Messungen bei der Boden-Dauerbeobachtung 103

3.11. Schleswig-Holstein 106

3.11.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen 106

3.11.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben 108

3.11.2.1. Wirtschaftsdüngerbericht für Schleswig-Holstein 108

3.11.2.2. Nährstoffbericht für Schleswig-Holstein 108

3.11.2.3. Saugkerzenanlagen in der Boden-Dauerbeobachtung 109

3.11.2.4. Erfolgskontrolle mit Herbst-N_{min}-Methode und Nitrattiefbohrungen 110

3.11.2.5. Ergänzende Erhebungen im Umfeld von Grundwassermessstellen 110

3.11.2.6. Ermittlung der Denitrifikation im Grundwasser 111

3.11.2.7. Denitrifikationspotential im Grundwasserleiter 111

3.11.2.8. Anwendung des Modellpakets RAUMIS-GROWA-DENUZ-WEKU 111

3.12. Thüringen 114

3.12.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen 114

3.12.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben 115

3.12.2.1. Projekt: Weiterentwicklung eines Instrumentes für ein landesweites Nährstoffmanagement in Thüringen – Quantifizierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer mit regionaler und eintragsbezogener Differenzierung 115

3.12.2.2. Untersuchung von N_{min}-Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{min}-Monitorings auf Dauertestflächen 115

3.12.2.3. Lysimeteranlage Buttelstedt – Kooperation Lysimeter 116

3.12.2.4. Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung in Thüringen 116

4 Messprogramme und Forschungsvorhaben in Dänemark und den Niederlanden 118

4.1. Dänemark 118

4.1.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts 118

4.1.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben 119

4.1.2.1. Agricultural Catchment Monitoring Programme (LOOP) 119

4.1.2.2. Monitoring in der Wurzelzone (LOOP) 121

4.1.2.3. Grundwassermonitoring in agrarischen Wassereinzugsgebieten (LOOP) 123

4.1.2.4. Fließgewässermonitoring in agrarischen Wassereinzugsgebieten (LOOP) .. 123

4.2. Niederlande 126

4.2.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts 126

4.2.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben 126

4.2.2.1. Reguläres Monitoring der landwirtschaftlichen Praxis und Wasserqualität 127

4.2.2.2. Minerals Policy Monitoring Programme (LMM) 128

4.2.3. Forschungsprogramme 131

5 Bewertung und Diskussion 134

5.1. Nitrat-Messprogramme der Bundesländer und EU-Staaten 134

5.2. Synthese und Diskussion der Ergebnisse zur Eignung ausgewählter Indikatoren 135

5.3. Implementierung eines harmonisierten Monitoring-Konzepts in den Bundesländern 138

6 Schlussfolgerungen 142

Literaturübersicht 143

Abkürzungsverzeichnis

AbfKlärV	Abfall-Klärschlammverordnung
ADD	Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion, Trier
AELF	Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landshut
AF	Ackerfläche
AGRUM	Modellvorhaben "Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes
APAE I-III	Action Plans for the Aquatic Environment
ArcEGMo-PSCN	Simulation der Wasser-, Wärme-, Kohlenstoff-, Stickstoff-Dynamik im System
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AUM	Agrarumweltmaßnahme
BDF	Bodendauerbeobachtungsflächen
BEFU	Düngungsempfehlungs- und Bilanzierungssystem nach DüV
BESyD	Bilanzierungs- und Empfehlungssystem Düngung
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Sachsen
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Boden-Pflanze
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BTF	Betriebliche Testflächen
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
CANDY	Simulationssystem: Carbon and Nitrogen Dynamics
CBS	Statistisches Büro Niederlande
CFC	Chlorierte Fluor-Kohlenwasserstoffe
DAISY	deterministisches Boden-Wasser-Pflanzen-Modell
DENUZ	reaktives Stickstoffmodell
DIN 19732	Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbierbaren Stoffen
DLR	Dienstleistungszentren Ländlicher Raum
DOC	gelöster organischer Kohlenstoff
DREAL	Direction Régionale de L'Environment, de L'Aménagement et du Logement, Alsace
DTF	Dauertestflächen
DüMV	Düngemittelverordnung
DünG	Düngegesetz

DüProNP	Düngebedarfsermittlungs-Programm für Stickstoff und Phosphor
DüV	Düngeverordnung
DVK	Düngemittelverkehrskontrolle
ecoTech	Umwelt-Meßsysteme GmbH
ELER	Europäischen Landwirtschaftsfonds zur Entwicklung des ländlichen Raumes
EPA	Danish Environmental Protection Agency
EULLa	Förderprogramm Entwicklung von Umwelt, Landwirtschaft und Landschaft
FADN	Farm Accountancy Data Network
FAKT	Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl
GALF	Gesellschaft für angewandte Landschaftsforschung
GEUS	Geological Survey of Denmark and Greenland
GLD	Gewässerkundlicher Landesdienst
GROWA	großräumiges Wasserhaushaltsmodell
GÜN	Gewässerüberwachungsprogramms Niedersachsen
GWK	Grundwasserkörper
GWNBW	Bodenwasserhaushaltsmodell: Grundwasserneubildung
HALM	Hessisches Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflegemaßnahmen
HIAP	Hessisches integriertes Agrarumweltprogramm
HI-Tier	Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere
HLNUG	Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
HMUKLV	Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
HYDOR	Hydrogeologische Planung und Beratung
IGW	Institut für Wasser und Gewässerentwicklung
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
InVeKoS	System von Verordnungen zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedstaaten
JUPITER	nationale dänische Datenbank
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
KULAP	Kulturlandschaftsprogramm
LAGB	Landesamt für Bergwesen
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz
LARSIM	Large Area Runoff Simulation Model
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser

LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LBP	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
LEI	Agricultural Economics Research Institute
LELF	Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung
LF	Landwirtschaftliche Fläche
LFA	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei
LFAMV	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern
LFB	Landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfU	Landesamt für Umwelt
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LGL	Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung, Baden-Württemberg
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft
LIKI	Länderinitiative Kernindikatoren
LLG	Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Sachsen-Anhalt
LLH	Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
LLUR	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume
LMM	Minerals Policy Monitoring Programme
LMS	LMS Agrarberatung GmbH
LOGAR	Länderübergreifende Organisation für Grundwasserschutz am Rhein
LOOP	Programm zur Überwachung der Gewässerqualität in landwirtschaftlich geprägten Wassereinzugsgebieten
LTV	Landestalsperrenverwaltung
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum, Augustenberg
LU	Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Baden-Württemberg
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
LUNG	Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie
LUU	land use units
MEKA	Agrarumweltprogramm für Marktentlastung- und Kulturlandschaftsausgleich
MELUND	Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung
ME-Phos	pfad- und flächendifferenziertes Phosphormodell
MEPL III	Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum, Baden-Württemberg

MIKE-SHE	integriertes hydrologisches Modellierungssystem zum Aufbau und zur Simulation von Oberflächenwasserströmung und Grundwasserströmung
MLR	Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Baden-Württemberg
MLUL	Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg
MLUV-MV	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern
MODFLOW	Hydrologisches Modell: Grundwasserströmung
MONERIS-BW	MOdelling Nutrient Emissions in River Systems, Baden-Württemberg
MoNit	Forschungsprojekt Modellierung der Grundwasserbelastung mit Nitrat im Oberrheingraben
MoRE	Modelling of Regionalized Emissions
MT3D-FL	Nitrattransportmodell im Grundwasser
MU	Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz
MULE	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie
MULNV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
MWVLM	Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau, Rheinland-Pfalz
NID	Nitratinformationsdienst, Baden-Württemberg
NLES	Nitrogen Leaching EStimator, empirical model for calculation of annual values of root zone nitrogen leaching
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NOVANA	National Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environments
NWG	Niedersächsisches Wassergesetz
PBL	Niederländische Umweltamt
PFEIL	Programm zur Förderung der Entwicklung im ländlichen Raum in Niedersachsen und Bremen
QFN	Qualifizierter Flächennachweis
RAUMIS	Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem
RBMPs	River Basin Managment Plans
ReArMo	Modellverbund: Stofftransportmodellierung im Sicker- und Grundwasser
REPRO	Umwelt-und Betriebsmanagementsystem zur Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Betriebsdaten
RIVM	Nationale Institut für Gesundheit und Umwelt des Ministeriums für Volksgesundheit, Gemeinwohl und Sport

SBfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Sachsen
SchALVO	Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung für Wasserschutzgebiete
SchAVO	Schutz- und Ausgleichsverordnung
SIMIK+	Regionalisierungswerkzeug: Simple Updating and Indicator Kriging based on Additional Information
SLFL	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
SMUL	Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
STICS	Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standards, Prozessorientiertes Nitrataustragsmodell
StMELF	Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
StMUV	Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz
STOFFBILANZ	Konzeptionelles N-Bilanzierungsmodell
StoffBilV	Stoffstrombilanzverordnung
STREAM	Hydrologisches Modell: Oberflächengewässer
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
TLUG	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
TLVwA	Thüringer Landesverwaltungsamt
TMIL	Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft
TMLFUN	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz
TMLNU	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Natur und Umwelt
TMUEN	Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz
TUM	Technische Universität, München
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
ULB	Untere Landesbehörde
VNP	Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm
WDüngMeldPflV	Wirtschaftsdüngermeldeverordnung
WDüngNachwV	Wirtschaftsdüngernachweisverordnung
WDüngV	Wirtschaftsdüngerverbringungsverordnung
WEKU	reaktives Stickstoffmodell
WHG	Wasserhaushaltsgesetzes des Bundes
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Baden-Württemberg 31

Tab. 2: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Bayern 39

Tab. 3: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Brandenburg 42

Tab. 4: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Hessen 47

Tab. 5: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Mecklenburg-Vorpommern 56

Tab. 6: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Niedersachsen 72

Tab. 7: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Nordrhein-Westfalen 81

Tab. 8: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Rheinland-Pfalz 85

Tab. 9: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Sachsen 89

Tab. 10: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Sachsen-Anhalt 103

Tab. 11: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Schleswig-Holstein 112

Tab. 12: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Thüringen 116

Tab. 13: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Dänemark 124

Tab. 14: Zusammenfassung ausgewählter Maßnahmen und Forschungsprogramme zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in den Niederlanden..... 133

Tab. 15: Anwendung von Frühindikatoren in regelmäßigen Nitrat-Monitoringprogrammen, Relevanz dieser Aktivitäten für das Demonstrationsvorhaben sowie allgemeiner Einsatz verschiedener Stickstoff-Indikatoren in den Bundesländern..... 139

Vorwort

Aufgrund teilweise hoher Nitratkonzentrationen in Grundwasserkörpern sowie des von der EU-Kommission eingeleiteten Vertragsverletzungsverfahrens gegen Deutschland hat die Bundesregierung die geltenden Bestimmungen zur Anwendung von Düngemitteln erheblich verschärft. Allerdings werden in vielen Gebieten die Effekte dieser Maßnahmen aufgrund der teils langen Fließzeiten des Sickerwassers nicht innerhalb der nächsten Jahre sichtbar. Daher startete 2016 das bundesweite Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“ mit dem Ziel

(1) die Eignung von Frühindikatoren zur unmittelbaren Abbildung der Auswirkungen eines geänderten Düngemanagements auf die Nitratfrachten zu testen und

(2) entsprechende Indikatoren in ein bundesweit harmonisiertes Monitoring-Konzept zu überführen.

Diese Studie ist ein wichtiger Baustein für den Erfolg des Demonstrationsvorhabens, denn sie hat das Ziel einen aktuellen Überblick über relevante Mess- und Forschungsprogramme der Bundesländer und einiger EU-Nachbarstaaten zur Quantifizierung von Nitratfrachten aus der Landwirtschaft zu geben, die dabei gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen zusammenzuführen und diese für die Entwicklung des Monitoring-Konzepts nutzbar zu machen.

Da seitens der Bundesländer sehr umfangreiche Aktivitäten zur Quantifizierung von Nitratfrachten und zur Bewertung der Wirksamkeit von Wasserschutzmaßnahmen vor dem Hintergrund unterschiedlicher ordnungsrechtlicher sowie förderpolitischer Maßnahmen durchgeführt werden, wurden im Rahmen dieser Studie ausschließlich solche Untersuchungen berücksichtigt, bei denen sich aufgrund der verwendeten Indikatoren und mit Blick auf deren Bewertung Hinweise mit Bezug zum Demonstrationsvorhaben ableiten lassen. Daher sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Auflistung der Aktivitäten in den Bundesländern sowie den angrenzenden EU-Staaten keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat und somit auch keine vergleichende Bewertung der Länderaktivitäten zulässt.

Wir bedanken uns bei allen Vertreterinnen und Vertretern der kontaktierten Ministerien und Fachbehörden der Bundesländer und EU-Staaten für die umfangreiche Bereitstellung von Informationen und die geleistete Unterstützung bei der Anfertigung dieser Studie.

1. Einleitung

Nach Artikel 5 der Richtlinie 91/676/EWG dient der Nitratgehalt im Grundwasser als Maß für die Bewertung der Wirksamkeit der Aktionsprogramme der EU-Mitgliedsstaaten. Die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen wird sowohl anhand der Höhe (Grenzwert) als auch des zeitlichen Verlaufs der Nitratgehalte (Trend) beurteilt. Mit diesem Vorgehen wird ein direkter Bezug zwischen dem N-Eintrag in den Boden durch landwirtschaftliche Nutzung und den Nitratwerten im Grundwasser postuliert. Dieser Zusammenhang ist unbestritten, jedoch in seiner zeitlichen Wirksamkeit und Abbildung stark variabel. Die Nitratrichtlinie selbst weist daher darauf hin, dass es Jahre dauern kann, bis Schutzmaßnahmen zu einer Verbesserung der Wasserqualität führen.

Ziel des Demonstrationsvorhabens „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“ ist es, einen neuen Ansatz in Form eines Frühindikatorsystems zu entwickeln, welcher zeitnah den Einfluss von Änderungen in der landwirtschaftlichen Praxis (= bewirtschaftungsbedingte Effekte) auf die Nitratfrachten im Ackerbau abbildet. In Deutschland gibt es langjährige und umfangreiche Erfahrungen zur Etablierung gewässerschonender Wirtschaftsweisen in der Landwirtschaft. Trinkwasserschutzkooperationen sind in vielen Bundesländern etabliert und können durch Umsetzung verbindlicher Fachkonzepte messbare Erfolge nachweisen. Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftungsmaßnahmen und Stoffeinträgen in Gewässer und zuverlässige Methoden zu deren Analyse und Beobachtung sind weitgehend bekannt. Diese Studie trägt die Ergebnisse, Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Entwicklung und Anwendung unterschiedlicher Nitrat-Monitoringverfahren aus verschiedenen Regionen Deutschlands sowie angrenzender EU-Nachbarstaaten zusammen.

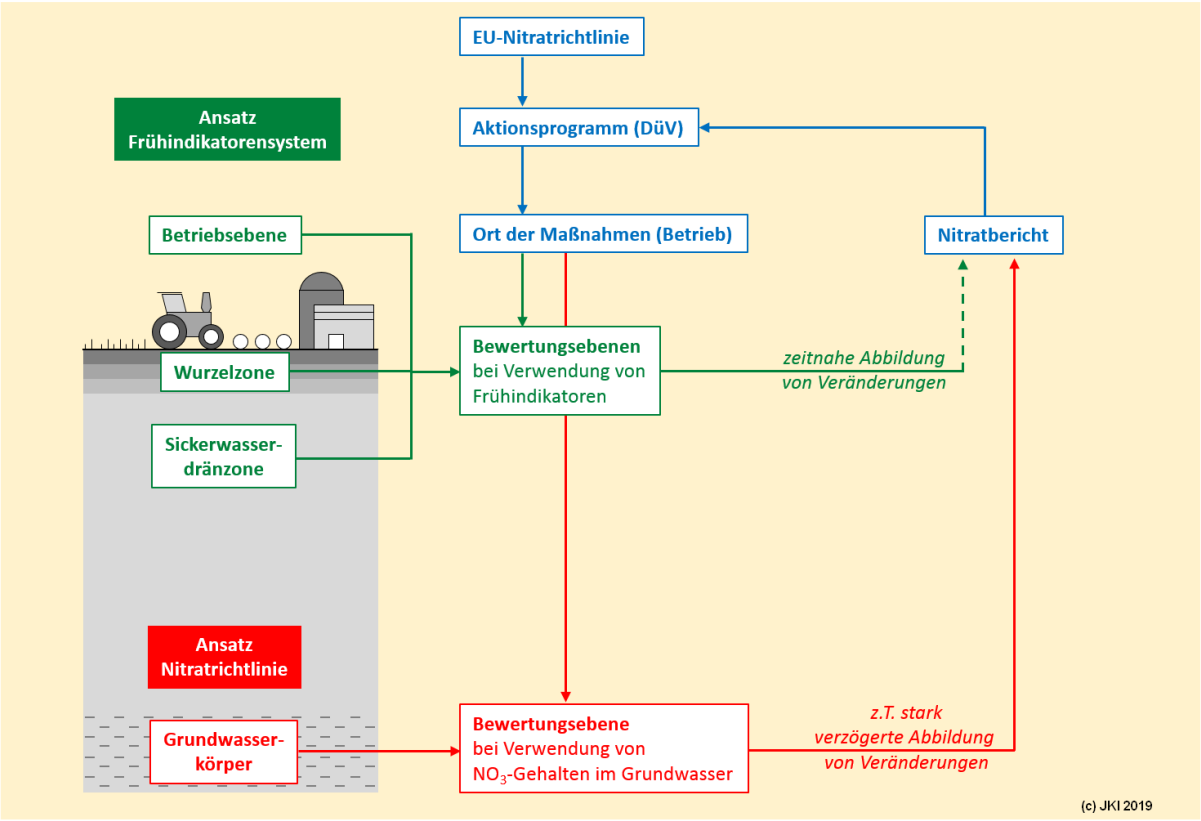

Abbildung 1: *Verkürzung der Zeit bis zum Erkennen der Wirksamkeit von Maßnahmen durch Einsatz des Frühindikatorsystems. Durch die Verwendung von Frühindikatoren wird die Wirksamkeit von*

Maßnahmen direkt am Ort der Wirkung (= Quelle des ins Grundwasser verlagerten Nitrats) erfasst und so der lange zeitliche Wirkungsrahmen der Abbildung von Änderungen der Nitratkonzentration im Grundwasser umgangen.

Das zu entwickelnde Indikatorensystem muss (1) eine Ist-Zustands-Erhebung und Quantifizierung durch landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmaßnahmen verursachter Nitratfrachten sowie (2) eine Differenzierung zwischen standort- und bewirtschaftungsbedingten Nitratfrachten ermöglichen und (3) Änderungen frühzeitig sichtbar machen.

Das Frühindikatorsystem des Demonstrationsvorhabens umfasst a) die Ermittlung von potentiellen Nitratfrachten auf Basis von N_{min}-Messwerten (stofflich-analytische Frühindikatoren) und b) eine Abschätzung von potentiellen Stickstoffüberschüssen auf Basis von Stickstoffbilanzen (rechnerisch-kalkulatorische Frühindikatoren) sowie c) die Verknüpfung beider Methoden, um jahresgenaue Aussagen zu Mengen und Konzentrationen (kg/ha und mg/l) sowie die Darstellung von Trends und Entwicklungen auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen möglich zu machen. Grundsätzlich greift das Monitoring einzelbetrieblich, da hier auch in der Regel die Maßnahmen zur Minderung von Nitrateinträgen in die Gewässer ansetzen. Ausgehend von den einzelbetrieblichen Auswertungen sollen im Sinne eines Upscaling-Konzeptes Modell-Algorithmen entwickelt werden, die eine Systematisierung von bestimmten Faktorkombinationen bzw. deren Wirkung auf die Nitratbelastung im Sicker- und Dränwasser ermöglichen. Auf diese Weise können die Ergebnisse auch auf größeren räumlichen Skalen angewandt und für Szenarienrechnungen genutzt werden.

Seit 2017 werden im Messprogramm Ernte-, Herbst-, Frühjahrs-N_{min} sowie N_{min}-Tiefbohrungen (teilweise auch Drainagemessungen) auf 576 Testflächen von 48 Demonstrationsbetrieben durchgeführt. Zudem werden Schlagbilanzen und Hoftor-Bilanzen berechnet und weiterführende Bewirtschaftungsdatenerhoben. Die Demonstrationsbetriebe verteilen sich auf fünf Testgebiete in Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein.

Durch die Bereitstellung sogenannter Pflichtenhefte, die für alle Projektbeteiligten eine einheitliche methodische Vorgehensweise bei den Arbeitsschritten verbindlich vorschreibt, soll die Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet werden. Diese Vorgehensweise wird in Deutschland erstmalig länderübergreifend angewandt, wodurch Skalen- und Methodensprünge weitestgehend vermieden werden.

Bei den betrachteten Indikatoren handelt es sich in erster Linie um Wirkungsindikatoren, die sowohl kurzfristige als auch nachhaltige Veränderungen im System anzeigen sollen. Diese Wirkungsindikatoren lassen sich somit weiterführend prinzipiell auch als Zielindikatoren zur Formulierung langfristig zu unterschreitender Grenzwerte sowie zur Bewertung der Effektivität der zur Zielerreichung eingeleiteten politischen Maßnahmen einsetzen. In diesem Zusammenhang ist klar absehbar, dass unterschiedliche regionalspezifische Voraussetzungen zu individuellen Zielwertbetrachtungen verpflichten.

Die Zusammenfassung mehrerer mitunter auch aggregierter Indikatoren zu einem übergreifenden Indikator ist gegenüber Veränderungen wenig sensitiv. So kann ein Gesamtindikator zwar sehr wahrscheinlich die zeitliche Tendenz von Nitratbelastungen abbilden, jedoch nicht zur Quantifizierung der Verlagerung in unterschiedlichen Umweltmedien und zur Identifizierung besonders risikobehafteter Faktorkombinationen beitragen. Nur ein ineinandergreifendes System verschiedener und unabhängig voneinander ermittelter Indikatoren ist in diesem Sinne zielführend.

Im Rahmen dieser Studie sollen daher zur Weiterentwicklung des Indikatorensystems aktuelle Ergebnisse und Erkenntnisse der Bundesländer sowie benachbarter EU-Staaten (DK/NL) bezüglich der Eignung verschiedener Monitoringverfahren zur Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion von Nitratbelastungen in Grund- und Oberflächengewässern zusammengetragen werden. Neben der Weiterentwicklung des Frühindikatorensystems wird auch dessen Implementierung in die Monitoringverfahren der Länder thematisiert.

2. Methodik

Die Studie „Messprogramme der Bundesländer und angrenzender EU-Staaten (DK/NL) zum Abgleich des Frühindikatorensystems“, ist ein wichtiger Baustein des Demonstrationsvorhabens „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“. Sie hat das Ziel einen Überblick über das Vorgehen der Länder beim Nitrat-Monitoring zu geben und relevante Erkenntnisse und Erfahrungen für das zu erarbeitende Frühindikatorensystem hervorzuheben.

Dazu wurden mit den Länderministerien und den Fachbehörden für Landwirtschaft und Umwelt Gespräche geführt und Informationsrecherchen betrieben. Des Weiteren wurde vergleichend das Vorgehen in Dänemark und den Niederlanden untersucht. Besonders berücksichtigt wurden Monitoring-Aktivitäten im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie, der EG-Wasserrahmenrichtlinie, dem Wasserhaushaltsgesetz und der EG-Trinkwasserrichtlinie. Das Vorgehen und die Erfahrungen der Länder beim Nitrat-Monitoring sind - bis auf wenige Ausnahmen - nicht in wissenschaftlich referierten Fachzeitschriften veröffentlicht. Die Herkunft der beschafften Informationen ist aus diesem Grunde sehr vielfältig und setzt sich zusammen aus Behördenmitteilungen, gesetzlichen Berichtspflichten der Länder, Fachartikeln, Abschlussberichten, Jahresberichten, Internetauftritten sowie Fachvorträgen.

Es wurden nur solche Aktivitäten in dieser Studie berücksichtigt, welche im Hinblick auf die im Demonstrationsvorhaben verwendeten Frühindikatoren und deren Bewertung relevant erschienen.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Aktualität wurden überdies in der Regel ausschließlich jene Monitoring- und Forschungsprojekte berücksichtigt, deren Durchführung nicht länger als fünf Jahre zurückliegt.

3. Ergebnisse

3.1. Baden-Württemberg

3.1.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Im Auftrag des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR) erfüllt das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) in Zusammenarbeit mit Regierungspräsidien, Unteren Landwirtschaftsbehörden (ULB) und weiteren landwirtschaftlichen Landesanstalten Aufgaben bei der Umsetzung von Düngemittelverordnung (DüMV), Düngeverordnung (DüV), Wirtschaftsdüngerverbringungsverordnung (WDüngV), Klärschlamm- (AbfKlärV) und Bioabfallverordnung (BioAbfV). Die Düngemittelverkehrskontrolle (DVK) in Baden-Württemberg obliegt dem Regierungspräsidium Stuttgart. Die Landesanstalten sind zudem für die Erarbeitung von fachlichen und Grundlagen zur Entscheidungshilfe für das MLR sowie zur Schaffung von Informationen für die Unteren Landwirtschaftsbehörden im Rahmen von Düngegesetzgebung und Wasserschutzberatung zuständig (MLR 2018).

Dem MLR ist die landwirtschaftliche Offizialberatung zugeordnet. Die Beratung wird durch die Unteren Landwirtschaftsbehörden (ULB), welche den einzelnen Regierungspräsidien zugehörig sind, durchgeführt. Die Beratungsleistungen, welche auch einzelbetrieblich erfolgt, ist für die landwirtschaftlichen Betriebe kostenlos (MLR 2018). Seit 1989 sind zudem etwa 50 Beratungsdienste in den Landratsämtern bei den Unteren Landwirtschaftsbehörden eingerichtet worden. Die Beratungsdienste werden mit bis zu 50 % aus öffentlichen Geldern finanziert (IWW 2012, MLR 2018).

Seit 1991 ermittelt der sogenannte Nitratinformationsdienst (NID) Baden-Württembergs den optimalen Stickstoffdüngebedarf der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen anhand von N_{min}-Untersuchungen (Finck et al. 2008, MLR 2018). Der NID ist eine kostenlose Serviceleistung des Landes. Die Untersuchungen werden jährlich auf 28.000-60.000 landwirtschaftlich genutzten Flächen durchgeführt. Dabei werden auch Proben von Standorten außerhalb von Problem- und Sanierungsgebieten untersucht. Der NID liefert schlagspezifische Düngeempfehlungen in Abhängigkeit von Kultur- und Standortparametern (LTZ 2018). Die Bodenproben werden durch die Landwirte an zugelassene Labore geliefert zusammen mit Daten zur Bewirtschaftung, woraus nach Analyse der N_{min}-Gehalte eine Düngeempfehlung für die Landwirte ermittelt wird. Zudem werden die Daten in einer zentralen Datenbank des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums (LTZ) gespeichert und statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse werden in landwirtschaftlichen Wochenblättern als Düngeempfehlungen für andere Landwirte und als Grundlage für die Beratung durch die Unteren Landwirtschaftsbehörden genutzt. Landwirte, die nicht am Nitratinformationsdienst teilnehmen können den Düngebedarf zudem im Internet-Portal „Düngung-BW“ mit Hilfe eines Programmes ermitteln (Finck et al. 2008, LTZ 2018, MLR 2018).

Mit der Umsetzung der Ziele der WRRL in Baden-Württemberg hat das Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR) das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) beauftragt (Finck et al. 2008, LTZ 2018, MLR 2018). Das Landesüberwachungsnetz zur Überwachung der Fließgewässer, Seen sowie des Grundwassers wird durch die Landesanstalt für Umwelt,

Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) betreut (LUBW 2007). Mit Blick auf die Nitratbelastung der Grundwasserkörper wurden 2004 in Baden-Württemberg im Rahmen der Bestandsaufnahme zur WRRL 23 gefährdete Grundwasserkörper identifiziert (Finck et al. 2008, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2012). Die zur Umsetzung der Ziele der WRRL erforderlichen Maßnahmen werden vom LTZ Augustenberg gemeinsam mit den Regierungspräsidien, Unteren Landwirtschaftsbehörden sowie weiteren Landesanstalten konzipiert. Seit mehr als 20 Jahren laufen in den Wasserschutzgebieten des Landes Baden-Württemberg ergänzende Grundwasserschutzmaßnahmen, wie die SchALVO (Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung für Wasserschutzgebiete) oder das MEKA-Agrarumweltprogramm (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich), welche über die durch die DüV formulierten Mindestanforderungen an die landwirtschaftliche Bewirtschaftung hinausgehen. Diese Programme und deren etablierte Infrastrukturen (z.B. gewässerschonende Maßnahmen und Beratung) sollen ebenfalls einen wesentlichen Beitrag bei der Umsetzung der Ziele der WRRL leisten und wurden entsprechend auf die nach WRRL gefährdeten Grundwasserkörper ausgeweitet. In Gebieten in denen diese bereits vorhandenen Strukturen voraussichtlich nicht zur Erreichung der WRRL-Ziele führen, werden zusätzliche Maßnahmen zur Verringerung von Nitrateinträgen etabliert und durch die Beratung von Unteren Landwirtschaftsbehörden begleitet (Finck et al. 2008, Fohrmann und Liesenfeld 2012, MLR 2018).

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Die Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung (SchALVO) des Umweltministeriums Baden-Württembergs gilt seit 01.01.1988 in den ausgewiesenen Wasserschutzgebieten und soll vor allem zum Schutz von Grund- und Quellwasser sowie von Oberflächengewässern vor Einträgen von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln dienen (LTZ 2017). Die Verordnung wurde seither mehrfach novelliert. Die SchALVO sieht Einschränkungen bei der ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung vor, für welche die Landwirte auf Antrag für den entstehenden Mehraufwand sowie Ertragsverluste Ausgleichszahlungen bei Einhaltung bestimmter Herbst-N_{min}-Grenzwerte im Boden erhalten können. Durch die Wasserschutzberater an den Landratsämtern wird die Umsetzung der Bewirtschaftungsvorgaben kontrolliert. Bei 5 % der Antragssteller in Problem- und Sanierungsgebieten werden Betriebskontrollen durchgeführt, während 25 % der Flächen in den Wasserschutzgebieten kontrolliert werden. Als weiteres wesentliches Kontrollinstrument dient die jährliche SchALVO-Herbstkontrollaktion bei welcher landesweit die Einhaltung der jahres- und regionalspezifisch tolerierbaren Bodennitratgehalte überprüft wird (LTZ 2018).

Zur Bewertung der Wirksamkeit der in der SchALVO verankerten Maßnahmen werden u.a. Versuche zur Stickstoffdüngung, Begrünung und Bodenbearbeitung durch das LTZ durchgeführt. Zudem werden im Rahmen eines durch die LTZ koordinierten Vergleichsflächenprogramms die Auswirkungen der Bewirtschaftungsauflagen auf die Nitratverlagerung in Abhängigkeit von Witterungseinflüssen und die möglichen Einbußen hinsichtlich der Ertragsquantität und -qualität landesweit auf Praxisschlägen untersucht. Dabei wird auch überprüft, ob bei Einhaltung der SchALVO-Vorgaben die Unterschreitung bestimmter Herbst-N_{min}-Gehalte im Boden möglich ist (Finck 2008, LTZ 2014).

Die Wasserschutzgebiete werden seit der Novellierung der SchALVO im Jahre 2001 jährlich anhand der Nitratbelastung des geförderten Rohwassers in drei Klassen mit jeweils abgestuften

Schutzbestimmungen eingeteilt (LTZ 2017). In den sogenannten „Normalgebieten“ (weniger als 25 mg Nitrat/Liter) gelten neben der Vorgabe einer ordnungsgemäßen Landbewirtschaftung z.T. verschärfte Auflagen mit Blick auf die Wirtschaftsdüngerausbringung, während in den „Problem“- (über 35 mg Nitrat/Liter bzw. bereits ab 25 mg Nitrat/Liter bei steigendem Trend) und „Sanierungsgebieten“ (über 50 mg Nitrat/Liter bzw. bereits 40 mg Nitrat/Liter bei steigendem Trend) weiterführende Auflagen beispielsweise bei der Düngung, Bodenbearbeitung oder der Begrünung gelten (Finck und Mann 2018). In 2016 betrug die Landwirtschaftliche Fläche (LF) in Normalgebieten 289.000 ha, in Problemgebieten 98.000 ha und in den Sanierungsgebieten 13.000 ha. Auch hinsichtlich der Ausgleichszahlungen und der Kontrollintensität bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Klassen. In Normalgebieten ist ein finanzieller Ausgleich nur bei Ertragseinbußen, welche auf verringerten Einsatz von Wirtschaftsdüngern zurückgeführt werden möglich. Die Untersuchung der Bodennitratgehalte im Herbst erfolgt hier nur stichprobenartig zu Monitoringzwecken. In den Problem- und Sanierungsgebieten sind höhere Ausgleichszahlungen möglich und eine wesentlich umfangreichere Bodenbeprobung im Herbst z.T. mit Dauerstandorten, wird zur Erfolgskontrolle genutzt (LTZ 2017).

Die jährliche SchALVO-Herbstkontrollaktion findet im Zeitraum vom 15. Oktober bis zum 15. November statt. Zur Umsetzung einer landesweit einheitlichen N_{min}-Beprobung wird durch das LTZ Augustenberg in Zusammenarbeit mit den Regierungspräsidien eine harmonisierte Vorgehensweise bei der Standortauswahl sowie der Durchführung der Probenahme in der „Anleitung zur Standortfestlegung und Bodenprobenahme“ (LTZ 2016) festgeschrieben. Die zuständigen Labore werden regelmäßig in Ringversuchen und anhand von Rückstellproben überprüft. Die Probenahme erfolgt durch private Anbieter unter Beaufsichtigung staatlicher Vermessungstechniker, um die Justitiabilität der Ergebnisse abzusichern. Die Probenehmer, Vermessungstechniker und Wasserschutzgebietsberater der Unteren Landwirtschaftsbehörde wurden durch das LTZ in der „Probenahme nach SchALVO“ geschult. Neben der Beprobung der Dauerstandorte in Problem- und Sanierungsgebieten erfolgt die Festlegung der zu untersuchenden Flächen durch die Wasserschutzberater der Unteren Landwirtschaftsbehörde unter Verwendung von Flurkarten oder bei Begehungen in Zusammenarbeit mit den amtlichen Vermessungstechnikern. Die Daten aus der Kontrollaktion werden am LTZ in einer Organisationseinheit Informationstechnik und Datenmanagement aufbereitet, ausgewertet und durch das Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) in die Datenbank SchALVO-Manager überführt. Die Daten werden u.a. im jährlichen SchALVO-Nitratbericht veröffentlicht (Fink 2008, LTZ 2017).

Zur Festlegung der N_{min}-Überwachungs- und -Toleranzwerte durch das Umweltministerium Baden-Württembergs sowie das MLR wurden die landwirtschaftlich genutzten Böden in den Wasserschutzgebieten in auswaschungsgefährdete sogenannte „A-Böden“ und weniger auswaschungsgefährdete „B-Böden“ sowie Moor- und Anmoorböden anhand der Bodentiefe, der Bodenart, der Entstehungsart und Zustandsstufe (Ackerschätzungsrahmen) unterteilt. Wird dieser Überwachungswert in Nitratproblem- oder Nitratsanierungsgebieten um mehr als 30 % überschritten, dann muss der Bewirtschafter flächenbezogene Aufzeichnungen über sämtliche Bewirtschaftungsmaßnahmen und eine Stickstoffbilanz erstellen, die Stickstoffdüngung nach der Messmethode (N_{min}-Bodenuntersuchung zur Düngebedarfsermittlung) durchführen und die Bewirtschaftungsmaßnahmen überprüfen und ggf. ändern. Unter Berücksichtigung der durch die Probenahme, den Transport und die Untersuchung entstehenden unvermeidbaren Unsicherheiten wird für die Bewertung des Überwachungswertes ein Toleranzbereich angewendet. Die

Aufzeichnungspflicht und eine mögliche Ablehnung der Ausgleichszahlungen gilt daher erst bei Überschreitung des witterungsbereinigten Toleranzwertes (SchALVO 2001, LTZ 2017).

Nach Finck (2017) ist der Herbst-N_{min} als Indikator zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen gut geeignet, sofern ausreichend hohe Toleranzen, welche sich aus heterogenen Standortbedingungen einer hohen N-Dynamik und dem Witterungseinfluss ergeben können, bei der Bewertung berücksichtigt werden. Der N_{min}-Wert ist ein Messwert und keine berechnete Größe, wodurch eine relativ hohe Akzeptanz seitens der Landwirte vorliegt. Zudem ist eine hohe Beprobungsdichte aufgrund der einfachen und günstigen Ermittlung durchführbar. Probleme bei der Verwendung des Herbst-N_{min}-Wertes können auf heterogenen Standorten entstehen, wodurch eine repräsentative Probenahme erschwert ist. Da es sich bei der Probenahme nur um eine Momentaufnahme handelt, können bei hohen N-Umsetzungsraten zudem große Unsicherheiten auftreten. Weiterhin wird die N-Mineralisierung nicht berücksichtigt. Weitere Probleme bei Verwendung des Herbst-N_{min} zur Erfolgskontrolle können sich laut Finck (2017) aufgrund überlagernder Einflüsse durch die Bewirtschaftung oder Witterung ergeben. Bei späten Sommerungen kann das Auswaschungsrisiko im Frühjahr insbesondere bei später Biomasseentwicklung leicht unterschätzt werden. Zudem kann die tatsächliche N-Auswaschung in Abhängigkeit von den hydraulischen Eigenschaften und dem tatsächlichen Wassergehalt des Bodens vom Herbst-Nitratgehalt deutlich abweichen.

Im Rahmen des Förderprogramms für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl (FAKT) bzw. des Vorgängerprogramms MEKA (Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichsprogramm) werden in Baden-Württemberg seit den 90er Jahren u.a. auch Maßnahmen zum Schutz von Grund- und Oberflächengewässern vor Nährstoffeinträgen gefördert. Die finanziellen Mittel werden sowohl von der EU (2. Säule) und dem Bund als auch vom Land Baden-Württemberg als Teil des Entwicklungsplans Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014-2022 (MEPL III) bereitgestellt. Voraussetzung für die Förderung ist eine mindestens 5-jährige Umsetzung der Maßnahmen. Im Rahmen der Umsetzung der WRRL werden auch spezielle einjährige Maßnahmen gefördert. Zu den förderfähigen freiwilligen Maßnahmen im Gewässer- und Erosionsschutz zählen unter anderem die Winterbegrünung, die N-Depotdüngung mit Injektion unter Vorlage der Düngebedarfsermittlung und einer Schlagbilanz, die Anwendung von Precision Farming bei der Stickstoffdüngung mittels N-Sensor und Durchführung einer Düngebedarfsermittlung im Frühjahr sowie die jährliche Erstellung einer freiwilligen Hoftorbilanz (LTZ 2018).

3.1.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.1.2.1. Modell STOFFBILANZ im Modellverbund „MoNit“

Das konzeptionelle N-Bilanzierungsmodell STOFFBILANZ (Gebel et al. 2017) wird in verschiedenen Bundesländern angewendet und erlaubt die Beschreibung von N-Umsetzungsprozessen (Mineralisation, Denitrifikation, N-Immobilisierung usw.) anhand von empirischen Daten und Berechnungsansätzen. Laut Finck und Stahr et al. (2012) leistet das Modell STOFFBILANZ im Vergleich zu physikalisch basierten und prozessorientierten N-Modellen zwar eine weniger detaillierte Beschreibung von N-Umsetzungsprozessen, benötigt auf der anderen Seite aber auch einen wesentlich geringeren Parametrisierungs- und Kalibrationsaufwand, wodurch auch großräumige und

flächendeckende Betrachtungen ermöglicht werden. STOFFBILANZ ist Bestandteil eines Modellsystems zur Prognose der Nitratbelastung des Grundwassers und wird zur Abschätzung der Wirksamkeit gewässerschonender Maßnahmen eingesetzt (LTZ 2018).

Das Modell wurde u.a. im Forschungsprojekt MoNit „Modellierung der Grundwasserbelastung mit Nitrat im Oberrheingraben“, welches ein von der EU co-finanziertes INTERREG-IIIA-Projekt war, weiterentwickelt und im Einzugsgebiet des Grundwasserkörpers des Oberrheingrabens angewandt. Daran beteiligt waren verschiedene Einrichtungen der Land- und Wasserwirtschaft aus Frankreich, Deutschland sowie der Schweiz. Das Projekt wurde im Zeitraum 2003-2006 durchgeführt. Die Grundwassermodellierung wurde durch die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) durchgeführt. Der Arbeitsbereich Nitrateintrag oblag dem LTZ Augustenberg. Das Projektziel war die Entwicklung eines Modellsystems, dass

- zur Abbildung von räumlich differenzierten Nitratbelastungen im Grundwasser geeignet ist
- die Abschätzung der Auswirkungen möglicher Veränderungen in der Landwirtschaft auf die Nitratauswaschung bzw. eine Prognose von längerfristigen Nitratkonzentrationen im Grundwasser ermöglicht und
- zur Bewertung von Bewirtschaftungsmaßnahmen bezüglich der Wirksamkeit zur Reduzierung von N-Austrägen und der Nitratkonzentration im Grundwasser eingesetzt werden kann.

Das Modell STOFFBILANZ wurde dabei zur flächendeckenden und räumlich differenzierten Berechnung des Stickstoffeintrags in das Grundwasser auf Jahresbasis unter Berücksichtigung von neun Landnutzungsformen für die Zeitpunkte 1980, 1990 und 2000 verwendet. Im Projekt wurde das Modell um die Abschätzung der N-Aufnahme von Zwischenfrüchten und Winterungen sowie von N-Umsetzungsprozesse bei Ernteresten oder aus Zwischenfrüchten des Vorjahres erweitert. Der MoNit-Modellverbund setzt sich zudem aus den hydrogeologischen Modellen STREAM (Oberflächengewässer), MODFLOW (Grundwasserströmung), MT3D (Grundwassertransport), den gekoppelten Nitrateintragsmodellen STICS (prozessorientiertes Nitrataustragsmodell) und STOFFBILANZ (Bilanzmodell) sowie einem sozioökonomischen Modell zur Darstellung von Szenarien und externer Einflüsse zusammen (Grimm-Strele et al. 2008, Finck 2010).

<u>Modell STICS</u>

Das prozessorientierte N-Austragsmodell STICS (Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standards) wurde im Modellverbund MoNit zur Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduzierung von Nitrateinträgen in das Grundwasser verwendet (Beha et al. 2005). Das Modell wurde am Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) unter Mitarbeit weiterer wissenschaftlicher Institutionen entwickelt. STICS simuliert das Pflanzenwachstum und die Dynamik des Wasser- und Stoffumsatzes im System Boden-Pflanze unter Berücksichtigung der Witterung, Bodenfeuchte und dem Stickstoffgehalt (Brisson et al. 2003). Das Modell errechnet ackerschlagbezogen folgende Parameter auf Tagesbasis (Beha et al. 2005):

- Frisch- und Trockenmasse
- N- und Wassergehalt der Pflanze
- Qualitätsparameter der Biomasse
- Trockenmasse und C/N-Verhältnis der Ernterückstände

- Evaporation, Transpiration, Interzeption
- Gasförmige N-Verluste
- Bodenwassergehalte in den Horizonten
- Nitrat-N und Ammonium-N in den Bodenhorizonten
- Sickerwassermenge
- Nitrataustrag mit dem Sickerwasser
- Mineralisation aus dem Humus
- Mineralisation aus den Ernterückständen
- Denitrifikation
- Stickstoffentzug durch die Pflanzen

Für die Validierung des Modells müssen folgende Parameter erfasst werden:

- Biomasse, Frisch- und Trockenmasseertrag sowie phänologische Entwicklungsstadien
- Sickerwassermengen und N-Konzentration im Sickerwasser (vorzugsweise Lysimetermessungen)
- N_{min}- und Wassergehalt des Bodens

Im Rahmen der MoNit-Untersuchungen an verschiedenen Standorten des Oberrheingrabens lieferte das Modell laut Beha et al. (2005) besonders für Körnermais und Winterweizen plausible Daten.

Zur Beurteilung der Effizienz grundwasserschonender Maßnahmen wurden mit STICS unterschiedliche Bewirtschaftungs-Szenarien und die damit verbundenen Einflüsse auf die Nitratauswaschung unter Berücksichtigung mehrerer Jahre für repräsentative Standorte abgebildet. Das Modell verfügt nicht über eine geographische Schnittstelle zur Übertragung der Berechnungen vom einzelnen Ackerschlag in die Fläche, so dass die Ergebnisse über Zu- oder Abschläge auf weitere Standorte übertragen und nachfolgend in das Bilanzmodell STOFFBILANZ integriert werden mussten, um die Wirksamkeit von Maßnahmen auch bei flächenhafter Betrachtung bewerten zu können (Beha et al. 2005).

N-Massenbilanz

Im Zuge der Umsetzung der in der WRRL formulierten Ziele hat die großräumige und flächendeckende Modellierung von N-Austrägen auf Grundlage von regionalisierten N-Überschüssen an Bedeutung gewonnen. Finck und Stahr (2012) weisen allerdings darauf hin, dass die Nitratauswaschung in das Grundwasser nicht nur von der Höhe der N-Überschüsse, sondern auch von N-Umsetzungsprozessen wie der Mineralisation, Denitrifikation und der Sickerwassermenge abhängt. Im Modell STOFFBILANZ werden die N-Umsetzungsprozesse zwar berücksichtigt, die Abschätzung der N-Mineralisierung hat sich laut Finck und Stahr (2012) jedoch als relativ ungenau erwiesen, so dass die jährliche Mineralisierung anhand der sogenannten N-Massenbilanz auf Gemeindeebene (MS-excelbasiertes Bilanzierungsprogramm, Finck und Stahr 2012) zur Plausibilisierung der Modellrechnungen abgeschätzt wurde.

Das Konzept der N-Massenbilanz basiert auf der Annahme eines Gleichgewichtes zwischen N-Mineralisierung und N-Immobilisierung (Finck und Stahr 2012). Der Bezugszeitraum der Bilanzierung

wird von Vegetationsbeginn einschließlich der nachfolgenden Vegetationsruhe bis zum darauffolgenden Vegetationsbeginn angesetzt, so dass eine N-Aufnahme aus Zwischenfrüchten oder Winterungen sowie die N-Nachlieferung aus Ernteresten der Vor- und Zwischenfrucht in der Massenbilanz der Hauptfrucht berücksichtigt werden. Der N-Saldo der Massenbilanz wird berechnet aus der N-Zufuhr + N-Mobilisierung - N-Abfuhr - N-Immobilisierung. Wenn zwischen Mobilisierung und Immobilisierung ein Gleichgewicht besteht, dann entspricht der Saldo der Massenbilanz dem Saldo der einfachen N-Bilanz. Muss hingegen von einem Ungleichgewicht zwischen Mineralisation und Immobilisierung ausgegangen werden, dann kann die Änderung des N-Vorrates im Boden in der Bilanz als Parameter berücksichtigt werden. Die N-Massenbilanz wird spezifisch für Kulturarten mit bekannten oder auch abgeschätzten Daten zur N-Immobilisierung und N-Mobilisierung der Folgekultur unter der Annahme einer gleichbleibenden Anbauverteilung der Kulturarten auf Ebene der betrachteten Gebietseinheit berechnet.

Nach Finck und Stahr (2012) lassen sich anhand von Ernteerträgen, N-Entzugs- und N-Bedarfsfaktoren und Koeffizienten zur differenzierten Betrachtung dieser Prozesse während der Vegetationszeit und der Vegetationsruhe nachfolgende Größen für die Kulturarten ermitteln:

- N-Abfuhr mit dem Erntegut
- N-Bindung in der nicht erntbaren Restpflanze
- N-Bindung der Winterungen im Zeitraum Herbst-Winter
- N-Mineralisierung aus Ernteresten im Zeitraum Herbst-Winter
- N-Mineralisierung aus Ernteresten der Vorfrucht
- Bei Zwischenfrüchten N-Aufnahme
- Bei Zwischenfrüchten N-Mineralisierung aus Zwischenfrucht des Vorjahres

Die berechneten N-Salden nach der Massenbilanz sind im Vergleich zu herkömmlichen N-Bilanzüberschüssen laut Finck und Stuhr (2012) eher ein integrales Maß für die N-Versorgung während der Vegetation sowie für die auswaschungsrelevanten Größen im Zeitraum der Auswaschung.

Die N-Massenbilanz stellt durch die Quantifizierung der N-Umsetzungsprozesse nach Einschätzung von Finck und Stuhr (2012) eine sinnvolle Ergänzung zur Bilanzierung dar und kann auf regionaler Ebene plausible Ergebnisse zur quantitativen Abschätzung des Stickstoffhaushaltes liefern. Ob die N-Massenbilanz eine bessere Abschätzung des Auswaschungsrisikos erlaubt, muss allerdings noch untersucht werden.

Saugkerzenanlagen

In einem MoNit-Teilprojekt wurden im Herbst 2003 an insgesamt 15 regional typischen Standorten in Deutschland, Frankreich und der Schweiz Saugkerzenanlagen installiert. Die Ergebnisse wurden zur Validierung der in den Modellen berechneten Nitratverlagerung und Sickerwassergüte verwendet. Dazu wurden 14-tägige Analysen des Nitratgehaltes im Sickerwasser sowie eine monatliche bis vierteljährliche Isotopenbestimmung zur Erfassung der Denitrifikation sowie der Mischungsverhältnisse im Grundwasser durchgeführt. Ergebnisse können unter anderem in LfU (2005) betrachtet werden.

3.1.2.2. Modell STOFFBILANZ im Forschungsprojekt „LOGAR“

Aufbauend auf das Vorgängerprojekt MoNit wurde im nachfolgenden INTERREG-IV-Projekt LOGAR (Länderübergreifende Organisation für Grundwasserschutz am Rhein) mit einer Laufzeit von 2009 bis 2012 der Aufbau eines grenzüberschreitenden Netzwerkes zur Sicherung der Grundwasserqualität im Oberrheingraben angestrebt (Finck 2012 und 2013, LOGAR 2018). Dabei sollten Informationen und Prognosen zur Grundwasserbelastung mit Nitrat sowie zur Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen entsprechend den Vorgaben der WRRL unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungs-, Bewirtschaftungs- und Klimaänderungen erarbeitet werden. Das bereits im Projekt MoNit verwendete Modellsystem sollte weiterentwickelt und die Datengrundlage aktualisiert werden. Das LOGAR Netzwerk setzt sich zusammen aus der Region Alsace, der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW), dem Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), der Agence de l‘eau Rhin-Meuse, dem Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Direction Régionale de l‘Environment, de l’Aménagement et du Logement (DREAL) Alsace sowie weiteren assoziierten Fachpartnern. Im Anschluss an das Projekt wurde die Rahmenvereinbarung LOGAR zu einer dauerhaften Zusammenarbeit des Landes Baden-Württemberg mit der Region Alsace im Grundwasserschutz unterzeichnet. Die Finanzierung erfolgt durch die an der Rahmenvereinbarung beteiligten Institutionen (LOGAR 2018). Im Modellsystem wird mit den physikalisch basierten dreidimensionalen Modellen MOD-FLOW und MT3D in einem Raster von 100 m die Grundwasserströmung sowie Nitrattransport und -abbau modelliert, während die Grundwasserneubildung über das Bodenwasserhaushaltsmodell GWN_BW ermittelt wird. Der Grundwasserleiter ist vertikal in Schichten von 10 m unterteilt. Das Modul Q-Regio wird zur Berechnung oberirdischer Abflüsse genutzt. Das N-Bilanzierungsmodell STOFFBILANZ wird zur Abschätzung der jährlichen N-Fracht, welche in das Grundwasser eingetragen wird, flächendeckend und räumlich differenziert angewandt. Gegenüber dem Projekt MoNit wurde das Modell aktualisiert und um einige Funktionen erweitert, so dass die Wirksamkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen gemäß SchALVO abgebildet und das standortspezifische Auswaschungsrisiko besser erfasst werden kann (Finck 2012 und 2013, LOGAR 2018). Für die Jahre 1980, 1990, 2000, und 2009 wurden mit STOFFBILANZ die Nitrateinträge in das Grundwasser im Oberrheingraben berechnet. Durch lineare Interpolation wurden die Nitrateinträge auch zwischen den Jahren berechnet und mit dem Grundwassermodell gekoppelt.

Nach Finck (2013) konnte das Modell STOFFBILANZ trotz einiger Ungenauigkeiten die gemessene räumliche Nitratbelastung des Grundwassers vergleichsweise gut abbilden. Auch die mittlere Nitratkonzentration im Grundwasserleiter und die Entwicklung der Nitratbelastung werden der Autorin zur Folge hinreichend genau abgebildet. Aufbauend auf dem parametrisierten Modellansatz wurden auch Prognosen zur Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nitrateintragsszenarien bis in das Jahr 2050 berechnet (Fink 2013, LOGAR 2018).

3.1.2.3. Modell MONERIS-BW

Mit dem pfadspezifischen Emissionsmodell MONERIS-BW, welches auf dem Modell MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions in River Systems; Behrendt et al. 1999) basiert, werden im Rahmen der Berichtspflichten Baden-Württembergs zur Umsetzung der WRRL Modellrechnungen zum

Nährstoffeintrag in Fließgewässer über diffuse und punktuelle Eintragspfade angewendet (Kiemle et al. 2015). Die Erkenntnisse aus den Berechnungen gehen in die Erstellung der Bewirtschaftungspläne ein. Das Modell berücksichtigt neben punktuellen Quellen auch diffuse Nährstoffeinträge über die Pfade Grundwasser, Interflow, Drainagen, Abschwemmung, Erosion sowie die atmosphärische Deposition auf Wasserflächen. Die pfadspezifische Eintragsberechnung erfolgt innerhalb abgegrenzter hydrologischer Wassereinzugsgebiete, welche den jeweiligen Wasserkörpern entsprechen. Die Modellrechnungen wurden nach der ersten WRRL-Bestandsaufnahme im Jahr 2004 mit jeweils aktualisierten Versionen regelmäßig wiederholt. Entsprechend den Vorgaben der WRRL soll im Dezember 2019 die nächste Bestandsaufnahme mit einem aktualisierten und erweiterten Modell durchgeführt werden (Kiemle et al. 2015). In MONERIS-BW wird der Nährstoffeintrag in das Grundwasser nicht anhand von Nährstoffüberschüssen geschätzt, sondern auf Grundlage der Nährstoffkonzentration im Grundwasser berechnet. Dazu wurde die Nährstoffkonzentration im Grundwasser auf Wasserkörperebene als 10 x 10 m aus Datensätzen aus dem Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg (LUBW 2001) aufbereitet. Zur Verschneidung der Nährstoffkonzentrationen mit den Wasserkörpern wurden mittlere Konzentrationen verwendet. Die Nährstoffeinträge in das Grundwasser innerhalb eines Wasserkörpers werden aus der Nährstoffkonzentration im Grundwasser, dem spezifischen Grundwasserabfluss sowie der gesamten unversiegelten Fläche, welche zur Grundwasserneubildung beiträgt abzüglich drainierter Flächen berechnet. Die Abschätzung der zugrunde gelegten Wasserhaushaltsgrößen erfolgte mit dem Modell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model; LARSIM 2018) anhand von Landnutzungsklassen auf einem 1 km^2-Raster sowie der Verwendung von mittleren hydrologischen Verhältnissen der Jahre 2004-2010 (Kiemle et al. 2015).

Für den Eintragspfad Drainagen werden Nährstoffeinträge aus dem Interflow und den Basisabfluss aus drainierten Flächen (landwirtschaftliche Ackerflächen + Grünflächen außerhalb von Siedlungen). Der Anteil der drainierten Fläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche wurde anhand von Ergebnissen einer Befragung auf Landkreisebene ermittelt. Die Nährstoffeinträge über drainierte Flächen werden aus der Größe der drainierten Fläche, dem spezifischen Drainageabfluss und der dazugehörigen Nährstoffkonzentration berechnet (Kiemle et al. 2015).

Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg wurde im Jahr 2013 zur Stoffeintragsmodellierung durch das Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IGW) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) der Berechnungsansatz der MONERIS-BW Version „Juni 2008“ in das Modellwerkzeug MoRE (Modeling of Regionalized Emissions; Fuchs et al. 2017) implementiert (Kiemle et al. 2015). MoRE soll als strategisches Planungsinstrument zur Darstellung der aktuellen Nährstoffeinträge in die Gewässer und zur Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen angewendet werden. Zwecks Validierung der berechneten Ergebnisse können in MoRE gemessene Gewässerfrachten eingefügt werden (Fuchs et al. 2017).

Die Ergebnisse der Modellierung wurden durch die Gegenüberstellung von modellierten und gemessenen Gewässerfrachten sowie Abflussmengen auf Plausibilität geprüft. Dabei hat sich gezeigt, dass die modellierten Frachten grundsätzlich höher lagen. Ursächlich dafür können laut Kiemle et al. (2015) neben nicht berücksichtigten Prozessen in den Gewässern vor allem Ungenauigkeiten bei der Stoffeintragsmodellierung aufgrund einer unzureichenden Datenqualität bzw. räumlichen Auflösung oder auch einer ungenauen Abbildung der Prozesse durch die Berechnungsansätze sein. Weiterhin können besonders Eingangsdaten zur Landnutzung bei Ungenauigkeiten oder einer zu groben

Skalierung zur fehlerhaften Abschätzung von diffusen Nährstoffeinträgen anhand der verwendeten Modelle führen (Kiemle et al. 2015).

3.1.2.4. Versuche und Projekte zum gewässerschonenden Pflanzenbau

Die Auswirkungen verschiedener Anbauverfahren auf das Nitratauswaschungspotential werden vom LTZ Augustenberg in Kooperation mit weiteren Forschungseinrichtungen und Universitäten in Exaktversuchen, auf landesweiten Praxisflächen und in bundesländerübergreifenden Versuchen geprüft. Darunter laufen derzeit Versuche zu Bodenbearbeitungsverfahren, Mulchsaat bei Wintergetreide, Zwischenfrüchten sowie Untersaaten in Silomais. Als Indikator zur Bewertung der Wirksamkeit der Maßnahmen werden vor allem N_{Min}-Bodenuntersuchungen durchgeführt (LTZ 2018).

Tab. 1: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Baden-Württemberg

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	MLR[1] LTZ[2] Regierungspräsidien ULB[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Baden-Württemberg
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	MLR[1] LTZ[2] Regierungspräsidien ULB[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Baden-Württemberg
Düngebedarfsermittlung (DüV) Nitratinformationsdienst (NID)	Nitratrichtlinie	Frühjahrs-N_{min}	MLR[1] LTZ[2] Regierungspräsidien ULB[3]	Land Baden-Württemberg
SchALVO-Vergleichsflächenprogramm	Nitratrichtlinie WRRL[4]	Herbst-N_{min}	MLR[1] LTZ[2] Regierungspräsidien ULB[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Baden-Württemberg
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz (MEKA[6], FAKT[7], MEPL III[8])	Nitratrichtlinie WRRL[4]	Herbst-N_{min}	MLR[1] LTZ[2] Regierungspräsidien ULB[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Baden-Württemberg BUND EU (ELER-Fond)
Modellverbund „MoNit“ INTERREG - IIIA - Projekt	WRRL[4]	Regionalisierte N-Überschüsse	LUBW[9] LTZ[2]	Land Baden-Württemberg

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
		Nitratauswaschung Nitratkonzentration im Grundwasser N-Umsetzungsprozesse Wirksamkeit von Gewässerschutzmaßnahmen N-Massenbilanz Saugkerzenanlagen	Einrichtungen der Land- und Wasserwirtschaft aus Deutschland, Frankreich, Schweiz	Bund Frankreich Schweiz EU
Netzwerk „LOGAR“ INTERREG - IV - Projekt	WRRL[4]	Regionalisierte N-Überschüsse Nitratauswaschung Nitratkonzentration im Grundwasser N-Umsetzungsprozesse Wirksamkeit von Gewässerschutzmaßnahmen N-Massenbilanz	LUBW[9] LTZ[2] BRGM[10] DREAL[11] Region Alsace Agence de l´eau Rhin-Meuse	Land Baden-Württemberg Bund Frankreich Schweiz EU
Netzwerk „LOGAR“ Dauerhafte Rahmenvereinbarung	WRRL[4]	Regionalisierte N-Überschüsse Nitratauswaschung Nitratkonzentration im Grundwasser N-Umsetzungsprozesse Wirksamkeit von Gewässerschutzmaßnahmen N-Massenbilanz	LUBW[9] LTZ[2] BRGM[10] DREAL[11] Region Alsace Agence de l´eau Rhin-Meuse	LUBW[9] LTZ[2] BRGM[10] DREAL[11] Region Alsace Agence de l´eau Rhin-Meuse
Modell MONERIS-BW	WRRL[4]	Nährstoffeintrag in Grundwasser und Fließgewässer über diffuse und punktuelle Pfade	KIT[12] IWG[13] LUBW[14]	Land Baden-Württemberg

[1]MLR Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg

[2]LTZ Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

[3]ULB Untere Landwirtschaftsbehörden

[4]WRRL Wasserrahmenrichtlinie

[5]LGL Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg

[6]MEKA Marktentlastungs- und Kulturlandschaftsausgleichsprogramm

[7]FAKT Förderprogramm für Agrarumwelt, Klimaschutz und Tierwohl

[8]MEPL III Maßnahmen- und Entwicklungsplan Ländlicher Raum Baden-Württemberg 2014-2020

[9]LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz

[10]BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Miniéres

[11]DREAL Direction Régionale de l´Environment, de l´Aménagement et du Logement

[12]KIT Karlsruher Institut für Technologie

[13]IWG Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswirtschaft und Wassergütewirtschaft

[14]LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

3.2. Bayern

3.2.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) ist vom Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) beauftragt den Vollzug und ordnungsrechtliche Belange der Dünge- und der Verbringungsverordnung sowie die Erarbeitung relevanter fachlicher Grundlagen und Leitlinien umzusetzen. Darunter fallen das Versuchswesen und die Erstellung von Beratungsunterlagen, Untersuchungen zu teilflächenspezifischen Düngungsverfahren, neue Techniken zur Düngeoptimierung, Erarbeitung und Bereitstellung von EDV-Programmen zur Düngeberatung und Nährstoffbilanzierung, Bodenuntersuchungen zur Ableitung von Düngeempfehlungen sowie die Optimierung des Einsatzes von Wirtschaftsdüngern, Sekundärrohstoffdüngern, Biogassubstraten und Bioabfällen (LfL 2019a).

Im Zuständigkeitsbereich des Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) sowie des Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) wurden im Rahmen des sogenannten „Wasserpaktes“ unterschiedliche Maßnahmen zum Schutz der Gewässerqualität sowie zur Erreichung der Ziele der EG-WRRL eingeleitet. Die Umsetzung wird unterstützt durch die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten sowie dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) unter Beteiligung zahlreicher weiterer Institutionen (StMELF und StMUV 2019). Als wichtige Maßnahmen zu nennen sind z.B. Kooperationsmodelle zwischen Landwirten und Wasserversorgungsunternehmen auf lokaler Ebene im Einzugsbereich von Trinkwasserbrunnen und darüber hinaus auch in weiteren Gebieten im Rahmen von Vertragsnaturschutz (VNP - Bayerisches Vertragsnaturschutzprogramm) und Agrarumweltmaßnahmen (KULAP - Kulturlandschaftsprogramm). Bayernweit wurde ein Netz von rund 100 Modellbetrieben eingerichtet, auf denen gewässerschonende Maßnahmen umgesetzt werden. Zur Umsetzung der Vorgaben der EG-WRRL wurde eine gemeinsame Arbeitsgruppe von StMUV und StMELF eingerichtet, welche die Wirksamkeit landwirtschaftlicher Maßnahmen anhand eines Erfolgsmonitorings bewerten soll und sich dazu u.a. auch mit dem Monitoring von Feinstoffen sowie dem Sickerwasser befasst. Im Zuständigkeitsbereich des StMELF werden Maßnahmen schwerpunktmäßig in den Bereichen Ausbildung, Beratung, Förderung und Forschung durch die Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten umgesetzt. Die Maßnahmen werden auch in einem Netz von Demonstrationsbetrieben angewandt. Die Koordination der Umsetzung der Maßnahmen zur EG-WRRL seitens der Landwirtschaft obliegt der LfL (LfL 2019b).

Die LfL führt seit vielen Jahren umfangreiche Versuchs- und Forschungsvorhaben in Ackerbau und Grünland zum Thema „Schutz des Grund- und Oberflächenwassers vor Nährstoffeinträgen“ durch. Bislang gibt es in Bayern allerdings kein fortlaufendes Nitrat-Monitoringprogramm im Bereich der Wurzel- oder Sickerwasserdränzone. Ab Herbst 2019 sollen im Rahmen der Überprüfung von landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Umsetzung der EG-WRRL in vier bis fünf Testgebieten Herbst-N_{min}-Untersuchungen auf freiwilliger Basis zur Erfolgskontrolle durchgeführt werden (LfL 2019b).

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Für die Nitratberichterstattung sowie zur Umsetzung der EG-WRRL führt das Bayerische Landesamt für Umwelt ein Maßnahmenbegleitendes Monitoring des Sickerwassers durch. Dabei werden exemplarisch der aktuelle Zustand und die zeitliche Entwicklung des Nitrataustrages aus dem Boden, der vertikale Transport in Richtung Grundwasser sowie die Wirkung einzelner Maßnahmen frühzeitig erfasst. Das Monitoring wird derzeit auf drei Messfeldern in den Maßnahmengebieten Unterfranken, Mittelfranken und Niederbayern durchgeführt. Die Standorte sollen jeweils repräsentativ für die typische Hydrogeologie und Bodeneigenschaften sowie die Landnutzung der Region sein und die Nitratfrachten sowie die Belastungssituation beispielhaft abbilden (LfL 2019b).

Zur Erreichung der Ziele der WRRL wurden von den Fachzentren für Agrarökologie an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (ÄELF) in Abstimmung mit der LfL konzeptionelle Maßnahmen im Bereich Nährstoffe erarbeitet. An ausgewählten ÄELF stehen zur Umsetzung in der Fläche sogenannte Wasserberater zur Verfügung, welche in Informationsveranstaltungen, Gruppen- und Einzelberatungen für die Umsetzung der Maßnahmen werben sowie förder- und produktionstechnische Beratungsleistungen anbieten. Die fachliche Abstimmung der Beratungstätigkeit, die Koordinierung der Beratung und der Zusammenarbeit der Wasserberater und die Dokumentation der Umsetzung erfolgen durch die LfL (LfL 2019c).

3.2.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.2.2.1. Modellierung diffuser Nährstoffeinträge und Stoffströme in Bayern

Geplant ist eine bayernweite Modellierung von diffusen Nährstoffeinträgen und Stoffströmen in das Grundwasser. Ziel ist eine verbesserte Abschätzung der Zeiträume zwischen der Umsetzung und dem Wirksamwerden von gewässerschonenden Maßnahmen im Grundwasser sowie der zu erwartende Zeitpunkt des Erreichens eines guten chemischen Zustandes nitratbelasteter Grundwasserkörper. Die Arbeiten werden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) durchgeführt (LfL 2019b).

3.2.2.2. Projekt Hohenthann: Landwirtschaft und Grundwasserschutz in den Gebieten Hohenthann, Pfeffenhausen und Rottenburg a.d. Laaber

Das Projekt „Landwirtschaft und Grundwasserschutz in den Gebieten Hohenthann, Pfeffenhausen und Rottenburg a.d. Laaber“ befindet sich mittlerweile in der zweiten Projektphase (2018-2022) und wird im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz vom LfU durchgeführt. Ziele sind unter anderem die Durchführung eines Monitorings im Sicker- und Grundwasser sowie die Bewertung von umgesetzten Maßnahmen hinsichtlich des Nitratgehaltes im Grundwasser in dem intensiv landwirtschaftlich genutzten Projektgebiet mit Schwerpunkt Veredelung und Getreideanbau. Das LfU wird dazu vom Wasserwirtschaftsamt Landshut, dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AELF) Landshut und der LfL unterstützt. Geplant sind u.a. die Datenerhebung und -auswertung der Nährstoffgehalte im Sickerwasser und oberflächennahem Grundwasser. Dazu zählen N_{min}-Beprobungen, Bestimmung der potentiellen Denitrifikation, Erstellung von Nitrattiefenprofilen mittels Rammkernsondierungen und Tracerversuchen sowie die Bewertung

von Stickstoffemissionen und -immissionen mit Blick auf die Wirkung der geänderten Bewirtschaftungsmaßnahmen (LfU 2019).

Die erste Projektphase (2014-2018) gliederte sich in mehrere Teilprojekte. Die Gesamtkoordination lag beim LfU. Teilprojekte wurden neben dem LfU auch vom Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz an der LfL, dem Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme und dem Lehrstuhl für Hydrogeologie an der Technischen Universität München (TUM) durchgeführt (Hülsbergen et al. 2017, Wendland 2018, LfU 2019). Zum Untersuchungsprogramm gehörten Modellanalysen von Stickstoffkreisläufen und Nährstoffausträgen aus landwirtschaftlichen Flächen mit REPRO, einzelbetriebliche Beratungen zur grundwasserschonenden Bewirtschaftung, Berechnungen von Nährstoffbilanzen nach DüV sowie Hoftor-Bilanzen, N_{min}-Untersuchungen und Tiefenbohrungen, Nährstoffuntersuchungen von organischen Wirtschaftsdüngern, Beprobungen von oberflächennahem Grundwasser und Tiefengrundwasser, Erarbeitung eines hydrogeologischen Modells zum Stickstofftransport im Untergrund, sowie Grundwasseraltersbestimmungen mit Isotopen.

Die Hoftor-Bilanzen erwiesen sich für die tierhaltenden Betriebe als aussagekräftiger, da sie den Futtermittelzukauf berücksichtigen. N_{min}-Untersuchungen wurden im Frühjahr, nach der Ernte sowie im Herbst durchgeführt. Der Frühjahrs-N_{min} wurde zur Düngeplanung verwendet, während der Ernte-N_{min} darüber Auskunft gibt, ob die Düngemenge dem Ertragsniveau angepasst war. Hier sind nach Wendland (2018) Werte unter 40-50 kg N/ha anzustreben. Der Herbst-N_{min} wurde zur Quantifizierung des Verlagerungspotentials in der vegetationsfreien Zeit verwendet. Durch konsequente Berücksichtigung des Frühjahrs-N_{min} bei der Düngebedarfsermittlung konnte der N-Überschuss nach der Ernte erheblich verringert werden. Nach der Ernte lagen die Werte bei Mais am höchsten, was auf langjährige organische Düngung zurückgeführt wurde (Wendland 2018).

Zur Bestimmung der verlagerten Stickstoffmengen und der Nitratgehalte im Sickerwasser wurden im Herbst 2012 Tiefenbohrungen auf 12 unterschiedlich strukturierten Betrieben durchgeführt. Die Tiefenbohrungen wurde in drei Wiederholungen pro Fläche bis in eine Tiefe von 5 m durchgeführt und mit Nährstoffbilanzen der letzten 3-5 Jahre abgeglichen. Die Tiefenbohrungen ließen kaum einen Zusammenhang zwischen dem flächenbezogenen N-Bilanzsaldo und den gemessenen Nitratgehalten im Sickerwasser erkennen. Dies wird auf mitunter schwere Plausibilisierbarkeit von Bilanzdaten (Tierhaltung), aber auch auf die schwer interpretierbare und nicht verallgemeinerungsfähige einjährige Beprobung sowie einen Einfluss von Denitrifikation zurückgeführt (Wendland 2018). Die Nitratbelastung lag grundsätzlich in Betrieben mit intensivem Tierbesatz am höchsten. Wendland (2018) zieht als Fazit, dass Tiefenbohrungen zur Beurteilung der Nitratbelastung eines Gebietes oder verschiedener Bewirtschaftungsformen nur in größerem Umfang über mehrere Jahre und bei zufallsverteilter Flächenauswahl sinnvoll sind.

Im Teilprojekt 1 „Analyse des Nitratbelastungspotentials und Nitrat-Minderungsstrategien“, welches an der TUM bearbeitet wurde, lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung von Nährstoffströmen der Testbetriebe mit unterschiedlichen Indikatoren. Dazu wurden Hoftor-, Stall- und Flächenbilanzen auf Einzelschlagebene verknüpft und die Nitratauswaschung über Modellrechnungen abgeschätzt. Parallel wurden N_{min}-Analysen an drei Terminen im Jahr sowie Tiefbohrungen durchgeführt, um die Beziehungen zu den Stickstoffbilanzen zu analysieren. Aus den Ergebnissen wurden dann Nitrat-Minderungsstrategien abgeleitet bzw. maximal tolerierbare Stickstoffüberschüsse mit Blick auf die Einhaltung des Grenzwertes im Sickerwasser formuliert (Hülsbergen et al. 2017).

In den Simulationsstudien von Hülsbergen et al. (2017) bezüglich der Stickstoffdynamik im Boden sowie zur Abschätzung der Nitratkonzentration im Sickerwasser wurden u.a. auch Sickerwasserraten nach Landnutzungsformen (Ackerland, Grünland, Wald, versiegelte Flächen) nach Renger (1990) berechnet. Aus dem mineralischen Stickstoffvorrat wurde anhand der Sickerwasserrate sowie einem Auswaschungsfaktor die Nitratkonzentration des Sickerwassers im Jahresmittel berechnet und die Nitratfrachten quantifiziert (Hülsbergen et al. (2017).

Die N_{min}-Untersuchungen im Teilprojekt der TUM wurden jeweils auf ausgewählten Flächen der Testbetriebe durchgeführt. Neben N_{min}-Beprobungen im Frühjahr und nach der Ernte wurden Herbst-N_{min}-Gehalte im Zeitraum Mitte bis Ende November bestimmt. Dazu wurden standorttypische Flächen ausgewählt, die nach Möglichkeit auch unterschiedliche Ertragszonen (gemäß Bodenschätzung) aufweisen sollten. Je Betrieb wurden 3 bis 4 Flächen ausgewählt, auf denen 20 x 10 m große N_{min}-Parzellen angelegt wurden. Auf jeder Fläche wurden jeweils in der Hochertragszone sowie in der Niedrigertragszone 5 Parzellen ausgewählt. In jeder Parzelle wurden zu den Terminen mit 12 Einstichen Mischproben für die Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm entnommen. Die Proben wurden nach der Probenahme eingefroren.

Die Tiefbohrungen sollten Aufschluss über die unterhalb der durchwurzelten Zone verlagerten N-Mengen und die Nitratgehalte im Sickerwasser geben. Dazu wurden insgesamt 23 Flächen ausgewählt und bis zu einer Tiefe von 9 m beprobt. Die Bohrungen wurden in den N_{min}-Parzellen durchgeführt. Je Fläche wurde eine möglichst homogene Ertragszone herausgesucht, in der dann drei Bohrungen im Abstand von 20-160 m, je nach Größe des Flurstückes, durchgeführt wurden. In jedem Betrieb wurde wenigstens eine Hoch- und eine Niedrigertragszone beprobt. Die Bodenproben wurden in Tiefenabschnitte von 30 cm unterteilt. Über den Wassergehalt wurden die Nitratkonzentrationen im extrahierbaren Bodenwasser berechnet. Der Sickerwasseranfall in den einzelnen Tiefenprofilen wurde gemäß dem oben genannten Vorgehen berechnet (Hülsbergen et al. 2017).

Für die Untersuchungen wurden 10 Betriebe innerhalb der Untersuchungsregion Hohenthann mit stark unterschiedlicher Struktur (Viehbesatz, Wirtschaftsdüngereinsatz, Fruchtarten, Fruchtfolgen) ausgewählt. Die freiwillig teilnehmenden Betriebe mussten zusichern, dass sie die Daten in ausreichender Qualität bereitstellen würden. Die Untersuchungen wurden für jeden Betrieb individuell vorgenommen und ausgewertet (Hülsbergen et al. 2017).

Hülsbergen et al. (2017) konnten anhand von Regressionsanalysen bei Ernte-N_{min}-Proben von Winterweizen zeigen, dass die Schwankungen zwischen einzelnen Jahren am besten durch die Niederschlagssumme von Februar bis zur Probenahme sowie die Temperatur im Monat Juli erklärt werden konnte. Die N_{min}-Werte waren entsprechend bei hohen Niederschlagsmengen höher und bei erhöhter Temperatur im Juli geringer. Neben der Vorfrucht konnte noch der schlagbezogene Stickstoffüberschuss des Weizens in einen gewissen statistischen Zusammenhang mit den N_{min}-Werten gebracht werden. Insgesamt war das verwendete Modell auf Basis von Stickstoffsaldo und Sickerwasserrate allerdings mit einem Bestimmtheitsmaß von lediglich 0,38 relativ ungeeignet zur Prognose von N_{min}-Werten nach der Ernte.

Die N_{min}-Vorräte im Herbst lagen bei Winterrapsbeständen und Zwischenfrüchten am niedrigsten. Hohe Werte wurden bei Winterweizen nach Winterraps und unbestelltem Acker nach Getreide gemessen. Der Herbst-N_{min} schwankte stark zwischen den Jahren in Abhängigkeit von der Witterung und dem Ertragsniveau. Beim Vergleich unterschiedlicher Ertragszonen konnte in den überwiegenden

Fällen ein höherer Herbst-N_{min} in den Hochertragszonen festgestellt werden. Die höheren Stickstoffvorräte in den Hochertragszonen werden auf das höhere Aneignungsvermögen sowie eine höhere Mineralisationsleistung der Böden zurückgeführt. Dadurch ergaben sich höhere N_{min}-Werte, obwohl die N-Bilanzüberschüsse gegenüber den Niedrigertragszonen geringer ausfielen. Der Einfluss der N-Düngung und einzelner Bilanzparameter auf den Herbst-N_{min}-Vorrat war nur teilweise signifikant nachweisbar. Bei Fruchtartenkombinationen mit weniger als 40 Datensätzen konnte keine Analyse der einzelnen Effekte von Standort, Bewirtschaftung und Jahr durchgeführt werden. Mit Blick auf die langjährige Bewirtschaftung konnte für Winterweizen oder Wintergerste nach Körnermais ein Zusammenhang zwischen steigendem N_{min}-Vorrat und steigendem langjährigen N-Saldo sowie langjähriger organischer Düngung beobachtet werden. Der Jahreseffekt wurde am besten anhand der Niederschlagssumme im September erklärt. Grundsätzlich bestätigten die N_{min}-Ergebnisse also die bei der betrieblichen N-Bilanzierung berechneten N-Überschüsse. Aufgrund eines hohen Einflusses von Standort und Witterung war der direkte Einfluss der Bewirtschaftung (Düngungsintensität) bzw. des N-Saldos aber bezogen auf den Einzelschlag nur z.T. nachweisbar. Es konnte kein direkter Zusammenhang zwischen den N_{min}-Vorräten im Herbst und der Nitratauswaschung über den Winter gefunden werden, aufgrund der starken Abhängigkeit von der Witterung. Dennoch kann laut Hülsbergen et al. (2017) auf Sandboden der Herbst-N_{min} durchaus Hinweise über die über den Winter zu erwartenden Nitratfrachten im Sickerwasser geben. Wenn Standort, Fruchtart und Jahreswitterung berücksichtigt werden, dann kann der Herbst-N_{min} den Ergebnissen zufolge ein Indikator für die langjährige Bewirtschaftung der Flächen sein. Die sich aus der hohen jährlichen Variabilität ergebenden Unterschiede müssen allerdings bei der Interpretation berücksichtigt werden (Hülsbergen et al. 2017).

Bei den Tiefenbohrungen wurden ausgewählte Einzelschläge im Abstand von sechs Monaten dreimal beprobt und einzeln ausgewertet. U.a. anderem zeigte sich, dass trotz der Bohrung in abgegrenzten N_{min}-Parzellen und einer guten Homogenität im Oberboden, sich die Bodenart vor allem des Unterbodens zwischen einzelnen Bohrterminen unterschied, was zum einen auf eine deutliche räumliche Heterogenität des Unterbodens auf kleiner Fläche sowie auf Ungenauigkeiten bei der im Feld durchgeführten Bestimmung der Bodenart zurückgeführt werden kann. Zudem wurde die Sickerwassermenge nicht genau erfasst, so wurde z.B. der Wassergehalt des Bodens nicht berücksichtigt. Dementsprechend war auch die Zuordnung einzelner Sickerwasserjahre zu bestimmten Nitratfrachten im Tiefenprofil mit Unsicherheiten behaftet. Der Vergleich der N-Bilanzsalden und der N-Umsatzmodellierung mit den in den Tiefenprofilen gemessenen Nitratausträgen zeigte mitunter sehr hohe Abweichungen, was darüber hinaus auch auf Denitrifikations- und Mineralisationsprozesse zurückgeführt werden muss.

3.2.2.3. Nährstoffkonzentrationen im Sickerwasser unter Wirtschaftsgrünland

Im Allgäuer Alpenvorland am Standort Spitalhof/Kempten und im Altmoränenhügel (Puch/Fürstenfeldbruck) werden unter Wirtschaftsgrünland sowie unter Ackernutzung (Standort Puch) seit Mitte der 70er Jahre Sickerwasserproben mittels Saugkerzenanlagen entnommen und hinsichtlich der Konzentration von Nitrat, Phosphor und Schwefel untersucht. Untersucht wird u.a. die Wirkung verschiedener Fruchtfolgen, Zwischenfrüchte, Bodenbearbeitungsverfahren und Düngestrategien auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser.

3.2.2.4. Ertrags und Qualitätserhebungen sowie Bodenuntersuchungen auf Dauergrünlandflächen (Praxisschläge)

In Abhängigkeit von der Nutzungsintensität wurden auf bayernweit 150 ausgewählten Grünlandflächen im Zeitraum 2009 bis 2015 Flächen Schnittproben, Frisch- und Trockenmasseerträge sowie Nährstoffgehalte aller Aufwüchse und die sich daraus ergebenden Nährstoffabfuhren ermittelt. Erweitert um zusätzliche betriebs- und schlagspezifische Parameter, wurden die Daten in eine Biomasse- und Nährstoffdatenbank der LfL eingepflegt und unter anderem zum Abgleich mit den Faustzahlen gemäß DüV verwendet (LfL 2019d).

3.2.2.5. 10-jähriges Stickstoffmonitoring mit N_{min}-Untersuchungen

Im Zeitraum 1991 bis 2000 wurden bayernweit an 214 Standorten im Rahmen der Erreichung der Ziele der EG-Trinkwasserrichtlinie die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die N_{min}-Gehalte der Böden nach der Ernte, im Herbst (Mitte November) sowie zu Vegetationsbeginn (vor der ersten N-Gabe) zur Abbildung der N-Dynamik mit den jahreszeitlichen Schwankungen standort- und fruchtartenspezifisch ermittelt, daraus Düngeempfehlungen für die Landwirte erarbeitet sowie das Stickstoffauswaschungspotential abgeschätzt. Dabei konnte eine abnehmende Tendenz der Bodenstickstoffgehalte bei sämtlichen Fruchtarten, vor allem bei Mais, erreicht werden. Die geringsten N_{min}-Werte lagen nach Rüben und Getreide vor, die höchsten nach Raps, Mais und Kartoffeln. Es konnte beobachtet werden, dass sich die N_{min}-Gehalte durch Zwischenfrüchte, eine spätere Bodenbearbeitung oder den Verzicht auf eine wendende Bodenbearbeitung deutlich absenken ließen. Es konnte keine Verringerung der N_{min}-Gehalte durch eine Düngung unter Bedarf erreicht werden. Hingegen führten Gaben über dem pflanzlichen Bedarf zu erhöhten Werten.

Laut Untersuchungsbericht wird durch die mehrmalige jährliche Erhebung der Restnitratmengen im Boden einer der wichtigsten Umweltparameter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung repräsentativ erfasst. Die Untersuchungen wurden von der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) im Auftrag des StEMELF durchgeführt. Die Auswahl der Flächen erfolgte anhand folgender Kriterien:

- Gleichmäßige Verteilung über ganz Bayern
- Lage in der Nähe einer Wetterstation
- Repräsentativ hinsichtlich Betriebstyp (Viehdichte und Anbaukulturen) gemessen an landesweiter Bedeutung
- Repräsentativ hinsichtlich Standortverhältnissen mit Blick auf die gesamte Ackerfläche (AF) in Bayern.

Die Bodenproben wurden in drei Schichten von 0-90 cm Bodentiefe entnommen und auf Nitrat und Wassergehalt untersucht. Bei Raps und Kartoffeln schwankten die N_{min}-Werte sehr stark in einzelnen Jahren ohne definierbare Ursache. Die Auswertung erfolgte unter anderem als Medianwert über den gesamten Zeitraum der Untersuchung für die einzelnen Probenahmetermine in Abhängigkeit von der Ackerzahl, der Bodenart, dem Gesamtkohlenstoff sowie dem Gesamtstickstoffgehalt. Die Ackerzahl hatte einen relativ geringen Einfluss auf den Nitratgehalt, wobei die Werte auf besseren Böden im Herbst geringer und im Frühjahr höher als auf den weniger ertragreichen Böden lagen. Bei den

Bodenarten waren nur leichte Unterschiede mit etwas höheren Rest-N_{min}-Gehalten bei Vegetationsende und im Frühjahr in schwereren Böden festzustellen. Mit zunehmendem Humusgehalt war eine höhere Nitratmenge im Boden vorhanden. In viehhaltenden Betrieben lagen die N_{min}-Werte um 10-20 kg N/ha höher als in viehlosen Betrieben (LfL 2019e).

Tab. 2: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Bayern

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	StMELF[1] StMUV[2] LfL[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Bayern
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	StMELF[1] StMUV[2] LfL[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Bayern
Düngebedarfsermittlung (DüV) Nitratinformationsdienst (NID)	Nitratrichtlinie	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} N-Bilanzen Lysimeteruntersuchungen	StMELF[1] LfL[3]	Land Bayern
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz (KULAP, VNP)	Nitratrichtlinie WRRL[4]	N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen	StMELF[1] StMUV[2] LfL[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Bayern BUND EU
Begleitendes Monitoring Sickerwasser	WRRL[4]	Sickerwasseruntersuchung	StMELF[1] StMUV[2] LfL[3] LfU[5]	Land Bayern
Wasserschutzberatung	WRRL[4]	N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen	StMELF[1] StMUV[2] LfL[3] LfU[5] ÄELF[6]	Land Bayern
Projekt Hohenthann	Nitratrichtlinie WRRL[4]	N_{min}-Untersuchungen Tiefbohrungen N-Bilanzen Traceruntersuchungen Modellierung	StMUV[2] LfU[5] Wasserwirtschaftsamt Landshut ÄELF[6] LfL[3] Technische Universität München	Land Bayern

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Sickerwasser unter Wirtschaftsgrünland (Spitalhof/Kempten)	Nitratrichtlinie WRRL[4]	Saugkerzenanlagen	StMELF[1] StMUV[2] LfL[3] LfU[5]	Land Bayern
Ertrags-, Qualitäts- und Bodenuntersuchungen im Dauergrünland	Nitratrichtlinie	Nährstoffabfuhr Nährstoffdatenbank N_{min}-Untersuchungen	StMELF[1] LfL[3]	Land Bayern
10-jähriges N_{min}-Monitoring	Trinkwasserrichtlinie	N_{min}-Untersuchungen	StMELF[1] LfL[3]	Land Bayern

[1]StMELF Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

[2] StMUV Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

[3]LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

[4] WRRL Wasserrahmenrichtlinie

[5]LfU Bayerisches Landesamt für Umwelt

[6] ÄELF Bayerische Ämter für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

3.3. Brandenburg

3.3.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Das Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL) hat das Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF) mit der Wahrnehmung hoheitlicher und fachrechtlicher Aufgaben bei der Umsetzung des Düngegesetzes, der Düngeverordnung sowie der Düngemittelverordnung beauftragt. Die Düngeempfehlungen der LELF werden anhand von Feldversuchen und dazugehörigen Monitoringmaßnahmen fortlaufend überarbeitet (LELF 2019).

Das LELF und das Landesamt für Umwelt sind zuständig für Fach- und Vollzugsaufgaben bezüglich Wasserrahmenrichtlinie und Agrarumweltprogrammen (LELF 2019, MLUL 2019). So werden u.a. die Düngeempfehlungen der LELF anhand von Feldversuchen und dazugehörigen Monitoringmaßnahmen fortlaufend überarbeitet.

Brandenburg weist im Bundesvergleich relativ geringe Probleme mit Nitratbelastungen in Grund- und Oberflächengewässern auf (BMUB 2017, Oelze 2017). Ein fortlaufendes Nitrat-Monitoringprogramm ist daher in Brandenburg bislang nicht implementiert worden.

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Auch bei der Entwicklung und Wirksamkeitsprüfung von Agrarumweltmaßnahmen werden Frühindikatoren wie N_{min}-Untersuchungen und N-Bilanzen zur Erfolgskontrolle und zu Demonstrationszwecken eingesetzt (LELF 2019).

Dabei konnte u.a. beobachtet werden, dass in den meisten Fällen kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Düngestufe und dem Nachernte-N_{min} erkennbar war, während eine höhere N-Düngung tendenziell erhöhte Nachernte-N_{min}-Gehalte verursachten. So schien der Jahreseffekt auf die Höhe der Nachernte-N_{min}-Gehalte im Boden höher zu sein als der Effekt der Düngung (MLUL 2017).

Als Grundlage für die Ausweisung von Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung im Zuge der Wasserrahmenrichtlinie wurden landesweite Nährstoffbilanzierungen durchgeführt. Die Nährstoffsalden wurden zur Abschätzung der Bedeutung unterschiedlicher Verlustpfade herangezogen und anhand der Kopplung von GIS-Daten zur Landnutzung mit Literaturwerten berechnet. Weiterführend wurde anhand der berechneten Daten z.B. die Sickerwasserfracht mit Hilfe von typischen Nährstoffaustragsraten gemäß Literaturangaben für die Landschaftsnutzungstypen Acker, Grünland, Wald und Siedlungsflächen geschätzt (Barsch et al. 2015).

3.3.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.3.2.1. Nitratprojekt Brandenburg

Im Zeitraum 2012-2017 wurden im Einzugsbereich von 11 nitratbelasteten Grundwassermessstellen (> 50 mg/l Nitrat) in Brandenburg ergänzend zu den regelmäßigen Kontrollen der Grundwasserbeschaffenheit hinsichtlich Nitrat zusätzliche Untersuchungen durchgeführt (Oelze 2018).

Ziel war die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Stellt die derzeitige landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Messstellenumfeld eine Ursache für die hohen Nitratkonzentrationen dar?
- Wenn ja, in welcher Art und Weise?
- Gibt es andere Ursachen für die hohen Nitratkonzentrationen?
- Welche Maßnahmen sind zielführend, um die Nitratkonzentrationen im Grundwasser zu senken?

Dazu wurden umfangreiche Betriebsdatenerhebungen vorgenommen und u.a. Daten zur Fruchtfolge, Erträge, Düngemengen (mineralisch und organisch), Düngebedarfsermittlung, Nährstoffvergleiche sowie sonstige relevante Maßnahmen mit Bezug zum Düngungsmanagement schlaggenau erfasst.

Des Weiteren wurde die vertikale Nitratverteilung im Tiefenprofil mithilfe des Direct-Push-Verfahrens untersucht. Bei diesem Verfahren wird ein Bohrgestänge einmalig zur Grundwasserbeprobung eingetrieben. Das Verfahren soll geeignet sein, um vertikale und horizontale Kontaminationsfahnen im Grundwasser zu analysieren. Die Technologie soll kosteneffizient einsetzbar und für in-situ-Analysen im Lockergesteinsbereich geeignet sein (Hannappel 2019).

Ergebnisse zu dem beschriebenen Projekt können aus dem Bericht von Braun et al. (2010) entnommen werden.

Tab. 3: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Brandenburg

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	MLUL[1] LELF[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Brandenburg
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	MLUL[1] LELF[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Brandenburg
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie	N_{min}-Untersuchungen	MLUL[1] LELF[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Brandenburg

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen	MLUL[1] LELF[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Brandenburg BUND EU
Nitratprojekt	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N_{min}-Untersuchungen Nitrat-Tiefbohrungen N-Bilanzen	MLUL[1] LELF[2]	Land Brandenburg

[1]MLUL Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg

[2]LELF Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung

[3]WRRL Wasserrahmenrichtlinie

3.4. Hessen

3.4.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Die Umsetzung der WRRL fällt in Hessen in die Verantwortung des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV). Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) erhielt vom HMUKLV in diesem Zusammenhang den Auftrag zur Ausarbeitung des Bewirtschaftungsplans und des Maßnahmenprogrammes und ist zuständig für die Überwachung des Gewässerzustandes. Die Umsetzung der Maßnahmenprogramme wiederrum obliegt den unteren Wasserbehörden. Hessen hat insgesamt 127 Grundwasserkörper, wovon ein Teil die Ländergrenze überschreitet. 25 dieser Grundwasserkörper befinden sich in einem schlechten chemischen Zustand, davon 19 auf Grund von Überschreitung der Nitratgrenzwerte (Berthold 2014). Der Landesgrundwasserdienst hat in diesen Grundwasserkörpern ca. 1300 Messstellen eingerichtet (HMUKLV 2015). Zusätzlich fließen ebenfalls Daten aus der öffentlichen Trinkwasserversorgung in die Bewertung des Grundwassers ein. Daten aus beiden Quellen werden vom HLUG gesammelt und verwaltet (HLUG_2013). Das Grundwassermessnetz zur Überwachung der Grundwasserqualität nach WRRL umfasst 420 Messpunkte (HLUG_2013). Grundwasserkörper, die den guten chemischen Zustand nicht erreichen, werden in der Regel von einer größeren Zahl an Messstellen überwacht als anthropogen unbeeinflusste Grundwasserkörper.

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

In Hessen werden die betrieblichen N_{min}- und Hoftorbilanz-Daten sowie Informationen zur Bewirtschaftung (angebaute Kultur bzw. Zwischenfrucht) und weitere Betriebsdaten vom HLUG in einer zentralen Datenbank verwaltet. Diese Daten werden verwendet, um Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Nutzung inklusive verschiedener Agrarumweltmaßnahmen mit den Messwerten des Grundwassermessnetzes nach WRRL herzustellen und zu bewerten. Bisherige Ergebnisse zeigen, dass besonders in den Ackerbauregionen trotz der Etablierung von Agrarumweltmaßnahmen noch hohe Rest-N_{min}-Gehalte im Boden vorliegen und sichtbare Veränderungen an der Grundwasserqualität vermutlich erst nach mehreren Jahren konsequenter Umsetzung zu erwarten sind (HMUKLV 2015). Der Herbst-N_{min}-Wert wird als gut geeignet zur Ausweisung von auswaschungsgefährdeten Gebieten angesehen (HMUKLV 2015).
Über das Programm „Hessisches integriertes Agrarumweltprogramm (HIAP)“ werden in Hessen Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffeinträgen aus der Landwirtschaft gefördert (FGGW 2016). Im Rahmen des Förderprogramms „Hessisches Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflegemaßnahmen“ (HALM) werden unter anderem gewässerschonende Maßnahmen wie z.B. Beibehaltung von Winterzwischenfrüchten, vielfältige Fruchtfolgen, Gewässerschutzstreifen und ökologischer Landbau gefördert. Ein vom HLNUG in Auftrag gegebenes hydrologisches Modell zur Bestimmung der Verweilzeit von Sickerwasser wird angewandt, um Gebiete zu identifizieren, in denen auf Grund langer Verweilzeiten Grundwasserschutzmaßnahmen erst mit starker Zeitverzögerung eine Wirkung aufzeigen werden.

Gemeinsam entwickelt und umgesetzt von HMUKLV, Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Landesbetrieb Hessisches Landeslabor und dem HLNUG wird in die landwirtschaftliche und gartenbauliche Beratung in Hessen ein Konzept zur Umsetzung der WRRL integriert.
In Hessen wird die landwirtschaftliche Fläche in Maßnahmenräume eingeteilt, um dort angepasste Projekte zur Reduzierung von diffusen Stoffeinträgen umzusetzen (Berthold 2014). Zur Einteilung der Maßnahmenräume werden die Verweilzeit des Sickerwassers, die Intensität der Landnutzung sowie die Grundwasserbelastung herangezogen. In Abhängigkeit des daraus resultierenden Belastungspotentials werden Maßnahmenprioritäten in vier Stufen ausgegeben und dementsprechende Maßnahmen umgesetzt. Diese Maßnahmen reichen von einer Grundberatung bis zu einer einzelbetrieblichen Intensivberatung (Berthold 2014). In Gebiete mit vielen Flächen einer hohen Maßnahmenpriorität werden diese als Maßnahmenräume zusammengefasst. Im Jahr 2015 gab es mehr als 40 Maßnahmenräume, in denen die grundwasserschutzorientierte Beratung umgesetzt und somit rund 8000 Betriebe erreicht wurden. Die regionale Grundwasserschutzberatung wird meistens von Kommunen, Verbänden und Wasserversorgern durchgeführt (HMUKLV_2015b). In den Maßnahmenräumen gibt es Leitbetriebe, die neben der Teilnahme an der Intensivberatung auch Hoftorbilanzen erstellen. Zusätzlich werden dort auf Dauerbeobachtungsflächen regelmäßig Frühjahrs- und Herbst-N_{min}-Werte bestimmt und in Jahresberichten Ergebnisse von grundwasserschonenden Maßnahmen zusammengefasst.
Basierend auf dem Verweilzeitmodell wird abgeschätzt, wie lange es dauert, bis die umgesetzten Maßnahmen zu einer Zielerreichung guter Wasserqualität im Grundwasserkörper führen können. Die Verweilzeit des Sickerwassers wurde hessenweit mit einer Auflösung von 60 x 60 m abgeschätzt (HLUG_2015). Im Jahr 2014 gab es ca. 400 Leitbetriebe, die N_{min}-Proben nehmen und Hoftorbilanzen berichten (Berthold 2014).

3.4.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.4.2.1. Maßnahmen im Hessischen Ried

Das Hessische Ried, welches fünf Grundwasserkörper umfasst, die alle den Nitratgrenzwert überschreiten, stellt in Hessen einen Belastungsschwerpunkt dar. Da es sich beim Hessischen Ried um eine wichtige Trinkwasserressource handelt, sind die Ziele des Projektes mit einem Emissions-Immissionsansatz, der die Überschüsse der Flächenbilanz, die Auswaschungsgefährdung, Grundwasserströmungen und gegebenenfalls einen Nitratabbau mit einbezieht, die Nitratbelastung im Hessischen Ried zu beschreiben und die Wirksamkeitsverzögerung von Maßnahmen abzuschätzen (HLUG_2015).
Anhand der Daten von 300 verfügbaren Grundwassermessstellen wurde die Grundwasserbelastung im Hessischen Ried dreidimensional dargestellt. In Gebieten mit Bodeneigenschaften, die eine besonders hohe Nitratauswaschung begünstigen, wurde die Verweildauer des Sickerwassers im ungesättigten Boden berechnet. Diese ist mit einer Auflösung von 250 x 250 m verfügbar und wurde über eine Bodenfeuchtesimulation berechnet (Modellierungssoftware MIKE-SHE), welche die Parameter Interzeption, Transpiration, Evaporation, Wachstum, Wasseraufnahme, Versickerung, kapillarer Aufstieg und Bewässerung erfasst. Des Weiteren wird das Nitratabbauvermögen im Grundwasserkörper durch die Kombination verschiedener Methoden abgeschätzt. Dazu zählen eine Stoffflussmodellierung der Nitratabbauleistung, die Bestimmung des Nitratabbaupotentials anhand von Bohrkernproben, Messungen des Redoxpotentials in Tiefenprofilen und die Bestimmung der

Nitratabbauprozesse mittels N_2/Ar und Sulfat-δ^{34}S-Messungen (HLUG_2015). Basierend auf den Ergebnissen können nun Risikogebiete im Hessischen Ried ausgewiesen werden und entsprechende Werte für tolerierbare Nitratüberschüsse der Flächenbilanz errechnet werden. Es zeigt sich, dass mit den örtlichen Gegebenheiten in weiten Teilen des Hessischen Rieds eine Einhaltung des Grenzwertes von 60 kg N/ha laut Düngeverordnung nicht ausreicht, um einen guten chemischen Zustand des Grundwassers zu erreichen. Daher wurden im Hessischen Ried nun gebietsbezogen maximal tolerierbare N-Überschüsse berechnet (HLUG_2015). Auf Dauerbeobachtungsbetrieben werden Frühjahrs- und Herbst-N_{min} untersucht (0-90 cm). In Leitbetrieben wird die Düngung mittels individueller Beratung basierend auf Stickstoffbilanzen geplant. Des Weiteren verdeutlichen die ausführlichen Messungen im Hessischen Ried, dass das Nitratabbaupotential im Grundwasserleiter, als endliche Ressource, besonders unter Böden mit geringer Denitrifikationsleistung noch im vorgesehenen Umsetzungszeitrahmen der WRRL erschöpft sein wird (HLUG_2015). Daraus resultierende steigende Nitratkonzentrationen im Grundwasser lassen keine Rückschlüsse auf die Effizienz umgesetzter Maßnahmen in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zu.

3.4.2.2. Maßnahmenprogramm Hessen 2015-2021

Neunzehn der insgesamt 127 Grundwasserkörper überschreiten in Hessen die Nitratkonzentration von 50 mg/l, die zur Erreichung eines guten chemischen Zustands laut WRRL nötig sind. Zur Verbesserung der Grundwasserqualität ist in Hessen die Umsetzung eines umfassenden Maßnahmenprogramms geplant (HMUKLV_2015b). Im Jahr 2015 gab es in Hessen 158 Wasserschutzgebietskooperationen und 13 regionale Beratungsprojekte. In Schutzgebieten wirtschaftende Landwirte und Wasserverbände sowie Wasserversorger arbeiten in diesen Programmen eng zusammen. Im Rahmen des Programms wurde der Zwischenfruchtanbau als besonders wirkungsvolle Maßnahme zur Reduktion der Nitratfrachten bewertet. Kosten für Saatgut und Aussaat können gefördert werden, um den Anreiz des Zwischenfruchtanbaus zu erhöhen. Erosionsgefährdete Flächen, Flächen in Gebieten mit Grundwasserkörpern in schlechtem chemischen Zustand, sowie Flächen, welche direkt an Oberflächengewässer angrenzen, werden in dieser Fördermaßnahme mit Priorität behandelt (HMUKLV_2015b).

3.4.2.3. Projekt: Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser – AGRUM+

Vor dem Hintergrund, dass in der Flussgebietseinheit Weser 27 % der Grundwasserkörper den guten chemischen Zustand nach WRRL nicht erreicht haben, wurde das Modellvorhaben AGRUM-Weser gestartet. AGRUM-Weser erfasste für das Jahr 2003 in dieser Flussgebietseinheit die Nährstoffbelastungen und Nährstoffeinträge, um daraus die Veränderung der Gewässerqualität bis zum Jahr 2015 vorauszusagen (Heidecke et al. 2015). Aufbauend darauf erhebt nun das Projekt AGRUM+ ergänzende Daten und baut den bestehenden Modellverbund aus mit dem Ziel Effekte landwirtschaftlicher Maßnahmen besser vorhersagen zu können und die Zielerreichung nach WRRL bis zum Jahr 2021 abzuschätzen. Konkret sollen dazu neben der Aktualisierung von Datengrundlagen eine Kopplung der Modelle RAUMIS (Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem), GROWA (großräumiges Wasserhaushaltsmodell), DENUZ und WEKU (reaktive Stickstoffmodelle), ME-Phos

(pfad- und flächendifferenziertes Phosphormodell) und MONERIS (modelling nutrient emissions in river systems) stattfinden. Dabei ermöglicht der Modellkomplex GROWA-DENUZ-WEKU des Forschungszentrums Jülich die flächendifferenzierte Darstellung diffuser Stickstoffeinträge in Oberflächen- und Grundwasserkörper. Der so entstandene aktualisierte Modellkomplex ermöglicht die Beurteilung der Wirksamkeit verschiedener Agrarumweltmaßnahmen zur Erreichung der WRRL-Ziele und wird in Hessen für die Auswahl geeigneter Maßnahmen herangezogen (Heidecke et al. 2015). Außerdem werden über diesen Modellkomplex Berechnungen zur Reduktion der N-Überschüsse aus der Landwirtschaft angestellt, die notwendig sind, um einen guten chemischen Zustand des Grundwassers zu erreichen (Kunkel et al., 2014).

Tab. 4: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Hessen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	HMUKLV[1] LLH[2] HLNUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Hessen
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	HMUKLV[1] LLH[2] HLNUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Hessen
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} N-Bilanzen Lysimeteruntersuchungen	HMUKLV[1] LLH[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Hessen
Hessisches integriertes Agrarumweltprogramm (HIAP) Hessisches Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflegemaßnahmen (HALM)	WRRL[4]	Leitbetriebe Stoffflussmodell Verweilzeitmodell N_{min}-Untersuchungen Hoftorbilanzen	HMUKLV[1] LLH[2] HLNUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Hessen BUND EU
Maßnahmen Hessisches Ried	Trinkwasserrichtlinie	Stoffflussmodellierung Flächenbilanzen N_{min}-Untersuchungen Tiefbohrungen Messung Redoxpotential N_2/Ar und Sulfat--34-S-Messungen	HMUKLV[1] LLH[2] HLNUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Hessen
Hessen 2015-2021	WRRL[4]	N_{min}-Messungen N-Bilanzen	HMUKLV[1] LLH[2] HLNUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Hessen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
AGRUM+	WRRL[4]	Stoffflussmodellierung Modellpaket GROWA-DENUZ-WEKU	Forschungszentrum Jülich Thünen-Institut Flussgebietsgemeinschaft Weser HMUKLV[1]	Land Hessen

[1] HMUKLV Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

[2] LLH Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen

[3] HLNUG Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

[4] WRRL Wasserrahmenrichtlinie

3.5. Mecklenburg-Vorpommern

3.5.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (MLU-MV) hat der zuständigen Stelle für Landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung (LFB) bei der LMS Agrarberatung GmbH (LMS) die mit der Umsetzung der Düngegesetzgebung verbundenen Aufgaben übertragen. Im Rahmen der Düngemittelverordnung (DüMV), der Düngeverordnung (DüV), der Wirtschaftsdüngerverbringungsverordnung (WDüngV), der Klärschlamm- (AbfKlärV) und Bioabfallverordnung (BioAbfV) sowie im Bereich Boden- und Wasserschutz ist die LFB zuständig für die Offizialberatung. Die LFB betreut Demonstrationsflächen mit Vegetationsbeobachtungen zur Dokumentation des Düngebedarfs und führt Untersuchungen zur Erarbeitung von Beratungsgrundlagen, wie z.B. N_{min}-Messungen zur Düngebedarfsermittlung, die Ableitung von N_{min}-Richtwerten und die Erstellung und Interpretation von Nährstoffbilanzen durch. Die LFB hat zudem die Aufgabe, den Handel und die Verwertung von Düngemitteln, Komposten, Klärschlämmen sowie landwirtschaftlich verwertbaren Reststoffen zu überwachen und die Daten in einem Klärschlamm- und Bioabfallkataster zu erfassen (BMUB 2017, LMS 2018).

Die Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei (LFA) ist eine nachgeordnete Einrichtung des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (MLU-MV) und unterstützt die Umsetzung ordnungsrechtlicher Maßnahmen durch Forschungsaktivitäten. Aktuell werden durch die LFA Untersuchungen zu Stickstoffdüngungsstrategien, der Stickstoffeffizienz in Fruchtfolgen, der Düngung mit Biogasgärresten, der Sicherung der Qualitätsweizenerzeugung bei reduzierten Stickstoffüberschüssen und Lysimeteruntersuchungen durchgeführt (BMUB 2017, Landwirtschaft-MV 2018).

Zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurde im Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (MLUV-MV) im Jahr 2007 die Arbeitsgruppe „Diffuse Nährstoffeinträge“ unter Beteiligung von Landwirtschafts- und Wasserwirtschaftsverwaltung, Naturschutzverbänden, dem Bauernverband Mecklenburg-Vorpommern sowie Wasserversorgern zur Erreichung der Ziele der WRRL gegründet (LU 2016). Im Jahr 2011 hat das MLUV-MV das „Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und das Grundwasser Mecklenburg-Vorpommerns“, welches grundlegende und ergänzende Maßnahmen für den ersten (2010-2015) und zweiten Bewirtschaftungszeitraum (2016-2021) der WRRL beschreibt, vorgelegt (LU 2011 und LU 2016). Die fachliche Umsetzung des Konzeptes obliegt der Arbeitsgruppe Wasserrahmenrichtlinie und Landwirtschaft, welche sich aus Experten des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG), der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei (LFA) sowie der zuständigen Stelle für Landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung (LFB) bei der LMS Agrarberatung GmbH (LMS) zusammensetzt. Das Konzept für den ersten Bewirtschaftungszeitraum sah zunächst die Erfassung des Ist-Zustandes bezüglich der Nährstoffbelastung in den Gewässern vor. Für die Erarbeitung von Gewässerschutzzielen hinsichtlich der Nährstoffbefrachtung und die Definition von Reduktionszielen wurden zudem durch das LUNG Analysen der Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlicher Produktion und Nährstoffeinträgen durchgeführt. Die Aktivitäten von Land- und Wasserwirtschaft

sollen laut Konzept dokumentiert und Erfolge evaluiert werden. Nach LU (2011 und 2016) wurden im ersten Bewirtschaftungszeitraum vorwiegend Forschungs- und Demonstrationsvorhaben durchgeführt. Aktuelle Monitoringprogramme beziehen sich vor allem auf die Beobachtung von Grundwassermessstellen. Daher liegen in Mecklenburg-Vorpommern bezüglich einer indikatorgestützten Erfolgskontrolle bei der Senkung von Nitratfrachten durch Maßnahmen im Rahmen der Umsetzung der WRRL bislang noch wenige Informationen vor. Im Verlauf des zweiten Bewirtschaftungszeitraumes ist mit Blick auf die aktuellen und geplanten Aktivitäten gemäß Konzeptpapier (LU 2016) mit solchen Ergebnissen zu rechnen.

Die Gewässerüberwachung in Mecklenburg-Vorpommern ist Teil der Gewässerbewirtschaftung des Landes und wird per Erlass des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz (LU) geregelt (LU 2016). Die Grundwasserbeschaffenheit wird landesweit an 291 Grundwassermessstellen erfasst. Bei der überblicksweisen Überwachung sollen die natürliche Grundwasserbeschaffenheit und der anthropogene Einfluss charakterisiert werden. Die operative Überwachung bezieht sich hingegen auf die Entwicklung von Schadstoffkonzentrationen in Belastungsgebieten. Die Ergebnisse werden u.a. für das WRRL-Monitoring genutzt. Laut LU (2016) wird die Grundwasserüberwachung des Landes für den 2. Bewirtschaftungserlass derzeit überarbeitet und an aktuelle Erkenntnisse angepasst. Insbesondere mit Blick auf die Nitratbelastung sollen zum Monitoring gemäß WRRL und Nitratrichtlinie in Mecklenburg-Vorpommern neue Grundwassermessstellen geplant und gebaut sowie ungeeignete Messstellen ersetzt werden.

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

In Mecklenburg-Vorpommern werden seit Beginn der Förderung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds zur Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) im Jahre 2015 der ökologische Landbau sowie Agrarumweltmaßnahmen zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft für die Umsetzung der Nitratrichtlinie und der WRRL finanziell gefördert (BMUB 2017, Regierung - MV 2018a).

Die Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern hat auf Grundlage des Landeswassergesetzes und des Wasserhaushaltsgesetzes des Bundes zum Schutz der öffentlichen Wasserversorgung 401 Wasserschutzgebiete ausgewiesen, von deren Fläche rund 73 % einer landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen und in denen besondere Anforderungen hinsichtlich der Bewirtschaftung umgesetzt werden (Regierung - MV 2018b).

Zudem wurden laut BMUB (2017) in 19 Oberflächengewässern und Grundwasserkörpern des Landes aufgrund einer auffälligen Nährstoffbelastung spezielle WRRL-Beratungsmaßnahmen zur Reduzierung diffuser Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft durchgeführt und die gewonnenen Erkenntnisse in die WRRL-Beratung des gesamten Landesgebietes integriert.

3.5.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.5.2.1. Ermittlung der potentiellen Nitratauswaschungsgefährdung der Böden

Anhand der Methodik „Potentielle Nitratauswaschungsgefährdung auf Grundlage der Nitratverlagerungstiefe im Winterhalbjahr und der effektiven Durchwurzelungstiefe“ (AG Boden 2000) wurde die potentielle Nitratauswaschungsgefährdung der Böden Mecklenburg-Vorpommerns durch den Geologischen Landesdienst des LUNG abgeschätzt und für die Landnutzungsarten Acker, Grünland, Laub- und Mischwald in eine Karte übertragen (www.umweltkarten.mv-regierung.de). Anhand dieser Einordnung sollen Vorschläge zur Verbesserung der standortspezifischen Bewirtschaftung und Beratung sowie zum Monitoring im Rahmen der WRRL-Umsetzung abgeleitet werden. Bei der Analyse wurden Bodentyp, Bodenart, Humusgehalt, Nutzung und Klimaparameter einbezogen. Die Karte soll weiterhin zur Beurteilung des Gefährdungspotentials landwirtschaftlicher Betriebe mit Blick auf eine Nitratbelastung von Grund- und Oberflächengewässern genutzt werden. Für Betriebe in extrem gefährdeten Gebieten wird eine weiterführende betriebs- und schlagspezifische Bewertung der potentiellen Nitratauswaschungsgefährdung empfohlen. Die Ergebnisse der Untersuchungen weisen für rund ein Viertel der Ackerflächen Mecklenburg-Vorpommerns eine hohe bis extrem hohe Nitratauswaschungsgefährdung aus (LU 2016).

3.5.2.2. Berechnung regionalisierter Flächenbilanzen

In Zuge einer Kooperation der Universität Rostock, der zuständigen Stelle für Landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung (LFB) bei der LMS Agrarberatung GmbH und der Institut biota GmbH wurden für den Bezugszeitraum 2005 bis 2010 regionalisierte Stickstoffbilanzen mit einem länderbezogenen Modell auf Feldblockebene für die landwirtschaftlichen Nutzflächen Mecklenburg-Vorpommerns modelliert (Wiebensohn 2008, biota 2013). Als Datengrundlage wurden InVeKoS-Feldblockdaten, amtliche Agrarstatistiken, die mittelmaßstäbige Standortkartierung sowie Daten zur atmosphärischen Stickstoffdeposition verwendet. Das Ziel war die verursachergerechte Zuordnung von Gewässerbelastungen und die Ableitung effizienter Minderungsmaßnahmen (LAWA 2014). Die Salden wurden für landesbezogene Modellrechnungen mit dem Methodenpaket GROWA-WEKU-DENUZ zur Quantifizierung der Stickstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer verwendet. Die auf Feldblockebene erstellten Flächenbilanzen zeigten laut LU (2016) für den betrachteten Zeitraum keine klare Tendenz hinsichtlich einer Erhöhung oder Verringerung der Stickstoffüberschüsse. Der ermittelte Überschuss von rund 91.100 t N a^{-1} im Mittel der Jahre 2005-2010 entspricht einem Flächenbilanzsaldo von 65 kg N ha^{-1}.

Das länderbezogene Modell zur Quantifizierung der Flächenbilanzsalden Mecklenburg-Vorpommerns hat sich laut LU (2016) als zielführend und sogar richtungsweisend für andere Bundesländer erwiesen. Das Modell basiert auf den methodischen Ansätzen zur Ermittlung der deutschlandweiten Flächenbilanzüberschüsse nach Behrendt et al. (2003).

3.5.2.3. Modellierung des Wasser- und Nährstoffhaushalts

Das Modellpaket GROWA-DENUZ-WEKU des Forschungszentrums Jülich wurde in Mecklenburg-Vorpommern zur Quantifizierung der Nährstoffeinträge in das Grundwasser sowie in die Oberflächengewässer flächendeckend entlang eines 100 x 100 m Rasters im Auftrag des LUNG angewendet (Kunkel et al. 2016; LU 2016). Anhand der Modelle wurde zudem eine Prognose über die Erreichung der Schutzziele bei Grundwasser und Küstengewässern unter Berücksichtigung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsszenarien erstellt. Im Vorhaben wurden unter anderem folgende Fragestellungen untersucht:

- Wie hoch ist aktuell der Gesamtumfang der Stickstoffeinträge in das Grundwasser sowie in Oberflächen- und Küstengewässer?
- Welche Bedeutung haben dabei die jeweiligen Eintragspfade und lassen sich Gebiete mit besonderer Eignung für die Weiterentwicklung von Minderungsmaßnahmen identifizieren?
- Inwieweit muss der Stickstoffeinsatz zur Erreichung der Qualitätsziele in Grundwasser und Küstengewässern reduziert werden?
- In welchem Maße können Anpassungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zur Erreichung beitragen?

Das Modellpaket wurde auch in anderen Bundesländern in abgewandelter Form (vor allem betreffend der N-Bilanzierung) angewandt. Die Modellstruktur und die Analyseergebnisse werden am Beispiel Mecklenburg-Vorpommerns auch stellvertretend für die anderen Bundesländer im Folgenden ausführlicher dargestellt.

Im Modellpaket werden Bodenerosion, Abschwemmung, Dränung, natürlicher Zwischenabfluss, grundwasserbürtiger Abfluss und die atmosphärische Deposition auf Wasserflächen als diffuse Eintragspfade berücksichtigt (Kunkel et al. 2016). Zur Ermittlung der verlagerbaren Stickstoffmenge im Boden wurden feldblockspezifische Stickstoffbilanzsalden für den Zeitraum 2005-2010 berechnet. Die N-Bilanzsalden wurden dann über die kleinsten ausgewiesenen Wassereinzugsgebiete gemittelt und mit auf Praxisbetrieben erhobenen N-Bilanzsalden validiert.

Die N-Immobilisierung wurde in Abhängigkeit von der Nutzung als Acker-, Grünland, Nadel- und Laubwald aus Literaturwerten abgeleitet. Die so ermittelte verlagerbare N-Menge wurde durch das Stickstofftransportmodell DENUZ (Kunkel und Wendland 2006) um Denitrifikationsprozesse innerhalb der durchwurzelten Bodenzone korrigiert. Aus dem Boden wurden laut den Berechnungen etwa 64.400 t N a^{-1} ausgewaschen, wovon 40.200 t N a^{-1} in das Grundwasser gelangten.

Anhand des Stickstofftransportmodells WEKU (Kunkel et al. 2004) wurde simuliert, dass hiervon 34.400 t N a^{-1} im Grundwasser denitrifiziert wurden.

Zur Quantifizierung der Bedeutung der unterschiedlichen Abflusskomponenten der diffusen Stickstoffquellen für den Stickstoffeintrag in Grundwasser sowie die Oberflächengewässer wurden die Ergebnisse zu den verlagerbaren N-Mengen mit dem Wasserhaushaltsmodell GROWA (Kunkel und Wendland 2002) unter Verwendung der hydrologischen Referenzperiode 1971-2000 für Mecklenburg-Vorpommern verknüpft (Kunkel et al. 2016). Laut Kunkel et al. (2015) ist der Dränaustrag mit

22.900 t N a^{-1} und einem Anteil von mehr als 70 % an den gesamten Stickstoffeinträgen in die Oberflächengewässer der weitaus bedeutendste diffuse Eintragspfad in Mecklenburg-Vorpommern. Der Stickstoffeintrag in das Grundwasser ist im Vergleich zum Dränaustrag in die Oberflächengewässer fast doppelt so hoch. Die Stickstofffracht wird allerdings in den reduzierenden Grundwasserleitern des Bundeslandes zu mehr als 80 % denitrifiziert (Kunkel et al. 2015).

Weiterführend wurde mit dem DENUZ-Modell der Minderungsbedarf der Stickstoffeinträge in die Böden zur Einhaltung einer Sickerwasserkonzentration von maximal 50 mg NO3 l^{-1} anhand von landwirtschaftlichen Flächenbilanzsalden ermittelt (Wendland et al. 2009). Neben der atmosphärischen Deposition, dem Denitrifikationspotential sowie der Verweilzeit des Sickerwassers im Boden kann der Stickstoffbilanzsaldo laut LAWA (2014) und Kunkel et al. (2015) als Schlüsselgröße hinsichtlich der Beeinflussung der Nitratkonzentration im Sickerwasser angesehen werden. Insgesamt wurde unter diesen Annahmen für 69 % der Flächen des Landes die Notwendigkeit einer Stickstoffminderung ermittelt. Die Modellierung ergab, dass auf 39 % dieser Flächen ein Stickstoffminderungsbedarf zwischen 30 und 50 kg N ha^{-1} a^{-1} und auf 35 % ein Minderungsbedarf von mehr als 50 kg N ha^{-1} a^{-1} zur Einhaltung der Ziele der WRRL erforderlich wären. Insgesamt müssten den Untersuchungen zufolge in Mecklenburg-Vorpommern die Stickstoffüberschüsse um 41.500 t N a^{-1} reduziert werden.

Mit Blick auf die Novellierung der DüV halten Kunkel et al. (2015) die Weiterentwicklung der Methodik sowie die regelmäßige Berechnung von landesweiten Stickstoffbilanzen für Monitoringzwecke für dringend erforderlich. Vor Beginn des 3. Bewirtschaftungszeitraumes (2022-2027) soll daher eine aktualisierte Modellierung der Nährstoffeinträge mit dem Modellpaket GROWA-DENUZ-WEKU basierend auf den aktuellen Eingangsdaten durchgeführt werden. Dadurch sollen Änderungen abgebildet und die Ableitung und Bewertung von Maßnahmen unterstützt werden.

3.5.2.4. Ermittlung der Verweilzeiten des Sicker- und Grundwassers

Für die Beschreibung des Stickstoffhaushalts im Boden sowie zur Ableitung und Bewertung von Maßnahmen wurden im Auftrag des LUNG die Verweilzeiten des Sickerwassers im ungesättigten Boden nach DIN 19732 (1997) abgeschätzt (Hannappel et al. 2011). Als Eingangsdaten wurden die Feldkapazität, der Grundwasserflurabstand und die Grundwasserneubildungsrate verwendet. Die berechneten Verweilzeiten des Sickerwassers wurden als Eingangsgröße für die Modellierung des Wasser- und Nährstoffhaushalts mit dem Modell-Paket GROWA-DENUZ-WEKU verwendet. Zudem kann die Verweilzeit des Sickerwassers als direktes Maß für die intrinsische Vulnerabilität eines Grundwasservorkommens dienen (Sinreich et al. 2009; Hannappel et al. 2011). Bei der intrinsischen Vulnerabilität werden keine Wechselwirkungen des jeweiligen Schadstoffes mit den Medien der ungesättigten Zone berücksichtigt. Die für Mecklenburg-Vorpommern ermittelten Verweilzeiten des Sickerwassers reichen von wenigen Wochen und Monaten bis zu 100 Jahren. Als Median wurden 30 Jahre bei einer Grundwasserneubildung von 104 mm a^{-1} ermittelt. Die recht hohen Verweilzeiten sind nach Hannappel et al. (2011) und LU (2016) auf hohe Grundwasserflurabstände unter sowohl mächtigen als auch bindigen Substraten mit hohen Feldkapazitäten und einem geringen Niederschlagsaufkommen zurückzuführen, so dass die Wirksamkeit von Maßnahmen entsprechend spät im Grundwasserkörper sichtbar wird.

3.5.2.5. Sondermessprogramm Dränabläufe

Das Sondermessprogramm Dränabläufe soll der Kontrolle der Wirksamkeit der WRRL-Maßnahmen zur Reduzierung der diffusen Nährstoffausträge aus dränierten Flächen dienen. Es soll der Zusammenhang zwischen Ablaufkonzentrationen von Nährstoffen im Dränwasser und dem Nährstoffaustrag aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen unter anderem durch die Ermittlung der Flächenbilanzüberschüsse erfasst werden. Laut LUNG werden in Mecklenburg-Vorpommern ca. 40-60 % des Sickerwassers über die Dränung abgeführt, so dass das Belastungspotential der verbleibenden Sickerwassermenge anhand der Messungen in den Dränabläufen quantifiziert werden kann. Dabei geht das LU (2016) davon aus, dass die Nitratbelastung des Dränwassers mit der Anfangsbeschaffenheit des Sickerwassers identisch ist. Die Messungen wurden in einem ersten Zeitraum von 1996-2000 und dann wieder ab dem Jahr 2012 z.T. in wöchentlicher Auflösung (Zeitraum vom 07.10.2014 bis zum 26.05.2015) von der LUFA Rostock durchgeführt. Das Drainagemonitoring umfasst die Kontrolle von 22 Dränabflüssen, welche z.T. mehrjährig während der Wintermonate in wöchentlichen Intervallen beprobt wurden. Parallel wurden die Bewirtschaftung auf den zugehörigen landwirtschaftlichen Flächen aufgezeichnet und Schlagbilanzen erstellt. Dabei wurden fünf Einzelproben von jeweils 1000 ml im Abstand von zwei Minuten unmittelbar am Dränauslauf entnommen. Zur Quantifizierung der Nitratfracht wird zudem die Abflussmenge ermittelt. Die auf ca. 2-4°C gekühlten Proben wurden anschließend im Labor analysiert. Das Messprogramm soll bis Ende 2018 fortgeführt werden, da aufgrund längerer Fließzeiten des Sickerwassers erst nach längerfristigen Beobachtungen aussagekräftige Schlussfolgerungen und Zusammenhänge mit anderen Indikatoren (Nährstoffbilanzen) abgeleitet werden können (LU 2016). Die Stickstoffbilanzen der untersuchten Flächen wurden für die Jahre 2009-2015 mit der Software NPK-Bilanz (Version 1.1.1, Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt) erstellt.

Die Auswertung und Veröffentlichung der Zeitreihen soll zum Ende des Untersuchungszeitraumes in 2018 erfolgen. Allerdings wurden bereits erste Einschätzungen zu Zusammenhängen zwischen Bilanzüberschüssen, Fruchtfolgen und Dränausträgen in LU (2015) skizziert:

Fast alle Messstellen wiesen zumindest zeitweilig Nitratkonzentrationen von 50 mg l^{-1} auf. Im Vergleich zum ersten Messzeitraum (1996-2000) waren die Nitratkonzentrationen an allen Messstellen nahezu unverändert. Es konnten auf Basis der bisherigen Datenreihen keine erkennbaren Zusammenhänge zwischen den gemessenen Nährstoffausträgen und den Stickstoffbilanzen (Schlagbilanzen) hergestellt werden. Um den Effekt der Bewirtschaftung ableiten zu können, sind laut LUNG (2016) eine zeitlich hoch aufgelöste Erfassung der Nährstoffausträge unter Berücksichtigung von Klimadaten und hydrogeologischen Gegebenheiten sowie eine Erfassung der Bewirtschaftungsdaten erforderlich. Mit Blick auf diese Anforderungen ist laut LUNG (2016) das vorhandene Dränflächenmessnetz wenig geeignet für die Erfassung von Bewirtschaftungseinflüssen. Hingegen ließe sich ein Bewirtschaftungsbezug besser an ein bis zwei intensiv betreuten Dränflächen herstellen. Im November 2015 wurde die Messkampagne nach einer Eignungsprüfung der Probenahmestellen anhand von Dränkarten, Wassereinzugsgebieten und dem Fließverhalten unter Beauftragung der LMS Agrarberatung GmbH fortgesetzt. Das Messprogramm wurde um die Untersuchung der Herbst- und Frühjahrs N-min Gehalte in den Bodentiefen 0-30, 30-60 und 60-90 cm auf den jeweiligen Testflächen ergänzt.

3.5.2.6. Ermittlung des Stickstoffumsatzes im Grundwasserleiter

Ab dem Jahr 2018 soll in Mecklenburg-Vorpommern der Stickstoffabbau im Grundwasserleiter durch Denitrifikation mit Hilfe der N_2-Argon-Methode quantifiziert werden. Dabei wird der im Grundwasser gelöste molekulare Stickstoff aus der Denitrifikation vorrangig an ausgewählten Grundwassermessstellen mit niedrigen Nitratkonzentrationen in Einzugsgebieten mit hohen N-Bilanzüberschüssen erfasst. Über die Bestimmung des Verhältnisses von Stickstoff zu Argon kann die Nitratkonzentration des Sickerwassers zum Zeitpunkt der Grundwasserneubildung, also vor Beginn von Denitrifikationsprozessen und somit der potentielle Nitrateintrag ohne Denitrifikation abgeschätzt werden. Die Daten sollen eine ergänzende Grundlage zur Beurteilung der Gefährdung von Grundwasserkörpern durch Nitrat sowie zur Beurteilung von Maßnahmen und deren Wirksamkeit im Rahmen der WRRL schaffen (LU 2016).

3.5.2.7. Lysimeteruntersuchungen zur Sickerwasserqualität

Die Universität Rostock betreibt eine Lysimeteranlage am Standort Groß Lüsewitz, an welcher seit Beginn der 90er Jahre auch Untersuchungen zum Bodenstickstoffhaushalt durchgeführt werden. Die Lysimeterstation ist auch Bestandteil der „Kooperation Lysimeter“ zwischen den Ländern Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen (Knoblauch et al. 2013).

Die Lysimeteranlage in Groß Lüsewitz soll Informationen zum Wasser- und Stickstoffumsatz im System Boden/Pflanze in Abhängigkeit von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen liefern. Darüber hinaus werden die gewonnenen Daten für modellgestützte Untersuchungen zu N-Austrägen aus landwirtschaftlich genutzten Böden verwendet (Universität Rostock 2017). Am Standort Groß Lüsewitz stehen insgesamt 10 monolithisch befüllte und 2,50 m tiefe Lysimeter (darunter sechs wägbar) zur Verfügung. Die Bewirtschaftung der Lysimeter erfolgt seit 2011 in Kooperation mit der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA). Dabei werden in einem mehrjährigen Versuch die Stickstoffdüngewirkung und die Nitratauswaschung bei Gärrest- und Mineraldüngung miteinander verglichen. Monatlich wird das Sickerwasser u.a. hinsichtlich der Konzentration von Nitrat, Ammonium und Schwefel untersucht. Gefördert wird das Vorhaben vom Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern. Nach LU (2016) sind aufgrund zu kurzer Zeitreihen allerdings noch keine Zusammenhänge zwischen Stickstoffdüngung, Stickstoffüberschuss und Stickstoffauswaschung abbildbar. Die Messreihe soll bis 2021 fortgeführt werden.

Tab. 5: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Mecklenburg-Vorpommern

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	MLU-MV[1] LMS[5] LFB[4] LFA[7] Landwirtschaftsbetriebe	Land Mecklenburg-Vorpommern
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	MLU-MV[1] LMS[5] LFB[4] Landwirtschaftsbetriebe	Land Mecklenburg-Vorpommern
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} N-Bilanzen Lysimeteruntersuchungen	LFB[4] LFA[7]	Land Mecklenburg-Vorpommern
Landwirtschaftliche Beratung	WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Dränagemessungen Lysimeteruntersuchungen Nährstoffbilanzen (DüV)	MLU-MV[1] LMS[5] LFB[4] Landwirtschaftsbetriebe	Land Mecklenburg-Vorpommern
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Dränagemessungen Lysimeteruntersuchungen N-Bilanzen	MLU-MV[1] LMS[5] LFB[4] Landwirtschaftsbetriebe	Land Mecklenburg-Vorpommern BUND EU
Berechnung regionalisierter Flächenbilanzen für Stickstoff und Phosphor auf landwirtschaftlichen Flächen	WRRL[3]	N-Flächenbilanzen auf Feldblockebene	Universität Rostock LFB[4] Institut biota GmbH	Land Mecklenburg-Vorpommern
Modellierung des Wasser- und Nährstoffhaushalts	WRRL[3]	Modellpaket GROWA-DENUZ-WEKU	LUNG[2] Forschungszentrum Jülich	Land Mecklenburg-Vorpommern
Ermittlung der Verweilzeiten des Sicker- und Grundwassers	WRRL[3]	Verweilzeiten des Sickerwassers	MLU-MV[1] LUNG[2] Forschungszentrum Jülich HydorConsult	Land Mecklenburg-Vorpommern

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Sondermessprogramm Dränabläufe	WRRL[3]	N-Flächenbilanzen Nährstofffracht im Dränwasser	LUNG[2] LMS[5] Universität Rostock	Land Mecklenburg-Vorpommern
Ermittlung des Stickstoffumsatzes im Grundwasserleiter (N_2-Argon-Methode)	WRRL[3]	Theoretischer Nitrateintrag an Grundwassermessstellen ohne Denitrifikation	MLU-MV[1] LUNG[2]	Land Mecklenburg-Vorpommern
Kooperation Lysimeter	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N-Auswaschung	BfUL[6] LFA[7] LfL[8] LfULG[9] LLG[10] LLH[11] TLL[12] UFZ[13]	Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern

[1]MLU-MV Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern

[2]LUNG Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern

[3]WRRL EG-Wasserrahmenrichtlinie

[4]LFB Stelle für landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung in Mecklenburg-Vorpommern

[5]LMS LMS Agrarberatungs GmbH

[6]BfUL Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen

[7]LFA Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

[8]LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

[9]LfULG Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

[10]LLG Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt

[11]LLH Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen

[12]TLL Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

[13]UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

3.6. Niedersachsen

3.6.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Die Aufgaben im Bereich der Düngegesetzgebung werden in Niedersachsen durch das Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz mit der ihr nachgeordneten Düngebehörde, welche Teil der Landwirtschaftskammer Niedersachsen ist, wahrgenommen. Die Düngebehörde ist mit der landesweiten Umsetzung der DüV, der Meldeverordnung (WDüngMeldPflV), der Düngemittelverordnung (DüMV), dem Abfallrecht sowie der Koordination landesweiter Aufgaben zum Niedersächsischen Wassergesetz beauftragt. Zudem obliegt der Düngebehörde die Prüfung des Vollzugs und die Weiterentwicklung und Anpassung der eingesetzten Überwachungsinstrumente (Jansen-Minßen 2017).

Die landwirtschaftlichen Betriebe in Niedersachsen sind im Rahmen der DüV verpflichtet einen Nährstoffvergleich in Form einer Feld-Stall-Bilanz mit Bezug zum Kalender-, Wirtschafts- oder Düngejahr zu erstellen und aufzubewahren. Weiterhin müssen die Betriebe Bodenuntersuchungsergebnisse, verwendete N_{min}-Richtwerte, die Nährstoffgehalte eingesetzter Düngemittel sowie die Düngebedarfsermittlung dokumentieren. Zudem muss unter bestimmten Voraussetzungen eine Stoffstrombilanz (Hoftorbilanz) entsprechend der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) erstellt und aufbewahrt werden (DüV 2017). Die Daten aus den Aufzeichnungen müssen vom Landwirt auf Verlangen vorgelegt, aufgrund bislang fehlender Rechtsgrundlagen für den Vollzug allerdings nicht in Form einer standardisierten Meldepflicht zur zentralen Datenerfassung an die Düngebehörde übermittelt werden. Daher sind die Daten derzeit nicht für ein flächendeckendes Monitoring nutzbar.

Die Düngeempfehlungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen werden anhand von Feldversuchen und dazugehörigen Monitoringmaßnahmen fortlaufend überarbeitet (BMUB 2017).

Die Ziele der WRRL werden in Niedersachsen maßgeblich durch den NLWKN im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz (MU) umgesetzt. Die WRRL wurde durch die Anpassung des Wasserhaushaltsgesetzes des Bundes (WHG) und des Niedersächsischen Wassergesetzes (NWG) in nationales Recht umgesetzt. Die Aufgaben umfassen die Bestandsaufnahme, die Entwicklung eines Monitorings sowie die Planung von Maßnahmen zur Gewässerbewirtschaftung. Ergänzend bietet das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (MU) den Landwirten die Teilnahme an freiwilligen Maßnahmen zur Verbesserung des landwirtschaftlichen Nährstoffmanagements an. In Niedersachsen befinden sich insgesamt 123 z.T. grenzüberschreitende Grundwasserkörper. Die Grundwasserkörper sind insbesondere in den Lockergesteinsgebieten verhältnismäßig groß und hydrogeologisch heterogen, so dass sogenannte Typflächen mit ähnlichen hydrogeologischen Eigenschaften für die Maßnahmenkulisse Nitratreduktion eingeteilt wurden. Auf dieser Differenzierung der Grundwasserkörper beruhen die Bewertung des chemischen Zustands und die Konzeption der Maßnahmen zur Nitratreduktion. Das Messsystem „WRRL-Güte“ des Gewässerüberwachungsprogramms Niedersachsen (GÜN) umfasst ein Überwachungsmessnetz mit 1.085 (Stand 2013) Grundwassermessstellen. Das Messnetz bezieht sich auf den oberen Grundwasserleiter mit vorwiegend flachen Grundwassermessstellen bis 30 m Tiefe und

dient als Grundlage für Maßnahmenplanung und Erfolgskontrolle im Rahmen der WRRL (Eden et al. 2017).

In der Zielkulisse Nitratreduktion wurde zur Umsetzung der WRRL in elf Gebieten Niedersachsens eine Gewässerschutzberatung zur Integration von geeigneten Maßnahmen etabliert. Die Beratungsmaßnahmen werden seit dem Jahr 2010 durch Fachbehörden und Ingenieurbüros durchgeführt und sind eng an der Trinkwasserschutzberatung orientiert. Zunächst konzentrierte sich die Beratungsaktivität vor allem auf regionstypische Modellbetriebe. Nach der Etablierung der Beratungsstrukturen wurde die einzelbetriebliche Beratung auf sogenannte „Beratungsbetriebe" ausgeweitet. Die Betriebsberatung erfasst die benötigten Daten zur Erfolgskontrolle der durchgeführten Maßnahmen und zielt inhaltlich vor allem auf die Reduzierung von N-Bilanzüberschüssen und Herbst-N_{min}-Werten ab. Des Weiteren werden z.B. Untersuchungen zum Frühjahrs-N_{min}, zur Bestimmung von Nährstoffgehalten in Wirtschaftsdüngern sowie Nitratcheck-Düngebedarfsschätzungen durchgeführt (Eden et al. 2017).

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Im ELER-Programm für Niedersachsen und Bremen (Programm zur Förderung der Entwicklung im ländlichen Raum in Niedersachsen und Bremen; PFEIL), welches auf Grundlage der Verordnung (EU) Nr. 1305/2013 (ELER) erarbeitet wurde, werden durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds, den Bund, die Länder Niedersachsen und Bremen sowie zugehöriger Kommunen Maßnahmen zur Gewässerschutzberatung in der Landwirtschaft für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und den Trinkwasserschutz finanziell gefördert. Im Rahmen dieser Beratungsmaßnahmen kann auch eine die Beratung begleitende Untersuchung von Gewässern, Böden und Pflanzen, u.a. auch zu Monitoringzwecken, gefördert werden. Die Verwaltung der ELER-Fördermittel obliegt dem Niedersächsischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Im Jahr 1992 wurde mit der Einführung der Wasserentnahmegebühr das Niedersächsische Kooperationsmodell, vorrangig mit dem Ziel der Verminderung von Nitrateinträgen in das Trinkwasser, eingerichtet (Quirin 2016). Die Aufgaben im Zusammenhang mit dem Kooperationsmodell werden durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) als nachgeordnete Behörde des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz (MU) koordiniert. Im Rahmen des Kooperationsmodells werden in den niedersächsischen Trinkwassergewinnungsgebieten gemeinsam mit der Landwirtschaft Grundwasserschutzmaßnahmen, vor allem beruhend auf sogenannten freiwilligen Vereinbarungen und einer Wasserschutzzusatzberatung, durchgeführt. Zusätzlich werden auch Modell- und Pilotvorhaben sowie „landesweite Aufgaben der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zum Trinkwasserschutz" gefördert (Quirin 2015). Die Projekte werden aus der Wasserentnahmegebühr vom Land Niedersachsen sowie durch Mittel der EU finanziert. Das Niedersächsische Kooperationsmodell umfasste im Jahre 2012 insgesamt 376 Trinkwassergewinnungsgebiete mit einer landwirtschaftlichen Nutzfläche von 309.699 ha. Die Verminderung von Nitrateinträgen in das Grundwasser soll mit Gewässerschutzmaßnahmen erreicht werden, welche in einem Schutzkonzept in Zusammenarbeit von Wasserversorgungsunternehmen und Landwirten unter Formulierung von Zielen und Erfolgsparametern zusammengeführt wurden. Im Jahr 2012 bestanden 74 Kooperationen zwischen Wasserversorgern und Landwirtschaftsbetrieben, für welche insgesamt 81 Schutzkonzepte erarbeitet

wurden (Quirin 2015). Die Schutzkonzepte müssen mindestens jeweils einen betriebsbezogenen Erfolgsparameter (z.B. Hoftorbilanzüberschuss), einen Erfolgsparameter aus dem Zonenmodell (z.B. Herbst-N_{min}-Gehalt) und einen durch die Maßnahmenumsetzung vorgegebenen Erfolgsparameter (mittlere Minderung der Herbst-N_{min}-Gehalte und der Stickstoffüberschüsse von Schlagbilanzen durch freiwillige Vereinbarungen) vorweisen (NLWKN 2014, Quirin 2016).

3.6.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.6.2.1. Nährstoffbericht Wirtschaftsdünger

In Niedersachsen erstellt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz jährlich einen Nährstoffbericht in Bezug auf die Verbringung von Wirtschaftsdüngern und Gärresten auf Grundlage der Daten aus dem Meldeprogramm Wirtschaftsdünger (LWK-NI 2017). Dabei werden auf regionaler Ebene Nährstoffsalden für N und P abgeschätzt. Als Datengrundlage dient der seit 1992 in Niedersachsen angewandte Qualifizierte Flächennachweis (QFN), der in Verfahren zur Baugenehmigung von Tierhaltungs- und Biogasanlagen zur Prognose von anfallenden Wirtschaftsdüngern und Gärresten sowie deren ordnungsgemäße Verwendung genutzt wird. Laut LWK-NI (2017) ist der QFN daher grundlegend dazu geeignet, die Nährstoffverwertung sowohl auf der Ebene eines einzelnen Betriebes als auch für ein Gebiet abzubilden. Als Grundlage für die Berechnung des QFN dienen die vorliegenden Daten zur landwirtschaftlich genutzten Fläche, den Anbauverhältnissen, Tierbeständen, Biogasanlagen und der Klärschlammverwertung sowie Richtwerten und Annahmen aus Gesetzen und Verordnungen des Landes Niedersachsen. Zudem fließen die Daten über die meldepflichtige Verbringung von Wirtschaftsdüngern und Gärresten innerhalb des Landes sowie zu Importen aus den Niederlanden und anderen Bundesländern mit ein. Die Berechnung der Nährstoffsalden erfolgt als Flächenbilanz gemäß Nährstoffvergleich der DüV. Bei den Berechnungen wird auch die über den Handel abgesetzte N-Menge aus Mineraldüngern auf Landesebene berücksichtigt. Die Ergebnisse werden mit der „N-Flächenbilanz Landwirtschaft“, welche im Rahmen des „Basis-Emissionsmonitorings“ vom LBEG berechnet wird, abgeglichen (LWK-NI 2017).

3.6.2.2. Basis-Emissionsmonitoring

Eine Abschätzung der Sickerwassergüte im Übergangsbereich von Wurzel- und Sickerwasserdränzone sowie der gebietsspezifisch erforderlichen Reduktion von Stickstoffbilanzüberschüssen wird in Niedersachsen flächendeckend durch das LBEG im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz nach einem landesweit standardisierten Verfahren auf der Grundlage von Flächenbilanzsalden vorgenommen und zusätzlich zu den Messwerten aus den Grundwassermessstellen zur Gefährdungsbeurteilung und Bewertung der Nitratbelastung gemäß WRRL verwendet (Schäfer et al. 2015).

Eingangsgrößen für die ermittelten Nitratkonzentrationen sind der N-Flächenbilanzsaldo auf Ebene der Gemeinden (Modell RAUMIS des Thünen-Instituts), die atmosphärische N-Deposition, die N-Immobilisierung und N-Mobilisierung im Boden, ATKIS-Landnutzungskarten, das Denitirifikationspotential des Bodens (DENUZ), die Verweilzeit des Sickerwassers im Boden (GROWA)

und der Gesamtabfluss (GROWA06). Der Stickstoffüberschuss bzw. der Stickstoffeintrag in den Boden wird als Summe aus Flächenbilanzsaldo und atmosphärischer Deposition unter Beachtung von N-Immobilisierung und N-Mobilisierung berechnet. Die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser wird unter Berücksichtigung der Sickerwassermenge und dem Umfang der Denitrifikation ermittelt. Die Stickstoffflächenbilanzsalden werden u.a. anhand von Daten der Amtlichen Statistik des Landesbetriebes für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen, des Statistischen Bundesamtes, Richtwerten der DüV, Faustzahlen von KTBL und Landwirtschaftskammer Niedersachsen berechnet (Schäfer et al. 2015).

3.6.2.3. Erfolgskontrolle bei Grundwasserschutzmaßnahmen

Mit dem Ziel die Wirksamkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen (landwirtschaftliche Beratung und Agrarumweltmaßnahmen) frühzeitig bewerten zu können und um die teils langen Fließzeiten des Sickerwassers bis zu den Grundwassermessstellen zu umgehen, wird die Erfolgskontrolle in niedersächsischen Trinkwasserkooperationen, der WRRL-Beratung und im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen anhand von Frühindikatoren und Methoden in Anlehnung an das Zonenmodell nach Drechsler (1992), welches den Weg des Wassers bis zur Grundwassergütemessstelle beschreibt, durchgeführt. Das Monitoring umfasst an der Bodenoberfläche Betriebs- und schlagbezogene N-Bilanzen (Hoftorbilanzen, N-Effizienz der Hoftorbilanz, Gesamtbetriebliche N-Verwertung, Feld-Stall-Bilanzen, N-Anrechnung von Wirtschaftsdüngern, N-Schlagbilanzen, N-Düngung nach Sollwertkonzept), in der Wurzelzone N_{min}-Messungen (Herbst-N_{min} und Frühjahrs-N_{min}) sowie Nitrat-Tiefenbohrungen in der Sickerwasser-Dränzone und Dränwassermessungen. Das in Niedersachsen praktizierte Wirkungsmonitoring schließt mit der Überprüfung der Nitratkonzentrationen des Wassers an den Grundwassergütemessstellen ab (Eden et al. 2017). Zur Eignung der eingesetzten Indikatoren beim schlag-, betriebs- oder gebietsweisen Nitrat-Monitoring liegen beim NLWKN umfangreiche Erfahrungen vor, die im Folgenden zusammengefasst werden.

<u>Stickstoff-Hoftorbilanzsalden</u>

Stickstoff-Hoftorbilanzsalden eignen sich nach NLWKN (2010) und Eden et al. (2017) sehr gut als Erfolgsindikator für die Prüfung der Wirksamkeit von Gewässerschutzmaßnahmen, wobei in Niedersachsen Netto-N-Hoftorbilanzen berechnet werden. Dabei werden die Entwicklung der Hoftorbilanzsalden im zeitlichen Verlauf, aber auch Vergleiche zwischen Modell- und nicht an einer Beratung teilnehmenden Betrieben betrachtet. Zur Bewertung der Entwicklung der Hoftorbilanzsalden werden nur Modellbetriebe mit langjährigen Datenreihen berücksichtigt. Die mittlere Hoftorbilanz aller Modellbetriebe wird unter Gewichtung der jeweils eingebrachten Flächenanteile ermittelt.

Innerhalb des Indikators N-Hoftorbilanz betrachtet und bewertet der NLWKN die Bilanzgröße „Mineralischer Stickstoffdüngerzukauf“ gesondert, da dieser Indikator in erheblichem Maße durch Beratungsmaßnahmen beeinflusst werden kann. Zusätzlich betrachtet der NLWKN die Stickstoffausbringung von Wirtschaftsdüngern. Dieser Indikator ist kein Bilanzparameter, kann nach Eden et al. (2017) aber als eine belastbare Größe zur Bewertung von Gewässerschutzmaßnahmen dienen.

Stickstoff-Effizienz der Hoftorbilanz

Ein weiterer Indikator, welcher beim NLWKN zur Erfolgskontrolle auf Betriebsebene eingesetzt wird, ist die N-Effizienz der Netto-Hoftorbilanz. Die Effizienz wird aus dem Verhältnis der N-Abfuhr durch pflanzliche und tierische Produkte und dem „N-Einsatz“ berechnet. Dabei wird der sog. „N-Einsatz“ aus der N-Zufuhr abzüglich der Wirtschaftsdüngerexporte und der gasförmigen Verluste ermittelt. Durch die Subtraktion der Wirtschaftsdüngerexporte und der gasförmigen Verluste auf der Seite der N-Zufuhr und die gleichzeitige Außerachtlassung dieser Größen auf Seite der N-Abfuhr kann die Produktion pflanzlicher und tierischer Produkte den eingesetzten Produktionsmitteln gegenübergestellt werden. Bei der klassischen Effizienzbetrachtung anhand der Verwendung der N-Zufuhr und N-Abfuhr kann durch die Berücksichtigung der Wirtschaftsdüngerexporte und der gasförmigen Verluste durch den Ex- und Import gleicher Mengen Wirtschaftsdünger die N-Effizienz künstlich erhöht werden (Eden et al. 2017).

Gesamtbetriebliche Stickstoffverwertung

Bei diesem gesamtbetrieblichen Indikator zur Charakterisierung der Stickstoffverwertung wird die gedüngte pflanzenverfügbare N-Menge der verwertbaren N-Menge gegenübergestellt. Die verwertbare N-Menge wird aus dem N-Sollwert abzüglich der mit Ernterückständen und Zwischenfrüchten auf der Fläche verbliebenen N-Menge ermittelt. Übersteigt die Düngung die verwertbare N-Menge, liegt ein Stickstoffdüngeüberschuss vor (Eden et al. 2017).

Stickstoff-Feld-Stall-Bilanzsalden

Bei der Erfolgskontrolle auf Betriebsebene werden in Niedersachsen parallel zu Hoftorbilanzsalden auch Feld-Stall-Bilanzsalden zur Quantifizierung von potentiellen N-Emissionen in die Umwelt verwendet. Eden et al. (2017) weisen allerdings darauf hin, dass die Qualität der Datengrundlage bei der Feld-Stall-Bilanz geringer ist aufgrund der Schätzung von Futter- und Grünlanderträgen sowie der Ermittlung des Wirtschaftsdüngeraufkommens anhand von Faustzahlen. Die Ergebnisse sind daher nicht reproduzierbar und für die Wirksamkeitsprüfung von Gewässerschutzmaßnahmen weniger geeignet als Hoftorbilanzsalden. Zudem weisen Feld-Stall-Bilanzen häufig niedrigere N-Überschüsse im Vergleich zu Netto-Hoftorbilanzen auf, obwohl die Ergebnisse beider Bilanzierungsformen auf demselben Niveau liegen müssten.

Stickstoffanrechnung von Wirtschaftsdüngern

Da ein Teil des in Wirtschaftsdüngern enthaltenen Stickstoffs organisch gebunden vorliegt oder über gasförmige Verluste entweichen kann, wird der Stickstoffgehalt in Abhängigkeit von Herkunft und Management nur zu einem gewissen Teil als düngewirksam angerechnet.

Auf Betriebsebene ermittelt der NLWKN die Anrechnung des Stickstoffs aus Wirtschaftsdüngern [%] aus dem Verhältnis des über Wirtschaftsdünger abgedeckten N-Düngebedarfs [kg N/ha] und der über Wirtschaftsdünger ausgebrachten N-Menge [kg N/ha]. Der über Wirtschaftsdünger abgedeckte N-

Düngebedarf wird aus der verwertbaren Stickstoffmenge [kg N/ha] abzüglich des Mineraldüngereinsatzes [kg N/ha] ermittelt (Eden et al. 2017).

Stickstoff-Schlagbilanzsalden

Zur Erfolgskontrolle auf Schlagebene werden in Niedersachsen Stickstoff-Schlagbilanzsalden ermittelt (Quirin 2015). Bei korrekter Erfassung der Bilanzdaten entsprechen dabei die für alle Schläge aufsummierten Schlagbilanzsalden dem Feld-Stall-Bilanzsaldo eines Betriebes (Eden et al. 2017). Zur Darstellung von zeitlichen Entwicklungen werden nur Schlagbilanzsalden von Modellbetrieben mit langjährigen Datenreihen verwendet, damit eine Verzerrung der Ergebnisse aufgrund von Schlägen unterschiedlicher Betriebe in Einzeljahren vermieden wird. Die Schlagbilanzsalden werden bei der Erfolgskontrolle auch zum Vergleich der N-Salden unterschiedlicher Kulturpflanzenarten verwendet (Eden et al. 2017). Direkte Rückschlüsse auf die Sickerwassergüte, die Nitratfrachten sowie die Herstellung von einzeljahresbezogenen Zusammenhängen zu Herbst-N_{min}-Werten sind nicht möglich, da die Pufferkapazität der Böden häufig vielfach höher liegt als die Stickstoffüberschüsse. Die Bilanzsalden geben daher nur einen Hinweis auf die potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser (NLWKN 2012a).

Stickstoffdüngung nach dem Sollwertkonzept

Vergleichbar zum Indikator Gesamtbetriebliche Stickstoffverwertung wird beim Indikator Stickstoffdüngung nach Sollwertkonzept die Abweichung der tatsächlich eingesetzten N-Düngermenge von der durch das N-Sollwertsystem vorgegebenen Düngermenge auf Schlagebene anhand von Schlagbilanzdaten erhoben. Dabei wird die N-Düngermenge, welche den eigentlichen Sollwert übersteigt oder unterbietet, anhand der Differenz zwischen der applizierten pflanzenwirksamen N-Düngemenge und dem N-Düngebedarf nach N-Sollwertkonzept ermittelt (Eden et al. 2017).

Herbst-N_{min}-Methode

Die Herbst-N_{min}-Methode wird in Niedersachsen bei Grundwasserschutzmaßnahmen zur Erfolgskontrolle im Bereich der Wurzelzone verwendet. Anhand der Methode können nach NLWKN (2012a) und Eden et al. (2017) Prognosen zur Verlagerung von Nitratfrachten in die Sickerwasser-Dränzone abgeleitet werden. Die Ermittlung der Nitratfrachten erfolgt bei einer Sickerwasser-Austauschrate < 1 indirekt und bei einer Austauschrate ≥ 1 direkt.

Die nötigen Voraussetzungen für ein zuverlässiges Nitrat-Monitoring mittels Herbst-N_{min}-Methode wurden vom NLWKN (2012a) wie nachfolgend beschrieben definiert:

Hinsichtlich der Auswahl geeigneter Standorte muss der Stickstoffhaushalt der Böden bewertet werden. Zum Wirkungsmonitoring einzelflächenbezogener Maßnahmen werden vorrangig N-Gleichgewichtsstandorte genutzt, während ein Gebietsmonitoring auch N-Quellen und N-Senken-Standorte flächengewichtet berücksichtigen muss. Bei N-Gleichgewichtsstandorten wird davon ausgegangen, dass sich vor allem die Bewirtschaftung auf die Höhe der Herbst-N_{min}-Werte auswirkt

und keine Überlagerung durch eine standortspezifische N-Dynamik stattfindet. Zudem empfiehlt der NLWKN beim Maßnahmenmonitoring eine Beprobungstiefe von 90 cm. Beim Monitoring auf N-Gleichgewichtsstandorten sollten daher möglichst nur Böden mit einer entsprechenden Tiefgründigkeit einbezogen werden. N-Quellen- oder N-Senkenstandorte eignen sich aufgrund der überlagernden N-Dynamik zwar nicht zur Bewertung von Grundwasserschutzmaßnahmen, können aber im Sinne einer Abschätzung bodenbürtiger Gefährdungs- oder Nitratabbaupotenziale unter Umständen zur korrekten Einschätzung der Nitrat-Belastungssituation in einem Gebiet beitragen.

Grundwasserbeeinflusste Standorte sollten einen mittleren Grundwasserstand von ≥ 90 cm unter Geländeoberfläche aufweisen. Dabei ist zu prüfen, ob bereits zur Probenahme aufgrund zeitweise erhöhter Grundwasserstände ein Nitratabbau durch Denitrifikation stattgefunden hat, woraus sich eine stark eingeschränkte Eignung des Standortes ableiten lässt. Auch bei Vorliegen von Stauwasserböden (Pseudogley und Stagnogley) ist mit einem erhöhten Denitrifikationspotential zu rechnen.

Um eine ausreichende Beprobbarkeit der Böden zu gewährleisten, sollte der standortspezifische Grobbodenanteil < 40 Vol.% sein. Die Umrechnung der Laborwerte auf kg N/ha führt zudem bei Verwendung der Standardlagerungsdichte von 1,4 bzw. 1,5 g cm^{-3} für skelettreiche Böden zu überhöhten Werten, so dass die Werte korrigiert werden müssen.

Der optimale Zeitpunkt für die Herbst-N_{min}-Beprobung ist erreicht, wenn die Mineralisation aufgrund kühlerer Temperaturen gering und gleichzeitig noch keine Sickerwasserverlagerung stattgefunden hat. Mit Hilfe einer Wasserhaushaltsmodellierung kann standortspezifisch der optimale Zeitpunkt ermittelt werden. In Niedersachsen steht dazu der „Infodienst Grundwasserschutz“ mit tagesaktuell berechneten Bodenwassergehalten in Abhängigkeit von Witterungsverlauf und Pflanzenentwicklung zur Verfügung. Dabei wird auch der Beginn des Sickerwasserflusses standortgenau abgeschätzt und Sickerwasserraten werden berechnet.

Auf Schlagebene hat sich in Niedersachsen für die Erhebung der Herbst-N_{min}-Werte die Festlegung sogenannter „N_{min}-Repräsentativparzellen“ mit einer Größe zwischen 2.400 und 8.000 m^2 anhand von Bodenübersichtskarten bewährt. Dadurch soll eine mögliche Ergebnisverschiebung durch Bodenunterschiede reduziert und die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Standorten verbessert werden.

Zur Interpretation der Herbst-N_{min}-Werte und für den Vergleich zwischen Klimaregionen und Jahren sollen nach NLWKN (2012a) möglichst auf Einzelgebietsebene Niederschlagssummen und mittlere Lufttemperaturen in monatlicher Auflösung für den Zeitraum ab Sommer bis zur Probenahme erhoben werden. Zudem wird empfohlen Ernte-N_{min}-Werte zum besseren Verständnis der Auswirkungen von Witterungseinflüssen auf die Höhe der Herbst-N_{min}-Werte zu erheben.

3.6.2.4. Erfahrungen zur Anwendung der Herbst-N_{min}-Methode beim Maßnahmenmonitoring

In der Praxis werden durch den NLWKN Herbst-N_{min}-Programme zumeist gleichzeitig sowohl für das Maßnahmen- als auch das Gebietsmonitoring genutzt, wobei hier für jede Zielkulisse spezifische Anforderungen an die Gestaltung der Programme gestellt werden (NLWKN 2012a).

Der beim Herbst-N_{min} gemessene Stickstoffgehalt stellt nur einen Bruchteil des Gesamtstickstoffgehaltes von Ackerböden dar, wohingegen ein wesentlich größerer Anteil in der organischen Substanz gebunden vorliegt. Dieser organisch gebundene Anteil kann in Abhängigkeit von Witterungs-, Bewirtschaftungs- und Standortbedingungen mineralisiert werden, so dass Bewirtschaftungsänderungen teilweise von der Mineralisierung überlagert werden können.

Die Ergebnisse zu schlagbezogenen Grundwasserschutzmaßnahmen sollten zur Bewertung gemittelt über mehrere Schläge betrachtet werden. Die Bewertung von Maßnahmen anhand von N_{min}-Werten erfolgt beim NLWKN vor allem durch den Vergleich von Schlägen mit und ohne umgesetzte Gewässerschutzmaßnahmen. Dabei werden nur Daten die innerhalb derselben Jahre gewonnen wurden miteinander verglichen.

Die Probennahme vor und nach der Etablierung einer Maßnahme auf demselben Schlag kann vor allem bei langfristigen Maßnahmen mit erhöhter Eingriffsintensität und einer unsicheren Erfolgserwartung erfolgen. Ein Vorteil dieser Beprobungsstrategie liegt in der Vermeidung von Ergebnisverzerrungen durch Standortunterschiede, wohingegen der Einfluss der Witterung beim Vergleich der Jahre besonders berücksichtigt werden muss.

Bei der Auswertung von Herbst-N_{min}-Untersuchungen zum Maßnahmenmonitoring sollte zusätzlich zum arithmetischen Mittelwert auch der Medianwert zur Abschwächung der Gewichtung extremer Einzelwerte und zur Verbesserung der Aussagekraft bei vergleichenden Untersuchungen berechnet werden (NLWKN 2012a).

3.6.2.5. Erfahrungen zur Anwendung der Herbst-N_{min}-Methode beim Gebiets-Monitoring

Beim Gebietsmonitoring anhand von Herbst-N_{min}-Programmen soll die Entwicklung der Nitratbelastung in der Wurzelzone eines bestimmten Gebiets im Vergleich zu einem Ausgangszustand bewertet werden (NLWKN 2012a). Dabei sollte ein gebietsrepräsentatives Monitoring auf einer breiten Datengrundlage aufgebaut werden, um die Mittelwertberechnung aus möglichen Faktorkombinationen (Standorte, Anbauverfahren und Gewässerschutzmaßnahmen) sowie flächengewichteten Betrachtungen durchführen zu können. Des Weiteren sollte auch das standortspezifische Nitratbelastungsrisiko berücksichtigt werden. Für ein gezieltes Gebietsmonitoring sind weiterhin potenzielle N-Quellen- und N-Senkenstandorte anhand von bodenkundlichen Standortkartierungen zu identifizieren. Aus den mittleren Herbst-N_{min}-Werten eines Gebietsmonitorings lassen sich nach Erfahrung des NLWKN (2012a) allerdings nur bedingt Rückschlüsse zu Nitratfrachten oder zur Sickerwassergüte ableiten.

Anders als beim Maßnahmenmonitoring auf Schlagebene ist laut NLWKN (2012a) die Verwendung des arithmetischen Mittelwertes beim Gebietsmonitoring gegenüber dem Median vorzuziehen. Zur Begründung wird darauf verwiesen, dass Extremwerte durch den Median nicht berücksichtigt werden, obgleich diese ebenso zur Nitratbelastung beitragen. Des Weiteren ergeben sich bei der Berechnung des Medians meist niedrigere Werte als bei der Berechnung des arithmetischen Mittelwertes, da der Wertebereich Ausreißer nur nach oben zulässt. Medianwerte können zudem nicht beliebig aus Gruppenmittelwerten aggregiert werden.

Bei der Auswertung sollen zunächst arithmetische Mittelwerte aus den Einzelwerten innerhalb einer Standort-Anbau-Maßnahmenkombination ohne eine Gewichtung der Flächengröße berechnet werden. Eine Gewichtung wäre nach Angabe des NLWKN (2012a) nur sinnvoll, wenn der Großteil der Flächen in der N_{min}-Erhebung berücksichtigt werden würde. Die errechneten Mittelwerte für einzelne Standort-Anbau-Maßnahmenkombinationen könnten dann im zweiten Schritt anhand folgender Formel für flächengewichtete Betrachtungen zusammengefasst werden:

$$Mittelwert = \frac{\Sigma(Mittelwert\ einer\ Faktorkombination\ x\ Fläche\ der\ Faktorkombination)}{\Sigma(Fläche\ der\ Faktorkombination)}$$

3.6.2.6. Prognose von Nitratkonzentrationen und Nitratfrachten

Die Prognose der Nitratkonzentration im Sickerwasser kann nach NLWKN (2012a) aus der Betrachtung von Herbst-N_{min}-Werten und jährlichem Sickerwasseraufkommen abgeleitet werden. Die Sickerwassermenge muss dabei mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellen geschätzt werden. Die eigentliche Nitratfracht ist die Nitratmenge, die mit dem Sickerwasser aus der Wurzelzone ausgewaschen wird und nachfolgender Formel berechnet werden kann:

wenn FK 0-90 > SWR: Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l] = N_{min} x 443/ FK 0-90

wenn SWR > FK 0-90: Nitratkonzentration im Sickerwasser [mg/l] = N_{min} x 443/ SWR

dabei beschreibt FK 0-90 die Feldkapazität im Bereich 0-90 cm Bodentiefe in mm und SWR die Sickerwasserrate innerhalb eines Jahres in mm. Der Faktor 443 beinhaltet die Kombination des Umrechnungsfaktors von N zu Nitrat (4,43).

Bei der Berechnung wird laut NLWKN (2012a) vereinfachend angenommen, dass sich das Nitrat mit dem Sickerwasserstrom bei Erreichen der Feldkapazität im Sinne einer gleichförmigen Abwärtsbewegung komplett in tiefere Bodenschichten verlagert.

Die Nitratfracht kann entsprechend der vorangestellten Formel wie folgt ermittelt werden:

wenn SWR ≥ FK 0-90, dann gilt N_{min} = Nitratfracht, und

wenn SWR < FK 0-90, dann gilt N_{min} x SWR/ FK 0-90, da nicht der gesamte N_{min} verlagert wird.

3.6.2.7. Validierung prognostizierter Nitratkonzentrationen und Nitratfrachten

Der NLWKN hat in einer dreijährigen Untersuchungsreihe in vier Wasserschutzgebieten, welche unterschiedliche Boden-Klima-Räume repräsentieren, den Zusammenhang zwischen prognostizierten und im Zuge von Nitrattiefbohrungen gemessenen Nitratkonzentrationen in der Sickerwasser-Dränzone ermittelt. Das Testgebiet Thülsfelde im Nordwesten von Niedersachsen ist durch maritimes Klima geprägt und weist vorwiegend Sandböden auf. Das in der Landesmitte gelegene, maritim-kontinental geprägte Gebiet Liebenau und das im Nordosten befindliche Gebiet Lüneburg sind ebenfalls durch stark sandige Böden geprägt, während im südlichen Untersuchungsgebiet Poppenburg schwere Lössböden bei kontinental-maritim geprägtem Klima vorliegen. Pro Gebiet wurden 30

repräsentative Schläge ausgewählt und jährlich Herbst-N_{min}-Werte erhoben. Im Jahr 2005 wurden im Herbst auf 34 der 120 Testflächen Nitrat-Tiefbohrungen zur Analyse der Sickerwassergüte durchgeführt. Die jährlichen Verlagerungsstrecken des Sickerwassers wurden unter Anwendung eines Bodenwasserhaushaltsmodells bestimmt.

Die Untersuchungen ergaben, dass bei den Sandstandorten im gesamten Untersuchungszeitraum eine Tiefenverlagerung der Nitratfrachten von 240 bis 340 cm stattgefunden hat, so dass sich anhand der Tiefbohrungen eine gute Grundlage zur Validierung der prognostizierten Sickerwassergüte ergab. Für das Lössgebiet hat sich der dreijährige Beobachtungszeitraum aufgrund zu geringer Sickerwasserraten infolge der hohen Feldkapazität hingegen als zu kurz erwiesen (NLWKN 2012a).

Bei der Auswertung wurden die Prognose- und Messwerte sowohl innerhalb von Einzeljahren als auch über den gesamten Drei-Jahres-Zeitraum miteinander verglichen. Dabei konnte für die Sandgebiete Thülsfelde und Liebenau eine „hohe“ Übereinstimmung ermittelt werden. Im Gebiet Lüneburg lagen die Prognosen rund 30% unter den Analyseergebnissen, was auf heterogene Standortverhältnisse, den Anbau von Kartoffeln und Gemüse mit schwer kalkulierbarer Mineralisation sowie auf den Einsatz von Feldberegnung mit entsprechend schwer zu berechnenden Bodenwassergehalten zurückgeführt wird. Im Lössgebiet war keine Übereinstimmung zwischen Schätz- und Messwerten gegeben. Dies wird auf eine ungleichmäßige Sickerwasserverlagerung infolge von Makroporenfluss, stark unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten des Sickerwassers innerhalb einzelner Poren sowie eine mögliche Denitrifikation innerhalb von Aggregaten zurückgeführt. In Lössgebieten ist demnach keine Validierung der Prognosen anhand von Tiefenprofilen möglich, da für diese Standorte die in den Berechnungen zugrunde gelegte Annahme einer gleichmäßigen Sickerwasserverlagerung nicht zutrifft und keine Tiefenzuordnung einzelner Sickerwasserjahrgänge erfolgen kann (NLWKN 2012a).

Allgemein wurde an den Untersuchungsstandorten beobachtet, dass sich die teils extremen Unterschiede bei den N_{min}-Gehalten zwischen den Jahren nur sehr abgeschwächt in den Tiefenprofile wiederfinden ließen. Es zeigte sich auch, dass sich Nitratfrachten einzelner Jahrgänge z.T. stark überlagern, wodurch eine Trennung zwischen Sickerwasserjahrgängen „nicht jahresscharf möglich“ war (NLWKN 2012a).

3.6.2.8. Weitere Verfahren zur Messung oder Prognose von Nitratkonzentrationen im Sickerwasser

Auf Einzelflächenebene können nach NLWKN (2012a) noch weitere Verfahren zur direkten oder indirekten Beurteilung von Nitratkonzentrationen und Nitratfrachten angewendet werden. Diese Methoden sind bei Auswahl und Betrachtung repräsentativer Einzelflächen durch Aggregieren auch auf Gebietsebene anwendbar.

Nitrat-Monitoring-Box

Das Nitrat-Monitoring-Box-Verfahren beruht auf dem Prinzip des Ionenaustausches und kann zur indirekten Bestimmung der Sickerwassergüte in der Sickerwasser-Dränzone und zur direkten Bestimmung von Nitratfrachten in sandigen Böden verwendet werden. Dabei werden 16 cm lange, mit

einem Sand-Austauscherharz-Gemisch gefüllte Kunststoffröhren in standortspezifischer Tiefe senkrecht in ungestörten Boden eingebaut. Das durchströmende Nitrat wird dabei aus der Bodenlösung entzogen und akkumuliert, so dass mit Hilfe einer laboranalytischen Bestimmung die Nitratauswaschung über einen bestimmten Zeitraum erfasst werden kann. Die Methode ist bislang nur für sandigen Boden erprobt und es liegen nur wenige Erfahrungen zur Eignung bei der Grundwasserüberwachung vor (NLWKN 2012a).

Saugkerzen und Lysimeter

Saugkerzen und Lysimeter eignen sich nach NLWKN (2012a) besonders als langfristige Monitoringverfahren, da bei stationären Anlagen die räumliche Variabilität weitgehend minimiert und die Beobachtung von Entwicklungen ausschließlich in Abhängigkeit von der Zeit möglich ist. Die Sickerwassergüte wird direkt gemessen und bei Unterdruck-Lysimetern ist zudem eine direkte Erfassung von Nitratfrachten möglich. Aufgrund des hohen Installations- und Wartungsaufwands eigenen sich Saugkerzen- und Lysimeteranlagen eher zur Untersuchung von besonderen Fragestellungen oder zur Kalibration von Untersuchungsmethoden (NLWKN 2012a).

Nitrat-Tiefenprofile

Nitrat-Tiefenprofile werden in Niedersachsen zur direkten Ermittlung von Nitratkonzentrationen in der Sickerwasser-Dränzone verwendet. Indirekt können auch Nitratfrachten bestimmt werden. Zudem kann anhand der schichtweisen Beprobung auf ausreichend tiefgründigen Standorten und unter Berücksichtigung von Staunässe und präferentiellem Fluss eine Bewertung zurückliegender Bewirtschaftungsjahre erfolgen. Die Methode ist vergleichsweise aufwendig und erfordert zur Erreichung statistisch belastbarer Ergebnisse einen ausreichend großen und repräsentativen Stichprobenumfang. Daher ist das Verfahren vorrangig zur Erfolgskontrolle von mehrjährigen Maßnahmen und nur bei deutlichen Effekten auf die Nitratkonzentration geeignet (NLWKN 2012a).

Grundwasseruntersuchungen

Grundwasseruntersuchungen sind laut NLWKN (2012a) zur Kontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen nur langfristig und bei Analyse des jeweils vorliegenden Grundwasseralters einsetzbar. Ein genauer Bezug zu bestimmten Herkunftsgebieten ist aufgrund der Strömung im Grundwasserleiter nicht möglich. Für die Beprobung von Einzelflächen können mobile Verfahren, welche bis maximal 30 cm unter der Grundwasseroberfläche ansetzen eingesetzt werden. Des Weiteren kann in Gebieten mit einheitlicher Bewirtschaftung eine Beprobung von flachen Grundwassermessstellen ein Nitrat-Monitoring ermöglichen (NLWKN 2012a).

3.6.2.9. Bestimmung der Denitrifikation im Grundwasser

Im Modell- und Pilotvorhaben „Messung des Exzess-N_2 im Grundwasser mit der N_2/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz“ sollten in den Jahren 2009 bis 2012 die Grundlagen für die Einführung der N_2/Ar-Methode in die wasserwirtschaftliche Praxis erarbeitet werden (NLWKN 2012b, Tabelle 6). Ziel des vom Wasserverband Garbsen-Neustadt am Rübenberge geförderten Projektes unter Beteiligung der Stadtwerke Wolfsburg GmbH, dem LBEG, der Georg-August-Universität Göttingen, dem NLWKN sowie dem Thünen-Institut war zunächst die Validierung der Methode hinsichtlich der Quantifizierung tatsächlicher Nitratimmissionen. Die Methode sollte zudem einen Beitrag zur Erfolgskontrolle von Grundwasserschutzmaßnahmen sowie zur innergebietlichen und landesweiten Prioritätensetzung leisten und Informationen über den standortspezifischen Nitratabbau in Abhängigkeit von unterschiedlichen Grundwasserleitern geben.

Bei der Validierung zeigte sich, dass die N_2/Ar-Methode unter Berücksichtigung der natürlichen Variabilität von Grundwassermessungen reproduzierbare und plausible Daten liefern kann. In Abhängigkeit von der Nachfrage wird die Etablierung der Methode in der allgemeinen Laborpraxis als möglich eingestuft. Die Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass ein Maßnahmenmonitoring anhand von Grundwasseruntersuchungen in solchen Gebieten, die durch Denitrifikation beeinflusst sind, nicht anhand des Parameters Nitrat durchgeführt werden kann.

Um Grundwasseruntersuchungen als Indikator verwenden zu können, müssten laut NLWKN (2012b) daher auch N_2/Ar-Untersuchungen in ein entsprechendes Monitoring-Konzept integriert werden. Dadurch können auch im Sinne der Identifizierung von stark belasteten Gebieten (Prioritätensetzung) Bereiche mit hohen Nitrateinträgen innerhalb von reduzierenden Grundwasserleitern identifiziert werden. Zudem wird auf die Möglichkeit verwiesen, über die quantitative Ermittlung der Denitrifikation den Anteil des freigesetzten Sulfates aus der Nitratreduktion zu ermitteln.

3.6.2.10. Modell- und Pilotvorhaben Belm-Nettetal

Im durch das Land Niedersachsen geförderten Modell- und Pilotvorhaben „Ermittlung von Grundlagen für die Umsetzung ordnungsrechtlicher Stickstoffdüngungsbeschränkungen am Beispiel des zukünftigen Wasserschutzgebietes Belm-Nettetal im Landkreis Osnabrück“ sollen die Effekte einer reduzierten Stickstoffdüngung in 4 Modellbetrieben sowie in Exaktversuchen mit Saugkerzenanlagen untersucht werden. Projektbeteiligt sind das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, der NLWKN, die LWK-NI, die Hochschule Osnabrück, die Gemeinde Belm und Landwirtschaftsbetriebe. Dabei wird in den Ackerkulturen Getreide und Raps der N-Sollwert um 10% und bei Mais um 20% reduziert. Das Gebiet Belm-Nette im Landkreis Osnabrück weist hohe Nitratgehalte im Rohwasser auf und wird als Festgesteinsgebiet mit hoher Auswaschungsgefährdung charakterisiert. Ziel des Projektes ist unter anderem die Methodenentwicklung für die Überprüfung der Wirksamkeit von Stickstoffreduktionsmaßnamen in der Wasserschutzgebietsverordnung Belm-Nettetal und die Bewertung der Übertragbarkeit der Erkenntnisse insbesondere auf andere Wasserschutzgebiete in Festgesteinsregionen. Das Projekt ist im Januar 2016 gestartet und läuft noch bis zum Oktober 2019.

3.6.2.11. Sickerwasseruntersuchungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen führt im Rahmen landesweiter Aufgaben im kooperativen Trinkwasserschutz finanziert durch die Wasserentnahmegebühr Wasserschutzversuche mit dem Ziel der Senkung von Nitratimmisionen zur Weiterentwicklung von Wasserschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft durch. Neben mehrjährigen Feldversuchen und ergänzenden N_{min}-Probenahmen werden auch Sickerwasseruntersuchungen in Kooperation mit dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Sickerwasseranalysen werden auch für das landesweite Emissionsmonitoring verwendet. Die Sickerwasseruntersuchungen erfolgen an mehreren repräsentativ ausgewählten Standorten in Niedersachsen mit jeweils ortsspezifischen Fragestellungen (LWK-NI 2016, LBEG 2018).

Zur Erfassung des Wasser- und Stickstoffhaushalts werden an den Standorten bodenhydrologisch-meteorologische Messstationen, Saugsondenanlagen und/oder Lysimeter verwendet.

Am Standort Hohenzethen im Landkreis Uelzen wurde von 2001 bis 2013 in einem Dauerversuch der Einfluss einer gestaffelten N-Düngung kombiniert mit einer Energiepflanzenfruchtfolge begleitet von Sickerwasseranalysen untersucht. Dabei wurden auch die N-Salden sowie der Frühjahrs-, Ernte- und Herbst-N_{min}-Wert erfasst. Der Herbst-N_{min} wurde beginnend mit der Grundwasserneubildung wiederholt nach jeweils 60 mm Niederschlag bis zum Frühjahr in 0-90 cm Bodentiefe erfasst (LWK-NI 2014).

In Thülsfelde (Landkreis Cloppenburg) wird seit 1995 eine Saugkerzenanlage zur Analyse der Auswirkungen einer reduzierten und überhöhten N-Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser betrieben. Die Bodenart ist als Sand charakterisiert.

Am ebenfalls stark sandigen Standort Wehnen (Landkreis Ammerland) werden zwei Saugkerzenanlagen seit 2012 bzw. 2014 zur Untersuchung der Auswirkungen von Zwischenfrüchten und einer langjährigen organischen Düngung auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalten.

Die Saugkerzenanlage am Standort Hamerstorf (Landkreis Uelzen) wurde 2014 in Nachfolge der Versuchsreihen am Standort Hohenzethen angelegt. In Hamerstorf werden die Effekte von unterschiedlichen Fruchtfolgen und N-Düngesystemen auf die Sickerwasserqualität untersucht (LWK-NI 2016).

Zur Untersuchung der Effekte von Fruchtfolgen oder einer langjährig reduzierten N-Düngung auf die Nitratverlagerung sind laut LWK-NI (2016) Versuche mit einer Laufzeit von rund 10 Jahren erforderlich.

Zur Berechnung von Nitratfrachten anhand der an den Standorten gemessenen Nitratkonzentrationen werden vom LBEG die täglichen Sickerwassermengen über ein Bodenwasserhaushaltsmodell ermittelt und zu jährlichen Sickerwasserraten summiert. Die Sickerwassersammelflaschen der Saugkerzenanalagen werden 14-tägig geleert, so dass häufig eine Mischprobe für diesen Gesamtzeitraum entsteht und eine lineare Interpolation nicht möglich ist. Somit verwendet das LBEG eine stufenweise Interpolation und die am Probenahmetermin gemessene Nitratkonzentration wird für alle Tage bis zur vorangegangenen Probenahme angenommen. Die interpolierten Daten werden zur Berechnung von Nitratfrachten sowie mittleren Nitratkonzentrationen im Sickerwasser verwendet. Die Nitratfrachten werden auf Tagesbasis aus den modellierten Sickerwassermengen und den interpolierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser berechnet. Die mittlere jahresbezogene

Nitratkonzentration im Sickerwasser wird aus dem Quotienten der jährlichen Nitratfracht und der jährlichen Sickerwasserrate ermittelt. Zur Bewertung ganzer Fruchtfolgen hinsichtlich der Nitratbelastung des Sickerwassers wird der Mittelwert für die Nitratfrachten bzw. die Nitratkonzentrationen über die betreffenden Auswaschungsperioden gebildet (LBEG 2018).

Ermittlung des Zusammenhangs zwischen N-Bilanzsalden und Nitratfrachten

Für den vorliegenden Untersuchungszeitraum konnte keine gute Übereinstimmung von Brutto-N-Bilanzsalden und Nitratfrachten festgestellt werden. Dies wird darauf zurückgeführt, dass sich starke Änderungen im Stickstoffvorrat des Bodens durch die reduzierte N-Düngung und den Zwischenfruchtanbau ergeben haben und es noch mehrere Jahre bis zur Einstellung eines Gleichgewichtes bedarf. Es wird damit gerechnet, dass sich mit fortlaufender Dauer der Versuche eine deutliche Annäherung zwischen den Ergebnissen der N-Bilanzierung und den ermittelten Nitratfrachten ergeben wird (LBEG 2018).

Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Herbst-N_{min}-Werten und Nitratfrachten

Der Abgleich von Herbst-N_{min}-Werten mit den in den Saugkerzenanlagen ermittelten Nitratfrachten am Standort Wehnen auf Sandboden ergab bei Betrachtung der Auswaschungsperioden des Zeitraums 2012/2013 bis 2016/2017, dass die Daten in Relation zueinander insgesamt sehr ähnlich ausfielen. Die N_{min}-Werte erwiesen sich den vorliegenden Untersuchungen zur Folge als hinreichend sensitiv, um die Unterschiede zwischen den Dünge- und Zwischenfruchtvarianten abzubilden (LBEG 2018).

In einem ähnlichen Vergleich an den Sand-Standorten Thülsfelde (1998-2014) und Wehnen (2012-2014) wurde ebenfalls gezeigt, dass ein deutlicher Zusammenhang zwischen Herbst-N_{min}-Werten und Nitratfrachten besteht und somit hohe N_{min}-Werte im Herbst wahrscheinlich auch zu hohen Nitratbelastungen im Sickerwasser führen (LWK-NI 2016).

3.6.2.12. AGRUM-Modellverbund

Im Rahmen des AGRUM-Niedersachsen-Projektes unter Finanzierung durch das Land Niedersachsen und unter Beteiligung des Thünen-Instituts, des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei sowie des Forschungszentrums Jülich wurde untersucht, ob wie und wo die Ziele der WRRL bis zum Ende des 2. Bewirtschaftungszeitraums im Jahre 2021 erreicht werden können. Dabei wurden unter anderem die diffusen Einträge von Stickstoff und Phosphor aus der Landwirtschaft für das Basisjahr 2007 quantifiziert und eine Prognose der Grundwasserbelastung im Jahr 2021 entwickelt. Aus den Berechnungen sollten die erforderlichen Reduktionsmengen zur Erreichung der Ziele der WRRL sowie das Potential von Agrarumweltmaßnahmen mit Blick auf Umfang und Kosten abgeschätzt werden. Am Projekt beteiligt waren das Thünen-Institut, das Forschungszentrum Jülich sowie das Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei. Der AGRUM-Modellverbund basiert auf dem regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystem RAUMIS, dem Wasserhaushaltsmodell GROWA, den Stickstofftransportmodellen DENUZ/WEKU, dem Phosphormodell MEPhos und dem Nährstoffeintragsmodell MONERIS. Das Modell RAUMIS wurde zur Ermittlung der

Nährstoffbilanzüberschüsse für Stickstoff und Phosphor als Grundlage der Berechnung der diffusen Nährstoffeinträge verwendet. Die diffusen Stickstoffeinträge wurden mit dem Paket GROWA/DENUZ/WEKU abgeschätzt. Die Validierung der Modelle erfolgte anhand von langjährigen Monitoring-Daten. Zur Berechnung der maximal zulässigen N-Bilanzüberschüsse, welche zum Erreichen der Vorgaben der WRRL erforderlich wären, wurde die installierte Modellkette entsprechend rückwärts gerechnet (Ackermann et al. 2015).

In einem Vergleich der modellierten Daten mit gemessenen langjährigen Nährstofffrachten von 73 Messstellen in Oberflächengewässern zeigte sich für Stickstoff eine mittlere Abweichung von 26 % bei einem Bestimmtheitsmaß von r^2=0,96. Unter Berücksichtigung der Größe und Heterogenität des Untersuchungsgebietes, leiten Ackermann et al. (2015) daraus eine relativ hohe Genauigkeit des Modellverbundes ab. Maßnahmen zur Erreichung der Gewässerschutzziele der WRRL ließen sich zudem aufgrund der flächen- und eintragspfaddifferenzierten Betrachtungsweise gezielt bewerten und entwickeln.

Tab. 6: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Niedersachsen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	ML[1] Düngebehörde LWK-NI[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Niedersachsen
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	ML[1] Düngebehörde LWK-NI[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Niedersachsen
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[6]	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} Spät-Frühjahrs-N_{min} N-Bilanzen Lysimeteruntersuchungen	LWK-NI[2]	Land Niedersachsen
Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger	Nitratrichtlinie WRRL[6]	N-Flächenbilanz Meldeverordnung	ML[1] LWK-NI[2] LBEG[3] NLWKN[4] 3N-Kompetenzzentrum Niedersachsen	Land Niedersachsen
Basis-Emissionsmonitoring	WRRL[6]	N-Flächenbilanz Sickerwassergüte	LBEG[3] Thünen-Institut Forschungszentrum Jülich	Land Niedersachsen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Landwirtschaftliche Beratung	Trinkwasserschutz WRRL[6]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Dränagemessungen Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Lysimeter Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen N-Effizienz Hoftorbilanz Gesamtbetriebliche N-Verwertung Abweichung vom N_{min}-Sollwert N-Anrechnung in Wirtschaftsdüngern	MU[5] NLWKN[4] Landwirtschaftsbetriebe Beratungsinstitutionen	Land Niedersachsen Bund
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz (PFEIL)	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[6]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Dränagemessungen Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Lysimeter Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen N-Effizienz Hoftorbilanz Gesamtbetriebliche N-Verwertung Abweichung vom N_{min}-Sollwert N-Anrechnung in Wirtschaftsdüngern	MU[5] LWK-NI[2] NLWKN[4] Landwirtschaftsbetriebe Beratungsinstitutionen	Kommunen Land Niedersachsen BUND EU
Sickerwasseruntersuchungen in Wasserschutzversuchen	Trinkwasserschutz Emissionsmonitoring	Herbst-N_{min} Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Saugkerzenanlagen N-Bilanzen	LWK-NI[2] LBEG[3]	Land Niedersachsen
Versuchsreihen zu grundwasser-schutzorientierten Wirtschaftsweisen	Nitratrichtlinie WRRL[6]	N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen Sickerwasseruntersuchungen	LWK-NI[2]	Land Niedersachsen
Bestimmung der Denitrifikation im Grundwasser	Trinkwasserschutz WRRL[6] Nitratrichtlinie	Grundwassermessung	Stadtwerke Wolfsburg GmbH & Co. KG LBEG[3]	Wasserverband Garbsen-Neustadt am Rübenberge

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
			Georg-August-Universität Göttingen NLWKN[4] Thünen-Institut	
Modell- und Pilotvorhaben Belm-Nettetal	Trinkwasserschutz	Herbst-N_{min} Frühjahrs-N_{min} Saugkerzenanlage Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen	MU[5] Gemeinde Belm Hochschule Osnabrück Landwirtschaft LWK-NI[2] NLWKN[4]	Land Niedersachsen
AGRUM-Modellverbund	WRRL[6]	Verbund der Modelle RAUMIS, GROWA, DENUZ, WEKU, MEPhos, MONERIS	Thünen-Institut Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Forschungszentrum Jülich	Land Niedersachsen

[1]ML Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

[2]LWK-NI Landwirtschaftskammer Niedersachsen

[3]LBEG Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

[4]NLWKN Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

[5]MU Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz

[6]WRRL EG-Wasserrahmenrichtlinie

3.7. Nordrhein-Westfalen

3.7.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MULNV) hat die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK-NRW) mit der landesweiten Umsetzung des Düngegesetzes (DünG), der Düngemittelverordnung (DüMV) und der Düngeverordnung (DüV) beauftragt. Seit Anfang des Jahres 2014 müssen landwirtschaftliche Betriebe im Rahmen der Wirtschaftsdüngernachweisverordnung (WDüngNachwV), welche in Nordrhein-Westfalen auf Grundlage der übergeordneten Verbringungsverordnung (WDüngV) des Bundes erlassen wurde, die Inverkehrbringung und überbetriebliche Verwertung von Wirtschaftsdüngern inklusive der jeweiligen Nährstoffgehalte an eine zentrale Datenbank (Meldeprogramm Wirtschaftsdünger NRW) bei der LWK-NRW melden. In diesem Zusammenhang werden auch die Nährstoffimporte aus den benachbarten Niederlanden erfasst (BMUB 2017, LWK-NRW 2018a).

Im Rahmen der DüV hat die LWK-NRW den Nitratdienst NRW mit einem landesweiten Beprobungsnetz von 75 landwirtschaftlichen Flächen eingerichtet. Der Nitratdienst führt monatliche N_{min}-Untersuchungen durch und veröffentlicht die aufbereiteten und interpretierten Daten als N_{min}-Richtwerte und Düngeempfehlungen. Die LWK-NRW stellt den landwirtschaftlichen Betrieben ein Düngeplanungsprogramm zur Düngebedarfsermittlung gemäß novellierter DüV zur Verfügung. Zur Erstellung von Nährstoffvergleichen nach DüV bietet die LWK-NRW zudem das Programm Nährstoffvergleich NRW. Im Zeitraum 2012-2015 hat die LWK-NRW insgesamt 5.500 Nährstoffvergleiche (rund 16 % der landwirtschaftlichen Betriebe in NRW) ordnungsrechtlich kontrolliert (BMUB 2017, LWK-NRW 2018a).

Das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV) hat die Landwirtschaftskammer NRW zunächst bis zum 31.12.2018 damit beauftragt, im Rahmen von Beratungsmaßnahmen zur Umsetzung der WRRL beizutragen (LWK-NRW 2011, Alscher et al. 2014, 2015, 2016). Dazu wurde von der Landwirtschaftskammer NRW im Jahr 2009 das „Beratungskonzept Wasserrahmenrichtlinie“ zur Entwicklung wirksamer Maßnahmen u.a. zur Minderung von landwirtschaftlich und gartenbaulich bedingten Nährstoffeinträgen in Grund- und Oberflächengewässer erstellt (LWK-NRW 2011). Das Beratungskonzept und die darin entwickelten Maßnahmen werden unter Einbeziehung von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betrieben und Berufsverbänden, Wasserbehörden, Wasserversorgern, Umweltverbänden, dem MULNV sowie dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) fortlaufend überarbeitet. Neben der „Grundberatung“ und der „Regionalberatung“ (zusammen 12.000 Betriebe), welche vor allem auf die generelle Sensibilisierung und Information abzielen, wird in dem dreistufigen Beratungskonzept bei der „Intensivberatung“ (1.540 Betriebe) eine betriebsindividuelle und schlagspezifische Beratung - vergleichbar mit der einzelbetrieblichen Beratung in Trinkwasserkooperationen - durchgeführt (LWK-NRW 2011 und Alscher et al. 2015).

Nach LWK-NRW (2011) lassen sich in Abhängigkeit von geologischen, hydrogeologischen, klimatischen und naturräumlichen Gegebenheiten Erfolge von Maßnahmen nur bedingt im Grundwasser messen. Daher soll die Effizienz von Maßnahmen (Erfolgsmonitoring) bereits vor der Grundwassermessstelle

und standortbezogen bewertet werden. Dazu wurde in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2010 eine Arbeitsgruppe zur Entwicklung des Konzeptes „Effizienzkontrolle“ mit Vertreterinnen und Vertretern von Wasserversorgern und -behörden sowie landwirtschaftlichen Akteuren und der LWK-NRW etabliert.

Das Erfolgsmonitoring wird in Nordrhein-Westfalen auf der Ebene von Modellbetrieben, Betrieben sowie in der Fläche anhand von Effizienzparametern basierend auf einem Arbeitspapier der LWK-NRW (Apel et al. 2011), welches sich an den Erfahrungen aus den Trinkwasserschutzkooperationen sowie einem Merkblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) (DWA 2013) orientiert, durchgeführt. Dabei erfolgt die Effizienzbetrachtung sowohl anhand statistischer Maßzahlen, als auch durch rechnerisch kalkulatorische und stofflich-analytische Indikatoren (Alscher et al. 2017).

Als statistische Erfolgsparameter werden die Akzeptanz von Beratung und Förderung (Agrarumweltmaßnahmen) sowie die Annahme und Bewertung von Informationsveranstaltungen herangezogen. Die Berechnung von Feld-Stall- und vereinzelt auch Hoftorbilanzsalden dient zur Identifizierung von Betrieben mit Beratungsbedarf und zur Abbildung des mehrjährigen betrieblichen Nährstoffmanagements. Als stofflich-analytische Erfolgsparameter werden die Herbst-N_{min}-Methode, Saugsonden, bodenhydrologische Messplätze, N_{min}-Tiefenprofile, Messungen an der Grundwasseroberfläche, Grundwassersondierungen sowie die Auswertung von Rohwasserdaten angewendet. Nach LWK-NRW (2011) ist auch eine sukzessive Einführung von Messungen im Drän- und Grundwasser geplant. Des Weiteren sollen zur Bewertung von Maßnahmen Modelle basierend auf Messdaten eingesetzt werden. Zentrales Element des Nitrat-Monitorings ist ein landesweites Netz mit 31 Modellbetrieben.

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Seit 1989 bestehen in Nordrhein-Westfalen freiwillige Kooperationen zum Schutz des Trinkwassers zwischen Landwirten und Wasserversorgungsunternehmen. Die Finanzierung erfolgt durch die Wasserversorgungsunternehmen auf Grundlage des Wasserentnahmeentgeltgesetzes. Basis ist ein Programm, welches gemeinsam seitens der Landesregierung, der Landwirtschaftskammern sowie Verbänden der Land- und Wasserwirtschaft und des Gartenbaus vereinbart worden ist und die Rahmenbedingungen der Wasserschutzkooperationen in den Trinkwasserschutzgebieten regelt. Derzeit bestehen in Nordrhein-Westfalen 114 Wasserschutzkooperationen unter Beteiligung von 11.600 Landwirtschafts- und Gartenbaubetrieben sowie 160 Wasserversorgungsunternehmen. Die Kooperationen werden durch Berater der Landwirtschaftskammer NRW betreut und sollen unabhängig von der WRRL fortbestehen bzw. zum Erreichen der WRRL-Ziele beitragen (LWK-NRW 2018b). In den Kooperationen werden die landwirtschaftlichen Betriebe regelmäßig anhand von Salden zu betrieblichen (Nährstoffvergleich nach DüV und Hoftorbilanz) und schlagspezifischen Nährstoffbilanzen in differenzierte Beratungskonzepte (Basis- oder Intensivberatung) eingeteilt. Bei der Intensivberatung werden zur Bestimmung des Vorgehens zusätzlich betriebsspezifische N_{min}-Messungen durchgeführt und hydrogeologische Daten herangezogen.

Die Wasserschutzberatung in Nordrhein-Westfalen konzentriert sich vor allem auf die Planung und Optimierung des Düngemanagements. Die Erfolge der durchgeführten Maßnahmen werden über N_{min}-Untersuchungen (Ernte-N_{min}, Herbst-N_{min}), die Auswertung von Nährstoffvergleichen auf betrieblicher,

flächen- und kulturartenspezifischer Ebene sowie über die Untersuchung der Sickerwasserqualität in der Sickerwasserdränzone und dem Abgleich mit Stickstoffbilanzsalden kontrolliert.

In Nordrhein-Westfalen wurde zur Umsetzung der Förderung über den „Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des Ländlichen Raums“ (ELER) das landeseigene Programm „NRW-Programm Ländlicher Raum 2014-2020“ mit Agrarumweltmaßnahmen, welche u.a. auch im Bereich Gewässer- und Grundwasserschutz agieren, entwickelt (MULNV 2018a). Die Begleitung und fortlaufende Bewertung der Agrarumweltmaßnahmen in den Landesförderprogrammen findet auf Landesebene statt und wird durch die LWK-NRW durchgeführt. Die LWK-NRW übernimmt dabei die Beratung zu Fördermaßnahmen und unterstützt bei der Antragsstellung, der Bewilligung und Abwicklung. Die Wirksamkeit von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung wird u.a. in Demonstrations- und Exaktversuchen durch Nährstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen analysiert (Kalthoff et al. 2017, MULNV 2018b).

3.7.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.7.2.1. Modellbetriebe

In Nordrhein-Westfalen sind seit dem Jahr 2014 zur Überprüfung von Wirksamkeit und Effizienz sowie zur Demonstration von gewässerschonenden landwirtschaftlichen Maßnahmen im Rahmen der WRRL landesweit 31 Modellbetriebe in Gebieten mit nitratbelasteten Grundwasserkörpern eingerichtet worden (Alscher et al. 2015). Die Betriebe sollen die Maßnahmen zum Gewässerschutz in Zusammenarbeit mit der Beratung gemäß einer unterzeichneten Rahmenvereinbarung umsetzen und stellen der LWK-NRW Daten zur Verfügung. Die konventionell oder ökologisch wirtschaftenden Modellbetriebe repräsentieren die Betriebsformen Ackerbau (6), Futterbau (2), Veredlung (11), Gemischt (4), Biogas (5), Gemüse- (4) und Gartenbau (1).

Die Flächen der Modellbetriebe wurden zu Beginn hinsichtlich Bodenbeschaffenheit, Leitfähigkeit, Bodenart, pH-Wert, Grundnährstoffversorgung und Humusgehalt untersucht. Für alle Betriebe wurden einheitliche Betriebsspiegel erhoben und die Ausgangssituation mit Hilfe von Feld-Stall- und Hoftorbilanzen erfasst (Alscher et al. 2015).

Die Evaluierung der grundwasserschonenden Maßnahmen auf den Betrieben erfolgt überwiegend über Hoftor-, Feld-Stall-, Schlagbilanzsalden sowie N_{min}-Untersuchungen. Mittlerweile wurden zudem auch Saugsondenmessungen etabliert (Alscher et al. 2017) und Nitrattiefenprofile ausgewertet (Alscher et al. 2016). Zu den gewässerschonenden Maßnahmen zählen u.a. Zwischenfruchtvarianten, Strip-Till-Verfahren oder reduzierte Düngeintensitäten (Alscher et al. 2015, 2016, 2017).

<u>Nitrat-Tiefbohrungen</u>

Im Zeitraum März/April 2015 wurden Nitrat-Tiefbohrungen durch den Geologischen Landesdienst NRW auf jeweils einer Modellbetriebsfläche der sechs Modellbetriebsregionen durchgeführt und mit den Werten einer zweiten Bohrung im Zeitraum September/Oktober 2015 verglichen (Alscher et al. 2016). Dabei wurde im Bereich von 0-90 cm Bodentiefe in Tiefenabschnitten von 30 cm entsprechend der N_{min}-Beprobung und ab 1 m Tiefe in Abschnitten von 50 cm Bodenproben entnommen. Die

maximalen Beprobungstiefen reichten von 7 bis 18 m. Im Vergleich der beiden Beprobungen zeigte sich, dass vereinzelt Nitratfrachten in Richtung Grundwasser verlagert wurden. Unterhalb der obersten Grundwasserschicht konnte laut Alscher et al. (2016) zudem keine flächenscharfe Zuordnung der Nitratfrachten erfolgen. Die Nitrat-Tiefbohrungen sollen alle 2 bis 3 Jahre wiederholt werden.

Hoftor- und Feld-Stall-Bilanzen

Zur Beschreibung der Ausgangssituation auf den Modellbetrieben werden Hoftor- und Feld-Stall-Bilanzen nach Wirtschaftsjahr erstellt. Die Bilanzen werden jährlich zur Erfolgskontrolle für das Wirtschaftsjahr fortgeschrieben. Dabei zeigt sich, dass zur Beschreibung der Ausgangssituation auf den Betrieben ein mehrjähriger Durchschnitt insbesondere mit Blick auf die Hoftorbilanzen betrachtet werden muss. Vor allem Betriebe mit einem hohen Anteil organischer Düngemittel und Leguminosenanbau sollten aufgrund der sukzessiven N-Freisetzung und der langfristigen Düngeplanung nicht anhand einzelner Jahre beurteilt werden. Der Vergleich der Hoftor- und Feld-Stall-Bilanzsalden ergab bei Ackerbaubetrieben geringe Unterschiede, während die Hoftorbilanzsalden bei Futterbau- und Veredlungsbetrieben aufgrund einer möglichen Überschätzung innerbetrieblicher Ernteerträge (Grünland und Ackerfutterbau) und einem hohen Anteil organischer Düngemittel die anhand von Feld-Stall-Bilanzen berechneten Nährstoffüberhänge deutlich übertrafen (Alscher et al. 2016).

3.7.2.2. WRRL-Referenzflächen und Referenzflächen-Viewer

Der „Nitratdienst“ der LWK-NRW erhebt monatlich auf 75 Referenzflächen aus dem Intensivberatungs-Programm die N-min-Gehalte in 0-90 cm Bodentiefe, um Informationen über die N-Dynamik im Boden unter Berücksichtigung regionaler Standortgegebenheiten abbilden zu können. Darunter werden 31 Referenzflächen auch im Rahmen der WRRL-Beratung betreut. Dazu zählt neben den N_{min}-Probenahmen auch die Erfassung von Standort-, Klima- und Bewirtschaftungsverhältnissen. Zudem wird die Entwicklung der Pflanzenbestände anhand von Fotos erfasst. Die Daten werden in einem sogenannten „Referenzflächenviewer“ zusammengefasst und zur Beratung genutzt.

3.7.2.3. N_{min}-Monitoring im Rahmen der WRRL-Beratung

Im Rahmen der Beratung zur WRRL werden auf wechselnden Flächen vor Vegetationsbeginn, kulturbegleitend, zur Ernte der Hauptfrucht sowie im Herbst in den Intensivberatungsbetrieben N_{min}-Untersuchungen vorgenommen und Informationen zu Bodeneigenschaften und Bewirtschaftung erhoben, um neben der Düngeplanung auch eine Effizienzkontrolle der Maßnahmen durchzuführen (Alscher et al. 2016). Bei der Auswertung der N_{min}-Gehalte über verschiedene Probenahmezeitpunkte im Jahresverlauf wurde festgestellt, dass der Median gegenüber dem arithmetischen Mittel robuster gegenüber Ausreißern und daher aussagekräftiger ist (Alscher et al. 2015).

3.7.2.4. N_{min}-Monitoring Zwischenfrüchte

Die N-Bindung mit Hilfe von Zwischenfrüchten ist ein zentrales Element der Wasserschutzberatung in Nordrhein-Westfalen. Um die Bindung des Stickstoffs in Abhängigkeit von Pflanzenart sowie Standortbedingungen quantifizieren zu können, wurden landesweit 17 Flächen aus der WRRL-Zwischenfruchtförderung in das sogenannte N-Monitoring Zwischenfrüchte eingebunden. Dabei werden Bewirtschaftungsdaten, der N_{min} bei Versuchsbeginn sowie je eine N_{min}-Probenahme auf einer bewachsenen und einer unbewachsenen Teilfläche im Zeitraum von Anfang bis Mitte November und im Frühjahr, die Trockenmassebildung und der N_{min}-Verlauf in der Folgekultur erfasst (Alscher et al. 2017).

3.7.2.5. Saugplattenprojekt NRW

Im Jahr 2016 wurden in Nordrhein-Westfalen in Einzugsgebieten von Grundwasserkörpern mit einer Nitratbelastung von mehr als 50 mg/l landesweit auf insgesamt 12 Standorten Saugplattenanlagen zur Quantifizierung von Einflüssen durch Bodenbearbeitung, mineralische und organische Düngemaßnahmen sowie von Temperaturen und Niederschlägen auf die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser installiert. Das Projekt wird von der LWK-NRW im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen bearbeitet.

Die Kriterien bei der Betriebsauswahl sahen vor, dass die Flächen die typischen bodenkundlich-hydrogeologischen Eigenschaften für die jeweilige Region widerspiegeln und eine repräsentative landesweite Verteilung der Saugplattenanlagen in Gebieten mit belasteten Grundwasserkörpern erreicht wird. Zudem sollten die wichtigsten Betriebstypen vertreten sein. Aufgrund der durch die Beratung gesicherten Datenerfassung und der Leuchtturmfunktion wurden die Betriebe innerhalb des bereits etablierten Modellbetriebsnetzes ausgewählt. Die Wahl fiel auf 10 konventionell und 2 ökologisch wirtschaftende Betriebe mit den Produktionsrichtungen Ackerbau, Tierhaltung, Gemüse- und Zierpflanzenbau (Alscher et al. 2017).

An den Standorten wurden in Vorbereitung auf die Installation der Saugplattenanlagen Nitrat-Tiefenprofile zur Quantifizierung der Nitratbelastung in der Sickerwasserdränzone durch den Geologischen Dienst NRW angelegt und in Tiefenabschnitten zu je 50 cm zur Beschreibung des Ausgangszustandes auf Nitrat und Ammonium untersucht. Laut Alscher et al. (2017) machen die Ergebnisse der Tiefenprofile deutlich, dass eine bodenkundliche Erfassung der Standorteigenschaften auch unterhalb der Wurzelzone für die Interpretierbarkeit der N_{min}-Daten und des Sickerwasserverlaufes wichtig ist. An den Standorten wurden zudem Wetterstationen mit integrierten Tensiometern zur Ermittlung von Bodenfeuchte und Bodentemperatur installiert. Anhand von Bodenprofilen und Stechzylinderproben wurden Bodenansprachen unter Identifizierung der Bodenart sowie bodenphysikalischer Parameter wie der Lagerungsdichte und der pF-Charakteristik bis in eine Tiefe von 1 m durchgeführt. Dabei wurden häufig vertretene Bodentypen angesprochen, wodurch möglicherweise eine Übertragung von Ergebnissen auf andere Betriebe auch außerhalb des Modellbetriebsnetzes zulässig ist. Anhand der bodenphysikalischen Parameter und der Ergebnisse aus den Nitrat-Tiefenprofilen wurde die Einbautiefe der Saugplatten und Tensiometer festgelegt. Die Messung der Bodenfeuchte und Bodentemperatur soll in Verbindung mit den bodenkundlichen Informationen zur zeitlichen Eingrenzung der Sickerwasserspende genutzt werden, um so den

Zusammenhang zwischen Bewirtschaftungsmaßnahmen und den Nitratkonzentrationen in den Sickerwasserproben abbilden zu können (Alscher et al. 2017).

An den Standorten wurden in der Regel je zwei parallel arbeitende Saugplattenanlagen unter Berücksichtigung der auf den Betrieben angewandten Arbeitsbreiten installiert. Die Einbautiefe in den Boden variiert dabei in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften zwischen 60 und 120 cm. Im Jahr 2017 sollten zunächst zwei Parallelanlagen bei einheitlicher Bewirtschaftung der Versuchsflächen miteinander verglichen werden, um Erfahrungen zu sammeln. Zudem muss sich im Jahr nach dem Einbau die Bodenaktivität zunächst wieder normalisieren, bevor verlässliche Messergebnisse zu erwarten sind. Die Sickerwasserproben werden über Unterdruckpumpen in Sammelbehälter überführt und in der Sickerwasserperiode wöchentlich auf Nitrat und Ammonium untersucht. Außerhalb der Sickerwasserperiode soll die Beprobung in größeren Zeitabständen vorgenommen werden (Alscher et al. 2017).

An den Wetterstationen werden in Intervallen von 15 Minuten die Lufttemperatur, der Luftdruck, die Windgeschwindigkeit und -richtung, die Luftfeuchtigkeit und die Niederschlagsmengen gemessen. Die mit den Wetterstationen verbundenen Tensiometer wurden in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften in drei Tiefen am Feldrand eingebaut und erfassen die Bodentemperatur und Bodenfeuchte, um Informationen über die N-Mineralisierung und zur Eingrenzung der Sickerwasserperiode zu gewinnen (Alscher et al. 2017).

3.7.2.6. Nährstoffbericht NRW

Die Landwirtschaftskammer NRW hat im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen im Jahr 2014 erstmals einen „Nährstoffbericht über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen“ veröffentlicht (LWK-NRW 2014). Seit dem Jahr 2013 sind landwirtschaftliche Betriebe in Nordrhein-Westfalen bei der Abgabe von Wirtschaftsdüngern dazu verpflichtet, die Art des Wirtschaftsdüngers, die Menge, die Nährstoffgehalte und die Kontaktdaten des Aufnehmenden an die zentrale Wirtschaftsdüngerdatenbank beim Direktor der Landwirtschaftskammer NRW als Landesbeauftragten zu melden. Der Bericht soll alle drei Jahre die Nährstoffsituation im Land auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte zusammenfassen und damit auch zum Stickstoff-Monitoring beitragen. Im Nährstoffbericht werden die Nährstoffentzüge (Ertragsschätzungen, Tabellenwerte), der Anfall und die Verwendung von Wirtschaftsdüngern, die überbetrieblichen Wirtschaftsdüngertransporte und die aus diesen Parametern resultierenden regionalen Nährstoffsalden für Stickstoff und Phosphat quantifiziert. Im Nährstoffbericht 2017 wurde erstmals auch die Ermittlung des Einsatzes mineralischer Nährstoffe einbezogen (Gömann 2017, LWK-NRW 2018c).

Für die Erfassung der Stickstoffsituation werden auf Ebene der Kreise die Stickstoffteilsalden als Differenz von organischer N-Düngung und N-Abfuhr mit dem Erntegut, das N-Düngebedarfssaldo als Differenz vom N-Düngebedarf und dem eingesetzten anrechenbaren Wirtschaftsdünger-N sowie die N-Zufuhr über Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft berechnet. Für die Berechnungen wurden die Daten aus der Wirtschaftsdüngerdatenbank, der aktuellen Agrarstatistik, der Tierseuchenkasse, des Herkunftssicherungs- und Informationssystems für Tiere (HI-Tier) entnommen. Bezüglich der Flächen wurden die Angaben zur Agrarförderung aus der InVeKoS-Datenbank verwendet (LWK-NRW 2014).

Die Stickstoffteilsalden zeigten eine große regionale Variation bei einem Landesdurchschnitt von 82 kg N/ha. Der berechnete Stickstoffdüngebedarfssaldo wies nach Ausbringung sämtlicher Wirtschaftsdünger im Landesdurchschnitt einen zusätzlichen N-Düngebedarf aus.

3.7.2.7. Kooperationsprojekt GROWA + NRW 2021

Das Kooperationsprojekt GROWA + NRW 2021 (Regionalisierte Quantifizierung der diffusen Stickstoff-Einträge in das Grundwasser und Modellierung des N-Transports und der Fließ- und Verweilzeiten im Grundwasser in Nordrhein-Westfalen) ist ein Forschungsverbund unter Beteiligung des Forschungszentrums Jülich, des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, des Geologischen Dienstes NRW, der Landwirtschaftskammer NRW und des Thünen-Institut. Im Projektzeitraum vom Dezember 2015 bis Dezember 2019 soll die Modellkette RAUMIS-GROWA/mGROWA-DENUZ-WEKU weiterentwickelt und zur Quantifizierung regionaler Stickstoffeinträge in das Grundwasser Nordrhein-Westfalens genutzt werden. Die Berechnungen sollen eine Bestandsaufnahme in Bezug auf die Erreichung der Ziele der WRRL liefern, die Effizienz der bislang umgesetzten Maßnahmen sichtbar machen sowie den noch erforderlichen N-Reduktionsbedarf aufzeigen (Bergmann 2017).

Konkrete Fragestellungen, die mit den verwendeten Modellen untersucht werden sollen sind unter anderem:

- Wie hoch ist der aktuelle N-Bilanzüberschuss auf landwirtschaftlichen Flächen (RAUMIS)
- Wie hoch ist die Grundwasserneubildung (mGROWA)
- Wie hoch ist der aktuelle diffuse N-Eintrag in das Grundwasser und die Oberflächengewässer (RAUMIS-mGROWA-DENUZ-WEKU)
- Wie hoch ist der Reduktionsbedarf der landwirtschaftlichen N-Überschüsse zur Erreichung der Ziele der WRRL? (RAUMIS-mGROWA-DENUZ-WEKU)
- Wie wirkt die novellierte DüV? (RAUMIS/DENUZ-WEKU)
- Wie wirken die Maßnahmenprogramme der WRRL? (RAUMIS/DENUZ-WEKU)

Tab. 7: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Nordrhein-Westfalen.

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	MULNV[1] LWK-NRW[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Nordrhein-Westfalen
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	MULNV[1] LWK-NRW[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Nordrhein-Westfalen
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[4]	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} Spät-Frühjahrs-N_{min}	LWK-NRW[2] (Nitratdienst)	Land Nordrhein-Westfalen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
		N-Bilanzen		
Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger	Nitratrichtlinie WRRL[4]	N-Flächenbilanz Meldeverordnung	MULNV[1] LWK-NRW[2]	Land Nordrhein-Westfalen
Landwirtschaftliche Beratung	Trinkwasserschutz WRRL[4]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen	MULNV[1] LWK-NRW[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Nordrhein-Westfalen Bund
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz (NRW-Programm)	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[4]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Saugkerzenanlagen N-Bilanzen	MULNV[1] LWK-NRW[2] Landwirtschaftsbetriebe	Kommunen Land Niedersachsen BUND EU
Versuchsreihen zu grundwasser-schutzorientierten Wirtschaftsweisen	Nitratrichtlinie WRRL[4]	N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen Sickerwasseruntersuchungen	MULNV[1] LWK-NRW[2]	Land Nordrhein-Westfalen
Saugplattenprojekt	Nitratrichtlinie WRRL[4]	Sickerwasseruntersuchungen N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen Modellierung	MULNV[1] LWK-NRW[2] LUFA-NRW[3]	Land Nordrhein-Westfalen
N_{min}-Monitoring Zwischenfrüchte	Nitratrichtlinie WRRL[4]	N_{min}-Untersuchungen N-Schlagbilanzen	LWK-NRW[2]	Land Nordrhein-Westfalen
Kooperationsprojekt GROWA + NRW 2021	WRRL[4]	Verbund der Modelle RAUMIS, mGROWA, DENUZ, WEKU, MEPhos, MONERIS	MULNV[1] Geologischer Landesdienst NRW Thünen-Institut Forschungszentrum Jülich	Land Nordrhein-Westfalen

[1]MULNV Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

[2]LWK-NRW Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

[3]LUFA-NRW Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Nordrhein-Westfalen

[4]WRRL EG-Wasserrahmenrichtlinie

3.8. Rheinland-Pfalz

3.8.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz (MWVLW) hat die Aufsichts- und Dienstleistungsdirektion in Trier (ADD) mit Vollzugsaufgaben im Rahmen landesweiter Umsetzung des Düngerechts beauftragt. Die Dienstleistungszentren Ländlicher Raum (DLR) sind für Beratungsaufgaben im Bereich der Düngung verantwortlich (Fritsch 2018, DLR 2019). Zur Düngeberatung im Rahmen der DüV und der Umsetzung der WRRL werden in Rheinland-Pfalz im Frühjahr landesweit im Ackerbau auf ca. 390.000 ha N_{min}-Werte zur Düngeberatung erhoben (ca. 1.000 Proben). Im Feldgemüsebau werden etwa 20.000 ha beprobt (ca. 3.000 Proben). Mit dem Ziel der Überwachung der potential auswaschbaren Nitratmenge vor Beginn der Sickerwasserperiode werden zudem auch Herbst-N_{min}-Werte erhoben, wobei hierbei bislang nicht nach einem einheitlich abgestimmten System vorgegangen wird. Zudem erfolgt zentral die Auswertung repräsentativer Nährstoffvergleiche (ca. 200/a) gemäß DüV (BMUB 2017, Fritsch 2018, MWVLW 2019).

Zur Umsetzung der WRRL werden die in den Bewirtschaftungsplänen vorgesehenen Maßnahmen, darunter die Inanspruchnahme von EU-Förderprogrammen (AUM, ELER-Verordnung, Programm EULLa Entwicklung von Umwelt, Landwirtschaft und Landschaft in Rheinland-Pfalz) und betriebsindividuelle Gewässerschutzberatung in Gebieten mit hoher Nitratbelastung eingesetzt und im Programm „Gewässerschonende Landwirtschaft“ weiter konkretisiert (DLR 2019). Die Ziele der Gewässerschutzberatung sind u.a. (1) die Etablierung und Betreuung von Kooperationen zwischen Wasserversorgern, Getränkeherstellern und der Landwirtschaft, (2) die betriebsindividuelle Beratung zur Verringerung der diffusen Einträge von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in die Gewässer, (3) die Beratung zu EULLa-Programmteilen mit der Zielrichtung Gewässerschutz sowie (4) die Einrichtung und Betreuung eines Netzwerkes von Partnerbetrieben (DLR 2018). Im Rahmen der Wasserschutzberatung werden in Rheinland-Pfalz Nährstoffbilanzen, N_{min}-Untersuchungen, Saugkerzenanlagen und flachverfilterte Grundwassermessstellen als Erfolgsindikatoren eingesetzt. Die Entwicklung und Abstimmung von Grundwasserschutzmaßnahmen zur Reduzierung stofflicher Einträge in Oberflächengewässer und Grundwasser wird von der Arbeitsgemeinschaft „EG-WRRL und Landwirtschaft“ koordiniert, welcher Vertreter aus Wasserwirtschaftsverwaltung, Landwirtschaftsverwaltung, Landwirtschaftskammer, Bauern- und Winzerverbänden sowie Wasser- und Bodenverbänden angehören. Der Arbeitsgruppe obliegt auch die Abschätzung der Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen. Das Landeswasserentnahmeentgeltgesetz ermöglicht auch den Ausgleich für Aufwendungen für Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers mithilfe des ´Wassercent‘ zu verrechnen (MWVLW 2019).

Laut MWVLW (2019) ist auch in Rheinland-Pfalz von einer deutlichen Verzögerung der Effekte einer geänderten Bewirtschaftungsweise auf die Güte des Grundwassers an den Messstellen des Nitratmessnetzes auszugehen. Die Fließzeiten in der Vorderpfalz liegen demnach zum Teil bei über 30 Jahren und die Aufenthaltsdauer des Nitrats in der ungesättigten Bodenzone kann im Rheinhessischen Tafel- und Hügelland mitunter mehr als 60 Jahre betragen.

In Rheinland-Pfalz werden daher neben vereinzelten Herbst-N_{min}-Analysen vor allem N-Bilanzen sowohl auf regionaler, betrieblicher oder Schlagebene berechnet, um die Wirksamkeit von Gewässerschutzmaßnahmen möglichst frühzeitig quantifizieren zu können. In Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Geologie und Bergbau wurde bereits wiederholt die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche des Landes bilanziert, um Problemgebiete zu lokalisieren (Fritsch 2018).

Ergänzende Maßnahmen und Forschungsprogramme

In Kooperation mit dem Thünen-Institut plant das Land derzeit für die gesamte Landwirtschaftlich genutzte Fläche die Erstellung eines Nährstoffmodells zur Quantifizierung von Flächenbilanzüberschüssen und die Abbildung des Nährstofftransports von der ungesättigten Bodenzone bis hin zu den Oberflächengewässern. Die Daten sollen auch zum Monitoring der Wirksamkeit von Gewässerschutzmaßnahmen zur Verringerung des Nitrateintrages dienen. Die geplante Vorgehensweise lehnt sich an die bereits bekannten Arbeiten im Modellverbund AGRUM (siehe z.B. Niedersachsen) an (Fritsch 2018).

Im Feldgemüsebau wird in direkter Angrenzung zum Wasserschutzgebiet Schifferstadt im Einzugsgebiet einer operativen Grundwassermessstelle ein "Flachmessstellenprojekt" in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Umwelt sowie dem Landesamt für Geologie und Bergbau durchgeführt, um die Auswirkungen der Bewirtschaftung auf Nitrat im Sicker- und oberflächennahen Grundwasser zu messen (DLR 2018). Die unmittelbaren Auswirkungen von gewässerschonenden Maßnahmen sollen anhand von Nährstoffbilanzen, N_{min}-Untersuchungen, Saugkerzen sowie über die Einrichtung von Flachmessstellen und der Altersbestimmung des oberflächennahen Grundwassers abgebildet werden.

Tab. 8: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Rheinland-Pfalz

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	MWVLW[1] ADD[2] DLR[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Rheinland-Pfalz
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	MWVLW[1] ADD[2] DLR[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Rheinland-Pfalz
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} N-Bilanzen Lysimeteruntersuchungen	MWVLW[1] ADD[2] DLR[3]	Land Rheinland-Pfalz
Landwirtschaftliche Beratung	WRRL[4]	Frühjahrs-N_{min}	MWVLW[1]	Land Rheinland-Pfalz

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
		Herbst-N_{min} Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Flach verfilterte Grundwassermessstellen Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen	ADD[2] DLR[3] Landwirtschaftsbetriebe	
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz	WRRL[4]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Flach verfilterte Grundwassermessstellen Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen	MWVLW[1] ADD[2] DLR[3] Landwirtschaftskammern Wasserwirtschaftsverwaltung Bauern- und Winzerverbände Wasser- und Bodenverbände Landwirtschaftsbetriebe	Land Rheinland-Pfalz BUND EU
Landesweite Bilanzierung	Nitratrichtlinie WRRL[4]	Herbst-N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen regional, betrieblich und auf Schlagebene	MWVLW[1] DLR[3] Landesamt für Geologie und Bergbau	Land Rheinland-Pfalz

[1]MWVLW Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz

[2]ADD Aufsichts- und Dienstleistungszentrum Trier

[3]DLR Dienstleitungszentren Ländlicher Raum

[4]WRRL EG-Wasserrahmenrichtlinie

3.9. Sachsen

3.9.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) ist, unter dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), verantwortlich für die Umsetzung und den Vollzug agrarwirtschaftlichen Fachrechts und des Umweltrechts. In Sachsen sind landwirtschaftliche Betriebe im Rahmen der DüV verpflichtet auf Flächen, die über Grundwasserkörpern mit schlechtem chemischen Zustand liegen, besondere Regelungen einzuhalten. Die Ausbringung von Wirtschaftsdünger, sowie organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln auf diesen Flächen, darf nur nach vorheriger Ermittlung der Gehalte an Gesamtstickstoff und verfügbarem Stickstoff erfolgen (SMUL 2018). Zusätzlich ist auf diesen Flächen vor der Ausbringung wesentlicher Mengen an Stickstoff eine schlagbezogene Untersuchung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs vorgeschrieben. Die Sperrfristregelung setzt ein Ausbringungsverbot von Festmist von Huf- und Klauentieren, sowie von Kompost zwischen dem 15. November und dem 31. Januar fest (SMUL 2018). Im Rahmen der novellierten DüV werden in Gebieten mit erhöhter Nitratbelastung zusätzliche Kontrollen durchgeführt, in denen betriebliche Nährstoffvergleiche einer vertieften fachlichen Prüfung unterzogen werden (LfULG 2018a). Zusätzlich werden in diesen Gebieten unter der Leitung der Abteilung Landwirtschaft des LfULG Arbeitskreise gegründet, welche sich unter Einbeziehung externer Dienstleister mit Wissenstransfer, Erfahrungsaustausch, Ursachenanalyse und Maßnahmenumsetzung befassen (LfULG 2018a). Als zukünftige Maßnahme dieser Arbeitskreise ist eine Beurteilung der Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen mittels BESyD geplant (LfULG 2018a).

Die oberste Behörde zur Umsetzung der WRRL in Sachsen ist das SMUL. Im Jahr 2009 wurden zusätzlich zu den bestehenden Gremien (WRRL Beirat, Lenkungsgruppe WRRL und Koordinierungsgruppe WRRL) regionale, nach hydrologischen Einzugsgebieten gegliederte regionale Arbeitsgruppen gegründet (LfULG 2012a). Die obere und die unteren Wasserbehörden sowie das LfULG und der Staatsbetrieb Landestalsperrenverwaltung (LTV) sind ständige Mitglieder der regionalen Arbeitsgruppen (LfULG 2012a). Die Aufgabe der regionalen Arbeitsgruppen liegt in der Identifikation und Umsetzung konkreter Maßnahmen zur „Verbesserung des Zustandes der Wasserkörper“. Dabei obliegt die Umsetzung der Maßnahmenprogramme grundsätzlich den unteren Wasserbehörden (Kreise und kreisfreie Städte) (LfULG 2019).

Es gibt insgesamt 51 Grundwasserkörper (GWK), die innerhalb der sächsischen Landesgrenze liegen, zusätzlich weitere 32 welche nur teilweise in sächsischen Gebiet liegen, aber federführend von Sachsen verwaltet werden und 13 weitere grenzübergreifende GWK, welche von benachbarten Bundesländer verwaltet werden (LfULG 2015). Die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) betreibt im Auftrag des LfULG und auf Grundlage des Sächsischen Wassergesetzes und der Grundwasserverordnung ein Messstellennetz (LfULG 2012b). Dies besteht aus ca. 1500 Messstellen für Boden- und Grundwasser. Die Anzahl der Messstellen welche im Rahmen der WRRL genutzt überprüft werden liegt bei 438, wovon an 85 Messstellen täglich Daten erhoben werden (LfULG 2015). 2014 wurde im Rahmen der Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie in Sachsen die Anzahl der Grundwassermessstellen des Nitratmessnetzes von 13 auf 37 erhöht, davon befinden sich 33 Messstellen unter Ackerflächen (LfULG 2015). Spezifisch zur Untersuchung der Nitratentwicklung im

Einzugsgebiet wurde im Wasserschutzgebiet Schleinitz ein Monitoringmessnetz installiert, mit welchem der Effekt von Maßnahmen zur Reduzierung der Nitrateinträge anhand der Beschaffenheit von Sicker- und Grund- und Quellwasser kontrolliert werden soll (LfULG 2015).

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Im sächsischen Messstellennetz für Boden- und Grundwasser gibt es zusätzlich zu den Erhebungen im Rahmen der WRRL weitere Messprogramme. Zur sogenannten „Überblicksweisen Überwachung“ wird an 139 Grundwassermessstellen einmal jährlich eine Kontrollmessung vorgenommen, an weiteren 70 Messpunkten wird zusätzlich ein zweites Mal gemessen. Zusätzlich werden im „Operativen Messnetz“ an Standorten mit Grundwasserkörpern, die sich in einem schlechten chemischen Zustand befinden, oder in einen schlechten chemischen Zustand geraten könnten Grundwassermessstellen untersucht. Zum Operativen Messnetz zählen 143 Messstellen, die einmal jährlich beprobt werden, 83 mit zweimaliger Beprobung, zwei Messstellen mit sechsmaliger und vier Messstellen, die zwölfmal pro Jahr beprobt werden (LfULG 2015). Hier werden Stoffeinträge aus diffusen direkten Quellen oder atmosphärischen Depositionen bestimmt. Dabei werden an drei ausgewählten Standorten mit maßgeblichen Stickstoffeinträgen kontinuierliche Messungen an Sicker- und Grundwasser durchgeführt (LfULG 2015). Ergänzt werden diese Daten durch Beschaffenheitsmessstellen in der Umgebung, temporäre Messstellen, Brunnen und Lysimeter. An zwei dieser Standorte gibt es außerdem mehrere landwirtschaftliche Dauermonitoringflächen (LfULG 2015). In Wasserschutzgebieten gibt es ein weiteres Messnetz, bestehend aus 24 Messstellen, welches die Einhaltung der Schutz- und Ausgleichsverordnung (SchAVO) zum Ziel hat. Durch den direkten Bezug der Flächennutzung und der Nährstoffzufuhr auf den Nitratgehalt in Boden und Grundwasser wird die Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen überprüft. Diese Messstellen überlappen sich teilweise mit zuvor beschriebenen Messnetzen (LfUG 2002). Ergänzend zum Grundwassermessnetz im Rahmen der SchAVO und ebenfalls mit dem Ziel die Wirksamkeit von Maßnahmen zu überprüfen wurden von der Landesanstalt für Landwirtschaft 1060 Dauertestflächen etabliert, auf denen im Frühjahr und im Herbst der N_{min}-Gehalt bestimmt wird (LfUG 2002). Zusätzlich zum Grundwasseressnetz wurden Lysimeter unter Acker-, Wald- und Kippenflächen installiert um Aussagen über die Zustandsentwicklung von der GWK, insbesondere der Neubildung und Beschaffenheit treffen zu können. Einhergehend mit der Dokumentation von Landnutzungsänderungen lassen sich aus diesen Langzeitbeobachtungen Strategien zur Verbesserung der Grundwasserkörper ableiten (LfULG 2015). In Gebieten mit gefährdeten Grundwasserkörpern ist ein verdichtetes Messnetz etabliert (LfLUG 2015). Einhergehend mit den Lysimeterdaten sind für die Standorte auch Klimadaten und atmosphärische Depositionen erfasst (LfULG 2015).

3.9.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.9.2.1. Modell STOFFBILANZ

Zur Planungen von Maßnahmen im Zuge der Wasserrahmenrichtlinie wird ein Modell benötigt wird, welches Stoffausträge aus mesoskaligen Landschaften und Stoffeinträge in Gewässer abbilden kann. Die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) führte im Jahr 2003 hierzu eine vergleichende Bewertung verschiedener Modelle durch, welche ergab, dass nach entsprechenden Anpassungen, das in Sachsen entwickelte Modell STOFFBILANZ für dieses Vorhaben am besten geeignet ist (GALF2018).

Das Modell STOFFBILANZ quantifiziert flussgebietsspezifisch diffuse Stoffausträge von Stickstoff, Phosphor und Sedimenten aus der Fläche in Gewässer als Jahresbilanz. Folgende Eingangsparameter werden für dieses Modell verwendet und liegen für Sachsen in einem 500 x 500 m Raster vor (GALF 2018, LfULG 2016):

- Dominante Nutzungsform
- Versiegelungsgrad
- Dominante Bodenart
- Dominanter Bodentyp
- Hydromorphiegrad des Bodens
- Mittlerer Skelettgehalt des Oberbodens
- P-Gehalt im Boden
- Humusgehalt des Oberbodens
- C/N Verhältnis im Oberboden
- Trockenrohdichte
- Grundwasserführende Gesteinseinheit
- Hangneigung
- Winterniederschlag
- Sommerniederschlag
- FAO-Gras-Referenzverdunstung
- Jahresdurchschnittstemperatur
- Mittlere Höhe des Untersuchungsgebietes
- Atmosphärische Deposition
- Mittlere Fließwegedistanz zum angrenzenden Vorfluter
- Hydrologische Anbindung
- Regentage
- Anbaufläche je Fruchtartengruppe
- Mineraldüngerausbringung je Fruchtartengruppe
- Wirtschaftsdüngerausbringung
- Erträge je Fruchtartengruppe
- Flächenanteile konservierende Bodenbearbeitung
- Flächenanteile Zwischenfrucht und Untersaat

Zur Validierung der geschätzten Nährstoffeinträge in Gewässer werden dann folgende Parameter benötigt:

- Hintergrundinformationen zu punktuellen Nährstoffeinträgen
- Daten zur Beschaffenheit der Oberflächengewässer (N-, P-Frachten oder Konzentrationen)
- Durchflussdaten ausgewählter Pegel
- Informationen zu Talsperren
- Nitratkonzentrationen ausgewählter Grundwassermessstellen

STOFFBILANZ ermöglicht es, Stoffstrombilanzierungen für verschiedene Zustände, wie z.B. den Ist-Zustand, den Zielzustand oder unterschiedliche Szenarien zu betrachten. Vielzählige der im Folgenden vorgestellten Projekten nutzen daher das Modell STOFFBILANZ in ihren Untersuchungen.

3.9.2.2. Projekt: „Analyse der N-Managements von Praxisbetrieben in Sachsen“

Mit Hilfe des Modells STOFFBILANZ wird in Sachsen der Eintrag von Stickstoff in Wasserkörper abgeschätzt und dient langfristig kontrollierend zur Abbildung von Veränderungen der Stoffeinträge (LfULG 2010). Ziel dieses Projektes ist es, über eine Reduzierung der N-Überschüsse aus diffusen Quellen die Grundwasserbelastung mit Nitrat zu verringern. Anhand von Praxisbetrieben sollen Stickstoffströme analysiert und optimiert und Reduktionspotentiale abgeschätzt werden (LfULG 2010). Zu Projektbeginn in 2008 wurden 16 Betriebe in das Projekt aufgenommen, welche Betriebsgrößen von <500 - > 2500 ha abdecken, in der Summe ergab sich für dieses Projekt eine Betriebsfläche von 26.200 ha. Über drei Jahre erfolgte in diesen Betrieben eine Nährstoffbilanzierung. Dazu wurde das Programm BEFU zur Düngebedarfsermittlung und zur Berechnung von Nährstoffbilanzen nach Vorgaben der DüV verwendet und das Umwelt- und Betriebsmanagementsystem REPRO zur Darstellung der betrieblichen Stoff- und Energieflüsse, zur Ableitung der Umweltwirkungen sowie zur Durchführung von Szenarienrechnungen (LfULG 2010). REPRO ermöglicht unter Einbeziehung von Boden- und Klimadaten zusätzlich eine Abschätzung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser unterhalb der Wurzelzone, woraus sich die Gefahr des Nitrateintrags in das Grundwasser abschätzen lässt (LfULG 2010). Da REPRO in die Bestimmung des Stickstoffumsatzes die Verluste in Form von Ammoniak und durch Denitrifikation mit einbezieht und anstrebt, den Stickstoffumsatz aus ausgebrachtem Dünger und Humus im Boden einzelschlagbezogen abzuschätzen, gilt es als ein sehr realitätsnahes Modell (LfULG 2010). Die mit REPRO geschätzten Daten zu den Nitratverlusten stellen jeweils die Jahressumme dar, eine höhere zeitliche Auflösung wird nicht erreicht. Basierend auf den ermittelten Betriebsdaten wurden mit REPRO für neun der Untersuchungsbetriebe Reduktionspotentiale des Stickstoffüberschusses berechnet. Die wichtigste Maßnahme war hierbei die Aufnahme einer Winterzwischenfrucht in die bestehenden Fruchtfolgen, zusätzlich wurde mit REPRO aus den Betriebsdaten ein optimierter Nährstoffbedarf ermittelt und die Düngung entsprechend angepasst (LfULG 2010). Bei der Auswertung der Betriebsdaten aller 16 Untersuchungsbetriebe ergeben sich, abhängig von dem zur Auswertung verwendeten Modell, sehr unterschiedliche flächenbezogene Stickstoffbilanzsalden. REPRO errechnet durchgängig höhere Salden als BEFU (Berechnung nach DüV), was durch die einbezogenen Stickstoffimmissionen sowie den betrachteten Stickstoffumsatz im Boden zustande kommt (LfULG 2010).

3.9.2.3. Projekt „Dynamische Bilanzierung von Humushaushalt und Nährstoffaustrag im regionalen Maßstab im Kontext von Landnutzungs- und Klimawandel“.

Ziel des Projektes ist es ein Modellwerkzeug zu entwickeln, welches den Humushaushalt dynamisch bilanzieren kann und diesen mit bereits bestehenden Modellen zu Wasserhaushalt und Nährstoffströmen koppelt (LfULG 2016). Dieses Modellwerkzeug soll Anwendung finden in den Bereichen Landwirtschaft, Gewässerschutz, Klima und Bodenschutz. Das Modell STOFFBILANZ hat die Quantifizierung diffuser Stoffausträge aus der Fläche und den Eintrag in Oberflächengewässer und

Grundwasser zum Ziel. Zur Bestimmung von Stickstoffbilanzen auf landwirtschaftlichen Flächen fließen folgende Bilanzglieder ein:

- Einträge mit Wirtschaftsdünger abzüglich der Ausbringungsverluste
- Einträge mit Mineraldünger
- Einträge aus biologischer Stickstofffixierung
- Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz
- Nachlieferung aus Ernteresten und Zwischenfrüchten
- Immobilisierung in Ernterückständen und Zwischenfruchtbiomasse
- Abfuhr über Haupternteprodukte
- Abfuhr über Nebenprodukte der Ernte

Des Weiteren liegen für die Modellierung mit STOFFBILANZ die bereits im Kapitel 3.9.2.1. aufgelisteten Eingangsparameter in einem 500 x 500 m Raster vor.
Das CCB-Modell (Candy Carbon Balance) entstand durch eine Vereinfachung des Modells CANDY (Carbon and Nitrogen Dynamics) und nimmt mit einer relativ geringen Anzahl an Eingangsdaten Abschätzungen zum Humusumsatz auf landwirtschaftlichen Flächen vor. Um die unterschiedlichen Pools organischer Substanz im Boden zu modellieren fließen verschiedene Boden- und Klimaparameter ein, welche aus dem STOFFBILANZ-Datensatz verwendet werden können. Nach Anpassung und Kopplung von STOFFBILANZ und CCB ergibt sich nun ein Modellsystem, welches die Dynamik von organischer Substanz und Stickstoff flächendeckend für die Landwirtschaft und anschließend Grund- und Oberflächengewässer modellieren kann. Zudem ermöglicht es die Beurteilung der Effizienz von ackerbaulichen Maßnahmen durch eine Vorausrechnung in die Zukunft von C- und N-Haushalten sowie die Szenarienabbildung (LfULG 2016).

3.9.2.4. Forschungsvorhaben zur Bewertung von Szenarien zur Reduzierung von Nitrateinträgen mittels gekoppelten Nitrattransportmodellen (REPRO, Arc-EGMO-PSCN, MODFLOW und MT3D-FL)

Verknüpft mit dem operativen Messnetz (vorgestellt in Absatz 3.9.1.) werden an ausgewählten Standorten in drei nitratbelasteten Trinkwasserschutzgebieten seit 2007 Monitoringuntersuchungen durchgeführt (persönliche Mitteilung LfULG). Dies umfasst Bodenuntersuchungen in 0-90 cm Tiefe auf landwirtschaftlichen Flächen auf den Gehalt von N_{min}, Gesamtstickstoff, Humus, Wasser, $CaCO_3$ und gegebenenfalls S_{min}, des Weiteren werden der pH-Wert und in Tiefenprofilen bis zur Grundwasseroberfläche der N_{min}-Gehalt bestimmt. Zusätzlich werden Schlagdateien mit REPRO und BESyd ausgewertet (N- und Humusbilanzierung) und monatlich Sickerwasserproben aus Saugkerzenanlagen entnommen zur Analyse auf Nitrat, Ammonium, Sulfat, Chlorid, Ortho-Phosphat, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit. Diese Messergebnisse werden in einem Forschungsprojekt zur Validierung und Kalibrierung von Stofftransport- und Stoffumsatzmodellen verwendet. Dabei handelt es sich zunächst um eine Kopplung der Modelle REPRO (N- und Humusbilanzmodell) und ArcEGMO-PSCN (Simulation der Wasser-, Wärme-, Kohlenstoff-, Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze), die von einer Arbeitsgemeinschaft bestehend aus dem Büro für Angewandte Hydrologie, der Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro-, und Umweltgeologie und dem Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung

e.V. umgesetzt und getestet wurde (LfULG 2015). Dieser Modellverbund wurde dann um eine Kopplung mit MODFLOW (Grundwasserströmungsmodell) und MT3D-FL (Nitrattransportmodell im Grundwasser) erweitert. Dieser Modellverbund dient nun als Kontrollmechanismus für landwirtschaftliche Flächen auf denen Maßnahmen zur Reduzierung der Nitrateinträge gemäß WRRL in Boden, Sickerwasser und Grundwasser umgesetzt werden (LfULG 2015).

3.9.2.5. Stickstoffmonitoring sächsischer Böden

Im Rahmen des Stickstoffmonitorings in Sachsen gibt es verschiedene Maßnahmen. Dazu zählen 55 landwirtschaftliche Dauerbeobachtungsflächen auf repräsentativen Böden, unter welchen sich auch einige Sonderstandorte mit kontinuierlicher Erfassung von klimatischen Daten, sowie dem Stoff- und Wasserhaushalt befinden. Zusätzlich gibt es 1000 sogenannte Nitrat-Dauertestflächen auf Acker und Grünland. In ausgewählten Trinkwasserschutzgebieten gibt es bodenhydrologische Messplätze an denen Daten zum Bodenwasser und Stoffhaushalt erhoben werden (LfULG 2016b). Außerdem gibt es insgesamt 30 wägbare Lysimeter an verschiedenen Standorten, die in 3 m Tiefe das Sickerwasser sammeln (LfULG 2016b).

Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF):

Die Bodendauerbeobachtungsflächen sind als Kernelement des sächsischen Bodenmonitorings anzusehen und dienen zur kontinuierlichen Erhebung von Hauptbodencharakteristika, welche an ausgewählten Standorten von Messungen zu Klima, Sickerwasserzusammensetzung und Pflanzeninhaltsstoffen ergänzt werden (LfULG 2016c). In der Zeit von 1995 – 2006 wurden insgesamt 50 BDF ohne fest installierte Messgeräte (Typ I) und 5 BDF mit dauerhaft installierten Messgeräten (Typ II) eingerichtet. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse auf Bundesebene zu ermöglichen folgte die Einrichtung der Bodendauerbeobachtungsflächen der Vorgabe der Bund/Länder-Unterarbeitsgruppe „Bodendauerbeobachtungsflächen“. Auf allen BDF wurden zu Beginn einmalig Daten zu Bodenregion, Bodenform, Naturraum und Klima erhoben. Um eine Stickstoffbilanzierung zu ermöglichen werden im Rahmen des Monitorings auf allen 55 Flächen regelmäßig Daten zu N-Gehalten im Boden, sowie zum N-Eintrag über die Düngung und dem N-Entzug über Ernteprodukte erfasst (LfULG 2016c). Im Abstand von 5 Jahren werden ebenfalls auf allen Flächen im Boden folgende physikalischen und chemischen Parameter erhoben (LfULG 2016c):

- Textur
- Wasserdurchlässigkeit
- Rohdichte
- Gesamtporenvolumen (Grob-, Mittel-, und Feinporen)
- pH-Wert
- potentielle und effektive Kationenaustauschkapazität
- Gesamtgehalte an Hauptelementen, Schwermetallen, Arsen und Nichtmetallen
- Gehalte von mobilen Schwermetallen und Arsen
- Gehalte pflanzenverfügbarer Nährstoffe

Auf den Intensivmessflächen (Typ II) werden kontinuierlich folgende Parameter gemessen:

- Globalstrahlung
- Luftfeuchtigkeit

- Lufttemperatur
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Niederschlagsmenge
- Hauptelemente, Schwermetalle und Nichtmetalle als Gesamtdeposition
- Bodentemperatur
- Wassersaugspannung
- Wassergehalt
- pH-Wert im Sickerwasser
- elektrische Leitfähigkeit im Sickerwasser
- Hauptelemente, Schwermetalle, Nichtmetalle und Arsen im Sickerwasser
- Schwermetalle und Arsen in den Pflanzen
- Mikrobielle Biomasse
- Bodenatmung

Von 2012 bis 2014 im Rahmen des Projektes „Analyse von Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufen an repräsentativen Standorten Sachsen“ an den BDF werden folgende zusätzliche Daten erhoben:

- Gehalt an organischem Kohlenstoff und Gesamtstickstoff (Frühjahr)
- Mikrobielle Biomasse (Frühjahr)
- Wassergehalt (Frühjahr, Spätsommer, Spätherbst)
- Sickerwasserinhaltsstoffe (Frühjahr, Spätsommer, Spätherbst)
- Pflanzeninhaltsstoffe (Spätsommer)

Zusätzlich zu den Daten von den BDF werden zum Gesamtstickstoffgehalt in den Böden auch Daten aus der Bodenkartierung und von Bodenmessnetzen einbezogen, so dass insgesamt Daten aus 2390 Bodenprofilen verfügbar sind (LfULG 2016c).

Nitrat-Dauertestflächen:

Seit 1990 ist in Sachsen ein Nitratmessnetz eingerichtet, welches aus ca. 1000 relativ gleichmäßig über Sachsen verteilten Dauertestflächen besteht. Da dieses Messnetz in Praxisschläge eingebettet ist, werden jährlich schlagspezifisch die Bewirtschaftungsdaten erhoben. Unter Leitung des LfULG werden in diesem Messnetz ebenfalls jährlich zu Vegetationsbeginn und im Spätherbst (zwischen Anfang November und Mitte Dezember) Bodenproben in 0-30 und 30-60 cm Tiefe gezogen und auf den Gehalt an Nitratstickstoff ($CaCl_2$-Extrakt nach VDLUFA) untersucht (LfULG 2016c).

Die so ermittelten Daten dienen der Ableitung von Empfehlungen gemäß Düngeverordnung, zur Bewertung von Bodenstickstoffgehalten in Wasserschutzgebieten, sowie zur Beurteilung der Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen zur Erfüllung der WRRL.

Auf ausgewählten Flächen werden zusätzlich direkt nach der Ernte der Hauptfrucht weitere Messungen durchgeführt, um die Stickstoffausnutzung abzuschätzen sowie mit dem Ziel die Dynamik der Stickstoffumsetzung im Herbst darzustellen. Als weiterer Einflussfaktor auf die Stickstoffausnutzung werden im 4-Jahresrhythmus die Gesamtgehalte von Grund- und Mikronährstoffen bestimmt (LfULG 2016).
Auf den Nitrat-Dauertestflächen werden jährlich folgende Daten dokumentiert:

- Kultur, Aussaat-, Erntetermin, Ertrag, Verwendung der Erntenebenprodukte
- Art und Höhe der Stickstoffdüngung
- Zeitpunkt und Art der Bodenbearbeitung
- Art der Folgekultur, Zwischenfrucht
- Umsetzung von stoffeintragsmindernder Maßnahmen

Lysimeter:

Seit dem Jahr 1981 gibt es in Sachsen an Lysimeteranlagen Datenerhebungen zum Stickstoffaustrag unter landwirtschaftlich genutzten Flächen (LfULG 2016c). Die Lysimeterstation Brandis besteht aus insgesamt 24 wägbaren Lysimetern auf acht verschiedenen, für Sachsen typischen Ackerböden (LfULG 2016b). Die Lysimeter haben eine Bewirtschaftungsfläche von 1 m^2, sind mit 3 m mächtigen, ungestörten Bodenmonolithen gefüllt und werden gleich dem sie umgebenden Feld bewirtschaftet. In dieser Lysimeteranlage werden einerseits Auswirkungen der üblichen landwirtschaftlichen Praxis untersucht, aber auch Versuchsfragen, z.B. zum Nitrataustrag unter Schwarzbrache verglichen mit Winterzwischenfrüchten untersucht (LfULG 2016b).

An der Lysimeterstation bzw. an den Monolithen in den Lysimetern finden zusätzlich Messungen folgender Parameter statt:

- Lufttemperatur in 5, 50 und 200 cm über der Bodenoberfläche
- Luftfeuchte in 50 und 200 cm über der Bodenoberfläche
- Luftdruck
- Windrichtung in 2 und 10 m Höhe und Windgeschwindigkeit
- Globalstrahlung
- Sonnenscheindauer
- Bodentemperatur in 50, 150 und 250 cm Tiefe
- Bodenfeuchte in 50, 150 und 250 cm Tiefe
- Niederschlagsmenge
- Atmosphärische Deposition
- Sickerwassermenge in 3 m Tiefe
- Sickerwassermenge und Zusammensetzung in Saugkerzen in 50, 150 und 250 cm Tiefe

Seit Inbetriebnahme der Lysimeter im Jahr 1981 wurden die ackerbaulichen Maßnahmen zu angebauter Kultur, Düngung, Ertrag und Ernterückständen dokumentiert. Als Vergleichswerte werden in den die Lysimeter umgebenden Flächen ebenfalls Bodentemperatur (in 5, 10, 20, 50, 100 und 250 cm Tiefe) und die Bodenfeuchte (in 10, 20, 30, 40, 60 und 100 cm Tiefe) gemessen (LfULG 2016b).

Die Lysimeterstation Brandis befindet sich im 360 km^2 großen Einzugsgebiet der Parthe, in welchem an zahlreichen Messstellen ein Monitoring von Menge und Beschaffenheit des Niederschlags und des Grundwassers stattfindet (LfULG 2016c). Die an Lysimeterstandorten erhobenen Daten dienen ebenfalls der Modellvalidierung von REPRO und ArcEGMO-PSCN durch Einspeisung relevanter Daten zur Stickstoffbilanzierung (Fruchtfolge, Düngung, Erträge, N-Deposition, N-Abfuhr und N-Austrag mit dem Sickerwasser in 3 m Tiefe) (LfULG 2015).

Parzellen- und Lysimeterversuche im Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie:

Durchgeführt vom LfULG gibt es verschiedene Parzellen- und Lysimeterversuche, die sich mit ackerbaulichen Maßnahmen zur Stickstoffnutzungseffizienz und Stickstoffbilanzierung befassen. In praxisbezogenen Exaktversuchen wird die Nährstoffzufuhr mit ackerbaulichen Maßnahmen und die Nährstoffabfuhr mit Ernteprodukten erfasst, begleitend wird dreimal jährlich (zu Vegetationsbeginn, nach der Ernte und vor dem Winter) N_{min} im Boden bestimmt (LfULG 2016c).

Zur Untersuchung der Stickstoffnutzungseffizienz aus organischer Düngung wurden in einem Dauerdüngungsversuch von 1966 bis 2014 Stickstoffsalden organisch und mineralisch gedüngter Flächen verglichen (LfULG 2016c).

Über einen Zeitraum von 12 Jahren (2000 – 2012) wurden in Praxisbetrieben Versuche zu einer pauschal reduzierten N-Düngung umgesetzt. Die Stickstoffausbringung wurde, verglichen mit dem optimalen Düngungsniveau, um 20% reduziert und die Entzüge sowie Boden-N_{min} nach der Ernte ermittelt (LfULG 2016c).

Für die Jahre 2009 – 2013 liegen Versuchsdaten zu mineralischen Injektionsdüngungsversuchen vor, die auf Versuchsflächen des LfULG durchgeführt wurden. In diesen Parzellenversuchen wurden Stickstoffsalden ermittelt und N_{min}-Gehalte für die Tiefe 0-60 cm erhoben.

Zur Beurteilung des Einflusses verschiedener Bodenbearbeitungsmaßnahmen (Pflug, Grubber, Direktsaat) auf Sickerwassermenge und Nitratkonzentration im Sickerwasser wurden in einer Lysimeteranlage drei verschiedenen Bodentypen verglichen und Sickerwasser in 1 m Tiefe beprobt. Für diese Untersuchung liegen Daten von 2000 bis 2010 vor.

Die Ergebnisse der vorgestellten Studien (Bodendauerbeobachtungsflächen, Nitrat-Dauertestflächen, Lysimeter, Parzellen und Lysimeterversuche des LfULG) stehen kostenfrei zur Verfügung und Messungen an den Dauerbeobachtungsversuchen werden auch in Zukunft weitergeführt. Des Weiteren soll die Erfassung von Klimadaten verbessert werden, indem Daten anderer bestehender meteorologischer Messnetze einbezogen werden und die Versuchsstandorte mit Bodenthermometern nachgerüstet werden. Um einen größtmöglichen Nutzen dieser vieljährigen Datensammlung zu erhalten und mit dem Ziel einer ressortübergreifenden Auswertung wurde der Modellverbund ReArMo erstellt, mit dem die Nutzung der vorhandenen Daten für Simulationsstudien möglich ist (LfLUG 2016c).

3.9.2.6. Wasser- und Stoffmanagement in intensiv genutzten Einzugsgebieten

Dabei handelt es sich um ein Verbundprojekt zur Entwicklung von „Verbesserten Ansätzen für Wasser- und Stoffstrommanagement in intensiv genutzten kleinen Einzugsgebieten auf der Grundlage von integrierten Nutzen- und Risikobewertungen“. Ziel dieses Projektes war die Zusammenstellung eines Entscheidungshilfesystems, welches genutzt werden kann um wasserwirtschaftliche Planungsprozesse zu unterstützen. Um dies zu ermöglichen wird eine Kombination von Simulationsmodellen für Wasser- und Stoffhaushalt, der Darstellung von Stoffströmen, Geoinformationssystemen und multikriteriellen Bewertungsverfahren benötigt. Zur Entwicklung dieses Entscheidungshilfesystems wurden drei Versuchseinzugsgebiete ausgewählt, davon liegt das Untersuchungsgebiet Saidenbach in Sachsen und wird von der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft bearbeitet (SLfL 2006). Das

Untersuchungsgebiet Saidenbach ist ein stark landwirtschaftlich geprägtes Einzugsgebiet. Fokus der Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes sind daher diffuse Eintragsquellen, die analysiert werden sollen mit dem Ziel sinnvolle Maßnahmen zur Erfüllung der WRRL zu identifizieren (SLfL 2006).

Um im Rahmen dieses Projektes die potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser des Untersuchungsgebietes Saidenbach abzuschätzen wurden aus dem sächsischen Stickstoffmonitoring die Daten der Dauerbeobachtungsflächen herangezogen (SLfL 2006). Zur Abschätzung der Frühjahrs-N_{min}-Gehalte wurde die Datenbank des Düngerberatungsprogramms BEFU für die N_{min}-Werte verwendet und mit den Daten aus den Nitrat-Dauertestflächen abgeglichen (SLfL 2006).

3.9.2.7. Modellgestützte Abschätzung und Szenarienberechnung zur Wirkung stoffeintragsmindernder Fördervorhaben der Richtlinie „Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen“ (RL AUK/2015) auf die Nitratbelastung des Sicker- und Grundwassers in drei Einzugsgebieten mit dem gekoppelten Wasserhaushalts- und Stofftransportmodell ReArMo

Laut LfULG (2018b) ist dies ein aktuelles Forschungsprojekt mit einer Laufzeit von 2018-2022. Bislang sind allerdings keine genaueren Angaben zu Forschungsfragen, Methoden oder ersten Ergebnissen publiziert.

Tab. 9: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Sachsen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	SMUL[1] LfULG[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Sachsen
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	SMUL[1] LfULG[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Sachsen
Düngebedarfsermittlung (DüV) Nitratinformationsdienst (NID)	Nitratrichtlinie	Frühjahrs-N_{min}	SMUL[1] LfULG[2]	Land Sachsen
Landwirtschaftliche Beratung	WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Schlagbilanzen	SMUL[1] LfULG[2] Wasserbehörden	Land Sachsen
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz	WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min}	SMUL[1] LfULG[2]	Land Sachsen BUND EU
Landwirtschaftliche Dauermonitoringflächen	WRRL[3]	Sickerwassermessung Lysimeter	SMUL[1] LfULG[2]	Land Sachsen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Schutz und -Ausgleichsverordnung (SchaVO)		Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min}		
Modell STOFFBILANZ Modell CANDY	WRRL[3]	Diffuse Nährstoffeinträge auf Flussgebietsebene	SMUL[1] LfULG[2]	Land Sachsen
Szenarienbewertung mit gekoppelten Nitrattransportmodellen	WRRL[3]	N_{min}-Untersuchungen Nitrat-Tiefenprofile Saugkerzenanlagen Schlagdatenauswertung und N- sowie Humusbilanzierung mit REPRO und BESyd	SMUL[1] LfULG[2]	Land Sachsen
Bodendauerbeobachtungsflächen Nitrat-Dauertestflächen	DüV WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Bewirtschaftungsdaten Gehalte an Grund- und Mikronährstoffen Lysimeter	SMUL[1] LfULG[2]	Land Sachsen

[1] SMUL Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

[2] LfULG Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

[3] WRRL Wasserrahmenrichtlinie

3.10. Sachsen-Anhalt

3.10.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Die Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG) ist als Fachbehörde des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (MULE) sowie als Kompetenzzentrum für Behörden des Landes mit der Umsetzung und Überwachung rechtlicher Regelungen im Bereich Boden- und Gewässerschutz und Düngung sowie der Entwicklung von Strategien zur Umsetzung der WRRL beauftragt (LLG 2017).

Für die Umsetzung der DüV erarbeitet die LLG Düngeempfehlungen und N_{min}-Richtwerte beruhend auf N_{min}-Untersuchungen auf Praxisflächen, monatlich beprobten Dauertestflächen und in Feldversuchen. Zur Umsetzung der Vorgaben aus der Wirtschaftsdüngerverbringungsverordnung (WDüngV) wird in Sachsen-Anhalt zurzeit an einer Landesverordnung und dem Aufbau einer zentralen Wirtschaftsdüngerdatenbank zur Erfassung von Nährstoffströmen und Nährstoffimporten gearbeitet (Amberg 2018). Für die Erstellung der Düngeempfehlungen, Nährstoffvergleiche nach DüV und zur Berechnung der Stoffstrombilanz nach Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) erstellt die LLG derzeit die Erfassungs- und Berechnungsprogramme DüProNP (Düngebedarfsermittlungs-Programm für Stickstoff und Phosphor) und BESyD (Bilanzierungs- und Empfehlungs-System Düngung) (Stolpe 2018).

Um die Ziele der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu erreichen, wurde das „Konzept zum Umgang mit Nährstoffeinträgen in die Gewässer Sachsen-Anhalts (Nährstoffkonzept 2015-2021)“ als fachlicher und zeitlicher Rahmen für die Vorbereitung und Umsetzung von Maßnahmen in Grundwasserkörpern und Oberflächengewässern erstellt. Das Konzept ist eine Fortschreibung von Projektarbeiten, welche in den Jahren 2010 bis 2014 durchgeführt wurden und deren Ergebnisse zu wesentlichen Teilen als Grundlage zur Erstellung des Nährstoffkonzeptes dienten. Darunter sind insbesondere Ergebnisse zur landesweiten Modellierung von Stickstoff- und Phosphoreinträgen in das Grund- und die Oberflächengewässer mit dem Modellpaket GROWA-WEKU/DENUZ-MEPhos des Forschungszentrums Jülich für die Ableitung und Weiterentwicklung von Maßnahmen herangezogen worden. Der Projektzeitraum orientiert sich an den Zeitvorgaben der WRRL. Das aktuelle Nährstoffkonzept 2015-2021 soll die diffusen und punktuellen Nährstoffverlagerungen bei Stickstoff in Form von Nitrat-N und Ammonium-N sowie von Phosphor in ihrer Gesamtheit erfassen. Das Arbeitsprogramm umfasst die räumlich differenzierte und eintragsspezifische Weiterentwicklung der durch die Modellierung geschaffenen Grundlage zur Quantifizierung der Nährstoffeinträge. Durch die Verbesserung der Düngeplanung und des Düngemanagements soll die Nährstoffeffizienz gesteigert und somit die Nitrateinträge über die Fläche in das Grundwasser verringert werden. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung von Nährstoffeinträgen über Dränagen (LLG 2017). Die Aufgaben im Bereich „Diffuse Quellen“ werden durch das MULE koordiniert. Die Projektbearbeitung erfolgt durch die LLG, den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) und das Landesamt für Bergwesen (LAGB).

Die chemische Beschaffenheit des Grundwassers in Sachsen-Anhalt wird durch den Gewässerkundlichen Landesdienst (GLD) des LHW zur Umsetzung der WRRL sowie der Grundwasser- und Nitratrichtlinie ermittelt (LHW 2012). Der Indikator Nitratgehalt im Grundwasser soll gemäß der

Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI 2017) zur Überprüfung der Wirksamkeit der Aktionsprogramme zur Verminderung des Nitrateintrags dienen. Hierbei ist nach MULE (2014) allerdings zu berücksichtigen, dass die Nitratgehalte in Sachsen-Anhalt nicht ausschließlich auf die aktuelle Bewirtschaftung zurückführbar sind, da der Stickstoff-Bilanzüberschuss im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands bereits auf relativ geringem Niveau liegt. Die Nitratgehalte im Grundwasser sind daher nur unter zusätzlicher Berücksichtigung der geringen Niederschlagssummen, einer geringen Sickerwasserbildung sowie langen Fließ- und Verweilzeiten des Sickerwassers unter den Bedingungen Sachsen-Anhalts plausibel zu erklären.

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

In Sachsen-Anhalt werden mit der Förderung durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds zur Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER) Agrarumweltmaßnahmen zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft finanziell gefördert. Darunter wurde neben der Förderung der Anwendung von Mulch- und Direktsaatverfahren sowie des Zwischenfruchtanbaus auch das Förderprogramm Freiwillige Gewässerschutzleistungen (2015 aus Landesmitteln finanziert) zur Verringerung von Stickstoffeinträgen in Grundwasser und Oberflächengewässer angeboten, bei dem die Landwirte sich zur Einhaltung eines maximalen Stickstoffüberschusses von 40 kg ha^{-1} verpflichten (BMUB 2017).

3.10.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.10.2.1. Verknüpfung des Modells STOFFBILANZ mit dem Modellpaket GROWA-WEKU-MePhos

Das in Sachsen entwickelte Modell STOFFBILANZ kann zur flussgebietsspezifischen Quantifizierung diffuser Nährstoffausträge aus der Fläche und deren Eintrag in Fließgewässer, Seen und das Grundwasser eingesetzt werden (Witing et al. 2016; Gebel et al. 2017, Tabelle 10). Dabei werden sowohl Stickstoff und Phosphor als auch Sedimentverlagerungen berücksichtigt. In STOFFBILANZ können unter anderem die Stickstoffbilanz und damit verbundene Stickstoffumsätze statisch abgeschätzt werden. Die Berechnung der Umsetzungsprozesse (Umsatz- und Immobilisierung ohne Denitrifikation) erfolgt dabei indikatorbasiert über Pedotransferfunktionen und Korrekturfaktoren. Mit dem Modell können Stoffstrombilanzierungen unter Annahme unterschiedlicher Landschaftsszenarien unter Darstellung von Quellen, Transportpfaden, definierten Risikogebieten und auf unterschiedlichen Skalen, z.B. Grundwasserkörper vorgenommen werden (Witing et al. 2016; Gebel et al. 2017).

Die Module zur Bilanzierung von Stickstoff und Phosphor aus dem Modell STOFFBILANZ wurden in Sachsen-Anhalt zur systematischen Erfassung von diffusen Stickstoff- und Phosphoremissionen genutzt (LLUG 2012). Die berechneten Daten werden über eine Schnittstelle an das Modellpaket GROWA/WEKU übermittelt. Die Modellierung soll zur regelmäßigen Nitratberichterstattung herangezogen werden und Aufschluss über die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung von diffusen Nährstoffeinträgen liefern. Bei der Stickstoffbilanzierung soll der organische und der anorganische Stickstoff im Boden für eine genauere Abbildung bewirtschaftungsbedingter Effekte berücksichtigt werden. Die Berechnungen zeigen, dass in den Ackerbaugebieten des Landes Sachsen-

Anhalt häufig Stickstoffbilanzüberschüsse von über 50 kg $ha^{-1}a^{-1}$ anfallen. Die Szenarien, Ergebnisse, Parameter und Eingangsdaten werden in einer Geodatenbank hinterlegt (LLG 2012).

3.10.2.2. Anwendung der Modellkombination STOFFBILANZ/GROWA-WEKU/DENUZ-MEPhos

Zur Quantifizierung und Bewertung von Stickstoff- und Phosphoreinträgen in das Grund- und Oberflächenwasser Sachsen-Anhalts und zur flächendifferenzierten Ermittlung der Bedeutung verschiedener Eintragspfade wurde das Modellpaket GROWA-DENUZ/WEKU bzw. GROWA-MEPhos (P-Transportmodell zur Ermittlung des Phosphoreintrags) durch das Forschungszentrum Jülich für das Bundesland Sachsen-Anhalt parametrisiert und angewendet (Kuhr et al. 2014). Neben diffusen Nährstofffrachten wurden bei den Berechnungen punktuelle Einträge aus kommunalen Kläranlagen sowie die Nährstoffretention in Oberflächengewässern einbezogen. Zusätzlich zur Ausweisung von Risikogebieten sollte anhand der Modelle auch die Wirksamkeit ausgewählter Maßnahmen auf die Verringerung von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer bewertet werden.

Die Berechnungen erfolgten entlang eines 50 x 50 m Rasters über die gesamte Landesfläche anhand von geologischen, hydrologischen und pedologischen Daten des LHW sowie Daten zu landwirtschaftlichen Stickstoffbilanzüberschüssen aus den Berechnungen mit dem Modell STOFFBILANZ vom LLG im Mittel der Jahre 2007-2009.

Die Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell GROWA zeigten, dass basierend auf der hydrologischen Referenzperiode von 1971-2000, die Sickerwasserhöhen und damit die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser je nach Region sehr unterschiedlich ausfallen und somit nicht nur von der Höhe der Nitrat-N-Menge im Boden abhängen. So wurde im Boden im Harz eine Sickerwassermenge von 550 mm a^{-1} im Vergleich zu 50 mm a^{-1} in der Magdeburger Börde ermittelt. Die Grundwasserneubildungshöhe liegt den Berechnungen zur Folge in weiten Teilen Sachsen-Anhalts bei unter 50 mm a^{-1}.

Der Nitratabbau im Boden wurde durch das DENUZ-Modell quantifiziert. Dabei wurden die Verweilzeit des Sickerwassers in der durchwurzelten ungesättigten Bodenzone und das vorliegende Nitratabbauvermögen zur Ermittlung herangezogen. In einem Großteil der Regionen Sachsen-Anhalts liegt die Verweilzeit des Sickerwassers zwischen 6 Monaten und 3 Jahren. Auf Börde- bzw. Lößstandorten wurden aufgrund des geringen Sickerwasseraufkommens in Kombination mit dem hohen Wasserspeichervermögen der Böden Verweilzeiten von 3 Jahren und mehr berechnet. Obwohl die Nitratabbaubedingungen im durchwurzelten Boden vor allem in den Bördelandschaften als ungünstig bewertet werden, führen die langen Verweilzeiten des Sickerwassers zu einer Reduzierung der Stickstoffbilanzüberschüsse um mehr als 70 %.

Im Mittel des Landes werden den Berechnungen zur Folge 14 kg N ha^{-1} a^{-1} aus der durchwurzelten Bodenschicht ausgewaschen. In die Grundwasserleiter werden im Mittel des Landes etwa 8 kg N ha^{-1} a^{-1}mit der Grundwasserneubildung eingetragen. Vor allem in den Regionen, in denen die auswaschungsgefährdete Nitrat-N-Menge im Boden über 25 kg N ha^{-1} a^{-1} lag, wurden Nitratkonzentrationen im Sickerwasser von über 75 mg NO_3l^{-1} ermittelt. Anhand der Simulation wurde weiterhin gezeigt, dass bei einer Sickerwassermenge von lediglich 50mma^{-1} bereits eine Nitrat-N-Menge im Boden von 10 kg N ha^{-1} a^{-1}ausreicht, um eine Nitratkonzentration im Sickerwasser von 90 mg NO_3l^{-1} zu erreichen. Im Gegensatz dazu würde den Berechnungen zur Folge bei einer Nitrat-N-

Menge von 5 kg N ha^{-1} a^{-1} bereits der Schwellenwert von 50 mg NO_3l^{-1} überschritten, so dass der maximal zulässige Stickstoffbilanzüberschuss in der Magdeburger Börde nur bei 5-10 kg N ha^{-1} a^{-1} liegen dürfte (Kuhr et al. 2014).

Die Berechnungen zeigten, dass hohe Verweilzeiten auch bei sinkenden Stickstoffbilanzüberschüssen zu kurz- bis mittelfristigen Erhöhungen der Nitratkonzentrationen im Grundwasser führen können. Im Lockergesteinsgebiet von Sachsen-Anhalt dominieren Verweilzeiten zwischen 10 und 35 Jahren. Die Verweilzeitenanalyse ist möglicherweise dazu geeignet, eine mögliche Verfehlung der Ziele der WRRL gegenüber der EU trotz laufender Stickstoffminderungsmaßnahmen zu begründen (Kuhr et al. 2014). Für zukünftige Modellrechnungen hinsichtlich der Ermittlung von Verweilzeiten und Denitrifikation ist in Sachsen-Anhalt die Einbeziehung der gesamten ungesättigten Bodenzone vorgesehen (Schrödter 2017).

Kuhr et al. (2014) schlussfolgern aus den Untersuchungen, dass das verwendete Modellpaket für die Beschreibung der Nährstoffsituation in Sachsen-Anhalt geeignet ist. Im Vergleich zu anderen Regionen in Deutschland liegen die landwirtschaftlichen Stickstoffbilanzüberschüsse Sachsen-Anhalts auf relativ geringem Niveau. Kuhr et al. (2014) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass die besondere hydrologische Situation bei der Bewertung und Ableitung von Minderungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollten. Die geringen Niederschläge führen in einigen Regionen zu einer nur geringen Sickerwasserbildung, so dass hohe Nitratkonzentrationen auftreten, die nicht durch hohe Stickstoffüberschüsse zu begründen sind. Es wird eine „zyklische“ Wiederholung der Modellierung zur Bewertung der Effizienz von Maßnahmen unter Verbesserung der Datengrundlage angestrebt.

3.10.2.3. Kooperation Lysimeter

Mit Hilfe von Lysimetern können Nitratfrachten über die Ermittlung von Sickerwassermengen und darin enthaltener Stickstoffkonzentrationen vergleichsweise genau ermittelt und ein Bezug zur Bewirtschaftung abgeleitet werden. Durch die länderübergreifende Kooperation Lysimeter zwischen Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen soll darüber hinaus die Interaktion von Bewirtschaftung, Standortbedingungen und Nährstoffauswaschung zur gezielten Planung von Maßnahmen zum Erreichen der Ziele der WRRL ermittelt werden. Die Kooperation soll dazu genutzt werden, standortangepasste Maßnahmen zum Gewässerschutz abzuleiten und deren Wirksamkeit zu beurteilen. Weiteres Ziel der Untersuchungen ist die Bestimmung der Höhe der unvermeidbaren Stickstoffverluste bzw. standortspezifischer Schwellenwerte für Stickstoffüberschüsse. Die jeweilige Lage der Lysimeteranlagen soll die vielfältigen Standorteigenschaften sowie landwirtschaftlicher Bewirtschaftungssysteme in den Ländern nach Möglichkeit repräsentieren (Knoblauch et al. 2013). Die Lysimeterstationen befinden sich in Buttelstedt (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)), Brandis (Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen (SBfUL)), Leipzig-Möckern sowie Methau (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)), Falkenberg (Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG/UFZ), Kassel (Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH)) und Großlüsewitz (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA)).

Die Untersuchungen haben laut Knoblauch et al. (2013) gezeigt, dass die Stickstoffauswaschung in erheblichem Maße von den Standortbedingungen abhängt. Anhand der Ergebnisse aus langjährigen

Messreihen wurden die Versuchsstandorte entsprechend der N-Auswaschungsrate in drei Gruppen eingeordnet.

Bei mittel- und tiefgründigen Lössböden wurden geringe Austauschraten des Bodenwassers zwischen <40 und <10% ermittelt, so dass bis in das Folgejahr große Teile des Stickstoffs in der Wurzelzone verbleiben und somit pflanzenverfügbar vorliegen. Knoblauch et al. (2013) schlussfolgern, dass sich dementsprechend die Bewirtschaftung eines Jahres nicht auf die N-Auswaschung in der darauffolgenden Sickerwasserperiode auswirkt. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass bei der Bewertung der Wirtschaftsweise des Landwirts anhand von N-Bilanzen diese, im Mittel der Jahre als relativ gering einzustufende Auswaschungsgefährdung, außer Acht gelassen werde.

In Schwarzerden aus unterem Keuper im Thüringer Becken, sowie beim lehmunterlagerten Sandlöss des Leipziger Lösstieflandes wird das Nitratverlagerungspotential trotz geringer Austauschraten von <40% im Vergleich zum tiefgründigen Lössboden als deutlich höher eingestuft. Zwar lägen auch in diesen Böden Stickstoffüberschüsse noch im Folgejahr in der Wurzelzone vor, allerdings zeigte sich in diesen Regionen eine überdurchschnittlich hohe N-Auswaschung, wenn auf mehrere Trockenjahre mit Ertragsdefiziten und akkumulierten N-Überschüssen niederschlagsreiche Jahre folgen.

Als weitere Gruppe von Boden-Klima-Regionen führen Knoblauch et al. (2013) die schluffig- und lehmig-sandigen diluvialen Böden im nordwestmecklenburgischen Flachland und der Dahlen-Dübener Heide, die sandunterlagerten Sandlössböden im Leipziger Lösstiefland sowie die lehmig-sandigen Verwitterungsböden der Ostthüringer Sandsteinplatte mit Austauschraten zwischen 60 und 100 % an. Auf einer lehmig-sandigen Pseudogley-Braunerde der Ostthüringer Sandsteinplatte wurde ein enger Zusammenhang zwischen dem N-Überschuss, dem Herbst-N_{min} und der N-Auswaschung mit dem Sickerwasser beobachtet. Im Gegensatz zu den mittel- bis tiefgründigen Lössböden zeigte sich an diesen Standorten, dass die Bewirtschaftungsmaßnahmen eines Jahres einen direkten und großen Einfluss auf die N-Auswaschung im Winterhalbjahr haben.

Die N-Bilanz ist laut Knoblauch et al. (2013) bei der Betrachtung von Zeitreihen ein geeigneter Indikator für die Bewertung der Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Grundwasserqualität. Ungenauigkeiten bei der N-Bilanzierung ergeben sich noch aus der Bemessung der legumen N-Bindung und bei hohem Einsatz von organischen Düngemitteln. Zur Reduzierung der N-Auswaschung werden standortspezifische Ziel-N-Salden vorgeschlagen. Dabei soll die unvermeidbare N-Auswaschung als Verlustgröße angesehen werden, welche langfristig durch Düngung ersetzt werden muss. Aufgrund der witterungsbedingten Ertragsschwankungen sollen dabei für die Ziel-N-Salden Toleranzbereiche basierend auf Ergebnissen langjähriger Feldversuche definiert werden. Jährliche N-Bilanzen seien bei Außerachtlassung des N-Umsatzes sowie des Wasserflusses im Boden nicht zur Abschätzung der N-Auswaschung geeignet.

3.10.2.4. Modellvorhaben Querfurter Platte

Mit dem Ziel die Wirksamkeit von Maßnahmen hinsichtlich der Reduzierung diffuser Nährstoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer im Rahmen der Nitrat- und der Wasserrahmenrichtlinie bewerten zu können, wurde das Modellvorhaben „Erarbeitung von Maßnahmen zur Reduktion diffuser Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer und das Grundwasser am Beispiel des Pilotgebietes Querfurter Platte“ zu Beginn des Jahres 2016 initiiert (Jahresbericht 2017, Schrödter 2017). Das

Vorhaben wird durch das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie (MULE) finanziert und von der LLG bearbeitet. Das Modellvorhaben umfasst die Auswertung von Stickstoffbilanzen und ein intensives N_{min}-Monitoring auf ausgewählten Praxisschlägen. Das Pilotgebiet im südlichen Sachsen-Anhalt liegt über dem Grundwasserkörper SAL-GW014, in welchem der Grenzwert von 50 mg/l Nitrat an einigen Grundwassermessstellen überschritten wird. Die langjährigen Niederschlagsmengen im Testgebiet liegen bei 550 mm a^{-1} bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,0 °C. Die vorherrschenden Bodentypen werden als Normtschernosem und Braunerde-Tschernosem aus Löß und Lößlehm klassifiziert (Tauchnitz et al. 2017). An dem Vorhaben beteiligen sich 9 konventionell wirtschaftende Demonstrationsbetriebe mit 125 Ackerschlägen bzw. einer Gesamtackerfläche von ca. 6.000 ha. Für die in den Untersuchungen berücksichtigten Schläge stellten die Demonstrationsbetriebe die Schlagkarteien für 5 Jahre rückwirkend zur Verfügung. Die Stickstoffbilanzsalden zeigten auf den Betrieben keine bis leichte Überschüsse. Die bisherigen N_{min}-Untersuchungen weisen hingegen N_{min}-Gehalte von 30-140 kg N ha^{-1} aus. Die hohe Variation bzw. Abweichung von den Stickstoffbilanzsalden wird auf die N-Nachlieferung durch Mineralisation aus der organischen Bodensubstanz zurückgeführt. Im Frühjahr 2016 ergab die N_{min}-Beprobung eine Schwankungsbreite von 23 bis 247 kg N ha^{-1}, während der Mittelwert bei 93,6 kg N ha^{-1} lag. Im Herbst 2016 wurden auf ausgewählten Schlägen Düngefenster angelegt, von denen auch Boden- und Pflanzenproben analysiert wurden. Das Modellvorhaben ist für eine Laufzeit von 3-5 Jahren geplant (Jahresbericht 2017).

3.10.2.5. Saugplattenanlagen

In Kaltenmark (Petersburg) im mitteldeutschen Trockengebiet wurde im Oktober 2016 ein Bodenwassermessplatz mit Saugplattenanlage ergänzend zum Saugkerzenmessplatz in Bernburg eingerichtet (Jahresbericht 2017). Auf einem konventionell bewirtschafteten Ackerschlag mit Lössboden (sL3) wurden in zwei Profilgruben (250 cm) mit drei Wiederholungen Glas-Saugplatten (Firma ecoTech) in 150 cm Bodentiefe installiert, um Proben des aus der Wurzelzone ausgewaschenen Sickerwassers zu sammeln. Zusätzlich wurden zur genaueren Abschätzung des Sickerwasseraufkommens Bodenfeuchtesensoren in 60, 90, 120 und 150 cm Bodentiefe installiert. Parallel zum Betrieb der Saugplattenanlage wurden N_{min}-Proben bis 90 cm Bodentiefe entnommen und Wetterdaten aufgezeichnet. Die Auswertungen sind bislang noch nicht abgeschlossen. Die Firma HYDOR setzt anhand der Rohdaten aus den Untersuchungen ein Bodenwasser- und Stoffverlagerungsmodell für das Lößgebiet auf.

3.10.2.6. Auswertung betrieblicher Stickstoffbilanzen

In den Jahren 2012 bis 2014 wurden in Sachsen-Anhalt ca. 470 betriebliche N-Bilanzen entsprechend den Vorgaben der DüV ausgewertet. Im Mittel des Landes wurde dabei ein Saldo von 30 kg N ha^{-1} berechnet (BMUB 2017). Die Bilanzen zeigten im Mittel der drei Jahre gegenüber dem vorangegangenen Berichtszeitraum (2008-2011 = 45kg N ha^{-1}; BMUB 2012) eine Senkung der Stickstoffüberschüsse. Laut Schrödter (2017) bestand allerdings kein unmittelbar korrelativer Zusammenhang zwischen den Stickstoffüberschüssen und der Höhe der N-Auswaschung über das Sickerwasser bei der Betrachtung der einzelnen Jahre. Weiterhin konnte bei einzeljähriger Betrachtung beobachtet werden, dass das bewirtschaftungsbedingte Verlagerungsrisiko durch Witterungseffekte

und die vorherrschenden Bodeneigenschaften überlagert wurde. Bei der Betrachtung langjähriger Zeitreihen traten Bewirtschaftungseffekte hingegen in den Vordergrund.

3.10.2.7. N_{min}-Messungen bei der Boden-Dauerbeobachtung

In Sachsen-Anhalt werden jährlich im Rahmen des landesweiten Testflächennetzes auf ca. 500 repräsentativen Praxisflächen Frühjahrs-N_{min}-Proben durch die LLG entnommen und ausgewertet (BMUB 2017). Eine Herbst-N_{min}-Beprobung wurde im Jahre 2015 auf ca. 300 dieser Flächen durchgeführt. Auf 180 Dauerbeobachtungsflächen werden zum Teil an mehreren Terminen im Jahr Proben entnommen. Im Zeitraum 2012-2015 erfolgten in Sachsen-Anhalt rund 14.200 N_{min}-Untersuchungen. Die LLG wertet die Daten aus den Proben aus und stellt die Ergebnisse in Form von N_{min}-Empfehlungen (N_{min}-Richtwerte bis 90 cm Bodentiefe) den Landwirten zur Verfügung. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden ferner mit N-Bilanzen abgeglichen (BMUB 2017). Die aus den Dauermessreihen gewonnenen Daten sollen in Kombination mit der Erfassung digitaler Schlaginformationen als Grundlage zur Simulation von Umsatz- und Transportprozessen bei Kohlenstoff und Stickstoff im Boden mit dem Simulationssystem CANDY (Carbon and Nitrogen Dynamics) genutzt werden.

Tab. 10: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Sachsen-Anhalt

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	MULE[1] LLG[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Sachsen-Anhalt
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	MULE[1] LLG[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Sachsen-Anhalt
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} N-Bilanzen Lysimeteruntersuchungen	LLG[2]	Land Sachsen-Anhalt
Landwirtschaftliche Beratung	WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Lysimeteruntersuchungen Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen	MULE[1] LLG[2] Beratungsinstitutionen Landwirtschaftsbetriebe	Land Sachsen-Anhalt

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Lysimeteruntersuchungen Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen	MULE[1] LLG[2] Landwirtschaftsbetriebe	Kommunen Land Sachsen-Anhalt BUND EU
Bodendauerbeobachtungsflächen	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen Modellierung	MULE[1] LLG[2]	Land Sachsen-Anhalt
Flächendeckende Quantifizierung von Stickstoffeinträgen in Grundwasser und Oberflächengewässer	WRRL[3]	Modellkombination STOFFBILANZ-GROWA-WEKU-DENUZ-MePhos	MULE[1] LLG[2] Forschungszentrum Jülich	Land Sachsen-Anhalt
Kooperation Lysimeter	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N-Auswaschung	BfUL[4] LFA[5] LfL[6] LfULG[7] LLG[2] LLH[8] TLL[9] UFZ[10]	Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern
Modellvorhaben Querfurter Platte	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N-Bilanzen N_{min}-Untersuchungen	MULE[1] LLG[2]	Land Sachsen-Anhalt
Bodenwassermessplätze mit Sickerwasseruntersuchungen	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Sickerwasseruntersuchungen N-Bilanzen N_{min}-Untersuchungen	MULE[1] LLG[2] ecoTech[11] HYDOR[12]	Land Sachsen-Anhalt
Auswertung von N-Bilanzen	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N-Bilanzen	MULE[1] LLG[2]	Land Sachsen-Anhalt

[1]MULE Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie Sachsen-Anhalt

[2]LLG Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt

[3]WRRL EG-Wasserrahmenrichtlinie

[4]BfUL Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Sachsen

[5]LFA Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

[6]LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

[7]LfULG Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
[8]LLH	Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen			
[9]TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft			
[10]UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung			
[11]ecotech	Umwelt-Messsysteme GmbH			
[12]HYDOR	Hydrogeologische Planung und Beratung			

3.11. Schleswig-Holstein

3.11.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

In Schleswig-Holstein hat das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (LKSH) mit der landesweiten Umsetzung düngerechtlicher Vorgaben beauftragt. Zur Düngebedarfsermittlung im Rahmen der Düngeverordnung erarbeitet die LKSH als zuständige Behörde für die landwirtschaftliche Beratung regelmäßig aktuelle Richtwerte für behördliche Düngeempfehlungen. Dazu werden auf rund 160 Schlägen regionale N_{min}-Werte für Ackerkulturen erhoben (Nitratmessdienst), Daten aus Bodenuntersuchungen, Gülle- und Gärrestuntersuchungen sowie Ergebnisse aus Versuchen zum Düngemitteleinsatz und Nährstoffmanagement zusammengeführt (BMUB 2017, LKSH 2018, Tabelle 10).

Die LKSH ist des Weiteren mit der Überwachung düngemittelrechtlicher Vorschriften im Zusammenhang mit der Einfuhr und dem Inverkehrbringen von Düngemitteln (Düngemittelverkehrskontrolle) betraut. Darunter fallen unter anderem die Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV), das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdüngern (WDüngV), die Meldeverordnung von Wirtschaftsdüngern (Landesverordnung WDüngMeldPflV), die Verordnung betreffend der Verwertung von Bioabfällen auf land- und forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (BioAbfV) sowie die Klärschlammverordnung (AbfKlärV).

In Schleswig-Holstein besteht kein Landeserlass, der die Landwirte zur Meldung von Aufzeichnungen hinsichtlich betrieblicher Bilanzen (NährstoffvergleichDüV, Stoffstrombilanz), Ergebnissen von Bodenanalysen, verwendeten N_{min}-Richtwerten, der resultierenden Düngebedarfsermittlung oder den veranschlagten Nährstoffgehalten für die eingesetzten Düngemittel verpflichtet. Daher ist derzeit keine Datengrundlage für flächendeckende Betrachtungen im Rahmen eines Monitorings verfügbar (Taube et al. 2015, LKSH 2018).

In der Gebietskulisse WRRL sind die Gewässerschutzberatung und auf den Grundwasserschutz ausgerichtete Agrarumweltmaßnahmen wesentliche Bestandteile des Maßnahmenprogramms zur Erreichung der Gewässerschutzziele. Die freiwillige landwirtschaftliche Zusatzberatung zum Grundwasserschutz wird seit 2008 durch Beratungsunternehmen in sechs Beratungsgebieten mit jeweils ein bis drei Grundwasserkörpern im schlechten chemischen Zustand im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) durchgeführt. Die Ausrichtung der Beratung wird in Arbeitskreisen (Gewässerschutzforen) bestehend aus Landwirten, örtlichen Vertretern des Bauernverbandes, den beratenden Institutionen, der Landwirtschaftskammer sowie Wasser- und Bodenverbänden anhand eines Austausches von Erkenntnissen und Erfahrungen festgelegt. In jedem Beratungsgebiet wurden 20 repräsentative landwirtschaftliche Betriebe zur einzelbetrieblichen Beratung gewählt. Darunter sind 10 sogenannte Leitbetriebe, auf denen bis dahin keine grundwasserschutzbezogenen Agrarumweltmaßnahmen umgesetzt wurden, und 10 Betriebe, die solche Maßnahmen durchführen. Mit begleitenden Pilotmaßnahmen wird die Umsetzung von Grundwasserschutzmaßnahmen unter Praxisbedingungen

erprobt. Als Erfolgsindikatoren zur Bewertung der Wirksamkeit der Beratung und der Agrarumweltmaßnahmen auf den Betrieben werden durch die Berater, analog zur Trinkwasserschutzberatung, Feld-Stall- und Hoftorbilanzen berechnet. Auf rund 130 Schlägen werden Herbst-N_{min}-Werte ermittelt. Insgesamt werden in jedem Jahr landesweit 120 Nährstoffbilanzen und 800 Herbst-N_{min}-Werte ermittelt. Die Daten der Erhebungen in der Gebietskulisse WRRL werden anonymisiert an das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) zu Auswertungs- und Dokumentationszwecken weitergeleitet (Steinmann 2010, Steinmann 2012, MELUR 2014, Wilken 2014, MELUR 2015, MELUR 2016, Wienholdt 2016, Lübben 2017, Steinmann 2017, LLUR 2018).

Die Gewässerschutzberatung zur Umsetzung der WRRL wurde im Zeitraum 2008-2014 zunächst aus Landesmitteln finanziert. Seit 2015 wird die Beratung zusätzlich aus Mitteln des Europäischen Landwirtschaftsfonds (ELER) gefördert. Dazu wurde ein neues Beratungssystem mit 18 Beratungsmodulen in drei sogenannten Modulgruppen eingeführt. Die Modulgruppen gliedern sich anhand der Intensität der Beratung in eine einzelbetriebliche Beratung, eine themenspezifische Beratung sowie eine Gruppenberatung. Durch das neue Konzept sollen mehr Betriebe und Grundwasserkörper erfasst sowie auch Seeeinzugsgebiete in die Gebietskulisse integriert werden. Die Erfolgskontrolle zur Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen zur Reduzierung von Nährstoffeinträgen in die Gewässer und zur Erreichung der Ziele der WRRL wird analog zum Zeitraum 2008-2014 fortgeführt. Im Rahmen der Beratungsangebote werden Schwachstellenanalysen durch Auswertung von Nährstoffbilanzen und Düngeplanungen sowie analytischen Erfolgskontrollen (Herbst-N_{min}) vorgenommen (MELUR 2014, MELUR 2015, MELUR 2016, Wienholdt 2016, BMUB 2017, Lübben 2017, Steinmann 2017).

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) hat zur Verbesserung der Grundwasserqualität in 25 Trinkwasserschutzgebieten für dort ansässige landwirtschaftliche Betriebe die Möglichkeit der Inanspruchnahme einer freiwilligen Zusatzberatung geschaffen. Die fachliche Konzeption und Betreuung sowie die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt durch das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) als obere Wasserbehörde (Steinmann 2017). Gemeinsam mit den Küstenschutzbehörden obliegt dem LLUR der gewässerkundliche Mess- und Beobachtungsdient (LLUR 2018). Die Beratungsleistungen werden im Auftrag der Wasserversorger von spezialisierten Beratungsunternehmen durchgeführt. Die Beratung in den Trinkwasserschutzgebieten sieht zunächst eine Ist-Zustandserfassung des Gebietes und der vorherrschenden stofflichen Belastungen vor. Darauf aufbauend soll über die Zusatzberatung eine gewässerschonende landwirtschaftliche Wirtschaftsweise, vor allem im Bereich der Düngung und des Pflanzenbaus, gefördert und die Umsetzung der Wasserschutzgebietsverordnung auf den Betrieben unterstützt werden. Durch die Berater werden auch vertragliche Vereinbarungen zur gewässerschonenden Bewirtschaftung in der Landwirtschaft im Rahmen von Agrarumweltmaßnahmen vermittelt und betreut. Zentraler Bestandteil bei den Beratungsaktivitäten ist zudem die Erfolgskontrolle der umgesetzten Grundwasserschutz- und Beratungsmaßnahmen. Dazu werden im Zuge der Beratung Nährstoffbilanzen nach DüV (für die Landwirte) sowie Hoftorbilanzen erstellt. Als weiteres Instrument der Erfolgskontrolle dienen Herbst-N_{min}-Beprobungen. Die Daten inklusive Informationen zu Begleitparametern, wie z.B. der Bodeneigenschaften sowie der

Flächennutzung und Düngung, werden anonymisiert an das LLUR für weitere Auswertungen und zur Dokumentation weitergeleitet (Steinmann 2017, LLUR 2018).

3.11.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.11.2.1. Wirtschaftsdüngerbericht für Schleswig-Holstein

Zur Erfassung der Verbringung und Verwendung von Wirtschaftsdüngern im Rahmen der Wirtschaftsdüngerverordnung (WDüngV) des Bundes ist in Schleswig-Holstein die Landesverordnung über Meldepflichten in Bezug auf Wirtschaftsdünger erlassen worden, wodurch eine Meldepflicht seitens des Abgebers für Wirtschaftsdüngermengen über 200 t Frischmasse im Jahr besteht. Klärschlamm und Kompost sind nicht von der Meldepflicht betroffen. Die Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger werden vom Abgeber angegeben und können bislang keiner Plausibilisierung unterzogen werden. Die Daten zur Wirtschaftsdüngerverbringung müssen seit 2015 dokumentiert werden. Die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein stellt dazu ein Meldeprogramm zur Verfügung und wertet die Daten aus. Die Auswertung der Wirtschaftsdüngerabgabemengen wird auf Kreisebene vorgenommen, wobei kein konkreter Bezug zur Flächennutzung oder zu Bodeneigenschaften berücksichtigt werden kann. Zudem ist die Abschätzung der landesweit in der Tierhaltung anfallenden Nährstoffmengen aufgrund fehlender Informationen zur Fütterung und Haltung relativ unsicher (Lausen und Wilken 2016).

3.11.2.2. Nährstoffbericht für Schleswig-Holstein

Im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein (MELUND) wurde am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel ein landesweiter Nährstoffbericht erstellt.

Zur Quantifizierung von regionalen Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Nährstoffverlagerung in die Umwelt werden in der Regel Nährstoffbilanzen verwendet (Taube et al. 2015). Die Verlustpfade haben allerdings in Abhängigkeit von Standort- und Klimabedingungen stark unterschiedliche Bedeutung. Das Land Schleswig-Holstein ist von einer vergleichsweise hohen Grundwasserneubildungsrate geprägt, so dass der Verlust von Stickstoffüberschüssen über das Sickerwasser einen zentralen Verlustpfad darstellt und sich eine enge Beziehung zwischen der Höhe der Stickstoffüberschüsse und der Nitratfracht in Richtung Grundwasser ableiten lässt. So lassen sich laut Taube et al. (2015) etwa 50 % des Stickstoffüberschusses im Sickerwasser nachweisen. Stickstoffbilanzüberschüsse von über 50 kg ha^{-1} können daher unter den Bedingungen Schleswig-Holsteins zur Überschreitung des zulässigen Grenzwertes nach EU-Trinkwasserverordnung führen (Sieling und Kage 2006, Wachendorf et al. 2006, Taube et al. 2015).

Nach Taube et al. (2015) muss zur Abschätzung der tatsächlichen Belastungspotentiale neben dem regionalen Anfall von organischen Stickstoffdüngern auch die Erfassung der absoluten Nährstoffüberschüsse auf regionaler Ebene erfolgen und in Beziehung zu den spezifischen Umweltwirkungen gesetzt werden.

Die Nährstoffvergleiche auf Betriebsebene nach DüV haben aufgrund fehlender Datengrundlagen und nicht harmonisierter Berechnungsverfahren zwischen den Bundesländern häufig nur einen geringen Aussagewert. Zudem werden die Nährstoffvergleiche nicht an eine zentrale Stelle zur Erfassung weitergeleitet, so dass für landesweite Erhebungen zu den Nährstoffflüssen nur indirekte Methoden zur Verfügung stehen (Taube et al. 2015). So müssen verfügbare Daten aus der grobskaligen Offizialstatistik auf regionale Ebene (Gemeinden, Landkreise) disaggregiert oder z.B. InVeKoS-Daten auf Gemeindeebene verwendet werden.

Im Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein wurden daher die Nährstoffsalden zum einen durch eine Herabskalierung statistischer Daten von Bundes- und Landesebene auf Kreisebene (top down Ansatz) sowie eine Hochskalierung über eine Modellierung von Betriebsdaten aus der InVeKoS-Datenbank von typischen Einzelbetrieben auf Kreisebene (bottom-up Ansatz) ermittelt. Die Nährstoffsalden wurden nach DüV und als Brutto-N-Flächenbilanzen berechnet (Taube et al. 2015).

Aufgrund der starken Schwankungen der Nährstoffsalden auf Landesebene in Schleswig-Holstein im Vergleich der Jahre leiten Taube et al. (2015) ab, dass zur regionalen Betrachtung von Nährstoffsalden entweder mehrjährige Datenreihen zur Mittelwertbildung und damit Minimierung von Jahreseffekten herangezogen werden müssten oder einzelne Jahre, die weitestgehend nicht von Extremwetterlagen geprägt sind, verwendet werden. Für den aktuell vorliegenden Bericht wurde daher das Jahr 2010, auch aufgrund einer sehr guten Datengrundlage, aus vorherigen Untersuchungen zur Darstellung der regionalen Nährstoffsituation in Schleswig-Holstein gewählt.

Da die Erhebungen mit den unterschiedlichen Ansätzen zum Teil zu deutlich abweichenden Ergebnissen geführt haben und die Nährstoff-Flächenbilanz im Gegensatz zur Hoftorbilanz nach Ansicht von Taube et al. (2015) lediglich zur Überprüfung der Düngeplanung auf Ebene einzelner Schläge geeignet ist, empfehlen die Autoren in Schleswig-Holstein ein Testbetriebsnetz mit 100-200 repräsentativen Betrieben zu etablieren, auf denen sämtliche für die Hoftorbilanzierung relevanten Daten erfasst werden. Auf Grundlage dieser Daten wäre unter Nutzung von geeigneten Modellen und Daten aus agrarstatistischen Erhebungen die Abbildung der Entwicklung der Nährstoffsalden für die Gesamtheit der landwirtschaftlichen Betriebe und eine Nutzung der Daten z.B. zur Berichterstattung im Zusammenhang mit der Umsetzung von EU-Richtlinien möglich (Taube et al. 2015).

Inzwischen wurde der Bericht für den gleitenden Mittelwert der Jahre 2015-2017 fortgeschrieben.

3.11.2.3. Saugkerzenanlagen in der Boden-Dauerbeobachtung

Im Rahmen des Monitorings auf Boden-Dauerbeobachtungflächen werden durch das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) zur Quantifizierung der Entwicklung von bewirtschaftungsbedingten Nährstoffströmen Bewirtschaftungsdaten der teilnehmenden landwirtschaftlichen Betriebe dokumentiert sowie auf ausgewählten Flächen Saugkerzenanlagen betrieben (Nerger 2010). In Intervallen von ein bis vier Wochen werden an vier Standorten mit jeweils vier Saugkerzennestern Sickerwasserproben in einer Bodentiefe zwischen 70-75 cm entnommen und u.a. hinsichtlich der Gehalte an N_{org}-N, Nitrat-N und Ammonium-N untersucht. Die Entnahme der Sickerwasserproben erfolgt durch die Flächeneigentümer, während die Analysen im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Abteilung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau der

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel vorgenommen werden. Zur Quantifizierung der Nitratfrachten werden die Sickerwassermengen im Winterhalbjahr anhand einer klimatischen Wasserbilanz berechnet. Parallel zu den Sickerwasserproben werden an den Standorten auch die Bodenstickstoffgehalte (Ammonium-N, Nitrat-N, leicht mineralisierbarer organischer Stickstoff, Gesamt-N, N_{min}-N) zu Vegetationsbeginn, zur Ernte sowie zum Vegetationsende im Herbst im Tiefenbereich von 0-90 cm erfasst. Die Bodenwasserdynamik wird an den Standorten mit Tensiometern in den entsprechenden Entnahmetiefen gemessen (Nerger 2010).

3.11.2.4. Erfolgskontrolle mit Herbst-N_{min}-Methode und Nitrattiefbohrungen

Der Herbst-N_{min}-Wert wird in Schleswig-Holstein zur zeitnahen Erfolgskontrolle bei der Gewässerschutzberatung im Rahmen von Trinkwasserschutzkooperationen, der WRRL sowie damit verbundenen Agrarumweltmaßnahmen zur Optimierung des Düngemanagements, aber auch zur Prognose von schlagbezogenen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser angewandt (Ketelsen 2003, Steinmann 2010, Steinmann 2012, Steinmann 2017). Dabei haben nach Steinmann (2010) Bodenart, Bodentyp, langjährige Düngegewohnheiten, Bodenbearbeitung, angebaute Kulturpflanzen sowie der Witterungsverlauf entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse, so dass diese Parameter bei der Bewertung und zur Interpretation der häufig stark streuenden Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Die Beprobung erfolgt in 0-90 cm Bodentiefe. Zur Abbildung von Mittelwerten wird der Median gebildet. Die Optimierung des Düngemanagements zielt vor allem auf die Berücksichtigung der verfügbaren Stickstoffmenge aus dem Bodenvorrat sowie der effizienteren Verwendung von Wirtschaftsdüngern. Neben dem Vorteil einer zeitnahen Wirkungsanalyse im Vergleich zu Grundwassermessungen bietet die N_{min}-Methode vor allem auch die Möglichkeit schlagbezogen und differenziert nach Maßnahmen (z.B. Agrarumweltmaßnahmen) bewerten zu können.

Dies gilt gleichermaßen für die Anwendung von Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen zur Bestimmung der Stickstoffverlagerung im Sickerwasser, wobei diese Methode einen relativ hohen Arbeitsaufwand erfordert und daher nur stichprobenartig oder für spezielle Untersuchungsprogramme verwendet werden kann (Steinmann 2010). In den Jahren 2005 bis 2009 wurde in einer landesweiten Untersuchung an 34 Standorten im Umfeld von Grundwassermessstellen der mineralische Stickstoffgehalt im Tiefenbereich von 90-700 cm untersucht und mit Nitratkonzentrationen an Grundwassermessstellen abgeglichen, wobei eine gute Übereinstimmung festgestellt werden konnte.

3.11.2.5. Ergänzende Erhebungen im Umfeld von Grundwassermessstellen

Im Umfeld der überwiegenden Grundwassermessstellen wurden im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung (MELUND) und unter fachlicher Koordination des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen und bodenkundliche Kartierungen vorgenommen. Die Flächen in den Einzugsgebieten wurden darüber hinaus digitalisiert und eine Landnutzungskartierung vorgenommen. Zudem wurden durch Befragungen bei den bewirtschaftenden Landwirten Informationen zu Düngemanagement und Fruchtfolge gewonnen. Die beschriebenen Parameter sollen zur besseren Interpretation und zur Charakterisierung des Zusammenhanges zwischen aktuellen Bewirtschaftungs- und

Gewässerschutzmaßnahmen und den in den Grundwassermessstellen analysierten Nitratkonzentrationen beitragen (Steinmann 2017).

3.11.2.6. Ermittlung der Denitrifikation im Grundwasser

Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) lässt im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein (MELUND) seit einigen Jahren ergänzend zum Grundwassermonitoring in der Zielkulisse WRRL an rund 120 Grundwassermessstellen N_2-Argon-Untersuchungen vornehmen, um die Nitratkonzentrationen im Grundwasser, welche ohne den Einfluss der Denitrifikation vorhanden wären, quantifizieren zu können. Anhand der Methode kann die Denitrifikation im Grundwasser selbst, nicht aber Denitrifikationsprozesse in der ungesättigten Bodenzone abgeschätzt werden. Die Methode hat sich unter den Bedingungen Schleswig-Holsteins als anwendbar und korrekt erwiesen, ist bislang aufgrund noch offener Fragen allerdings nicht standardisiert (Steinmann 2017).

3.11.2.7. Denitrifikationspotential im Grundwasserleiter

Das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) lässt im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein (MELUND) seit drei Jahren und zunächst letztmalig in 2018 an 20 ausgewählten Standorten mit Grundwassermessstellen das Denitrifikationspotential im Grundwasserleiter bestimmen. Die Auswertungen sind noch nicht abgeschlossen und es besteht noch viel Bedarf hinsichtlich der Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen zur Anwendung, Interpretation und Standardisierung des komplexen Verfahrens (Steinmann 2017).

3.11.2.8. Anwendung des Modellpaketes RAUMIS-GROWA-DENUZ-WEKU

Im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein (MELUND) wurde unter Beteiligung des Thünen-Instituts für Ländliche Räume und des Forschungszentrums Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften unter Kopplung des agrarökonomischen Modells RAUMIS, dem Wasserhaushaltsmodell GROWA sowie den Stickstofftransportmodellen DENUZ und WEKU eine flächendeckende Quantifizierung der Stickstoffeinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer Schleswig-Holsteins in einem Raster von 25 m durchgeführt (Wendland et al. 2014). Die Berechnungen sollten regionale Belastungsschwerpunkte identifizieren und die Ableitung von Minderungszielen für landwirtschaftliche Stickstoffeinträge zur Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ermöglichen. Als Eintragspfade berücksichtigt wurden das Grundwasser, Dränagen, punktförmige Einträge, Abschwemmung, Erosion, atmosphärische Deposition in Gewässer und der natürliche Zwischenabfluss. Als Grundlage zur Quantifizierung der verlagerbaren Stickstoffmengen dienten mit dem Modell RAUMIS auf Gemeindeebene berechnete mittlere Stickstoffbilanzüberschüsse für das Bezugsjahr 2010. Die mit dem Modell GROWA berechnete Grundwasserneubildung und der Gesamtabfluss wurden mit gemessenen Abflüssen von 92 pegelbezogenen Einzugsgebieten

abgeglichen, wobei ein Zusammenhang von r^2=0,94 bzw. 0,98 ermittelt werden konnte und von einer guten Grundlage zur Quantifizierung der Stickstoffeinträge in die Vorfluter ausgegangen wird. Eine weitere Plausibilitätsprüfung wurde durch den Abgleich der modellierten Stickstoffeinträge in die Flüsse mit Messwerten aus Vorflutern vorgenommen, wozu für Schleswig-Holstein Messwerte zu Abflussmengen und Stickstoffkonzentrationen aus 24 Einzugsgebieten für den Zeitraum 2000-2010 zur Verfügung standen. Dabei wurde ein Zusammenhang von r^2=0,78 ermittelt. Durch Kombination der berechneten potentiell verlagerbaren Nitratfracht im Boden mit der Sickerwasserrate wurde mit Hilfe des Stickstofftransportmodells DENUZ die potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser abgeschätzt. Eine Plausibilitätsprüfung der modellierten Nitratkonzentrationen im Sickerwasser wurde nicht vorgenommen. In einem letzten Schritt wurde durch eine „Rückwärtsrechnung“ des Modellpaketes der zur Erreichung der Ziele der WRRL maximal zulässige Stickstoffbilanzüberschuss geschätzt.

Die Autoren der Studie empfehlen eine periodische Fortschreibung und Aktualisierung der Modellierungen vor allem in Erwartung besserer Datengrundlagen, einer Weiterentwicklung der zu verwendenden Modelle sowie der dringend erforderlichen Abbildung jahresspezifischer Stickstoffausträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer (Wendland et al. 2014).

Tab. 11: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Schleswig-Holstein

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	MELUND[1] LKSH[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Schleswig-Holstein
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	MELUND[1] LKSH[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Schleswig-Holstein
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Ernte-N_{min} Herbst-N_{min} N-Bilanzen Lysimeteruntersuchungen	LKSH[2]	Land Schleswig-Holstein
Wirtschaftsdüngerbericht	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N-Flächenbilanz Meldeverordnung	MELUND[1] LKSH[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Schleswig-Holstein
Landwirtschaftliche Beratung	WRRL[3] Trinkwasserschutz	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Dränagemessungen Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Lysimeteruntersuchungen Hoftorbilanzen	MELUND[1] LLUR[4] Beratungsinstitutionen Landwirtschaftsbetriebe	Land Schleswig-Holstein

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
		Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen		
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[3]	Frühjahrs-N_{min} Herbst-N_{min} Dränagemessungen Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Lysimeteruntersuchungen Hoftorbilanzen Feld-Stall-Bilanzen Schlagbilanzen	MELUND[1] LLUR[4] Beratungsinstitutionen Landwirtschaftsbetriebe	Kommunen Land Schleswig-Holstein BUND EU
Saugkerzenanlagen der Boden-Dauerbeobachtung	Trinkwasserschutz WRRL[3]	Sickerwasseruntersuchungen	MELUND[1] LLUR[4] Universität Kiel	Land Schleswig-Holstein
Erhebungen im Umfeld von Grundwassermessstellen	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[3]	Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Bodeneigenschaften Flächendigitalisierung Landnutzungskarten Bewirtschaftungsdaten	MELUND[1] LLUR[4]	Land Schleswig-Holstein
Versuchsreihen zu grundwasser-schutzorientierten Wirtschaftsweisen	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N_{min}-Untersuchungen N-Bilanzen Sickerwasseruntersuchungen	MELUND[1] LKSH[2]	Land Nordrhein-Westfalen
N_2-Argon-Methode	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[3]	Denitrifikation im Grundwasser	MELUND[1] LLUR[4]	Land Schleswig-Holstein
Denitrifikationspotential im Grundwasserleiter	Nitratrichtlinie Trinkwasserschutz WRRL[3]	Denitrifikationspotential im Grundwasserleiter	MELUND[1] LLUR[4]	Land Schleswig-Holstein
Nährstoffbericht Schleswig-Holstein	Nitratrichtlinie WRRL[3]	N-Flächenbilanz	MELUND[1] Universität Kiel	Land Schleswig-Holstein
Flächendeckende Quantifizierung von Stickstoffeinträgen in Grundwasser und Oberflächengewässer	WRRL[3]	Verbund der Modelle RAUMIS, GROWA, DENUZ, WEKU	MELUND[1] Thünen-Institut Forschungszentrum Jülich	Land Schleswig-Holstein

[1]MELUND Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung Schleswig-Holstein

[2]LKSH Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

[3]WRRL EG-Wasserrahmenrichtlinie

[4]LLUR Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein

3.12. Thüringen

3.12.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts sowie ergänzende Maßnahmen

Ordnungsrechtliche Maßnahmen und Kontrollen

Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie wurde in Thüringen im Jahr 2000 der Arbeitsgruppe „EU-Wasserrahmenrichtlinie“ im Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Natur und Umwelt (heute Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN)) übertragen (TMLNU 2001). Zu den Aufgaben gehören die Gesamtkoordination der Gewässerbewirtschaftung, die Abstimmung von Bewirtschaftungsplänen mit anderen Behörden und Institutionen, die Vertretung des Landes in Gremien der Flussgebietsgemeinschaften sowie die Leitung des Thüringer Gewässerbeirates (TMUEN 2016). Um eine Erfüllung der WRRL zu erreichen, sollen in Thüringen wasserwirtschaftliche Fachbehörden einen Hauptteil der anfallenden Aufgaben übernehmen (TMLNU 2001). Auf Flussgebietsebene sollen den Bedürfnissen angepasste Koordinationsstrukturen entstehen. In diesem Zusammenhang wird für jedes Teileinzugsgebiet ein zuständiges staatliches Umweltamt ernannt werden, welches federführend die Koordination übernimmt. Die gebietsübergreifende Koordinierung wird von Gremien wie LAWA und Flussgebietsgemeinschaften übernommen (TMLNU 2001). Die Umsetzung fachlicher Grundlagen des Landesprogramms obliegt der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG). In diesen Bereich fallen die Datenerfassung zum Gewässerzustand und die Ausarbeitung von Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität (TMUEN 2016). Des Weiteren regelt das Thüringer Landesverwaltungsamt (TLVwA) die Anhörungen zu Bewirtschaftungsplänen und hat die Fachaufsicht über die unteren Wasserbehörden (TMUEL 2016).

Zur Ermittlung der Grundwasserbeschaffenheit gibt es in Thüringen ein Grundwassermessnetz, welches in 2010 204 Messstellen umfasste (TLUG 2010). Mit diesem Netz werden die insgesamt 75 Thüringer Grundwasserkörper erfasst. Eine Bestandsaufnahme ergab, dass 21 dieser Grundwasserkörper den Grenzwert von 50 ml l^{-1} Nitrat überschreiten (TMLNU 2007) und teilweise Werte von bis zu 150 mg l^{-1} Nitrat in den Grundwassermessstellen vorliegen (TLUG 2017). Um eine Verbesserung dieses Zustandes zu erreichen, werden in Thüringen im Rahmen des „Programms zur Förderung von umweltgerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege (KULAP)“ Förderungen von Gewässerschutzmaßnahmen angeboten (TMLNU 2007). Die hierfür zur Verfügung stehenden Mittel werden spezifisch in Nährstoffüberschussgebieten eingesetzt. Eine förderungsfähige Maßnahme ist die „Senkung des betrieblichen N-Saldos“ unter einen Grenzwert von 50 bzw. 30 kg N/ha und Jahr, welche unterschiedlichen Förderungshöhen entsprechen (TMLNU 2007). Diese Maßnahme wird begleitet von Frühjahrs- und Herbst-N_{min}-Messungen, Bildungsveranstaltungen zur gewässerschonenden Landwirtschaft, Pflanzenanalysen und daraus abgeleiteten Düngungsempfehlungen, sowie N-Untersuchungen in Wirtschaftsdüngern. Eine weitere Maßnahme ist der „Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten“ mit festgelegten Aussaatterminen und dem Verzicht auf eine Düngung. Ebenso werden die „Anwendung von Mulch- oder Direktsaat oder Mulchpflanzverfahren“ gefördert (TMLNU 2007). Eine weitere Bestandsaufnahme der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) für den Zeitraum 2016-2021 beinhaltete 214 Grundwassermessstellen des Landes, sowie ca. 1200 Messstellen der Wasserversorger. Diese Messungen ergaben, dass 15 der 60 Grundwasserkörper, die unter Thüringer Zuständigkeit fallen, den guten chemischen Zustand nicht erreichten (TLUG 2016).

Ergänzende Maßnahmen und Messprogramme

Unter der Koordination und Leitung der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft und finanziert vom Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz laufen in Thüringen regionale Gewässerschutzkooperationen, die sich als eine zentrale Maßnahme zur Umsetzung der WRRL verstehen. Beteiligt sind an diesen Kooperationen landwirtschaftliche Betriebe, beratende Institutionen, der Bauerverband sowie Fachbehörden für Land- und Wasserwirtschaft. Im Jahr 2009 startete mit dem „Arbeitskreis Gewässerschutz“ die erste Pilotkooperation (TMUEN 2016). Im Jahr 2017 gab es fünf regionale Gewässerschutzkooperationen, von denen drei unter anderem das Ziel verfolgen die Nitrateinträge in Gewässer zu verringern (Werner et al. 2017). Im Teilprojekt „Erfassung und Bewertung des Düngemanagements“ wurde von 2009 bis 2012 in den Kooperationen eine flächenbezogene Düngeplanung zur Verwertung organischer Dünger umgesetzt, unterstützt von N_{min}-Untersuchungen und der Ermittlung von Erträgen. Außerdem wurde anhand von kulturspezifischen N-Salden der N-Saldo des Gesamtbetriebes abgeschätzt. In der Verlängerung dieses Teilprojektes wurden dann von 2014 bis 2017 ergänzenden Maßnahmen eingeführt, die in dieser Phase auf 35.000 ha Ackerland von 28 Kooperationsbetrieben in N-Überschussgebieten umgesetzt wurden. Dazu zählten spezifische Maßnahmen zur Reduktion des Nitrataustrags unter Winterweizen und Winterraps und eine verbesserte Abschätzung des N-Bedarfs dieser Kulturen mittels Pflanzenanalyse, verschiedenen Nitrattestverfahren und Modellrechnungen (Werner et al. 2017).

3.12.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

3.12.2.1. Projekt: Weiterentwicklung eines Instrumentes für ein landesweites Nährstoffmanagement in Thüringen – Quantifizierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer mit regionaler und eintragsbezogener Differenzierung

Die TLUG arbeitet zusammen mit dem Forschungszentrum Jülich und dem Thünen-Institut an einem Projekt zur Weiterentwicklung eines Instrumentes, welches für ein landesweites Nährstoffmanagement in Thüringen nutzbar sein soll. Hierbei werden die Modelle RAUMIS (N-Flächenbilanzsaldo), GROWA (Wasserhaushalt), DENUZ (Denitrifikation im Boden) und WEKU (Denitrifikation im Grundwasser) einbezogen. Die Ergebnisse zeigen, dass vorgegebene Grenzwerte für Nährstoffbilanzüberschüsse nur unzureichend geeignet sind, um den N-Eintrag in das Grundwasser zu kontrollieren. Denn trotz Einhaltung der geforderten Bilanzsalden im landesweiten Durchschnitt kommt es zu hohen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser (TLUG 2016). Des Weiteren wurde in der Betrachtung von zwölf Eintragspfaden (sechs diffuse Pfade und sechs punktuelle Eintragspfade) herausgefunden, dass 90 % des Stickstoffeintrages aus diffusen Quellen (Landwirtschaft) stammt (TLUG 2017).

3.12.2.2. Untersuchung von N_{min}-Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{min}-Monitorings auf Dauertestflächen

Im Auftrag des TMLFUN führte die TLL ein N_{min}-Monitoringprojekt auf N_{min}-Testflächen durch, welches in der Summe Frühjahrs-N_{min}-Ergebnisse von mehr als 1000 Flächen erfasste. Dazu zählten 331 N_{min}-

Dauertestflächen (DTF), 652 betriebliche Testflächen (BTF), sowie 61 Feldversuche mit N_{min}-Probenahme im Frühjahr. Als Vergleich wurden Herbst-N_{min}-Proben auf 326 Flächen in Wasserschutzgebieten gezogen (TMLFUN 2010). Auf den Dauertestflächen wurden im Sommer nach der Ernte der Hauptfrucht, im Herbst nach Vegetationsende und im Frühjahr zu Vegetationsbeginn N_{min}-Proben gezogen. Die Beprobung folgte einer fest gelegten (georeferenzierten) Beganglinie und erfasst mittels Sammelmischprobe die Tiefen 0-30 cm und 30-60 cm. Parallel zu der Bestimmung von N_{min}-Werten wurde auf den Dauertestflächen die Stickstoffflächenbilanz berechnet und zugehörige Standort- und Bewirtschaftungsdaten erfasst (TMLFUN 2010).

3.12.2.3. Lysimeteranlage Buttelstedt – Kooperation Lysimeter

Im Rahmen der „Kooperation Lysimeter“ wurde in Thüringen im Zeitraum von 1983 bis 2004 an vier monolithisch befüllten wägbaren Lysimetern mit einer Oberfläche von 2 m^2 der N-Austrag und die Sickerwassermenge in 2,3 m Tiefe unter verschiedenen Bodentypen und Bewirtschaftungsszenarien dokumentiert sowie Stickstoffsalden für die jeweiligen Bewirtschaftungsszenarien berechnet (LFAMV 2013). Ein Versuchsschwerpunkt an dieser Lysimeteranlage stellte die Ermittlung des Wasserverbrauchs verschiedener Kulturen und Feldgemüse dar. Im Jahr 2005 wurden 12 weitere Lysimeter mit zwei verschiedenen Bodentypen in Betrieb genommen (LFAMV 2013). Sickerwasserproben werden wöchentlich gesammelt und auf Nährstoffe, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, organische Bestandteile, Schwermetalle und teilweise auf Pflanzenschutzmittel untersucht. Parallel finden auf der Fläche Messungen der N-Deposition statt (LFAMV 2013).

3.12.2.4. Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung in Thüringen

Zur Erreichung der Ziele der WRRL wurde im Zeitraum 2009 bis 2015 in Thüringen ein Maßnahmenprogramm umgesetzt, welches jedoch nicht ausreichte um flächendeckend einen guten chemischen Zustand aller Gewässer zu erreichen. Förderungen im Rahmen von KULAP Gewässerschutzmaßnahmen erstreckten sich dabei über den Zeitraum von 2007 bis 2013 (TLUG 2014). Im nachfolgenden Bewirtschaftungszeitraum sollen im Bereich Landwirtschaft bestehende freiwillige Agrarumweltmaßnahmen sowie gewässerschonende Maßnahmen im Rahmen des KULAP fortgeführt werden. Ebenso sollen Gewässerschutzkooperationen weitergeführt und ausgebaut werden (TLUG 2014). Schwerpunkt dieser Maßnahmen wird in Nährstoffüberschussgebieten liegen, in denen der gute Zustand der Gewässer auf Grund von Einträgen aus der Landwirtschaft nicht erreicht wird. Bezogen auf die Grundwasserqualität wird zur Ausweisung von Nährstoffüberschussgebieten das sogenannte Regionalisierungswerkzeug SIMIK+ (Simple Updating and Indicator Kriging based on Additional Information) angewandt. Neben Daten aus dem Grundwassermonitoring fließen hier Informationen über hydrogeologische Verhältnisse und die Landnutzung ein. Basierend auf den Erfahrungen des ersten Bewirtschaftungszeitraumes in diesen Nährstoffüberschussgebieten wurde in der grundwasserschonenden Maßnahme „Reduzierung der betrieblichen N-Überschüsse“ für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum (2014 bis 2020) das bisherige Zielsaldo von 50 bzw. 30 kg N ha^{-1} (freiwillige Wahl der teilnehmenden Betriebe) auf 40 kg N ha^{-1} abgesenkt, da sich die Mehrzahl der Betriebe in Rahmen der Maßnahme das Saldo von 50 kg N ha^{-1} wählte (TLUG 2014).

Tab. 12: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Thüringen

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Düngeverordnung (DüV)	Nitratrichtlinie	N-Bilanzen nach DüV	TMIL[1] TLL[2] TLUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Thüringen
Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)	Nitratrichtlinie	Hoftorbilanz	TMIL[1] TLL[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Thüringen
Düngebedarfsermittlung (DüV)	Nitratrichtlinie	Frühjahrs- N_{min}	TMIL[1] TLL[2] Landwirtschaftsbetriebe	Land Thüringen
Landwirtschaftliche Beratung	WRRL[4]	Frühjahrs- N_{min} Herbst- N_{min} Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Schlagbilanzen	TMIL[1] TLL[2] TLUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Thüringen
Agrarumweltmaßnahmen zum Grundwasserschutz	WRRL[4]	N-Bilanzen Frühjahrs- N_{min} Herbst- N_{min} SIMIK+	TMIL[1] TLL[2] TLUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Thüringen BUND EU
Landwirtschaftliche Dauermonitoringflächen	Nitratrichtlinie WRRL[4]	N-Bilanzen Lysimeter Frühjahrs-N_{min} Ernte- N_{min} Herbst- N_{min}	TMIL[1] TLL[2] TLUG[3] Landwirtschaftsbetriebe	Land Thüringen
Landesweites Nährstoffmanagement	Nitratrichtlinie WRRL[4]	N-Bilanzen Modellpaket GROWA-DENUZ-WEKU	TMIL[1] TLUG[3] TLL[2] Forschungszentrum Jülich	Land Thüringen

[1] TMIL Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft

[2] TLL Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

[3] TLUG Thüringer Landesamt für Umwelt und Geologie

[4] WRRL Wasserrahmenrichtlinie

4. Messprogramme und Forschungsvorhaben in Dänemark und den Niederlanden

4.1. Dänemark

4.1.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts

Ordnungsrechtliche Maßnahmen, Kontrollen und Messprogramme

In Dänemark werden seit 1987 nationale Aktionsprogramme zum Schutz von Grund- und Oberflächengewässern vor zu hohen Nährstoffeinträgen aus der Landwirtschaft (Action Plans for the Aquatic Environment APAEs I-III, Green Growth Agreement und Food and Agriculture Package) landesweit umgesetzt (EPA-DK 1989, Christel et al. 2017, Hansen et al. 2017, Tabelle 13). Die Programme beinhalten die Anwendung der dänischen Vorgaben zur guten fachlichen Praxis als verpflichtende Maßnahmen sowie weitergehende Einschränkungen beim Nährstoffmanagement. Darunter fallen Maßnahmen wie z.B. eine verpflichtende Düngebedarfsplanung, die Erstellung und Meldung von Nährstoffbilanzen für sämtliche Betriebe und die Berechnung betriebseigener Stickstoffquoten, welche eine Düngung unterhalb des ökonomischen Optimums vorschreiben. Im Verlauf wurden die EU-Vorgaben zur Nitratrichtlinie, der Wasserrahmenrichtlinie und der Grundwasserrichtlinie in die nationalen Aktionsprogramme integriert (Jørgensen und Stockmarr 2009, Grant et al. 2011, Mst-DK 2012, Christel et al. 2017). Die Umsetzung der Maßnahmen und die Durchführung der Kontrollen erfolgt in Kooperation von regionalen Behörden, dem Institute for Bioscience der Aarhus Universität, dem Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) sowie der Danish Environmental Protection Agency (EPA) im Auftrag des Ministry of Environment and Food of Denmark.

Die Wirksamkeit der Maßnahmen wird im Rahmen des nationalen Monitoring- und Messprogramms NOVANA (National Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environments), welches verschiedene Belastungsparameter der Umwelt berücksichtigt, überprüft. Das Monitoring-Netzwerk umfasst in Unterprogrammen die Überwachung von Luftqualität und atmosphärischer Deposition, Punktquellen, landwirtschaftlichen Wassereinzugsgebieten, des Grundwassers, der Fließgewässer, Seen, Meeresgewässer, natürlichen Lebensräume sowie ein landesweites Luftqualitätsmonitoring (Svendson und Norup 2005, Kronvang et al. 2008, Jørgensen und Stockmarr 2009, Grant et al. 2011, Mst-DK 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017, Christel et al. 2017, Hansen et al. 2017).

Die Gewässerüberwachung in Dänemark besteht in ihren Grundzügen seit 1989, so dass trotz kontinuierlicher Weiterentwicklungen des Programms lange Messzeitreihen zur Verfügung stehen. Die Ziele des NOVANA-Monitorings hinsichtlich der Erreichung der Gewässerschutzziele gliedern sich dabei in (Svendson und Norup 2005, Grant et al. 2011, Blicher-Mathiesen et al. 2017):

- Bereitstellung des notwendigen Wissens über die qualitative und quantitative Entwicklung der Güte des Grundwassers und Identifizierung von treibenden Faktoren
- Bewertung und Dokumentation der Wirkung der Aktionsprogramme und Maßnahmen zum Grundwasserschutz
- Erfüllung und Einhaltung der Europäischen Richtlinien und Vorgaben

- Verbesserung der Informationsgrundlagen für die Entwicklung zukünftiger Aktionsprogramme und Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers sowie Schaffung ausreichender Datengrundlagen für die Modellierung und Erreichen eines besseren Verständnisses zu den Zusammenhängen zwischen Grund- und Oberflächengewässern

Das Monitoring-Netzwerk zur Gewässerüberwachung setzt sich zusammen aus dem Programm zur Überwachung der Gewässerqualität in landwirtschaftlich geprägten Wassereinzugsgebieten (LOOP), der allgemeinen Grundwasserüberwachung und dem Fließgewässermonitoring (Grant et al. 2011, Mst-DK 2012). Die Ergebnisse aus dem Monitoring in den landwirtschaftlichen Wassereinzugsgebieten (LOOP) dienen zur Interpretation und Unterstützung des allgemeinen Grundwasser- und Fließgewässermonitorings. Zudem sind die Messdaten aus den flachen Grundwassermessstellen der LOOP-Gebiete auch direkter Bestandteil des landesweiten Grundwassermonitorings (Mst-DK 2012, Christel et al. 2017).

Das Grundwassermonitoring in Dänemark wird auf Basis von 75 Grundwasserüberwachungszonen mit jeweils bis zu 25 Messstellen, insgesamt 100 flachen Grundwassermessstellen aus dem LOOP-Programm und Analyseergebnissen aus rund 5500 Trinkwasserbrunnen durchgeführt. Das Monitoring soll nur Grundwasser berücksichtigen, welches auch Kontakt zu Oberflächengewässern hat. Zudem wird zu 75 % Grundwasser beprobt, welches laut Altersbestimmung (Methode: Chlorierte Fluor-Kohlenwasserstoffe (CFC)) nach 1940 gebildet wurde. Im Laufe der Zeit wurden vermehrt zusätzliche Messstellen eingerichtet, die vor allem das obere Grundwasser im Bereich zwischen 5-10 m Tiefe des Aquifers (10-20 m Bodentiefe) erfassen sollen (Grant et al. 2011, Mst-DK 2012).

Das Fließgewässermonitoring dient zur Darstellung von Trends und zur Abschätzung des Transportes von Wasser und Nährstoffen in die Seen und Meeresgewässer. Das Monitoring wird des Weiteren zur Aufklärung des Zusammenhangs zwischen dem Nährstoffeinsatz in den landwirtschaftlich geprägten Wassereinzugsgebieten und den daraus resultierenden Nährstoffkonzentrationen in den Fließgewässern genutzt. Die überwachten Flüsse können anhand der natürlichen und anthropogenen Bedingungen innerhalb der Wassereinzugsgebiete gruppiert werden, so dass das Monitoring zur Beschreibung eines Ausgangszustandes und zur Beobachtung von Trends hinsichtlich der Nährstoffbelastung genutzt wird (Mst-DK 2012).

4.1.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

4.1.2.1. Agicultural Catchment Monitoring Programme (LOOP)

Das Monitoring von Stickstoff- und Phosphorfrachten in vorrangig durch die Landwirtschaft beeinflussten Wassereinzugsgebieten im Rahmen des Programms LOOP ist Teil des NOVANA-Monitorings und erfolgt in Kooperation von regionalen Behörden, dem Institute for Bioscience der Aarhus Universität, dem Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) sowie der Danish Environmental Protection Agency (EPA). Dabei sind die regional ansässigen Behörden verantwortlich für die Probenahme, die Erfassung der Bewirtschaftungsdaten auf den Betrieben, die Qualitätssicherung, Datenverarbeitung und -übermittlung sowie die Veröffentlichung eigener Daten. Die Gesamtkoordination des Messprogramms obliegt dem GEUS, welcher auch Pflichtenhefte und Anleitungen zum Vorgehen u.a. bei der Probenahme, zur Installation der Messstellen und zur Analyse der Proben erstellt. GEUS sowie das Institute for Bioscience der Aarhus Universität kontrollieren und

veröffentlichen die Analysewerte in einer nationalen Datenbank (JUPITER) und sind für die jährliche Berichterstattung verantwortlich (Svendson et al. 2005, Jørgensen und Stockmarr 2009, Thorling 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017, Christel et al. 2017).

Ziel des Messprogramms ist die Erfassung und Bewertung des gegenwärtigen landwirtschaftlichen Managements sowie der daraus resultierenden Nitratauswaschung aus der Wurzelzone. Daneben wird auch die Nährstoffbefrachtung des Grundwassers, der Fließgewässer, Seen und Meere durch landwirtschaftliche Aktivitäten ermittelt. Die Daten werden zu repräsentativen Zeitreihen zusammengefügt mit dem Ziel eine Extrapolation auf die gesamte Landesebene durchführen zu können. Die Parametrisierung und Validierung entsprechender Modelle, welche die Stickstoffdynamik und den Transport auf dem hydrologischen Pfad in agrarisch geprägten Wassereinzugsgebieten abbilden können sowie die Abbildung von Szenarien über die Wirksamkeit von Reduktionsmaßnahmen oder den Einfluss von Klimaänderungen werden auf Basis der Zeitreihen vorgenommen (Svendson et al. 2005, Grant et al. 2011, Tabelle 13).

Das Nitratmonitoring wird in genauer definierten, landwirtschaftlich überprägten Wassereinzugsgebieten durchgeführt. Die Einzugsgebiete sollen die bedeutenden Boden-Klimaräume, Unterschiede bezüglich der Tierhaltungsdichte sowie angebaute Kulturpflanzenarten repräsentieren. Vier Untersuchungsgebiete sind in tonreichen, zwei in sandigen Bodenregionen angesiedelt. Auf Schlag- und Betriebsebene werden jährlich Daten zum landwirtschaftlichen Management erhoben. Das Bodenwasser in der Wurzelzone (bis 1 m Tiefe) wird an 31 Messpunkten mit jeweils 30 Beprobungen im Jahr untersucht. Drainagewässer und Flüsse werden 26-mal pro Jahr an fünf, das obere Grundwasser sechsmal an 100 Messstellen (1,5-5 m Bodentiefe) beprobt. Die Ergebnisse werden mit Daten aus Befragungen und Aufzeichnungen zur Bewirtschaftung auf Schlagebene und mit Daten zum Weitertransport im aquatischen System abgeglichen (Svendson et al. 2005, Jørgensen und Stockmarr 2009, Mst-DK 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017, Christel et al. 2017).

Laut Svendson et al. (2005) sind Messungen zur direkten Berechnung des Sickerwasseraufkommens in der Wurzelzone aufgrund der üblicherweise häufigen Nutzungsänderungen nicht zielführend, so dass anhand von Messdaten validierte Bodenwasserhaushaltsmodelle unter Berücksichtigung von Klimadaten, Bodenkennwerten und der Landnutzung zur Berechnung des Sickerwasseraufkommens verwendet werden.

Für das Monitoring in den Untersuchungsgebieten werden also gemessene und modellierte Daten zur Abbildung des Zusammenhangs zwischen der Bewirtschaftung und der Nährstoffverlagerung in die Gewässer genutzt. In sechs Gebieten werden sowohl Bewirtschaftungsdaten auf Schlag- und Betriebsebene aus Befragungen und regionalen/nationalen statistischen Erhebungen zur Berechnung von Nährstoffbilanzen erhoben als auch Messungen und Modellierungen zur Erfassung der Nährstoffsituation und des Nährstofftransportes durchgeführt. In einem Gebiet werden hingegen ausschließlich Bewirtschaftungsdaten auf Schlag- und Betriebsebene zur Verbesserung der Datengrundlagen erfasst (Svendson et al. 2005, Mst-DK 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017).

4.1.2.2. Monitoring in der Wurzelzone

Betriebsdatenerhebung

Für die Berechnung von Nährstoffbilanzen und die Modellierung der Nitratauswaschung innerhalb der Wassereinzugsgebiete im LOOP-Monitoring werden Daten aus den Betriebsdatenregistern und Nährstoffvergleichen basierend auf der generellen jährlichen Dokumentations- und Meldepflicht der landwirtschaftlichen Betriebe erhoben. Anhand der Daten zu den angebauten Kulturen, den eingesetzten Düngemitteln, den Tierbesatzzahlen und der Verwendung von Richt- und Standardwerten (z.B. Ernteerträge nach Boden-Klimaregion) wird das Nährstoffaufkommen auf Betriebsebene ermittelt und nachfolgend auf die bewirtschaftete Fläche bezogen.

Klimadaten, Bodenwasserdynamik und Wasseranalysen

In den Untersuchungsgebieten des LOOP-Programms werden auf Tagesbasis Wetterdaten (Lufttemperatur, Strahlung, potentielle Evaporation, Niederschlag) erhoben und zur jährlichen Modellierung der Bodenwasserdynamik und der Nährstoffverlagerung auf unterschiedlichen räumlichen Skalen verwendet sowie zur Interpretation und Korrektur von Daten genutzt. Zur Ableitung und Kalibration der Modelle wurden in drei Untersuchungsgebieten anhand von Bodenprofilen die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit sowie die pF-Charakteristik bestimmt.

Die Konzentrationen von Nitrat, Nitrit, Ammonium, Gesamtstickstoff und der pH-Wert werden im Bodenwasser der Wurzelzone (0-1 m Tiefe) an insgesamt 31 Bodenwassermessplätzen in 5 Untersuchungsgebieten des LOOP-Monitorings während der Sickerwasserperiode wöchentlich, festgeschrieben sind 30 Messungen im Jahr, untersucht. Zur Gewinnung der Proben sind an den Bodenwassermessplätzen jeweils 10 Saugkerzen in einer Bodentiefe von 1 m verbaut. Der Grundwasserstand wird an den Messstationen während der Sickerwasserperiode wöchentlich, ansonsten monatlich erfasst. In Abhängigkeit von der Bodenart sowie der Berücksichtigung von Drainierung werden unterschiedliche Wasserhaushaltsmodelle (NLES, DAISY) bei der Berechnung der Bodenwasserdynamik herangezogen.

In Untersuchungsgebieten mit Drainagen werden an 1-4 Messpunkten je Gebiet die Abflussmengen kontinuierlich bestimmt und wöchentlich Proben hinsichtlich der Nährstoffgehalte während der Sickerwasserperiode (ca. 26 Termine im Jahr) untersucht (Svendson et al. 2005, Mst-DK 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017, Christel et al. 2017).

Nährstoffbilanzen

In Dänemark wird jährlich eine nationale Hoftorbilanz zur Ermittlung des landesweiten Bilanzüberschusses und daraus abzuleitender Nährstoffverluste als Indikator für die Bewertung der Wirksamkeit der nationalen Aktionspläne berechnet. Dabei wird der Zeitraum beginnend mit dem Jahr 1941 betrachtet. Die Daten werden aus dem Agrarkataster, nationalen statistischen Erhebungen und der Literatur entnommen. Aus dem Verhältnis der nationalen Stickstoffabfuhr und Stickstoffzufuhr wird die Stickstoffnutzungseffizienz für die gesamte landwirtschaftliche Produktion berechnet (Hansen et al. 2012, Hansen et al. 2017).

Des Weiteren werden auf Ebene der Wassereinzugsgebiete Feld-Stallbilanzen verwendet, da für diese räumliche Ebene keine ausreichende Datengrundlage zur Erstellung von Hoftorbilanzen zur Verfügung steht (Mst-DK 2012, Christel et al. 2017).

Modellierung der Nitratauswaschung

Zur Berechnung von Nitratfrachten in den Untersuchungsgebieten und zur Übertragung der punktuellen Ergebnisse auf Gebietseinheiten werden in Dänemark hydrologische Modelle anhand von Bewirtschaftungsdaten, Bodenparametern und Messwerten zur Nitratauswaschung entwickelt, validiert und angewendet. Dabei wird das Modell NLES (Nitrogen Leaching EStimator) verwendet, mit dessen Hilfe ein jährlicher Wert für die Nitratauswaschung berechnet werden kann. Eingangsparameter sind die Bodenart, der Gehalt an organischer Substanz, das jährliche Sickerwasseraufkommen in Abhängigkeit von der angebauten Hauptkultur, der Vorfrucht und der Folgefrucht, die Anwendung organischer und mineralischer Düngemittel im Zeitraum Frühjahr/Sommer und Herbst/Winter, die Beweidung sowie die N-Fixierung (Svendson et al. 2005, Mst-DK 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017).

Zur Extrapolation der Nitratauswaschung von Punktmessungen auf die Ebene der jeweiligen Wassereinzugsgebiete im LOOP-Programm wird zunächst die Nitratauswaschung für alle Flächen mit dem Modell NLES berechnet. In einem zweiten Schritt wird das deterministische Boden-Wasser-Pflanzen-Modell DAISY für die Bodenwassermessplätze parametrisiert, kalibriert und ebenfalls für sämtliche Flächen der Untersuchungsgebiete angewendet. (Mst-DK 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017).

Die Berechnung der Nitratauswaschung auf nationaler Ebene wurde für die aktuelle Nitratberichterstattung nach drei unterschiedlichen Verfahren vorgenommen, wobei darauf hingewiesen wird, dass die Berechnung für die nationale Ebene noch mit großen Unsicherheiten verbunden ist und einer Weiterentwicklung bedarf. Die verwendeten Modelle zeigen vor allem Schwächen in Bezug auf die organische Bodensubstanz (Mst-DK 2012). Folgende Kombinationen fanden Verwendung:

- Unter Verwendung des Modells DAISY wurde anhand von Agrarkatasterdaten für jeden Schlag ein Standardwert für die Nitratauswaschung aus der Kombination von Kulturpflanzen, Böden und dem Düngemitteleinsatz berechnet.
- Unter Verwendung des Modells NLES und Nutzung von Daten aus dem landwirtschaftlichen Kataster wurde landesweit für jeden Schlag die Nitratauswaschung berechnet.
- Die Ergebnisse der Modellierung aus dem Monitoring in den LOOP-Untersuchungsgebieten wurden unter der Annahme einer guten Repräsentativität hinsichtlich der bedeutendsten Bodenregionen anhand der Bodenart (Sand und Lehm) auf nationale Ebene extrapoliert.

Abschließend wurden die Ergebnisse aus den drei Varianten zur Bildung von Mittelwerten genutzt. Die modellierten Werte hinsichtlich der Nitratauswaschung, Ammoniakemission und Denitrifikation wurden mit den Stickstoffbilanzsalden der Hoftorbilanzen abgeglichen und eine relativ gute Übereinstimmung ermittelt (Mst-DK 2012).

Trendermittlung

Für die Abbildung langfristiger Trends und die Analyse der Wirksamkeit von Maßnahmen unter Berücksichtigung stark abweichender Wetterbedingungen zwischen den Jahren wird ein nicht-parametrischer und robuster statistischer Test (Kendall seasonal test, Hirsch und Slack 1984) auf die jährlichen gemessenen und durchflussgewichteten Nitratkonzentrationen im Bodenwasser und in Fließgewässern angewendet (Mst-DK 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017).

Bei der langfristigen Betrachtung von Trends anhand von Modellrechnungen wird die Nitratauswaschung jedes Bewirtschaftungsjahres mit sämtlichen Klimajahren des betrachteten Zeitraumes berechnet und abschließend der Mittelwert aus den Szenarien für jedes Bewirtschaftungsjahr ermittelt. Es konnte eine gute Übereinstimmung von Trends zwischen modellierter Nitratauswaschung und gemessenen Nitratkonzentrationen in zugehörigen Fließgewässern beobachtet werden (Mst-DK 2012).

4.1.2.3. Grundwassermonitoring in agrarischen Wassereinzugsgebieten (LOOP)

Im Rahmen des LOOP-Monitorings werden in fünf agrarischen Wassereinzugsgebieten an jeweils zwei bis drei Messstellen, welche sich in Bodentiefen von 1,5 bis 5 m befinden, Nährstoffkonzentrationen im Grundwasser an sechs Terminen im Jahr analysiert (Svendson et al. 2005). Zudem werden in Ergänzung auch vereinzelt tiefere Grundwasserbereiche beprobt, um weitere Informationen über die Nährstoffflüsse zu erhalten. Die Grundwassermessstellen sind auch Teil des nationalen Grundwassermonitorings (Svendson et al. 2005, Jørgensen und Stockmarr 2009).

Eine regionale Analyse bezüglich der Trends von Nitratkonzentrationen im Grundwasser Dänemarks im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung von Hansen et al. (2012) hat gezeigt, dass auf Grundlage von Altersanalysen des Grundwassers langfristig ein deutlicher Effekt regional, aber auch national veränderter Stickstoffbilanzüberschüsse auf die Nitratbelastung in nicht reduziertem Grundwasser abgebildet werden kann. Den Ergebnissen zur Folge könnte eine regelmäßige Ermittlung von Nitratkonzentrationen im Grundwasser in Verbindung mit einer Altersbestimmung des Grundwassers die Auswirkungen von Nitratauswaschungen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen auf die Entwicklung und den Verlauf der Nitratbelastung im Grundwasser sichtbar machen.

4.1.2.4. Fließgewässermonitoring in agrarischen Wassereinzugsgebieten (LOOP)

In den Untersuchungsgebieten wurde im jeweils bedeutendsten Fließgewässer ein Messpunkt eingerichtet, an dem kontinuierlich der Wasserfluss gemessen und 14-tägig Wasserproben für Nährstoffanalysen entnommen werden. Die an den Messstellen erhobenen Daten sollen den gesamten Nährstoffaustrag aus dem jeweiligen agrarischen Einzugsgebiet abbilden. Die Analysen werden auch im Rahmen des Fließgewässermonitorings verwendet (Svendson et al. 2005, Jørgensen und Stockmarr 2009).

Kronvang et al. (2008) haben in Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der modellierten Nitratauswaschung aus Wassereinzugsgebieten und gemessenen Nitratkonzentrationen in Fließgewässern zum Teil eine deutlich verzögerte Messbarkeit von Effekten festgestellt. Dies wird auf

eine gewisse Anpassungszeit für die Umsetzung von Maßnahmen auf den Betrieben, hydrologisch bedingt längere Fließzeiten von der landwirtschaftlichen Fläche in die Flüsse, die unterschiedliche Wirksamkeit von Maßnahmen in den verschiedenen Produktionssystemen und zum Teil reduzierende Bedingungen in Grundwasser und Flüssen zurückgeführt. Extrem unterschiedliche Wetterbedingungen in Einzeljahren können ebenfalls Ungenauigkeiten hervorrufen, wobei die hydrologischen Bedingungen in den Wassereinzugsgebieten laut Kronvang et al. (2008) den größten Einfluss auf den Zusammenhang zwischen der modellierten Nitratauswaschung und den Nitratkonzentrationen in den Flüssen haben.

Tab. 13: Zusammenfassung der Maßnahmen zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in Dänemark

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
APAE I-III[4] Green Growth Agreement Food and Agriculture Package	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Hoftorbilanzen Düngeplanung	EPA[1] GEUS[2] Universität Aarhus	Ministry of Environment and Food
LOOP-Monitoring (NOVANA)	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Betriebsdaten Hoftorbilanzen Schlagbilanzen Modellierte Nitratauswaschung Dränagemessungen Nitrat-Sulfat-Tiefbohrungen Saugkerzenanlagen Sickerwassermessungen Grundwassermessungen Fließgewässermessungen	EPA[1] GEUS[2] Universität Aarhus	Ministry of Environment and Food
Fortlaufende Entwicklung hydrologischer Modelle	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Verlagerung von Nährstofffrachten aus der Landwirtschaft in Oberflächengewässer	EPA[1] GEUS[2] Universität Aarhus	Ministry of Environment and Food
Bestimmung der Denitrifikation im Grundwasser und in Oberflächengewässern	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Grundwassermessung	EPA[1] GEUS[2] Universität Aarhus	Ministry of Environment and Food
Ermittlung der Verweilzeiten des Sickerwassers	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Grundwasseralter, hydrogeologische Beschreibungen und Modellierung	EPA[1] GEUS[2] Universität Aarhus	Ministry of Environment and Food
Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen	Nitratrichtlinie WRRL[3]	Nährstoffbilanzen Sickerwasseruntersuchungen	Ministry of Environment and Food EPA[1] GEUS[2] Universität Aarhus	EU

[1]EPA	Environmental Protection Agency Denmark
[2]GEUS	Geological Survey of Denmark and Greenland
[3]WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie
[4]APAE I-III	Action Plans for the Aquatic Environment

4.2. Niederlande

4.2.1. Organisation von Grundwasserschutzmaßnahmen im Bereich des Ordnungsrechts

Ordnungsrechtliche Maßnahmen, Kontrollen und Messprogramme

In den Niederlanden ist das Ministerium für Wirtschaft mit der zuständigen Abteilung für Landwirtschaft verantwortlich für die Regulierung des Einsatzes von Düngemitteln im Sinne der Umsetzung der Nitratrichtlinie.

Zuständig für die Nitratberichterstattung in den Niederlanden ist das Nationale Institut für Gesundheit und Umwelt des Ministeriums für Volksgesundheit, Gemeinwohl und Sport (RIVM) im Auftrag des Ministeriums für Infrastruktur und Wasserwirtschaft, des Ministeriums für Landwirtschaft, Natur und Lebensmittelqualität sowie des Ministeriums für Wirtschaft und Klimapolitik.

Das niederländische Düngegesetz gilt mittlerweile in sechster Auflage seit 1996 und sieht zur Umsetzung der Nitratrichtlinie eine Anwendung der Vorgaben auf allen landwirtschaftlich genutzten Flächen ohne die gesonderte Ausweisung gefährdeter Gebiete vor. Allerdings werden spezifische Maßnahmen in Abhängigkeit von der Auswaschungsgefährdung der Böden für Sand-, Löss,- Ton- und Torfböden festgelegt (Fraters et al. 2011, Willems et al. 2013, de Koeijer et al. 2015, Van Grinsven et al. 2016). Die niederländische Verordnung gewährt eine maximale Aufbringung von 170 kg N/ha organischer Düngemittel aus tierischer Produktion. Milchviehbetriebe mit einem Grünlandanteil von mehr als 80 % können von der Derogationsregel Gebrauch machen und bis zu 230 kg N/ha an organischen Düngern einsetzen. Für die Summe der insgesamt anzuwendenden organischen und mineralischen Düngemittel wurden boden- und pflanzenspezifische Obergrenzen für N und P definiert.

Das Ministerium für Infrastruktur und Wasserwirtschaft ist für die Implementierung der WRRL verantwortlich. Auf regionaler Ebene liegt die Zuständigkeit bei den Provinzen und auf lokaler Ebene bei den örtlichen Kommunen, während die Ebene der Bearbeitungsgebiete im Verantwortungsbereich der Wasserverbände liegt (Europäische Kommission 2012). Die Maßnahmen zur Umsetzung werden in den „River Basin Managment Plans (RBMPs)“ erläutert. Darin als Maßnahme aufgeführt ist auch der 5. Nationale Aktionsplan zur Umsetzung der Nitratrichtlinie zur Senkung der Nitrateinträge durch die Landwirtschaft (Van Grinsven et al. 2016).

Das Nitratmonitoring im Grundwasser in den Niederlanden erfolgt auf unterschiedlichen Verwaltungsebenen national, regional sowie im Wassereinzugsgebiet von Trinkwasserbrunnen. Ein Großteil der Daten wird in einer nationalen Datenbank erfasst und zur Bewertung auf nationaler Ebene herangezogen. Das Niederländische Umweltamt (PBL) ist für die Koordination des Netzwerkes, die Interpretation der Daten sowie die Berichterstattung verantwortlich. Wasserversorger unterrichten das Ministerium für Infrastruktur und Wasserwirtschaft in der Regel jährlich über die Grundwasserqualität. Die Daten werden ebenfalls durch das Niederländische Umweltamt verwaltet.

4.2.2. Aktuelle Messprogramme und Forschungsvorhaben

Zur Bewertung der Wirksamkeit des nationalen Aktionsprogramms zur Umsetzung der Nitratrichtlinie wurde neben dem regulären Wirkungsmonitoring in Bezug auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, die Qualität des Grundwassers sowie der Oberflächengewässer zusätzlich ein spezifisches Programm, das Minerals Policy Monitoring Programme (LMM), zur gesonderten Quantifizierung der Nitratemissionen aus der Landwirtschaft und zur Überprüfung der Effekte von geänderten Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Nitratbelastung des Wassers eingerichtet. Um nicht durch die Landwirtschaft verursachte weitere diffuse Nährstoffquellen bei der Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen möglichst ausschließen zu können, wird im LMM je nach standörtlichen Gegebenheiten die Nitratkonzentration des Sickerwassers aus der Wurzelzone, des oberflächennahen Grundwassers oder auch die Wasserqualität in Entwässerungsgräben auf den landwirtschaftlichen Betrieben erfasst, wodurch die Auswirkungen der aktuellen Bewirtschaftung (maximal 4 Jahre zurückliegend) abgebildet werden (Fraters et al. 2016). LMM beinhaltet zwei zentrale Monitoringnetzwerke, (1) das Basismonitoring und (2) das Derogationsnetzwerk. Das Programm wird in Zusammenarbeit vom Zentrum für Umweltqualität des Nationalen Instituts für Volksgesundheit und Umwelt und der Universität Wageningen (Economic Research) durchgeführt. Im Zuge des Programms werden auf landwirtschaftlichen Betrieben sowohl Bewirtschaftungsmaßnahmen als auch die Wasserqualität überwacht (Fraters et al. 2007, De Goffau et al. 2012, Fraters et al. 2016, Fraters et al. 2017, Hooijboer et al. 2017).

4.2.2.1. Reguläres Monitoring der landwirtschaftlichen Praxis und Wasserqualität

Das Statistische Büro Niederlande (CBS) erfasst jährlich allgemeine Daten, wie z.B. die betriebliche Flächenausstattung und Tierzahlen im Rahmen der Landwirtschaftszählung und berechnet N- und P-Bilanzen für die landwirtschaftliche Produktion. Spezifischere Daten werden durch das Agricultural Economics Research Institute (LEI) der Universität Wageningen über das Farm Accountancy Data Network (FADN) erhoben. Dazu zählen Nährstoffbilanzen und die eingesetzte Menge von Düngemitteln. Im FADN-Netzwerk werden 1.500 Betriebe aus der Landwirtschaftszählung erfasst, wodurch rund 95 % der niederländischen Landwirtschaft repräsentiert werden sollen. Am LEI werden sämtliche Rechnungsbelege der Betriebe geprüft, Nährstoffinventare erstellt sowie Daten über Fruchtfolgen oder Weidesysteme erfasst. Darüber hinaus wird der Düngemitteleinsatz, der Einsatz organischer Dünger, die Anwendung der Düngemittel differenziert für Acker- und Grünland, die Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen und Ernteerträge sowie die daraus resultierenden Nährstoffüberschüsse berechnet. Die Betriebe und Daten des FADN-Netzwerks werden z.T. auch im Minerals Policy Monitoring Programme (LMM) verwendet (Fraters et al. 2011 und 2016, Hooijboer et al. 2017).

Die Überwachung der Grundwasserqualität erfolgt an rund 360 Messstellen, die anhand der Bodenart, der Landnutzung und der hydrogeologischen Verhältnisse klassifiziert wurden. Die Dauermessstellen befinden sich außerhalb landwirtschaftlich genutzter Flächen. Das Grundwasser wird in Tiefen von 5-15 m und 15-30 m unter der Bodenoberfläche beprobt. Flache Messstellen in Sandregionen werden jährlich, jene in Ton- und Torfregionen alle zwei Jahre beprobt. Die tiefen Grundwassermessstellen werden in vierjährigem Turnus beprobt. Die Daten werden nicht zur Nitratberichterstattung genutzt, wohingegen ein Teil der Daten im Rahmen der WRRL verwendet wird (Fraters et al. 2011 und 2016).

4.2.2.2. Minerals Policy Monitoring Programme (LMM)

Das LMM besteht aus unterschiedlichen Monitoringprogrammen zur Trendbeobachtung, einem überblicksweisen Monitoring sowie Forschungsprogrammen. Die bedeutendsten LMM-Programme zur Evaluierung der politischen Maßnahmen sind das Basis (Trend)-Monitoring und das Derogations-Monitoring.

Trend-Monitoring

Die Maßnahmen zur Umsetzung der Nitratrichtlinie werden in den Niederlanden in Abhängigkeit von der Bodenart und der entsprechenden Nitratauswaschungsgefährdung geplant und festgesetzt. Das Monitoring im LMM differenziert daher auch nach Bodenregionen, welche in Sand-, Löss-, Ton- und Torfböden untergliedert sind. Jede Bodenregion wurde weiter in eine oder mehrere Teilregionen differenziert. Innerhalb der Regionen werden die jeweils bedeutendsten landwirtschaftlichen Betriebstypen entsprechend des Anteils an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche betrachtet. Es wird generell im Monitoring nur eine eingeschränkte Auswahl von Betriebstypen (Marktfrucht-, Milchvieh- sowie andere viehhaltende Betriebe) berücksichtigt, da die durch die Vielfalt von Betriebsformen verursachte Variation der Bewirtschaftungsmaßnahmen und der resultierenden Auswirkungen auf die Wasserqualität innerhalb des Untersuchungsumfangs möglichst minimiert und dadurch Änderungen in der Bewirtschaftung und Wasserqualität nachweisbar gemacht werden sollen. Aus dieser Vorauswahl nach Betriebstyp, Betriebsgröße und Bodenregion werden dann zufällig Betriebe ausgewählt. Basierend auf der Landwirtschaftszählung wurde eine Stichprobe von Betrieben für jede Bodenregion definiert. Die Stichproben wurden weiterführend entsprechend der Zugehörigkeit zum Einzugsgebiet der Grundwasserkörper, Betriebstyp und ökonomische Betriebsgröße unterteilt. Je größer der Flächenanteil einer Faktorkombination, desto mehr Betriebe wurden je Stichprobe einbezogen. Die Betriebe wurden soweit wie möglich aus dem bereits bestehenden Pool des FADN-Netzwerks übernommen. Dem LMM-Netzwerk gehörten im Zeitraum von 2007-2010 zwischen 500 bis 540 Betriebe an (De Goffau et al. 2012, Fraters et al. 2016, Fraters et al. 2017, Hooijboer et al. 2017).

Die Daten werden zur Entwicklung statistischer Modelle verwendet. Die Modelle sollen zusammen mit Daten auf nationaler Ebene zur Analyse vom Zustand sowie der Entwicklung der Grundwasserqualität auf den landwirtschaftlichen Betrieben genutzt werden (Fraters et al. 2016).

Die Erfassung der Wasserqualität erfolgt auf den Betrieben anhand von Proben aus dem Sickerwasser sowie in Vorflutern. Die Wasserproben werden 1) aus der ungesättigten Bodenzone unterhalb der Wurzelzone im Bereich von 1,5 bis 3 m Bodentiefe bei einem Grundwasserspiegel tiefer als 5 m oder 2) im oberflächennahen Grundwasser, wenn der Grundwasserspiegel weniger als 5 m unter der Bodenoberfläche liegt bzw. 3) aus Drainagewasser, wenn die Flächen entsprechend mit Drainagen versehen sind, gewonnen.

In der Regel werden je Betrieb 16 Standorte zur Beprobung von Grundwasser, Bodenwasser und/oder Drainagewasser, sowie 8 Messplätze in Vorflutern ausgewählt. Grundwasser und Wasserproben aus Vorflutern, welche beim selben Beprobungstermin gewonnen wurden, werden im Feld hinsichtlich Nitrat per Nitrachek oder Farbmethode, pH-Wert, elektrischer Leitfähigkeit und Sauerstoffgehalt untersucht. Bodenwasser- und Drainagewasserproben sowie weitere Vorfluterproben werden

hinsichtlich Nitrat- und Nitritgehalt, pH-Wert und der elektrischen Leitfähigkeit im Labor untersucht. Im Feld werden zusätzlich Abflussraten der Drainagen und Eigenschaften der Vorfluter aufgenommen. Die Einzelproben werden zudem filtriert, gemischt und hinsichtlich DOC (gelöster organischer Kohlenstoff), Cl, SO_4, Na, Ca, Mg, Gesamtstickstoff, Ammonium, Nitrat, Ortho-Phosphat, Gesamtphosphat und Kalium untersucht. Zudem werden noch Mikronährstoffe erfasst (Fraters et al. 2011). Zusätzliche, mitunter modellbasierte Datenerhebungen umfassen u.a. die Niederschlagsmenge, die Evapotranspiration, den Flächenanteil nach Bodenart und den Grundwassereinzugsbereich. Die Betrachtungsebene ist der gesamte Betrieb aufgrund der einfacheren Erfassbarkeit. Aussagen zu Trends werden hingegen grundsätzlich auf der Ebene der Bodenregionen und/oder Betriebstypen getroffen. Zudem wird ein Teil der Daten bereits im FADN-Netzwerk, welches ebenfalls den Betrieb als Ebene verwendet, erhoben (Kapitel 4.1.2.1., Fraters et al. 2016).

Die Flächen der Betriebe werden im GIS mit Boden- sowie Drainagekarten hinterlegt. Die Entwicklung der Nitratgehalte wird getrennt für die Bodenregionen analysiert. Veränderungen der Stichprobe oder Umweltbedingungen müssen bei der Analyse von Trends berücksichtigt werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden. Zudem muss laut Fraters et al. (2011) berücksichtigt werden, dass auf den Betrieben unterschiedliche Bodenarten und Drainageformen vorkommen, so dass deutliche Unterschiede hinsichtlich der Auswaschung von Stickstoffüberschüssen in Abhängigkeit des jeweils vorliegenden Flächenanteils entstehen können, die bei der Trendanalyse berücksichtigt werden müssen.

Der Zeitpunkt und die Frequenz der Probenahmen richten sich nach den standörtlichen Gegebenheiten. So wird in tiefer gelegenen Gebieten vorzugsweise im Winter beprobt, da dort die flachen Grundwasserströme deutliche Mengen des Niederschlagsüberschusses in die Oberflächengewässer transportieren. In höher gelegenen Sand- und Lössregionen können sowohl im Sommer als auch im Winter Proben genommen werden. Die Probenahmezeitpunkte sind so gewählt, dass die Messwerte das aus der Wurzelzone versickernde Wasser repräsentativ abbilden, um so den Einfluss der Bewirtschaftung des Vorjahres möglichst genau abbilden zu können. In Abhängigkeit von den Wetterbedingungen werden die Probenahmezeitpunkte ggf. angepasst, um repräsentative Ergebnisse zu gewährleisten. In den höher gelegenen Gebieten der Niederlande werden die Probenahmen in Grundwasser und Sickerwasser einmal jährlich auf jedem Betrieb des jeweiligen Monitoringnetzwerkes durchgeführt. Im Mittel der Niederlande wird eine Wasserbilanz von 300 mm/a geschätzt, wodurch das Bodenwasser in einem gesättigten sandigen Boden um etwa 1 m in die Tiefe verlagert wird und daher die Nitratkonzentration im obersten Meter der ersten grundwasserführenden Schicht ein repräsentatives Bild der Nitratverlagerung aus der Wurzelzone und der Befrachtung des Grundwassers liefert (Fraters et al. 2016, Hooijboer et al. 2017). Da die Wasserhaltefähigkeit von Löss-, Ton- und Torfböden höher ist als die von Sand, gehen Fraters et al. (2016) und Hooijboer et al. (2017) davon aus, dass eine einmalige Probenahme der Bodenschicht von 0-1 m im Jahr im Mittel mindestens die Nährstofffracht eines Jahres enthält und die Probenahmefrequenz daher ausreichend ist. Nach Fraters et al. (1997) kann die Variation der Nitratkonzentrationen sowohl zwischen als auch innerhalb der Jahre weitgehend verringert werden, wenn man Grundwasserstände und Verdünnungseffekte berücksichtigt.

Die Beprobung von Drainagewasser und Wasser in Vorflutern in den niedriger gelegenen Regionen der Niederlande wurde von zwei bis drei Durchgängen im Winter im Laufe der Jahre auf vier Durchgänge je Winterperiode zur besseren Abbildung der Sickerung erhöht.

Fraters et al. (2011) unterscheiden fünf Typen von Effekten auf die erhobene Nitratauswaschung, welche mit Blick auf die Bewertung der Wirksamkeit von politischen Maßnahmen berücksichtigt werden müssen:

1. Politische Effekte (Verlustkoeffizienten, Zeitpunkt und Art der Stickstoffgabe)
2. Bewirtschaftungseffekte, welche auf die Politik zurückgeführt werden können
3. Umwelteffekte (Niederschlagsintensität, Bodenart, Wasserhaltevermögen des Bodens)
4. Mögliche Umwelteffekte, die den Bodenstickstoffvorrat ändern (Mineralisation, Denitrifikation, Pflanzenaufnahme)
5. Monitoring-Effekte durch Veränderung der Stichprobe und der Anteile der jeweiligen Kombination aus Betriebstyp und Bodenart.

Die Beprobungsfrequenz orientiert sich an dem Zeithorizont, in welchem Änderungen der Wasserqualität erwartet werden, bzw. an der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Messergebnisse. Zur Abschätzung der optimalen Probenahmeintervalle wurden in den Bodenregionen mehrjährige Untersuchungen durchgeführt. Als Haupteinflussfaktoren auf die Variation von Nitratkonzentrationen wurden dabei in absteigender Bedeutung 1. Unterschiede zwischen den Betrieben, 2. Unterschiede zwischen Jahren bei Betrachtung desselben Betriebs und 3. Unterschiede von Probenahmeort zu Probenahmeort auf demselben Betrieb im selben Jahr identifiziert. Der Unterschied zwischen verschiedenen Betriebstypen war überraschenderweise gering. Die Ergebnisse haben weiterhin gezeigt, dass eine begrenzte Anzahl von Proben von vielen Betrieben bei nur begrenzter Anzahl von zeitlichen Wiederholungen auf jedem Betrieb wesentlich effizienter mit Blick auf das Monitoring ist als eine intensive Probennahme auf nur wenigen Betrieben (Ferreira 2010, Fraters et al. 1997, 1998, 2001, 2002, 2016).

Hinsichtlich der Kosten und der Organisation des Monitorings ist es laut Fraters et al. (2016) effektiver viele Proben auf wenig Betrieben zu nehmen, da dadurch weniger Aufwand für die Einbindung von Betrieben in das Monitoringnetzwerk und die laufende Kontaktpflege entstehen sowie mehr Proben in kürzerer Zeit gewonnen werden können.

Außerhalb des LMM-Monitorings zur Trend-Überwachung werden bei der überblicksweisen Überwachung das Anbaumanagement und die Wasserqualität jener Betriebstypen, welche nicht bei der Trend-Überwachung berücksichtigt werden (z.B. Freilandgemüseanbau) oder bei denen detailliertere Nachforschungen vorgenommen werden sollen, betrachtet (Fraters et al. 2011 und 2016).

In LMM-Forschungsprogrammen werden mögliche Auswirkungen geplanter politischer Maßnahmen u.a. auch in Kooperationen von Landwirten, Fachleuten und Forschungseinrichtungen untersucht.

Derogations-Monitoring

Im Jahre 2006 wurde im Rahmen der Derogation zur Berichterstattung an die EU ein Derogations-Monitoring-Netzwerk mit 300 Betrieben eingerichtet. Dabei sollen die Auswirkungen der Derogationsregelung auf das betriebliche Management und die Wasserqualität untersucht werden. Da nicht alle Betriebe des Derogations-Netzwerks zufällig ausgewählt wurden, können diese

entsprechend der Qualitätskriterien nicht im Basis-Monitoring berücksichtigt werden. Die Zusammensetzung der beiden Betriebsnetzwerke ist seit 2006 annähernd beibehalten worden. Die Ergebnisse werden an die EU-Kommission berichtet. Die Auswahl der Betriebe ist mit der bei den anderen LMM-Programmen vergleichbar. Falls erforderlich, wurden weitere Betriebe, welche sich zur Derogation registriert hatten, in das Derogations-Netzwerk integriert. Ziel der Netzwerkgestaltung war die optimale Verteilung und repräsentative Darstellung in jeder Region, um möglichst die Bedeutung der Grundwasserkörper hinsichtlich der Größe des landwirtschaftlich bewirtschafteten Einzugsgebietes beim Monitoring abbilden zu können. Wie beim LMM-Basismonitoring werden beim Derogationsmonitoring auf jedem Betrieb an 16 Messstellen die Nitratkonzentrationen im Grundwasser, Bodenwasser und/oder Drainagewasser erfasst. An bis zu 8 Messpunkten wird auch Wasser aus Vorflutern beprobt (Fraters et al. 2016, Hooijboer et al. 2017).

Referenz-Monitoring

Zum Vergleich wurde neben dem Derogationsmonitoring noch ein Referenz-Monitoring-Netzwerk mit rund 65 Betrieben in Sand-, Löss- und Tongebieten betrieben. Die Betriebe in diesem Netzwerk setzen vergleichbare Gesamtstickstoffmengen im Vergleich zu Derogationsbetrieben ein, verwenden dabei allerdings nur sehr geringe Mengen Wirtschaftsdünger. Im Netzwerk waren vorwiegend Milchviehbetriebe mit Derogation berücksichtigt. Die teilnehmenden Betriebe mussten einen organischen Nährstoffanfall von unter 220 kg N/ha aufweisen und keine Wirtschaftsdünger aufnehmen. Das Referenz-Monitoring wurde aufgrund seiner geringen Bedeutung für die Bewertung der Derogation Ende 2009 eingestellt (De Goffau et al. 2012).

Forschungs-Monitoring

Im Forschungs-Monitoring beteiligen sich einige Betriebe in Forschungsprojekten, welche allerdings nicht federführend durch das LMM durchgeführt werden. Bei den regulären nationalen Monitoringaktivitäten des LMM werden die Landwirtschaftsbetriebe aus dem Forschungs-Monitoring nur zu einem geringen Teil einbezogen (De Goffau et al. 2012).

4.2.3. Forschungsprogramme

Im Forschungsprojekt „Focus on Nitrate (2000-2004)“ wurden unter anderem Regressionsmodelle als Indikatoren für die Nitratkonzentration im Grundwasser in Abhängigkeit von Betriebstypen (Milchvieh und Ackerbau) entwickelt und auf unterschiedlichen Skalen getestet (Smit et al. 2004). Ziel der Untersuchungen war es, Indikatoren für die Nitratbelastung des Grundwassers zu entwickeln und zu testen, um die Wirksamkeit von Reduktionsmaßnahmen auf nationaler, regionaler sowie auf Ebene des landwirtschaftlichen Betriebs überprüfen zu können.

Zunächst wurden rund 60 unterschiedliche Faktorkombinationen Boden-Kulturpflanze-Grundwasser, welche in den Sandregionen der Niederlande dominierend sind, identifiziert und als sogenannte Landnutzungseinheiten (land use units; LUU) charakterisiert. Innerhalb dieser Einheiten wurden verteilt 20 m^2-Parzellen weiterführend untersucht. Dabei wurden Herbst- N_{min} -Messungen in 0-90 cm

Bodentiefe, die Nitratkonzentration in der obersten Grundwasserschicht (1 m) im Frühjahr und weitere Untersuchungen durchgeführt. Die Regressionsmodelle wurden auf Grundlage von 478 Parzellen verteilt auf 34 Betriebe erstellt. Die Modelle wurden bezüglich ihrer Aussagekraft auf den verschiedenen Skalen angewandt und die Ergebnisse überprüft. Zum Abgleich der modellierten Daten, wurden die Ergebnisse von Parzellen von 19 Betrieben herangezogen.

Die Ergebnisse der Modellstudien zeigten, dass für alle Faktorkombinationen (Boden-Kulturpflanze-Grundwasser) die besten Ergebnisse unter Verwendung von Nitratmengen (0-90 cm) aus den N_{min}-Messungen verwendet wurden. Unterschiede zwischen Landnutzung und Grundwassereigenschaften spiegelten sich ausschließlich in unterschiedlichen Intercepts wieder. Die durch die Gleichung erklärte Varianz lag für Gras bei 21 %, 24 % bei Mais bis hin zu 36 % für einige Marktfrüchte, wobei die Standardfehler bei 49,8 mg/l, 65,6 mg/l und 59,6 mg/l lagen. Die Modellgenauigkeit kann etwas verbessert werden, wenn weiterführende Parameter wie kumulativer Niederschlag oder Stickstoffgehalte berücksichtigt werden. Die komplizierteren Modelle erwiesen sich allerdings als weniger stabil, wohingegen die Aggregierung auf Betriebsebene oder regionaler Ebene deutliche Verbesserungen brachten. Die Vorhersage von Nitratkonzentrationen auf Ebene eines gesamten Betriebes erfolgte anhand der flächengewichteten Betrachtung der Ergebnisse aus den Parzellenuntersuchungen. Auf Betriebsebene waren die Ergebnisse der Modellberechnungen zutreffender als auf Ebene der einzelnen Parzellen. Durch die Hochrechnung der Modellprognosen für die Parzellen auf regionale Ebene konnte ebenso eine gute Vorhersagegenauigkeit erreicht werden. Somit konnte unter Verwendung der Parzellen einer jeweiligen Region ein spezifischer Mittelwert errechnet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, die Nitratkonzentration im oberflächennahen Grundwasser vorherzusagen (Smit et al 2004).

Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass die Berechnungen bislang nur innerhalb eines bestimmten Niveaubereichs von Nitratkonzentrationen angewendet wurde und die Vorhersagegüte bei sinkenden Stickstoffeinträgen möglicherweise verringert ist. Daher sollte bei einem Nitratmonitoring anhand von N_{min}-Daten und daraus prognostizierter N-Konzentrationen im Grundwasser regelmäßig mit einer Überprüfung und Adjustierung der Modelle anhand von Messungen im Grundwasser kombiniert werden.

Tab. 14: Zusammenfassung ausgewählter Maßnahmen und Forschungsprogramme zur Reduktion landwirtschaftlicher Nitratausträge ins Grundwasser, Zielkulissen, erhobene Parameter sowie beteiligte Institutionen und Finanzierung in den Niederlanden

Maßnahme	Zielkulisse	Erhobene Parameter	Beteiligte Institutionen	Finanzierung
Farm Accountancy Data Network (FADN)	Nitratrichtlinie	Betriebswirtschaftliche Daten Parameter der Hoftorbilanzierung	National Institute for Public Helath and the Environment Ministry of Health, Welfare and Sport Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality Universität Wageningen	Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality
Focus on Nitrate		Herbst-N_{min} Oberflächennahes Grundwasser Regressionsanalysen Modellierung	National Institute for Public Helath and the Environment Ministry of Health, Welfare and Sport Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality	Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality
Minerals Policy Monitoring Programme (LMM) bestehend aus Netzwerken zum: - Trend-Monitoring - Derogations-Monitoring - Referenz-Monitoring - Forschungs-Monitoring	Nitratrichtlinie	oberflächennahes Grundwasser Bodenwasser Drainagewasser Wasser in Vorflutern Parameter: Nitratkonzentration Ammoniumkonzentration Phosphor Kalium	National Institute for Public Helath and the Environment Ministry of Health, Welfare and Sport Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality	Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality

5. Bewertung und Diskussion

Im Rahmen dieser Studie sollten aktuelle Ergebnisse und Erkenntnisse der Bundesländer sowie benachbarter EU-Staaten (DK/NL) bezüglich der Eignung verschiedener Monitoringverfahren zur Bewertung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Reduktion von Nitratbelastungen in Grund- und Oberflächengewässern zusammengetragen werden. Diese Übersicht ist eine Grundlage für die zielgerichtete Entwicklung des Frühindikatorensystems im Demonstrationsvorhaben „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“.

5.1. Nitrat-Messprogramme der Bundesländer und EU-Staaten

In allen Ländern gibt es umfangreiche Aktivitäten zur Aufklärung und Bewertung des Zusammenhanges zwischen Bewirtschaftungsmaßnahmen und Nitrateinträgen und zur Überwachung der Nitratbelastung im Sicker- und Dränwasser sowie in Grundwasserkörpern und Oberflächengewässern. In einigen Ländern hat insbesondere die Umsetzungspflicht der EG-Wasserrahmenrichtlinie zu einer deutlichen Ausweitung der Untersuchungen beigetragen, während zum Teil auch auf bereits etablierte Aktivitäten zur Erfüllung der EG-Nitratrichtlinie und des Wasserhaushaltsgesetzes aufgesattelt werden konnte. Dabei arbeiten die Länder verstärkt auf eine zeitnahe Erfassung der Wirksamkeit von Maßnahmen mit Hilfe von Indikatoren hin. Überdies liefern Forschungsprojekte und Feldversuche wichtige Informationen zur zielgerichteten Planung und Durchführung von Grundwasserschutzmaßnahmen. Dies geschieht z.B. durch die Ermittlung gebietscharakteristischer bodenkundlicher und hydrogeologischer Daten, durch die Erfassung der Beschaffenheit und der Fließeigenschaften des Sicker- und Grundwassers sowie durch die Erhebung und Analyse grundwasserschutzrelevanter Daten von landwirtschaftlichen Betrieben.

Anhand ihrer Monitoring- und Forschungsaktivitäten haben die Länder umfangreiche Erfahrungen über die Anwendbarkeit und Aussagekraft unterschiedlicher Indikatoren gesammelt. Einige Länder führen z.B. regelmäßig großflächige N_{min}-Messkampagnen zur Quantifizierung reaktiver Stickstoffverbindungen im Boden durch, während andere vor allem auf die Auswertung von Daten der Agrarstatistik zur Berechnung von Nährstoffbilanzen unterschiedlicher Skalierung und darauf aufbauender Modellierungen setzen. Die Monitoringprogramme der Länder beinhalten meist sowohl kalkulatorische als auch stofflich-analytische Indikatoren. Kalkulatorische Indikatoren in Form von Nährstoffbilanzen erlauben die Betrachtung landwirtschaftlicher Flächen auf verschiedensten Skalenebenen und sind mit vergleichsweise geringem Aufwand ableitbar. Die Aussagekraft der Ergebnisse in Bezug auf die Nitratbelastung ist allerdings in erheblichem Maße abhängig von der Qualität der erhobenen Daten und der betrachteten Bezugsebene. Aber selbst bei schlagspezifischen Betrachtungen haben Untersuchungen einiger Länder gezeigt, dass ein Zusammenhang mit tatsächlich im Boden befindlichen Stickstoffmengen und den daraus resultierenden Auswaschungsverlusten nur bei der Betrachtung langjähriger Zeitreihen, jedoch nicht jahresscharf abgeleitet werden kann (Knoblauch et al. 2013, NLWKN 2015, LLG2017). Dies kann vor allem auf die Faktorkombination aus Bewirtschaftung, Standort und Witterung und die dadurch bedingte Stickstoffdynamik im Boden zurückgeführt werden. Die Modellierung von Nährstoffausträgen auf Basis von Nährstoffüberschüssen ist daher in der Aussagefähigkeit eingeschränkt und in den Ländern fehlen für flächenhafte Betrachtungen ausreichende Datengrundlagen zur Validierung der Berechnungen (NLWKN 2015, Kuhr et al. 2014). Abgesehen von den Schwächen bezüglich der Abschätzung von Nitratausträgen mit dem

Sickerwasser liefern Nährstoffbilanzen wertvolle Informationen über das Nährstoffmanagement der Betriebe (NLWKN 2015, Fraters et al. 2011).

5.2. Synthese und Diskussion der Ergebnisse zur Eignung ausgewählter Indikatoren

Die Ergebnisse aus den Ländern weisen darauf hin, dass ein Nitratmonitoring auf Basis gekoppelter kalkulatorischer (N-Bilanzen) und stofflich-analytischer (N_{min}-Methode und Nitrat-Tiefenprofile) Indikatoren geeignet ist, zeitnah die Auswirkungen von Gewässerschutzmaßnahmen abzubilden (Svendson und Norup 2005, Fraters et al. 2011, Grant et al. 2011, Steinmann 2012, NLWKN 2015, LU-MV 2016, Alscher et al. 2017, Finck 2017, Hülsbergen et al. 2017). Ergänzend sind Modellrechnungen zur Abbildung der Prozesse und Emissionspfade sowie zur Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen in der Fläche zielführend (Svendson et al. 2005, Wendland et al. 2014, NLWKN 2015, Schäfer et al. 2015, GALF 2018, LARSIM 2018).

Für eine repräsentative Abbildung und Interpretation der Wirksamkeit von Maßnahmen mit Blick auf unterschiedliche Boden-Klimaräume und Betriebstypen sind jedoch geeignete Kriterien und Verfahren bei der Konzeptionierung von Betriebs- und Testflächennetzen zu definieren (Svendson und Norup 2005, Fraters et al. 2007, Fraters et al. 2011). Im Vergleich der Messprogramme der Bundesländer zeigen sich große Unterschiede bei den Vorgehensweisen zur Auswahl von Testbetrieben und -flächen, so dass sich neben einer abweichenden Methodik bei Messungen und Berechnungen zusätzliche Probleme hinsichtlich einer Vergleichbarkeit der Ergebnisse bzw. der Implementierung der Programme der Länder in ein einheitliches Vorgehen ergeben können.

Das Demonstrationsvorhaben schafft daher perspektivisch die Grundlagen für harmonisierte Datenerhebungen und Monitoringprogramme auf landwirtschaftlichen Flächen, welche bundeslandübergreifend vergleichbare und auswertbare Ergebnisse liefern können.

Nachfolgend wird nun speziell die Eignung der im Untersuchungsumfang des Demonstrationsvorhabens verwendeten Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten zusammengefasst und diskutiert:

Kalkulatorische Erhebungen in Form von Nährstoffbilanzen werden auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen seitens der Länder eingesetzt. So werden u.a. auf Grundlage der Agrarstatistik und InVeKoS-Daten Nährstoffbilanzen auf der Ebene von Flussgebietseinheiten, Gemeinden, Bundesländern sowie des Bundes berechnet. Nährstoffbilanzen auf Betriebs- oder Einzelschlagebene (mitunter aggregiert) werden vor allem in der landwirtschaftlichen Beratung bzw. der Wasserschutzberatung eingesetzt. Die Vor- und Nachteile der einzelnen Bilanzierungsmethoden sollen im Folgenden nochmal kurz diskutiert werden:

Die Hoftorbilanz lässt sich weitestgehend auf Grundlage von Buchführungsdaten erheben und wird allgemein als sehr aussagekräftig eingestuft (z.B. BAD 2003, Bach und Frede 2005, NLWKN 2015). Gegenüber der Feld-Stallbilanz liefert die Hoftor-Bilanz vor allem in Bezug auf viehhaltende Betriebe verlässlichere Daten. Beim Gebietsmonitoring werden repräsentative Referenzbetriebe ausgewählt und über einen möglichst langen Zeitraum betrachtet (NLWKN 2015). Der Bezugszeitraum sollte das Anbaujahr (periodenechte Berechnung) sein, um den Nährstoffeinsatz in direktem Bezug zur Nährstoffausfuhr aus dem Betrieb setzen und eine valide Aussage über die Effizienz der eingesetzten

Nährstoffe abbilden zu können. Laut NLWKN (2015) sollten nicht in der Produktion befindliche Flächen nicht in die Berechnungen einfließen. Da die Höhe gasförmiger Verluste i.d.R. auf Schätzwerten beruht, ist die Aussagekraft der Brutto-Hoftorbilanz im Vergleich zur Netto-Hoftorbilanz als höher einzustufen, während zur Abschätzung der potentiellen Nitratkonzentration im Sickerwasser die Netto-Hoftorbilanz berechnet werden muss (NLWKN 2015).

Die Hoftor-Bilanzen werden in den Ländern i.d.R. seitens der Wasserschutzberatung erstellt. Ein landesweites Monitoring mit Hoftor-Bilanzen erfolgt den Recherchen zufolge bislang in keinem der Bundesländer. Hier ergeben sich durch die Einführung der Stoffstrombilanz in Verbindung mit den geplanten Meldepflichten erweiterte Möglichkeiten.

Schlagbilanzen werden beim Nitrat-Monitoring auf Schlagebene, Gebietsebene und zur Bewertung einzelner Anbaukulturen und Fruchtfolgen sowie zur Prognose der Nitratkonzentration im Sickerwasser eingesetzt. Aufgrund der mitunter verwendeten Schätzwerte über Nährstoffzufuhren mit Wirtschaftsdüngern, Erträge und Qualitäten sowie der auf der Fläche verbleibenden Erntereste ist die Aussagekraft der Schlagbilanzierung erfahrungsgemäß nicht so hoch wie die der Hoftorbilanzierung (Bach und Frede 2005). Eine Plausibilitätsprüfung kann anhand eines Abgleichs mit der Hoftorbilanz erfolgen sofern sämtliche Schläge des Betriebes oder zumindest ein repräsentativer Anteil in die Prüfung einbezogen werden können (NLWKN 2015).

Schlagbilanzen werden in den Ländern vor allem im Versuchswesen, zur Ableitung von Düngeempfehlungen oder zur Bewertung von flächenbezogenen Grundwasserschutzmaßnahmen eingesetzt, sind aber durch Aggregierung auch beim Gebietsmonitoring oder zur Ableitung von potentiellen Nitratkonzentrationen im Sickerwasser geeignet (NLWKN 2015, Hülsbergen et al. 2018).

Bei den stofflich-analytischen Untersuchungen im Bereich der Wurzelzone wird am häufigsten die Herbst-N_{min}-Methode zur Abschätzung der N-Auswaschungsverluste vor Beginn der Sickerwasserperiode zum Monitoring einzelflächenbezogener Maßnahmen aber auch zum Gebietsmonitoring angewandt (Ketelsen 2003, Apel et al. 2011, Fraters et al. 2011, NLWKN 2012a, LTZ 2016, BMUB 2017). Die Erfassung der mineralischen Stickstoffgehalte in der Wurzelzone hat den entscheidenden Vorteil, dass die über Bilanzen kaum abbildbare, jahresspezifische Variabilität der Stickstoffdynamik erfasst wird. Zudem sind die Probenahmen und Analysen mit vergleichbar geringem Aufwand verbunden. Aus den Werten lassen sich durch Verknüpfen mit Sickerwasserraten Nitratgehalte und -frachten ableiten. Die N_{min}-Methode ist zu diesem Zweck allerdings nicht für alle Standorte gleichermaßen geeignet (NLWKN 2015). Zudem müssen für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse einheitliche Bestimmungen bezüglich der Beprobungszeitpunkte, der Probengewinnung, dem Transport sowie den Analysen definiert werden. Hier haben sich im Vergleich der Länder zum Teil Abweichungen gezeigt, wodurch die Messwerte zumeist nicht für gebietsübergreifende Vergleiche verwendet werden können.

Nitrat-Tiefenprofile haben sich auf ausreichend tiefgründigen Standorten als besonders zuverlässig zur Ist-Zustandsbeschreibung und frühzeitigen Abbildung der Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Nitratbelastung des Sickerwassers bei einzelflächenbezogenen Maßnahmen sowie im Gebietsmonitoring erwiesen (Ketelsen 2003, Steinmann 2010, NLWKN 2015, Alscher et al. 2016, GALF 2018, Hülsbergen et al. 2018). Nitrat-Tiefenprofile eignen sich laut NLWKN (2015) zur Abbildung der Nitratkonzentrationen im Sickerwasser für mehrere zurückliegende Jahre und zur Validierung von aus N_{min}-Untersuchungen prognostizierten Nitratkonzentrationen. Die direkte

Messung der Sickerwassergüte in der Sickerwasser-Dränzone erfordert gegenüber kalkulatorischen Verfahren hingegen deutlich mehr Aufwand (Steinmann 2010). Laut NLWKN (2015) wird meist der Mittelwert der Nitratkonzentration im Tiefenprofil zur Bewertung der Wirksamkeit einer mehrjährigen Maßnahme herangezogen und im zeitlichen Verlauf durch Abgleich wiederholter Beprobungen zur Bewertung der Maßnahmenwirkung herangezogen. Bezüglich Flächenauswahl, Probenahme und Auswertung stellt die Methode ähnlich hohe Anforderungen, wie die Herbst- N_{min}-Methode (NLWKN 2015).

Weiterhin werden in einigen Ländern Saugkerzenanlagen sowie Unterflurlysimeter zur genauen Bestimmung des Nährstoffaustrags mit dem Sickerwasser in Versuchen, zum Teil aber auch zu Monitoringzwecken, betrieben (Grimm-Strele et al. 2008, Nerger 2010, NLWKN 2012a, LWK-NI 2014, Knoblauch et al. 2013, Alscher et al. 2017, LLG (Jahresbericht) 2017, LfL 2019 b). Lysimeter und Sickerwassersammelanlagen liefern sehr verlässliche Daten und eignen sich daher gut bei der Bewertung der Wirksamkeit von Grundwasserschutzmaßnahmen in Exaktversuchen, lassen jedoch aufgrund des stationären Charakters sowie des hohen technischen und finanziellen Aufwandes nur Erfolgskontrollen auf repräsentativen Einzelstandorten zu. Die Anlagen werden daher vorwiegend im Rahmen der Bodendauerbeobachtung und in Demonstrationsvorhaben genutzt.

Die Beprobung von oberflächennahem Grundwasser dient der Beobachtung der Nitratkonzentration im neu gebildeten Grundwasser. Aufgrund der meist geringen Durchmischung im Grundwasser lässt diese Methode eine räumlich und zeitlich differenzierte Betrachtung der Belastungssituation zu. Dabei werden in den Ländern meist Teil- bzw. Gesamteinzugsgebiete mit dieser Methode erfasst. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass mit zunehmender Tiefe des Grundwasservorkommens in der Regel auch eine zunehmende zeitliche und räumliche Entkoppelung der Messergebnisse von den Bewirtschaftungsmaßnahmen verbunden sein kann (NLWKN 2015).

In einigen Bundesländern wurden in Form von Ist-Zustandsbeschreibungen, aber zum Teil auch über längere Zeiträume mitunter verschiedene Modellansätze zur Quantifizierung von Nitratbelastungen und der Bedeutung unterschiedlicher Eintragspfade verwendet. Modellansätze eignen sich besonders dann, wenn Stoffumsetzungsprozesse im Boden und Grundwasserleiter zur Prognose langfristiger Erfolgsaussichten bestimmter Maßnahmen berücksichtigt werden müssen. Des Weiteren können im Rahmen von Ist-Zustandsbeschreibungen besonders gefährdete Gebiete abgegrenzt und dadurch gezielt in eine Prioritätensetzung eingebunden werden. Zudem lassen sich Interaktionen des Stofftransportes mit hydrologischen Daten und naturräumlichen Gegebenheiten von der Bodenoberfläche bis in die Oberflächengewässer nachvollziehen und für die gezieltere Abschätzung der Wirkung von Maßnahmen verwenden (NLWKN 2015).

Grundlage für die Berechnungen sind in den meisten Fällen aggregierte Flächenbilanzüberschüsse auf Ebene unterschiedlicher Skalen (Behrendt et al. 1999, Finck und Stahr 2012, Heidecke et al. 2015, Ackermann et al. 2015, Kiemle et al. 2015, Wendland et al. 2015, Schäfer et al. 2015). Grundwassermodelle werden zur Beschreibung von Strömung und Stofftransport in der ungesättigten und gesättigten Bodenzone sowie in den Grundwasserleitern zur Ermittlung von Stoffkonzentrationen und Frachten angewendet. Strömung und Stofftransport werden mitunter bis in die Oberflächen- und Küstengewässer abgebildet. Wichtig für eine valide Abbildung der Prozesse ist eine abgesicherte Datengrundlage und eine fortlaufende Kalibration der Annahmen vor allem auch an den Übergängen von der Wurzelzone zur ungesättigten sowie zur gesättigten Bodenzone, dem Übergang in das Grundwasser, in die Grundwasserleiter bis hin zum Eintritt der Frachten in die Oberflächengewässer.

Die Kalibrierung und Validierung der Modelle ist vor allem in heterogenen Gebieten anspruchsvoll, und ausreichende Daten sind für einen längeren Bezugszeitraum häufig nicht in ausreichender Auflösung und Qualität vorhanden (Kuhr et al. 2014). Durch die in aller Regel vergleichsweise stark flächenaggregierte Betrachtung ist ein Zusammenhang zwischen schlagbezogenen Messwerten und Modellergebnissen auf Ebene eines größeren Gebietes in der Regel nicht besonders groß und auch nicht zu erwarten. Allgemein hat sich daher auch die modellbasierte Ableitung regionalspezifisch tolerierbarer Flächenbilanzüberschüsse bislang als nicht hinreichend zielführend erwiesen. Die Verwendung von Modellen zum Nitratmonitoring ist den Erfahrungen der Bundesländer zufolge daher nur in Kombination mit anderen unabhängig erhobenen Erfolgsindikatoren zielführend.

In den EU-Nachbarstaaten Dänemark und den Niederlanden beziehen die Monitoring-Aktivitäten regelmäßige, landesweit harmonisierte Messungen von Nitratkonzentrationen von der Wurzelzone über die Sickerwasser-Dränzone über Dränagen, Grundwasserleiter bis in Entwässerungsgräben und Oberflächengewässer ein (Svendson et al. 2005, Fraters et al. 2011, De Goffau et al. 2012, Blicher-Mathiesen et al. 2017). Weiterführend werden modellgestützte Bewertungen und Wirkungsbeziehungen sowie Prognosen und Szenarienrechnungen auf Grundlage der Messdaten erstellt. Die Länder verfügen auf diese Weise über einen guten Überblick über die Eintragspfade, bewirtschaftungsbedingte sowie standortspezifische Effekte und die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen und können auf langjährige Datenreihen zurückgreifen. Die Daten werden durch die zuständigen Einrichtungen zentral gebündelt und ausgewertet. Besonders zielführend haben sich dabei auch die im Vergleich zu Deutschland wesentlich umfangreicheren Meldepflichten der landwirtschaftlichen Betriebe gezeigt (Christel et al. 2017).

5.3. Implementierung eines harmonisierten Monitoring-Konzepts in den Bundesländern

Bei der Entwicklung des Indikatorensystems müssen auch die bereits in den Ländern vorhandenen Ressourcen und Infrastrukturen mit Blick auf die Implementierung eines harmonisierten Monitorings bei der Ausarbeitung von Konzepten Berücksichtigung finden. Im Rahmen dieser Studie sollte daher auch ein erster Überblick über den aktuellen Umfang der Aktivitäten vor allem hinsichtlich der Durchführung kontinuierlicher Messprogramme in den Bundesländern erarbeitet werden (Tabelle 15). Grundsätzlich liegen in allen Ländern umfangreiche Erfahrungen zum Monitoring von bewirtschaftungsbedingten Nitratbelastungen im Boden sowie im Sickerwasser vor. Dies ergibt sich u.a. auch aus der Beratungstätigkeit und ordnungsrechtlichen Aufgaben der jeweiligen Landesfachbehörden oder z.B. aus den zahlreichen Wasserschutzkooperationen. Kontinuierliche Messprogramme, welche die Nährstoffeffizienz bzw. möglicherweise resultierende Umweltwirkungen auf Ebene sowohl des landwirtschaftlichen Betriebes als auch der Fläche beschreiben, werden aktuell hingegen nur in wenigen Bundesländern durchgeführt. Wollte man ein bundesweites Indikatoren-Monitoringprogramm in verschiedenen Bundesländern implementieren, müssten bestehende Messprogramme hinsichtlich ihrer Methodik (z.B. Auswahlkriterien für Testbetriebe und Testflächen, Probenahmeprotokolle, Berechnungsweise der Nährstoffbilanzen) detailliert erfasst und mit dem Vorgehen im Demonstrationsvorhaben abgeglichen werden. Da erwartungsgemäß mitunter deutliche Abweichungen zwischen den Methoden der Messprogramme bestehen werden, stellt sich im Fortgang die Frage, inwiefern bereits vorhandene Datenreihen genutzt bzw. weitergeführt werden können, entsprechende Datentransformationen möglich sind oder für einen Übergangszeitraum Erhebungen anhand unterschiedlicher Vorgehensweisen parallel erfolgen können.

Tab. 15: Anwendung von Frühindikatoren in regelmäßigen Nitrat-Monitoringprogrammen, Relevanz dieser Aktivitäten für das Demonstrationsvorhaben sowie allgemeiner Einsatz verschiedener Stickstoffindikatoren in den Bundesländern

Bundesland	Programm	Relevanz für das Demonstrationsvorhaben	Anderweitige Anwendung von Stickstoff-Indikatoren
Baden-Württemberg	Nitratinformationsdienst Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung	Umfangreiche N_{min}-Messkampagnen Umfangreiche Bewertung der Eignung von N_{min}-Messungen zum Nitrat-Monitoring Definition von „Überwachungs- und Toleranzwerten“	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse Saugkerzenanlagen
Bayern	Ab März 2019 Herbst-N_{min} in 4-5 Nachweisgebieten (WRRL)	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen und Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring Demonstrationsbetriebsnetz „Gewässerschonende Maßnahmen“ mit 100 Betrieben	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse geplant
Brandenburg	Dauertestflächen	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen und Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau
Hessen	Dauerbeobachtungs-betriebe und Leitbetriebe mit Dauerbeobachtungs-flächen (Hessisches Ried)	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen und Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring Ermittlung tolerierbarer Stickstoffflächenbilanz-überschüsse	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen
Mecklenburg-Vorpommern	Dauertestflächen	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen, Drainagemessungen und Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum

Bundesland	Programm	Relevanz für das Demonstrationsvorhaben	Anderweitige Anwendung von Stickstoff-Indikatoren
		Modellbasierte Ermittlung tolerierbarer Stickstoffflächen-bilanzüberschüsse	gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen Lysimeteruntersuchungen
Niedersachsen	Nährstoffbericht Basis-Emissionsmonitoring Kooperationsmodell Düngekataster (geplant)	Umfangreiche N_{min}-Messkampagnen Umfangreiche Bewertung der Eignung von N_{min}-Messungen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse Saugkerzenanlagen Lysimeteruntersuchungen
Nordrhein-Westfalen	Nitratdienst Modellbetriebsnetz Beratungskonzept WRRL Trinkwasser-kooperationen Nährstoffbericht Düngekataster (geplant)	Umfangreiche N_{min}-Messkampagnen Umfangreiche Bewertung der Eignung von N_{min}-Messungen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse Saugkerzenanlagen Lysimeteruntersuchungen
Rheinland-Pfalz	Kooperationen Landesweite Nährstoffbilanzierung Geplant: Modellbasierte Nährstoffbilanzierung auf Landesebene	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen und Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse
Sachsen	SchAVO Dauertestflächen	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen und	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen

Bundesland	Programm	Relevanz für das Demonstrationsvorhaben	Anderweitige Anwendung von Stickstoff-Indikatoren
	Bodendauer-beobachtungsflächen	Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring	Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse Lysimeteruntersuchungen
Sachsen-Anhalt	Dauertestflächen	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen und Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse Lysimeteruntersuchungen Saugkerzenanlagen
Schleswig-Holstein	Nitratmessdienst Leitbetriebe WRRL Nährstoffbericht	Umfangreiche N_{min}-Messkampagnen Umfangreiche Bewertung der Eignung von N_{min}-Messungen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse Saugkerzenanlagen
Thüringen	Dauertestflächen	Umfangreiche Erfahrungen mit N_{min}-Messungen und Nährstoffbilanzen zum Nitrat-Monitoring	Düngebedarfsempfehlungen mit N_{min}-Untersuchungen Stickstoffbilanzen und N_{min}-Untersuchungen zum gewässerschonenden Pflanzenbau Anwendung von N-Bilanzierungsmodellen und Stoffflussmodellen zur Maßnahmenanalyse Lysimeteruntersuchungen

6. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen haben wichtige Erkenntnisse zur Weiterentwicklung und Interpretation der Indikatoren sowie deren Einbindung in ein Nitrat-Monitoringsystem im Rahmen des Demonstrationsvorhabens „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“ aufgezeigt. Die Ausführungen präsentieren einen aktuellen Zwischenstand der Aktivitäten der Bundesländer mit Blick auf die Quantifizierung von landwirtschaftlich verursachten Nitratbelastungen und geben Anhaltspunkte zur Entwicklung eines Leitfadens für ein bundesweit harmonisiertes Nitrat-Monitoring.

In allen befragten Bundesländern liegen Erfahrungen mit unterschiedlichen Früh-Indikatoren, darunter vor allem N_{min}-Untersuchungen, Stickstoffbilanzsalden und Stickstoffemissionsmodellen, in mehr oder weniger großem Umfang vor. Vor allem landwirtschaftliche Fachbehörden setzen im Rahmen der Erarbeitung von Düngeempfehlungen und Betriebsanalysen sowie ordnungsrechtlicher Vorgaben fortlaufend Indikatoren ein. Dadurch kann in allen Ländern von einer Anwendbarkeit der im Demonstrationsvorhaben verwendeten Indikatoren und von einer grundlegend etablierten Infrastruktur zur Durchführung eines Nitrat-Monitorings basierend auf Früh-Indikatoren ausgegangen werden.

In wenigen Ländern erfolgt allerdings bislang ein regelmäßiges, flächenrepräsentatives Monitoring von bewirtschaftungsbedingten Nitratfrachten mit Blick auf die Verlagerung in das Grundwasser. In den Bundesländern, welche regelmäßige Monitoringprogramme durchführen, sind i.d.R. bereits entsprechende repräsentative Testbetriebsnetze etabliert worden, welche im Zuge eines harmonisierten Monitorings zumindest in Teilen genutzt und aus welchen mitunter auch bereits vorhandene Daten zur frühzeitigen Erhebung und Fortführung von Zeitreihen genutzt werden könnten.

Die im Demonstrationsvorhaben eingesetzten Indikatoren können den Erfahrungen der Länder zufolge zielführend für die Bewertung der Wirksamkeit von gewässerschonenden Bewirtschaftungsmaßnahmen verwendet werden. Darüber hinaus geben die zusammengeführten Informationen aus den Ländern wichtige Hinweise zur Weiterentwicklung, Anwendung sowie Interpretation der Indikatoren.

Aufgrund der in der Regel unterschiedlichen Methodik bei Betriebs- und Flächenauswahl, bei der Berechnung von Nährstoffbilanzen und der Messung von Stickstoffgehalten in Böden sowie Sickerwasserproben ergeben sich bisher keine Anhaltspunkte, ob und wie sich bestehende Monitoringprogramme einzelner Bundesländer zu einem länderübergreifenden Monitoringsystem zusammenführen lassen. Auf Grundlage der bisherigen Erkenntnisse gilt es daher in einer Fortführung der Arbeiten im Demonstrationsvorhaben u.a. einen tieferen Einblick in die Methoden der identifizierten kontinuierlichen Messprogramme einzelner Länder zu erarbeiten. Dabei gilt es Anknüpfungspunkte zu identifizieren und eine mögliche Einbindung mitunter bereits vorhandener Testbetriebe und Datenreihen in ein harmonisiertes Messprogramm zu prüfen.

Literaturübersicht

Einleitung

Europäische Kommission (2000) Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament „Indikatoren für die Integration von Umweltbelangen in die Gemeinsame Agrarpolitik“. Brüssel, den 26.01.2000.
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52000DC0020&from=de (aufgerufen am 03.12.2018)

Ergebnisse

Baden-Württemberg

Beha A, Finck M, Korte S, van Dijk P, Casper M (2005) Beurteilung der Effizienz von Maßnahmen zur Verringerung des Nitrataustrags - prozessorientierte Modellierung mit STICS. VDLUFA-Kongressband 2005 Bonn, VDLUFA Schriftenreihe 61/2006.

Behrendt H, Huber P, Kornmilch M, Ley M, Opitz D, Schmoll O, Scholz G, Uebe R (1999) Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. UBA-Texte 75/99.

Brisson N, Gary C, Justes E, Roche R, Mary B, Ripoche D, Zimmer D, Sierra J, Bertuzzi P, Burger P, Bussiere F, Cabidoche YM, Cellier P, Debaeke P, Gaudillere JP, Henault C, Maraux F, Seguin B, Sinoquet H (2003) An overview of the crop model STICS. European Journal of Agronomy 18, 309-332.

Finck M (2010) Modellierung des N-Austrags unter Berücksichtigung regionaler N-Umsetzungsprozesse. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte 96.

Finck M (2012) LOGAR - Länderübergreifende Organisation für Grundwasserschutz am Rhein. Teil 1: Hintergrund, Zielsetzung und Vorgehensweise. Landinfo 2/2012, 46-49.

Finck M (2013) LOGAR - Länderübergreifende Organisation für Grundwasserschutz am Rhein. Teil 2: Ergebnisse, Validierung und erste Prognoserechnungen zur Nitratbelastung. Landinfo 2/2013 65-68.

Finck M (2017) Gewässerschutzberatung aus Sicht der Behörden und Forschungseinrichtungen: Ergebnisse, Erfolgskontrolle, Perspektiven. DVGW-Fortbildung Gewässerschutzberatung in der Landwirtschaft - Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen. 16.03.2017, Bonn.

Finck M, Grimm S, Hofmann C, Schneider-Götz N, Überlhör W (2008) Wasserschutz: Von der SchALVO über die Wasserrahmenrichtlinie zum flächendeckenden Grundwasserschutz. Landinfo 2/2008.

Finck M, Mann T (2018) Düngung in Wasserschutzgebieten. SchALVO-Regelungen zur Düngung der Hauptkultur (ohne Reben und Gartenbaukulturen). Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ).

Finck M, Stahr K (2012) N-MASSENBILANZ zur Quantifizierung von N-Umsetzungsprozessen. VDLUFA-Schriftenreihe 68, 510–518.

Fohrmann R, Liesenfeld J (2012) Evaluation der Gewässerschutzberatung zur Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie - Abschlussbericht. IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser - Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH -, Mühlheim an der Ruhr. RISP GmbH Rhein-Ruhr-Institut für Sozialforschung und Politikberatung, Duisburg.

Fuchs S, Weber T, Wander R, Toshovski S, Kittlaus S, Reid L, Bach M, Klement L, Hillenbrand T, Tettenborn F (2017) Effizienz von Maßnahmen zur Reduktion von Stoffeinträgen. UBA-Texte 05/2017.

Gebel M, Halbfaß S, Bürger S, Uhlig M (2017) STOFFBILANZ. Modellerläuterung. Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung bR, Dresden.

Grimm-Strele J, Casper M, van Dijk P, Finck M, Gudera T, Korte S (2008) Der Modellverbund MoNit zur Simulation der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben. Wasser Wirtschaft 1-2, 55-59.

Kiemle L, Fuchs S, Henning K (2015) Modellierung der Nährstoffeinträge in die Fließgewässer Baden-Württembergs für die Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne nach WRRL. Modellbeschreibung und Ergebnisse der MONERIS-BW Version „März 2015“. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (2005) MONIT: Entwicklung von Prognosewerkzeugen. Zwischenpräsentation. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2007) Überwachungsprogramme Fließgewässer, Seen, Grundwasser. Kurzbericht. Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie.

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2001) Atlas des Grundwasserzustandes in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (2014) Vergleichsflächen gemäß SchALVO - Acker-, Garten-, Obst-, und Weinbau - Berichtszeitraum 2011/2012. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (2016) Anleitung zur Standortfestlegung und Bodenprobenahme – SchALVO Herbstkontrollaktion 2016. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (2017) SchALVO Nitratbericht – Ergebnisse der Beprobung 2016. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (2018) Wasserschutz und Landwirtschaft. Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg.

http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de (aufgerufen am 24.05.2018).

LARSIM (2018) Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM. *http://www.larsim.info/das-modell/* (aufgerufen am 15.06.2018).

LOGAR (2018) Länderübergreifende Organisation für Grundwasserschutz am Rhein. *http://www.logar2050.eu/?lang=de* (aufgerufen am 12.06.2018).

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (2012) Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Baden-Württemberg - Zwischenbericht 2012. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.

Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung - SchALVO (2001) Verordnung des Umweltministeriums über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichsleistungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten (Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung - SchALVO). Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg.

Bayern

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019a) Düngung. *https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/index.php* (aufgerufen am 15.05.2019)

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019b) Nitratmonitoring in Bayern. Persönliche Mitteilung vom 07.03.2019.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019c) Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie im landwirtschaftlichen Bereich. *https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031536/index.php* (aufgerufen am 15.05.2019)

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019d) Ertrags- und Qualitätserhebungen sowie Bodenuntersuchung auf Dauergrünlandflächen. *https://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/035377/index.php* (aufgerufen am 15.05.2019)

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019e) Zehn Jahre Stickstoff-Monitoring. *https://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032228/index.php* (aufgerufen am 15.05.2019)

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (2019) Projekte Hohenthann. Landwirtschaft und Grundwasserschutz in den Gebieten Hohenthann, Pfeffenhausen und Rottenburg a.d. Laaber *https://www.lfu.bayern.de/wasser/gw_gefaehrdung_schutz/gwschutz_landwirtschaft/projekte_hohenthann/index.htm* (aufgerufen am 16.05.2019)

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMELF und StMUV) (2019) Wasserpakt, Vereinbarung zum kooperativen Gewässerschutz mit der Landwirtschaft. *http://www.stmelf.bayern.de/wasserpakt* (aufgerufen am 01.04.2019)

Hülsbergen K-J, Maidl F-X, Forster F, Prücklmaier J (2017) Forschungsbericht Minderung von Nitrateinträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch optimiertes Stickstoffmanagement am Beispiel der Gemeinde Hohenthann (Niederbayern) mit intensiver landwirtschaftlicher Flächennutzung. Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Weihenstephan.

Renger M, Wessolek G, Konig F, Swartjes C, Fahrenhorst B, Kaschanian B (1990): Modelle zur Ermittlung und Bewertung von Wasserhaushalt, Stoffdynamik und Schadstoffbelastbarkeit in Abhängigkeit von Klima, Bodeneigenschaften und Nutzung: Bericht, Bonn.

Wendland M (2018) Grundwasserschonende Landbewirtschaftung in den Gebieten Hohenthann, Pfeffenhausen und Rottenburg a. d. Laaber (A/14/08), Projektbericht. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.

Brandenburg

Barsch A, Quiel K, Päzolt J (2015) Methodik der Nährstoffbilanzierung in Brandenburg als Grundlage für die Ausweisung von Maßnahmen zur Nährstoffreduzierung für den BWPL 2014. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Potsdam. Fachbeiträge des LUGV Heft Nr. 144.

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

Braun P, von Daake U, Hermsdorf A, Oelze A, Wünsch A (2010) Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie im Land Brandenburg für den Themenbereich Grundwasser Hintergrundpapier Grundwasser. Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam. *https://mlul.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/wrrl_gwhpapier.pdf* (aufgerufen am 05.06.2019).

Hannappel S (2019) Konzeptionelle Untersuchungen zur Möglichkeit des Einsatzes des investigativen Monitorings mit Direct-Push in zwei Pilotgrundwasserkörpern in Nordostbrandenburg (Schwedt und Prenzlau). *www.hydor.de/downloads/PDF/17_LUA_Investigativ.pdf* (aufgerufen am 05.06.2019).

LELF (2019) Bodenschutz und Düngung. Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF). *https://lelf.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.240315.de* (aufgerufen am 04.06.2019).

MLUL (2017) Jahresbericht 2016 Landwirtschaft. Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg.

MLUL (2019) Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung im Land Brandenburg. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. *https://mlul.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.300916.de* (aufgerufen am 05.06.2019).

Oelze A (2018) Abgrenzung nitratgefährdeter Gebiete im Grundwasser gemäß §13 DüV, Antje Oelze, Landesamt für Umwelt Brandenburg, Referat W15 Grundwassermonitoring und – probenahme 2018, 27. - 29.9.2018 Torgau. *https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/Abgrenzung_nitratgefaehrdeter_Gebiete_im_Grundwasser_gemaess_13_DueV.pdf* (aufgerufen am 05.06.2019).

Hessen

Berthold, G. 2014 Schwerpunkte des Nitrateintrags und gewässerschonende WRRL-Beratung in Hessen *https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/hydrogeologie/Fortbildungs-_und_Vortragsveranstaltungen/Grundwassertag2014/Schwerpunkte_Nitrateintrag_Berthold.pdf* (aufgerufen am 03.05.2019).

FGGW (Flussgebietsgemeinschaft Weser) 2016 Bewirtschaftungsplan 2015 bis 2021 für die Flussgebietseinheit Weser gemäß § 83 WHG *https://www.fgg-weser.de/component/jdownloads/send/8-eg-wrrl/331-bwp2015-weser-final-textteil-160318* (aufgerufen am 03.05.2019).

Heidecke C, Hirt U, Kreins P, Kuhr P,Kunkel R, Mahnkopf J, Schott M, Tetzlaff B, Venohr M, Wagner A, Wendland F (2015) Endbericht zum Forschungsprojekt „Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser“ AGRUM+-Weser 2015 https://ideas.repec.org/p/zbw/jhtire/21.*html* (aufgerufen am 03.05.2019).

HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2013 Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2012 *https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/grundwasser/Grundwasserbeschaffenheitsbericht_2012_final.pdf* (aufgerufen am 03.05.2019).

HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) 2015 Quantifizierung des Nitratabbauvermögens in den Grundwasserkörpern des Hessischen Rieds und Lokalisierung von Risikogebieten *https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/grundwasser/HLUG_Nitratabbauvermoegen_gesamt_final_web.pdf* (aufgerufen am 03.05.2019).

HMUKLV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz Landwirtschaft und Verbraucherschutz) 2015 Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Bewirtschaftungsplan 2015-2021 *http://flussgebiete.hessen.de/information/bewirtschaftungsplan-2015-2021/* (aufgerufen am 03.05.2019).

HMUKLV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) 2015b Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Hessen – Maßnahmenprogramm 2015-2021 *http://flussgebiete.hessen.de/information/massnahmenprogramm-2015-2021/* (aufgerufen am 03.05.2019).

Kunkel R, Kreins P, Kuhr P, Tetzlaff B, Wendland F N-Einträge und N-Modellierung im Wesereinzugsgebiet 2014 *https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/hydrogeologie/Fortbildungs-_und_Vortragsveranstaltungen/Grundwassertag2014/N_Eintr%C3%A4ge_Modellierung_Kunkel.pdf* (aufgerufen am 03.05.2019).

Mecklenburg-Vorpommern

AG Boden (2000) Methodendokumentation Bodenkunde - Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Geologisches Jahrbuch Reihe G, Heft SG 1, 2. Auflage, Hannover.

Behrendt H, Bach M, Kunkel R, Opitz D, Pagenkopf W-G, Scholz G, Wendland F (2003) Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 299 222 85.

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

DIN 19732 (1997) Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotentials von nichtsorbierbaren Stoffen. Normenausschuss Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung, Juni 1997. Beuth Verlag, Berlin.

Hannappel S, Zeilfelder S, Lemke G, Schwerdtfeger B (2011) Ermittlung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der Grundwasserüberdeckung nach der DIN 19732 für Mecklenburg-Vorpommern, HydorConsult GmbH, Berlin.

Institut für ökologische Forschung und Planung (biota) (2013) Regionalisierte Flächenbilanzen für Stickstoff und Phosphor auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in Mecklenburg-Vorpommern. Abschlussbericht zum Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Bützow.

Kunkel R, Bach M, Behrendt H, Wendland F (2004) Groundwater-borne nitrateintakes into surfacewaters in Germany. Water Science and Technology 49, 11-19.

Kunkel R, Kape H-E, Keller L, Koch F, Tetzlaff B, Wendland F (2016) Szenarien für die Reduzierung von Stickstoffeinträgen zum Erreichen der Grundwasser- und Meeresschutzziele in Mecklenburg-Vorpommern. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 60, 119–134.

Kunkel R, Wendland F (2002) The GROWA98 model for water balance analysis in large riverbasins – the river Elbe casestudy. Journal of Hydrology 259, 152-162.

Kunkel R, Wendland F (2006) Diffuse Nitrateinträge in die Grund- und Oberflächengewässer von Rhein und Ems. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment 62.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2014) Prognose der Auswirkungen einer nach Gewässerschutzaspekten novellierten Düngeverordnung auf die Qualität der Oberflächengewässer in Deutschland, Kiel.

Landwirtschaft-MV (2018) Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei. Komplex 10 – Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. *www.landwirtschaft-mv.de/Landesforschungsanstalt/Forschungsschwerpunkte/Komplex-10/* (aufgerufen am 22.03.2018).

LMS (2018) Zuständige Stelle für landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung. LMS Agrarberatung GmbH. *www.lms-beratung.de* (aufgerufen am 22.03.2018).

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU) (2011) Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU) (2015) Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern. Umsetzungsbericht 2015. Schwerin.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU) (2016) Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern. Fortschreibung für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum 2016-2021. Schwerin.

Regierung-MV (2018a) Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen: Förderung bis 2022 verlängert. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt. *www.regierung-mv.de/Landesregierung/Im/Aktuell* (aufgerufen am 22.03.2018).

Regierung-MV (2018b) Wasserschutzgebiete. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt. *www. Regierung-mv.de/Landesregierung/Im/Umwelt/Wasser/Trinkwasserversorgung/ Wasserschutzgebiete/* (aufgerufen am 22.03.2018).

Sinreich M, Kozel R, Meylan B, Muralt R (2009) Konzept der Vulnerabilität im Grundwasserschutz. Gas Wasser Abwasser 2, 109-117.

Universität Rostock (2017) Lysimeterstation Groß Lüsewitz.

www.auf.uni-rostock.de/professuren/h-w/hydrologie-und-angewandte-meteorologie/forschung/lysimeterstation/ (aufgerufen am 16.10.2017).

Wendland F, Behrendt H, Göhmann H, Hirt U, Kreins P, Kuhn U, Kunkel R, Tetzlaff B (2009) Determination of nitrogen reduction levels necessary to reach groundwater quality targets in large river basins: the Weser basin case study, Germany. Nutrient Cycling in Agroecosystems 85, 63-78.

Wendland F, Keller L, Kuhr P, Kunkel R, Tetzlaff B (2015) Regional differenzierte Quantifizierung der Nährstoffeinträge in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter Anwendung der Modellkombination GROWA-DENUZ-WEKU-MEPhos – Endbericht. Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3: Agrosphäre).

Wiebensohn J (2008) Erprobung einer neuen Methodik zur Erstellung regionaler Stickstoff- und Phosphorflächenbilanzen für Mecklenburg-Vorpommern auf der Basis verfügbarer Daten der Agrarstatistik. Masterarbeit, Universität Rostock.

Niedersachsen

Ackermann A, Heidecke C, Hirt U, Kreins P, Kuhr P, Kunkel R, Mahnkopf J, Schott M, Tetzlaff B, Venohr M, Wendland F (2015) Der Modellverbund AGRUM als Instrument zum landesweiten Nährstoffmanagement in Niedersachsen. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen Report 37.

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

Drechsler H (1992) Reduktion des Stickstoffs aus dem Überschuss-N-Eintrag agrarischer Ökosysteme beim Transport durch die Böden ins Grundwasser. Dissertation. Universität Göttingen.

Drechsler H (2015) Modell- und Pilotprojekt N90. Reduzierte Stickstoffdüngung auf Betriebsebene durch Begrenzung des mineralischen N-Zukaufs. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 24.

Eden T, Melzer O, Quirin M, Rathing F (2017) Gewässerschutzberatung nach EG - Wasserrahmenrichtlinie. Bericht über den ersten Bewirtschaftungszeitraum 2010 bis 2015. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Wasserrahmenrichtlinie 11.

Jansen-Minßen F (2017) Aufgaben und Aufbau der Düngebehörde und Zusammenarbeit vor Ort in Niedersachsen. Vortrag anlässlich der Informationsveranstaltung „Wasserschutz und Landwirtschaft“ am 06.09.2017 in Hannover.

http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/action/finder.html?part=3&term=vortrag&s=6 (aufgerufen am 20.03.2018).

LBEG (2018) Grundwasserschutzorientierte Dauerversuche. Einfluss unterschiedlich gedüngter Zwischenfrüchte auf die Nitratkonzentration im Sickerwasser und die Nitratfrachten am Standort Wehnen (Versuch „645 WSG“). Auswaschungsperioden 2012/2013 bis 2016/2017. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.

LWK-NI (2014) Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung. Versuchsbericht 2013. Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

LWK-NI (2016) Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung. Versuchsbericht 2015. Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

LWK-NI (2017) Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2015/2016. Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

NLWKN (2012a) Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-N_{min}-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 8.

NLWKN (2012b) Messung des Exzess-N_2 im Grundwasser mit der N_2/Ar-Methode als neue Möglichkeit zur Prioritätensetzung und Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 15.

NLWKN (2014) Anforderungen an Erfolgsparameter in Schutzkonzepten und Definition der Zielerreichung. Arbeitspapier des Nds. Kooperationsmodells zum Trinkwasserschutz, Stand 02.06.20014. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN).

Quirin M (2015) Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen. Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 19.

Quirin M (2016) Erfolgsparameter in Schutzkonzepten und Abschlussberichten im Rahmen des Kooperationsmodells zum Trinkwasserschutz. Zielsetzung, Zielerreichung und Entwicklung der Erfolgsparameter. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 26.

Quirin M (2017) Aktualisierung der Tabellen und Abbildungen, Stand Oktober 2017. Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen. Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 19.

Schäfer W, Höper H, Fier A, Thiermann A (2015) Methodik Basis-Emissionsmonitoring: Berechnung der Stickstoff-Flächenbilanzen und der potenziellen Nitratkonzentration im

Sickerwasser. Stand September 2015. Kurzfassung. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover.

Nordrhein-Westfalen

Alscher G, Dinzen A, Gerbaulet P, Kalthoff U, Schmitz W (2015) Umsetzung des Beratungskonzeptes Wasserrahmenrichtlinie. Bezugszeitraum 01.01.2014 - 31.12.2014. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Alscher G, Clauswitz K, Dücker R, Ebbeler G, Gerbaulet P, Janßen A, Kalthoff U, Karl K, Kassau R, Kauka A, Lörcks H, Schulte-Übbing S, Schmitz W (2016) Umsetzung des Beratungskonzeptes Wasserrahmenrichtlinie. Bezugszeitraum 01.01.2015 - 31.12.2015. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Alscher G, Ballering J, Ebbeler G, Gerbaulet P, Hüsemann A, Janßen A, Kalthoff U, Karl K, Kassau R, Kauka, A, Kirschbaum S, Mindermann B, Schlett G, Schulte-Übbing S, Schmitz W (2017) Umsetzung des Beratungskonzeptes Wasserrahmenrichtlinie. Bezugszeitraum 01.01.2016 - 31.12.2016. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Apel B, Cremer N, Dunajtschik S, Lüttgens B, Quas M, Schindler R, Schöler B, Schubert B, Winkelmann J (2011) Effizienzkontrolle zum Beratungskonzept der Landwirtschaftskammer (Chemischer Zustand von Grund- und Oberflächengewässern) zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Bergmann S (2017) Kooperationsprojekt GROWA+NRW 2021. Arbeitskreis Wasserqualität - Bezirksregierung Köln, 07.11.2017. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV).

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

DWA (2013) Merkblatt DWA-M 911 Möglichkeiten der Effizienzkontrolle von Maßnahmen zur grundwasserschonenden Bodennutzung am Beispiel des Stickstoffs (August 2013). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef.

Gömann H (2017) Ansätze und Initiativen der Landwirtschaft zur fristgerechten Erreichung der WRRL-Ziele. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Kalthoff U, Schulze-Übbing S, Lammers M (2017) Monitoringprogramme und Forschungsprojekte zum Trink- und Grundwasserschutz in Nordrhein-Westfalen. Persönliche Mitteilung 15.10.2017.

LWK-NRW (2011) Umsetzung des Beratungskonzeptes Wasserrahmenrichtlinie. Jahresbericht 2010. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

http://wassernetz-nrw.de/wp-content/uploads/2017/05/Goemann_Wassernetzseminar_4_3_17.pdf (aufgerufen am 21.02.2018).

LWK-NRW (2014) Nährstoffbericht 2014 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

LWK-NRW (2018a) Düngerecht, Düngeverordnung. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. *www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/duengung/duengeverordnung/index.htm* (aufgerufen am 22.03.2018).

LWK-NRW (2018b) Kooperativer Wasserschutz. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. *www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/wasserschutz/kooperationen/index.htm* (aufgerufen am 22.02.2018)

LWK-NRW (2018c) Nährstoffbericht 2017 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV) (2018a) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014-2020 (ELER). *www.umwelt.nrw.de/landwirtschaft/foerderung/nrw-programm-lanendlicher-raum-2014-2020-eler/* (aufgerufen am 22.03.2018).

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MULNV) (2018b) Germany - Rural Development Programme (Regional) - North Rhine-Westphalia. *www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/landwirtschaft/laendl_entwicklung/NRW-Programm_Laendlicher_Raum.pdf* (aufgerufen am 22.03.2018).

Rheinland-Pfalz

BMUB (2012) Nitratbericht 2012. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Referat WA I 3 und Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) Referat 524.

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

DLR (2018) Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum. Wasserschutzberatung der Dienstleistungszentren Ländlicher Raum in Rheinland-Pfalz, Tätigkeitsbericht 2014 bis 2016. *http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=J1MP480PZ4&p1=title%3DT%C3%A4tigkeitsbericht+der+Wasserschutzberatung+2014-2016%7E%7Eurl%3D%2FInternet%2Fglobal%2Fthemen.nsf%2F%28Web_P_WSB_Kat%29%2F6*

6ED46DB83614DE6C12580F900375E7A%3FOpenDocument&p3=M6M5H6S267&p4=Z70SC9RQEE (aufgerufen am 04.12.2018)

DLR (2019) Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum. Wasserschutzberatung. *http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/inetcntr.nsf/dlr_web_full.xsp?src=GIQ9UK8K6C&p1=86823B2JER&p3=F5DGO60RF7&p4=Z70SC9RQEE* (aufgerufen am 06.02.2019)

Fritsch F (2018) Nitrat-Monitoring in Rheinland-Pfalz. Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum, Rheinhessen-Nahe-Hunsrück (DLR R-N-H). Persönliche Mitteilung vom 28.06.2018.

MWVLW (2019) Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihr Umsetzung in Rheinland-Pfalz. *http://www.wrrl.rlp.de/servlet/is/391/* (aufgerufen am 07.02.2019)

Sachsen

FGG Elbe (Flussgebietsgemeinschaft Elbe) 2009 Hintergrundpapier zur Ableitung der überregionalen Bewirtschaftungsziele für die Oberflächengewässer im deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Belastungsschwerpunkt Nährstoffe. *https://www.fgg-elbe.de/hintergrundinformationen.html?file=tl_files/Downloads/EG_WRRL/hgi/hgd_bp2/FGG/HD_Naehrstoffe_nach_Elbe-Rat_formatiert.pdf* (aufgerufen am 08.03.2019).

GALF (Gesellschaft für angewandte Landschaftsforschung bR) 2018 STOFFBILANZ Modellerläuterung. *http://galf-dresden.de/galf/wp-content/uploads/2013/06/Modellerlaeuterung.pdf* (aufgerufen am 08.03.2019).

LfUG (Landesamt für Umwelt und Geologie) 2002 Grundwassersituation in Sachsen 1996 – 2000. *https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/Grundwasserbericht_2.pdf* (aufgerufen am 08.03.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2010 Optimierung N-Management. *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15014* (aufgerufen am 08.03.2019)

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2012a Maßnahmenumsetzung WRRL in Sachsen. *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13361* (aufgerufen am 08.03.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2012b Landesmessnetz Grundwasser. *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14970* (aufgerufen am 08.03.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2015 Messnetzkonzeption Grundwasser. *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13502* (aufgerufen am 08.03.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2016 Regionale Humus- und Nährstoffdynamik. *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/13630* (aufgerufen am 08.03.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2016b Stickstoffmonitoring sächsischer Böden. *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/27511* (aufgerufen am 11.3.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2016c Stickstoffmonitoring in Sachsen – 35 Jahre Lysimetermessungen am Standort Brandis. *http://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5_service/Veranstaltungen2016/GW-Haferkorn.pdf* (aufgerufen am 11.3.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2018a. Landwirtschaft als wichtiges Stellrad für den Gewässerschutz. *https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/download/Forum_2018_TOP2_BERGFELD.pdf* (aufgerufen am 08.03.2019).

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2018b. Nitratmonitoring in Sachsen. Persönliche Mitteilung von Roland Dimmer, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

LfULG (Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) 2019 Organisation in Sachsen *https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/5724.htm* (aufgerufen am 08.03.2019).

SLfL (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft) 2006 Wasser- und Stoffstrommanagement. *https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14091* (aufgerufen am 11.3.2019).

SMUL (Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft) 2018 Sächsische Düngerechtsverordnung. *https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/SaechsDueReVO.pdf* (aufgerufen am 08.03.2019).

Sachsen-Anhalt

Amberg (2018) Wirtschaftsdüngermanagement. Rechtliche Vorgaben an das Inverkehrbringen, Transportieren und Empfangen in Sachsen-Anhalt. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt. Vortrag vom 02.02.2018. *www.llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/vortraege/18_InfoVeranst_Duengerecht_Amberg_WDueng.pdf* (aufgerufen am 22.03.2018).

BMUB (2012) Nitratbericht 2012. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Referat WA I 3 und Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) Referat 524.

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

Gebel M, Halbfaß S, Bürger S, Uhlig M (2017) STOFFBILANZ. Modellerläuterung. Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung bR, Dresden.

Knoblauch S, Albert E, Haferkorn U, Heyn J, Herold L, Lippold T, Lehmann E, Lorenz J, Zachow B, Meißner R, Seeger J, Schrödter M, Strauß C (2013) Kooperation Lysimeter. Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Norddeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befrachtung der Gewässer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt (LLG), Bernburg.

Kuhr P, Kunkel R, Tetzlaff B, Wendland F (2014) Räumlich differenzierte Quantifizierung der Nährstoffeinträge in Grundwasser und Oberflächengewässer in Sachsen-Anhalt unter Anwendung der Modellkombination GROWA-WEKU-MEPhos. Endbericht. Forschungszentrum Jülich, Jülich.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG) (2012) Werkzeug zur Modellierung der diffusen N- und P- Emissionen in Sachsen-Anhalt zur Umsetzung des Nährstoffkonzepts 2010-2013. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt (LLG), Bernburg.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG) (2017) Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau. Zentrum für Acker und Pflanzenbau. *https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/01_aufgab-organi-kontakt/llg_flyer_zap.pdf* (aufgerufen am 18.10.2017).

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) (2012) Bericht zur Beschaffenheit des Grundwassers in Sachsen-Anhalt 2001-2010. Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW), Magdeburg.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt (2014) Indikatorenbericht zur nachhaltigen Entwicklung des Landes Sachsen-Anhalt 2014. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt (MULE), Magdeburg.

Schrödter M (2017) Konzept zum Umgang mit Nährstoffeinträgen in die Gewässer Sachsen-Anhalts. Vortragstagung „Pflanzenbau aktuell 2017“, 24.01.2017 Bernburg-Strenzfeld. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt (LLG), Bernburg.

Stolpe P (2018) Die neuen gemeinsamen Empfehlungs- und Bilanzierungsprogramme 1. DüProNP – 2. BESyD. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (LLG). *https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/pfl_ernaehr_duengung/vortraege/18_InfoVeranst_Duengerecht_Stolpe_Programmvorstellung.pdf* (aufgerufen am 21.03.2018).

Tauchnitz N, Schrödter M, Schmidt G, Hauser B, Kasimir P, Meißner R (2017) Quantifizierung von Pflanzenschutzmittel (PSM)-Einträgen in Oberflächengewässer in einem Kleineinzugsgebiet

(Querne/Weida). In: 17. Gumpensteiner Lysimetertagung, 09.-10.05.2017, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2017, 11-16.

Witing F, Franko U, Gebel M (2016) Dynamische Bilanzierung von Humushaushalt und Nährstoffaustrag im regionalen Maßstab im Kontext von Landnutzungs- und Klimawandel. Schriftenreihe des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Heft 20/2016.

Schleswig-Holstein

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

Ketelsen H (2003) Der N_{min}-Herbstwert - ein Instrument der Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz? In: Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU) (2003) Landwirtschaft und Grundwasser. Dokumentation der Veranstaltung im LANU am 11. Dezember 2001. LANU-SH - Gewässer 10.

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR) (2018) Wasserwirtschaft. Der Ministerpräsident des Landes Schleswig-Holstein - Staatskanzlei, Kiel. *http://www.schleswig-holstein.de/DE/Themen/W/wasserwirtschaft.html; jsessionid=4A84E767579A7B04612813E13A87D34D* (aufgerufen am 16.03.2018).

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein (LKSH) (2018) Düngung. *https://www.lksh.de/landwirtschaft/pflanze/duengung/* (aufgerufen am 22.03.2018).

Lausen P, Wilken C (2016) Wirtschaftsdüngerbericht 2015 für Schleswig-Holstein. Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein.

Lübben F (2017) Landwirtschaft und Gewässerschutz - ein Widerspruch? Nein - die Gewässerschutzberatung zeigt, wie es geht! Bauernblatt 28. Januar 2017, 10-11.

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR) (2014) Erläuterungen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein. Erläuterung zur Reduzierung der Nährstoffeinträge ins Grundwasser. Gewässerschutzberatung und Agrarumweltmaßnahmen in Schleswig-Holstein zur Verbesserung des Zustands von Grundwasser und Seen. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR) (2015) Bilanz nach sechs Jahren Gewässerschutzberatung. Ansatz verspricht verbesserte Stickstoffeffizienz. Bauernblatt 10. Januar 2015, 43-45.

Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR) (2016) Gewässerschutzberatung zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Ministerium für

Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.

Nerger R (2010) Boden-Dauerbeobachtung Schleswig-Holstein: Auswertung der Projektergebnisse im Hinblick auf Aussagen zu Veränderungen von Böden, Aussagefähigkeit und Optimierung der eingesetzten Untersuchungsverfahren. Abschlussbericht. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Schleswig-Holstein, Kiel.

Sieling K, Kage H (2006) N balance as an indicator of N leaching in an oilseedrape – winterwheat – winterbarley rotation. Agriculture, Ecosystems and Environment 115, 261-269.

Steinmann F (2010) Erste Bilanz der Gewässerschutzberatung. Bewertung der N_{min}-Methode. Bauernblatt 18. Dezember 2010, 13-15.

Steinmann (2012) Den Herbst-N_{min}-Wert messen. Risiko der Stickstoffauswaschungen abschätzen. Bauernblatt 7. Januar 2012, 50-52.

Steinmann F (2017) Monitoringprogramme und Forschungsprojekte zum Trink- und Grundwasserschutz in Schleswig-Holstein. Persönliche Mitteilung 08.11.2017.

Taube F, Henning C, Albracht E, Reinsch T, Kluß C (2015) Nährstoffbericht des Landes Schleswig-Holstein. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.

Wachendorf M, Büchter M, Volkers K, Bobe J, Loges R, Rave G, Taube F (2006) Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. V. Impact of grass under storey, slurry application and mineral N fertilizer on nitrate leaching under maize for silage. Grass and Forage Science 61(3), 243-252.

Wendland F, Keller L, Kuhr P, Tetzlaff B, Heidecke C, Kreins P, Wagner A, Trepel M (2014) Räumlich differenzierte Quantifizierung der Stickstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Schleswig-Holsteins. Korrespondenz Wasserwirtschaft 6/14, 327-332.

Wienholdt D (2016) Infobrief zur EG-Wasserrahmenrichtlinie. Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel.

Wilken C (2014) Gewässerschutzberatung in Schleswig-Holstein. Die Düngung beurteilen. Bauernblatt 18. Dezember 2010, 42-44.

Thüringen

LFAMV (Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern) 2013 Kooperation Lysimeter - Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Norddeutschland und Schlussfolgerungen für die Minimierung der N-Befrachtung der Gewässer *www.landwirtschaft-mv.de/serviceassistent/download?id=1578674* (aufgerufen am 03.04.2019).

TLUG (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie) 2014 Arbeitspapier für die Maßnahmenableitung zur Nährstoffreduzierung in Thüringen *https://www.thueringen.de/mam/th8/tlug/content/wasser/aktion_fluss/lp_gws/tlp_gws_anlage_14_massnahmenableitung_naehrstoffreduzierung.pdf* (aufgerufen am 03.04.2019).

TLUG (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie) 2016 Nährstoffeintrag in Thüringer Gewässer *http://www.tll.de/www/daten/veranstaltungen/materialien/duengungstagung/25thdpt_3_ahrens_naehrstoffeintrag.pdf* (aufgerufen am 03.04.2019).

TLUG (Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie) 2017 Nährstoffe in thüringischen Gewässern *https://www.thueringen.de/th8/tlug/presse_und_service/pressemitteilungen/data/101597/index.aspx* (aufgerufen am 03.04.2019).

TMLFUN (Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz) 2010 Untersuchung von N_{min}-Gehalt und N-Bilanz in Fruchtfolgen im Rahmen des N_{min}-Monitorings auf Dauertestflächen – Ergebnisse der Jahre 2005 bis 2009 und langjährige Betrachtungen *http://www.tll.de/www/daten/untersuchungswesen/boden_duenger/pdf/nmin0710.pdf* (aufgerufen am 03.04.2019).

TMLNU (Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt) 2001 *https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmlnu/40.pdf* (aufgerufen am 03.04.2019).

TMLNU (Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt) 2007 Gewässerschonende Landbewirtschaftung in Thüringen – Reduzierung der Nährstoffeinträge in die Thüringer Gewässer *https://www.thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload871.pdf* (aufgerufen am 03.04.2019).

TMUEN (Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz) 2016 Thüringer Landesprogramm Gewässerschutz 2016-2021 *https://www.thueringen.de/mam/th8/tlug/content/wasser/aktion_fluss/lp_gws/tlp_gws_texttteil_webanzeige.pdf* (aufgerufen am 03.04.2019).

Werner T, Müller M, Sattler L, Perner J, Pagels B, Kirsten B, Bärwolff M, Fürstenau C, Marschall K (2017) Regionale Gewässerschutzkooperationen in Thüringen von 2009 bis 2017 (mit Fokus auf die Laufzeit 2016/2017). *http://www.tll.de/www/daten/agraroekologie/wasser/wrrl/gewaesserschutzkooperation_kurzbericht_2017.pdf* (aufgerufen am 03.04.2019).

Dänemark

Blicher-Mathiesen G, Rasmussen A, Rolighed J, Andersen HE, Carstensen MV, Jensen PG, Wienke J, Hansen B, Thorling L (2017) Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for MiljøogEnerginr. 205.

Christel W, Thorling L, Müller-Wohlfeil D-I, Fogt C (2017) Nitratmonitoring in Dänemark. Persönliche Mitteilung vom 23.08.2017.

EPA-DK (Danish Environmental Protection Agency) (1989) Vandmiljøplanensovervågnings program. Environmental Project no. 115, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.

Grant R, Thorling L, Hossy H (2011) Developments in monitoring the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes: Approach by Denmark. In Fraters B, Kovar K, Grant R, Thorling L, Reijs JW (2011) Developments in monitoing the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes. Results of the second MonNO_3 workshop, 10-11 June 2009. *https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680717019.pdf* (aufgerufen am 09.03.2018).

Hansen B, Dalgaard T, Thorling L, Sørensen B, Erlandsen M (2012) Regional analysis of groundwater nitrate concentrations and trends in Denmark in regard to agricultural influence. Biogeosciences 9, 3277-3286.

Hansen B, Thorling L, Schullehner J, Termansen M, Dalgaard T (2017) Groundwater nitrate response to sustainable nitrogen management. Scientific Reports 7, Article number 8566.

Hirsch RMS, Slack JR (1984) Á non-parametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resources Research 20, 727-732.

Jørgensen LF, Stockmarr J (2009) Groundwater monitoring in Denmark: characteristics, perspectives and comparison with other countries. Hydrogeology Journal 17, 827-842.

Kronvang B, Andersen HE, Børgesen C, Dalgaard T, Larsen SE, Bøgestrad J, Blicher-Mathisen G (2008) Effects of policy measures implemented in Denmark on nitrogen pollution of the aquatic environment. Environmental Science and Policy 11, 144-152.

Ministry of Environment and Food (Mst-DK) (2012) Danish Nitrate Action Programme 2008-2015. Regarding the nitrates directive; 91/676/EEC. Ministry of Environment and Food of Denmark, Environmental Protection Agency. *http://eng.mst.dk/media/mst/Attachments/DanishNitrateActionProgramme2008201507092012.pdf* (aufgerufen am 12.03.2018).

Svendson LM, Norup B (2005) NOVANA. Nationwide Monitoring and Assessment Programme forthe Aquatic and Terrestrial Environments. Programme description -Part 1. National Environmental Research Institute, Denmark. NERI Technical Report No. 532.

Svendson LM, Bijl L van der, Boutrup S, Norup B (2005) NOVANA, National monitoring and assessment programme for the aquatic and terrestrial environment. Programme description - Part 2. National Environmental Research Institute, Denmark. NERI Technical Report No. 537.

Thorling L (2012) Groundwater sampling. Technical guideline. Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Kopenhagen.

Niederlande

Europäische Kommission (2012) Commission Staff Working Document, Member State: Netherlands, Accompanying the document Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the Implemantation of the Water Framework Directive (2000/60/EC) River Basin Management Plans {COM(2012)670final}. European Commission, Brussels.

Ferreira JA (2010) Estimation of net decreases in nitrate concentrations. Sample size required to demonstrate future decrease. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, the Netherlands, RIVM report 680717016.

Fraters B, Boumans LJM, Van Leeuwen TC, De Hoop DW (2002) Monitoring nitrogen and phosphorus in shallow groundwater and ditch water on farms in the peat regions of the Netherlands. In: Proceedings of the 6th International Conference on Diffuse Pollution. Amsterdam, 30 September - 4 October 2002, pp. 575-576.

Fraters B, Boumans LJM, Van Leeuwen TC, De Hoop DW (2001) Monitoring nitrogen leaching for the evaluation of the Dutch minerals policy for agriculture in clay regions.

Fraters B, Boumans LJM, van Drecht G, De Haan T, De Hoop DW (1998) Nitrogen monitoring in groundwater in the sandy regions of the Netherlands. Environmental Pollution 102, S1: 479-485.

Fraters B, van Leeuwen TC, Reijs J, Boumans LJM, Aarts HFM, Daatselaar GHG, Doornewaard GJ, de Hoop DW, Schröder JJ, Velthof GL, Zwart MH (2007) Agricultural practice and water quality on farms benefiting from derogation. Design and organization of the monitoring network for 2006-2009 and annual reports from 2008 onwards. RIVM report 680717002/2007.Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment.

Fraters B, Vissenberg HA, Boumans LJM, de Haan T, de Hoop DW (1997) Resultaten Meetprogramma Kwaliteit Bovenste Grondwater Landbouwbedrijven in het zandgebied (MKGBL-zand) 1992-1995. Bilthoven, RIVM Rapport 714801014.

Fraters D, Zwart MH, Boumans LJM, Reijs JW, Kotte M (2011) Developments in monitoring the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes: Approach by the Netherlands. In Fraters B, Kovar K, Grant R, Thorling L, Reijs JW (2011) Developments in monitoing the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes. Results of the second MonNO_3workshop, 10-11 June 2009. *https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680717019.pdf* (aufgerufen am 09.03.2018).

Fraters B, Hooijboer AEJ, Vrijhoef A, Claessen J, Kotte MC, Rijs GBJ Denneman AIM, van Bruggen C, Daatselaar CHG, Begeman HAL, Bosma JN (2016) Agricultural practice and water quality in the Netherlands: status (2012-2014) and trend(1992-2014)Monitoring results for Nitrates Directive reporting RIVM Report2016-0019. National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport.

Fraters B, Hooijboer AEJ, Rijs GBJ, van Duijnhoven N, Rozemeijer JC (2017) Water quality in the Netherlands; status (2012-2015) and trend (1992-2015) Addendum to report2016-0019. RIVM

Report 2017-0050. National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport.

de Goffau A, van Leeuwen TC, van den Ham A, Doornewaard GJ, Fraters B (2012) Minerals Policy Monitoring Programme, Report 2007-2010, Methods and Procedures, RIVM Report 680717018/2012. National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport.

van Grinsven HJM, Tiktak A, Rougoor CW (2016) Evaluation of the Dutch implementation of the nitrates directive, the water framework directive and the national emission ceilings directive. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences 78, 69-84.

Hooijboer AEJ, de Koeijer TJ, Prins H, Vrijhoef A, Boumans LJM, Daatselaar CHG (2017) Agricultural practices and water quality on farms registered for derogation in2015, RIVM report2017-0039.National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport.

de Koeijer T, Luesink H, Groenendijk P, Renaud L (2015) Effects of 5th Nitrate Action Programme on fertilization and water quality in the Netherlands. *http://web.natur.cuni.cz/luwq2015/download/oral/116n_De%20Koeijer%20et%20al.%20Effects%20of%20the%205th%20Nitrate%20Action%20Programme.pdf* (aufgerufen am 18.07.2018).

Smit A, Roelsma J, Berge HFM ten, Boels D (2004) The use of an indicator for nirate concentrations at different scale levels. *https://core.ac.uk/download/pdf/29274205.pdf* (aufgerufen am 10.09.2018).

Willems WJ, Schoumans OF, Velthof GL (2013) Implemantation of the Nitrate Directive in the Netherlands. Role of stakeholders, politicians and research. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

Diskussion

Ackermann A, Heidecke C, Hirt U, Kreins P, Kuhr P, Kunkel R, Mahnkopf J, Schott M, Tetzlaff B, Venohr M, Wendland F (2015) Der Modellverbund AGRUM als Instrument zum landesweiten Nährstoffmanagement in Niedersachsen. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut. Thünen Report 37.

Alscher G, Clauswitz K, Dücker R, Ebbeler G, Gerbaulet P, Janßen A, Kalthoff U, Karl K, Kassau R, Kauka A, Lörcks H, Schulte-Übbing S, Schmitz W (2016) Umsetzung des Beratungskonzeptes Wasserrahmenrichtlinie. Bezugszeitraum 01.01.2015 - 31.12.2015. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Alscher G, Ballering J, Ebbeler G, Gerbaulet P, Hüsemann A, Janßen A, Kalthoff U, Karl K, Kassau R, Kauka, A, Kirschbaum S, Mindermann B, Schlett G, Schulte-Übbing S, Schmitz W (2017) Umsetzung des Beratungskonzeptes Wasserrahmenrichtlinie. Bezugszeitraum 01.01.2016 - 31.12.2016. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Apel B, Cremer N, Dunajtschik S, Lüttgens B, Quas M, Schindler R, Schöler B, Schubert B, Winkelmann J (2011) Effizienzkontrolle zum Beratungskonzept der Landwirtschaftskammer (Chemischer Zustand von Grund- und Oberflächengewässern) zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Nordrhein-Westfalen. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

BACH, M. und FREDE, H.G. (2005): Methodische Aspekte und Aussagemöglichkeiten von Stickstoffbilanzen. Hrsg. Institut für Landwirtschaft und Umwelt (ilu), Bonn. 55 S.

BAD (2003): Nährstoffverluste aus landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis. Hrsg. Bundesarbeitskreis Düngung(BAD), Frankfurt/Main. 36 S.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2019b) Nitratmonitoring in Bayern. Persönliche Mitteilung vom 07.03.2019.

Behrendt H, Bach M, Kunkel R, Opitz D, Pagenkopf W-G, Scholz G, Wendland F (2003) Internationale Harmonisierung der Quantifizierung von Nährstoffeinträgen aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 299 222 85.

Blicher-Mathiesen G, Rasmussen A, Rolighed J, Andersen HE, Carstensen MV, Jensen PG, Wienke J, Hansen B, Thorling L (2017) Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljøog Energinr. 205.

BMUB (2017) Nitratbericht 2016. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) Referat WR I 3 und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) Referat 523.

Christel W, Thorling L, Müller-Wohlfeil D-I, Fogt C (2017) Nitratmonitoring in Dänemark. Persönliche Mitteilung vom 23.08.2017.

Finck M (2017) Gewässerschutzberatung aus Sicht der Behörden und Forschungseinrichtungen: Ergebnisse, Erfolgskontrolle, Perspektiven. DVGW-Fortbildung Gewässerschutzberatung in der Landwirtschaft - Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen. 16.03.2017, Bonn.

Finck M, Stahr K (2012) N-MASSENBILANZ zur Quantifizierung von N-Umsetzungsprozessen. VDLUFA-Schriftenreihe 68, 510–518.

Fraters B, van Leeuwen TC, Reijs J, Boumans LJM, Aarts HFM, Daatselaar GHG, Doornewaard GJ, de Hoop DW, Schröder JJ, Velthof GL, Zwart MH (2007) Agricultural practice and water quality on farms benefiting from derogation. Design and organization of the monitoring network for 2006-2009 and annual reports from 2008 onwards. RIVM report 680717002/2007.Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment.

Fraters D, Zwart MH, Boumans LJM, Reijs JW, Kotte M (2011) Developments in monitoring the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes: Approach by the Netherlands. In Fraters B, Kovar K, Grant R, Thorling L, Reijs JW (2011) Developments in monitoing the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes. Results of the second

MonNO$_3$workshop, 10-11 June 2009.
https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680717019.pdf (aufgerufen am 09.03.2018).

GALF (Gesellschaft für angewandte Landschaftsforschung bR) 2018 STOFFBILANZ Modellerläuterung.
http://galf-dresden.de/galf/wp-content/uploads/2013/06/Modellerlaeuterung.pdf (aufgerufen am 08.03.2019).

de Goffau A, van Leeuwen TC, van den Ham A, Doornewaard GJ, Fraters B (2012) Minerals Policy Monitoring Programme, Report 2007-2010, Methods and Procedures, RIVM Report 680717018/2012. National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport.

Grant R, Thorling L, Hossy H (2011) Developments in monitoring the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes: Approach by Denmark. In Fraters B, Kovar K, Grant R, Thorling L, Reijs JW (2011) Developments in monitoing the effectiveness of the EU nitrates directive action programmes. Results of the second MonNO$_3$ workshop, 10-11 June 2009. *https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/680717019.pdf (aufgerufen am 09.03.2018).*

Grimm-Strele J, Casper M, van Dijk P, Finck M, Gudera T, Korte S (2008) Der Modellverbund MoNit zur Simulation der Grundwasserbelastung durch Nitrat im Oberrheingraben. Wasser Wirtschaft 1-2, 55-59.

Heidecke C, Hirt U, Kreins P, Kuhr P, Kunkel R, Mahnkopf J, Schott M, Tetzlaff B, Venohr M, Wagner A, Wendland F (2015) Endbericht zum Forschungsprojekt „Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser“ AGRUM+-Weser 2015
https://ideas.repec.org/p/zbw/jhtire/21.html (aufgerufen am 03.05.2019).

Hülsbergen K-J, Maidl F-X, Forster F, Prücklmaier J (2017) Forschungsbericht Minderung von Nitrateinträgen in Trinkwassereinzugsgebieten durch optimiertes Stickstoffmanagement am Beispiel der Gemeinde Hohenthann (Niederbayern) mit intensiver landwirtschaftlicher Flächennutzung. Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Weihenstephan.

Ketelsen H (2003) Der N_{min}-Herbstwert - ein Instrument der Erfolgskontrolle im Grundwasserschutz? In: Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU) (2003) Landwirtschaft und Grundwasser. Dokumentation der Veranstaltung im LANU am 11. Dezember 2001. LANU-SH - Gewässer 10.

Kiemle L, Fuchs S, Henning K (2015) Modellierung der Nährstoffeinträge in die Fließgewässer Baden-Württembergs für die Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne nach WRRL. Modellbeschreibung und Ergebnisse der MONERIS-BW Version „März 2015“. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

Knoblauch S, Albert E, Haferkorn U, Heyn J, Herold L, Lippold T, Lehmann E, Lorenz J, Zachow B, Meißner R, Seeger J, Schrödter M, Strauß C (2013) Kooperation Lysimeter. Wirkung landwirtschaftlicher Nutzung auf die N-Auswaschung anhand langjähriger Lysimetermessungen in Mittel- und Norddeutschland und Schlussfolgerungen für die

Minimierung der N-Befrachtung der Gewässer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt (LLG), Bernburg.

Kuhr P, Kunkel R, Tetzlaff B, Wendland F (2014) Räumlich differenzierte Quantifizierung der Nährstoffeinträge in Grundwasser und Oberflächengewässer in Sachsen-Anhalt unter Anwendung der Modellkombination GROWA-WEKU-MEPhos. Endbericht. Forschungszentrum Jülich, Jülich.

Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau (LLG) (2017) Jahresbericht 2016der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (2016) Anleitung zur Standortfestlegung und Bodenprobenahme – SchALVO Herbstkontrollaktion 2016. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg.

LARSIM (2018) Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM. *http://www.larsim.info/das-modell/* (aufgerufen am 15.06.2018).

LWK-NI (2014) Versuchsergebnisse zur grundwasserschutzorientierten Landbewirtschaftung. Versuchsbericht 2013. Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (LU) (2016) Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern. Fortschreibung für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum 2016-2021. Schwerin.

Nerger R (2010) Boden-Dauerbeobachtung Schleswig-Holstein: Auswertung der Projektergebnisse im Hinblick auf Aussagen zu Veränderungen von Böden, Aussagefähigkeit und Optimierung der eingesetzten Untersuchungsverfahren. Abschlussbericht. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Schleswig-Holstein, Kiel.

NLWKN (2012a) Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-N_{min}-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 8.

NLWKN (2015) Anwenderhandbuch für die Zusatzberatung Wasserschutz Grundwasserschutzorientierte Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft und Methoden zu ihrer Erfolgskontrolle. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (NLWKN). Grundwasser 21.

Schäfer W, Höper H, Fier A, Thiermann A (2015) Methodik Basis-Emissionsmonitoring: Berechnung der Stickstoff-Flächenbilanzen und der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser. Stand September 2015. Kurzfassung. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover.

Steinmann F (2010) Erste Bilanz der Gewässerschutzberatung. Bewertung der N_{min}-Methode. Bauernblatt 18. Dezember 2010, 13-15.

Steinmann (2012) Den Herbst-N_{min}-Wert messen. Risiko der Stickstoffauswaschungen abschätzen. Bauernblatt 7. Januar 2012, 50-52.

Svendson LM, Norup B (2005) NOVANA. Nationwide Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environments. Programme description -Part 1. National Environmental Research Institute, Denmark. NERI Technical Report No. 532.

Svendson LM, Bijl L van der, Boutrup S, Norup B (2005) NOVANA, National monitoring and assessment programme for the aquatic and terrestrial environment. Programme description - Part 2. National Environmental Research Institute, Denmark. NERI Technical Report No. 537.

Wendland F, Keller L, Kuhr P, Tetzlaff B, Heidecke C, Kreins P, Wagner A, Trepel M (2014) Räumlich differenzierte Quantifizierung der Stickstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Schleswig-Holsteins. Korrespondenz Wasserwirtschaft 6/14, 327-332.

Wendland F, Keller L, Kuhr P, Kunkel R, Tetzlaff B (2015) Regional differenzierte Quantifizierung der Nährstoffeinträge in das Grundwasser und in die Oberflächengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter Anwendung der Modellkombination GROWA-DENUZ-WEKU-MEPhos – Endbericht. Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3: Agrosphäre).

„Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft“
erscheinen seit 1995 in zwangloser Folge

Seit 2008 werden sie unter neuem Namen weitergeführt:
„Berichte aus dem Julius Kühn-Institut“

Heft 182, 2015	Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Jahresbericht 2014, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2014. Bearbeitet von Bernd Freier, Jörg Sellmann, Jörn Strassemeyer, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Silke Dachbrodt-Saaydeh, Hella Kehlenbeck, Wolfgang Zornbach, 42 S.
Heft 183, 2016	Pflanzen für die Bioökonomie – Welche Herausforderungen ergeben sich für die Qualität nachwachsender Rohstoffe? 50. Vortragstagung - Abstracts - , 94 S.
Heft 184, 2016	23rd International Symposium of the International Scientifi c Centre of Fertilizers Plant nutrition and fertilizer issues for the cold climates. Bearbeitet von/ Compiled by Silvia Haneklaus, Peder Lombnæs, Ewald Schnug. Son (Norway), September 8-10, 2015, 30 S.
Heft 185, 2016	24th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers Plant nutrition and fertilizer issues for specialty crops. Bearbeitet von/ Compiled by Silvia Haneklaus, Eduardo Rosa, Ewald Schnug. Coimbra (Portugal), September 6-8, 2016, 65 S.
Heft 186, 2016	9th Young Scientists Meeting 2016, 9th - 11th November in Quedlinburg – Abstracts –, 2016, 59 S.
Heft 187, 2017	Handlungsempfehlung zur Anwendung von Glyphosat im Ackerbau und der Grünlandbewirtschaftung der Bund-Länder-Expertengruppe. 11 S.
Heft 188, 2017	2. Symposium Zierpflanzenzüchtung 13./14. März 2017 in Quedlinburg – Abstracts –, 2017, 48 S.
Heft 189, 2017	Bericht über Erkenntnisse wissenschaftlicher Untersuchungen über mögliche direkte und indirekte Einflüsse des Pflanzenschutzes auf die Biodiversität in der Agrarlandschaft. Bearbeitet von/ Compiled by Bernd Freier, Sandra Krengel, Christine Kula, Stefan Kühne, Hella Kehlenbeck, 2017, 72 S.
Heft 190, 2017	Schlussbericht zum Vorhaben Thema des Verbundprojektes: Untersuchung zur Epidemiologie bodenbürtiger Viren in Triticale mit dem Ziel der Entwicklung von virusresistenten Sorten mit hohen Biomasseerträgen für die Biogas- und Ethanolgewinnung. Ute Kastirr, Angelika Ziegler, 2017, 50 S.
Heft 191, 2017	25th International Symposium of the Scientific Centre for Fertilizers “Significance of Sulfur in High-Input Cropping Systems” Groningen (Netherlands), September 5-8, 2017. Bearbeitet von/ Compiled by: Luit J. De Kok, Silvia Haneklaus, Ewald Schnug, 2017, 58 S.
Heft 192, 2017	9th Young Scientists Meeting 2017, 6th – 7th November in Siebeldingen - Abstracts -, 2017, 80 S.
Heft 193, 2018	Sekundäre Pflanzenstoffe – Rohstoffe, Verarbeitung und biologische Wirksamkeiten, 52. Vortragstagung, 2018, 65 S.
Heft 194, 2018	Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz, Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016, Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Bearbeitet von/ Compiled by: Silke Dachbrodt-Saaydeh, Jörg Sellmann, Jörn Strassemeyer, Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Sandra Krengel, Hella Kehlenbeck, 2018.
Heft 195, 2018	Abschätzung der Habitatwirkung veränderter Produktionsverfahren auf Indikatorvogelarten der Ackerbaugebiete im Forschungsvorhaben „Maisanbau für hohen Ertrag und biologische Vielfalt“ am Beispiel der Feldlerche (*Alauda arvensis*). Jörg Hoffmann, Udo Wittchen, 2018, 48 S.
Heft 196, 2018	SPISE 7, 7th European Workshop on Standardized Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe Athens, Greece, September 26-28, 2018. Bearbeitet von/ Compiled by: Paolo Balsari, Hans-Joachim Wehmann, 2018, 302 S.
Heft 197, 2018	Schlussbericht zum Vorhaben Vorkommen und Schadwirkung des *Soil-borne wheat mosaic virus* (SBWMV) in Winterweizen. Dr. Ute Kastirr, Dr. Angelika Ziegler, 2018, 34 S.
Heft 198, 2018	Schlussbericht zum Vorhaben Monitoring zum Vorkommen bodenbürtiger Viren in Weizen, Triticale und Roggen in den wichtigsten Getreideanbaugebieten Deutschlands. Dr. Ute Kastirr, Dr. Angelika Ziegler, Dr. Annette Niehl, 2018, 58 S.
Heft 199, 2018	NEPTUN-Gemüsebau 2017. Dietmar Roßberg, Martin Hommes, 2018, 42 S.
Heft 200, 2018	11th Young Scientists Meeting 2018, 14th – 16th November in Braunschweig, - Abstracts -, 86 S.
Heft 201, 2018	Schlussbericht zum Vorhaben Untersuchung von Interaktionen zwischen bodenbürtigen Zuckerrübenviren und deren Auswirkung auf die Rizomania. Dr. Ute Kastirr, Dr. Katja Richert-Pöggeler, 2018, 52 S.
Heft 202, 2018	Trial Report – Closed Transfer Systems (CTS). Matthias Kemmerling, Jens Karl Wegener, Dirk Rautmann, Jan-Philip Pohl, Eckhard Immenroth, Dieter von Hörsten, 2018, 52 S.
Heft 203, 2018	Statusbericht Biologischer Pflanzenschutz 2018. Eckhard Koch, Annette Herz, Regina G. Kleespies, Annegret Schmitt, Dietrich Stephan, Johannes A. Jehle, 2018, 126 S.
Heft 204, 2019	2nd International Plant Spectroscopy Conference (IPSC) 2019. Hartwig Schulz, Catharina Blank, Christoph Böttcher, Benjamin Fürstenau, Andrea Krähmer, Torsten Meiners, David Riewe (Eds.), 137 S.
Heft 205, 2019	Auswertung der Anzahl Resistenzklassen von Wirkstoffen für Pflanzenschutzmittelanwendungen - Evaluation of the number of resistance classes of active ingredients for crop protection applications. Frank Jeske, 45 S.
Heft 206, 2019	12th Young Scientists Meeting 2019, 6th – 8th November in Kleinmachnow - Abstracts -, 2019, 56 S.
Heft 207, 2019	Witterung und Ertrag, 2019, 50 S.
Heft 208, 2020	Report on the legal framework governing the use of nutrient rich side streams (NRSS) as biobased fertilisers (BBFs) EU legislation, 2020, 52 S.

Julius Kühn-Institut
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Federal Research Centre for Cultivated Plants