

BIO-Modellregion Warnow



Danksagung: Besonderer Dank gilt Frau Dr. Harriet Gruber von der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Fachgebiet ökologischer Landbau und Frau Franka Koch vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung Geologie, Wasser und Boden.

Deckblatt Bildnachweis:

1	2
3	4

1. Rohwasserentnahme aus der Warnow (Foto: EURAWASSER)
2. Paddler auf der Warnow (BUND)
3. Rinder am Fluss (fotolia ©Olha_Rohulya)
4. Die Ostsee bei Heiligendamm (fotolia ©stylefoto24)

Impressum:

- Schwerin, 08. Juli 2019
2. überarbeitete Auflage: 200 Kopien

Projektidee, Text und Kontakt:

BUND Landesverband Mecklenburg-Vorpommern
c/o: Dr. Burkhard Roloff
Wismarsche Straße 152
Tel.: 0385 - 52 13 39 13
Fax: 0385 - 52 13 39 20
E-Mail: burkhard.roloff@bund.net
www.bund-mv.de

Layout & Satz:

tokati Medienagentur | www.tokati.de

Mit freundlicher Unterstützung:



Norddeutsche Stiftung
für Umwelt und Entwicklung



Inhaltsverzeichnis

BIO-Modellregion Warnow

1. Einleitung	2
2. Eutrophierung der Ostsee	3
3. Das Warnow-Einzugsgebiet	6
4. Modellregionen zum Grundwasserschutz	8
4.1 Kommunale Wasserwerke Leipzig	8
4.2 Stadtwerke München	11
4.3 Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband	13
5. Modellierung möglicher Nitrat-Frachten im Warnow-Einzugsgebiet	15
6. BIO-Modellregion Warnow	16
7. Diskussion	19
8. Zusammenfassung	26
9. Literaturverzeichnis	28
10. Anhang	31
Abschlussbericht „Modellierung von Nitratfrachten bei unterschiedlicher Landbewirtschaftung (Realnutzung, Extensivierung, ökologischer Landbau) in die Oberflächengewässer des Einzugsgebiets der Warnow“, 2. überarbeitete Auflage vom 17.01.2019	

1. Einleitung

Die Ostsee ist nach wie vor von Eutrophierung bedroht. Besonders betroffen sind die Küstengewässer. Die Folgen sind übermäßiges Algenwachstum, Artensterben und dadurch die Ausbreitung sogenannter Todeszonen, in denen kein maritimes Leben mehr existiert. Diese Überdüngung wird u.a. durch die intensive, industrielle Landwirtschaft verursacht. Übermäßige Düngergaben, vor allem Phosphor und Stickstoff, gelangen über die Luft, das Grundwasser und die Flüsse, wie z.B. die Warnow in die Ostsee.

Die Ostseeanliegerstaaten haben sich verpflichtet, die Nährstoffeinträge bei Phosphat und Stickstoff über die Flüsse in Nord- und Ostsee um 50% zu verringern. Für das Einzugsgebiet Warnow-Peene entsteht ein Minderungsbedarf für die Ostsee von 5 000 t Stickstoff/Jahr. Das Land Mecklenburg-Vorpommern hat 2011 und 2016 ein Konzept zur Minderung diffuser Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft für die nächsten fünf Jahre vorgelegt.

In den Maßnahme-, den Management- und den Bewirtschaftungsplänen kommt der Ökologische Landbau als eine praktikable Möglichkeit zur Minderung des Stickstoffeintrages in die Oberflächengewässer bisher ausdrücklich nicht vor. Der Ökologische Landbau ist für den BUND die nachhaltigste, ressourcenschonendste und umweltverträglichste Landbewirtschaftungsform.

Wir stellten uns die Frage, was passiert bei der Umstellung auf Ökolandbau bzw. bei der Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und wie ändert sich dadurch die Nitratfracht in die Oberflächengewässer eines gesamten Flusseinzugsgebietes. Innerhalb des länderübergreifenden BUND-Projektes „Weitsicht für die Ostsee“ hat der BUND Landesverband Mecklenburg-Vorpommern darum erstmals eine Studie in Auftrag gegeben, um den Einfluss unterschiedlicher Landbewirtschaftung auf den Stickstoffaustrag in die Warnow zu berechnen. Dafür wurde an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock, Professur für Bodenphysik ein ökohydrologisches Modell konstruiert. Einerseits die Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und andererseits die Umstellung auf ökologischen Landbau wurden in diesem Modell abgebildet und die Reduzierung des Stickstoffes im gesamten Warnow-Einzugsgebiet simuliert. Die Reduzierungen nur durch die Veränderung der Landbewirtschaftung sind bedeutend und führten zu ersten Überlegungen, eine sogenannte BIO-Modellregion Warnow zu entwickeln. In dieser möglichen BIO-Modellregion Warnow sollten alle Maßnahmen im gesamten Warnow-Einzugsgebiet so gestaltet werden, dass so wenige Nährstoffe wie möglich in die Warnow gelangen. Das betrifft die Landbewirtschaftung, die flächengebundene, artgerechte Nutztierhaltung, aber auch die nachhaltige touristische und wirtschaftliche Entwicklung im Einzugsgebiet der Warnow.

Die BUND-Studie wurde am Freitag, 08.06.2018, aus Anlass des internationalen Tages des Meeres einem interessierten Fachpublikum an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock vorgestellt.

2. Eutrophierung der Ostsee

Die Ostsee ist das größte Brackwassergebiet der Welt. Die Ostsee ist eines der am stärksten verschmutzten Meere der Welt, schreibt der Europäische Rechnungshof in seinem Bericht zur Nährstoffbelastung der Ostsee und fordert die Mitgliedsstaaten auf, dagegen wirksame Maßnahmen zu ergreifen (ANONYM, 2016). Der Hauptverursacher der Verschmutzung ist die intensive, industrielle Landwirtschaft. Der übermäßige Eintrag von Nährstoffen, vor allem Stickstoff und Phosphor, die über den Wasser- und Luftpfad ins Meer geschwemmt werden, ist danach Schuld an der zunehmenden Eutrophierung der Ostsee. Die Landwirtschaft trug 2012–2014 78% der Stickstoff- und 51% der Phosphoreinträge in die deutschen Ostseegewässer bei. Besonders betroffen sind die Küstengewässer. Über die Flüsse Warnow, Recknitz und Peene gelangen über 5 000 Tonnen (t) Stickstoff pro Jahr in die Ostsee vor der Küste Mecklenburg-Vorpommerns. Keines der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns erreicht den guten ökologischen Zustand, der gemäß der Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Union bis 2015 herzustellen war (LUNG, 2013).

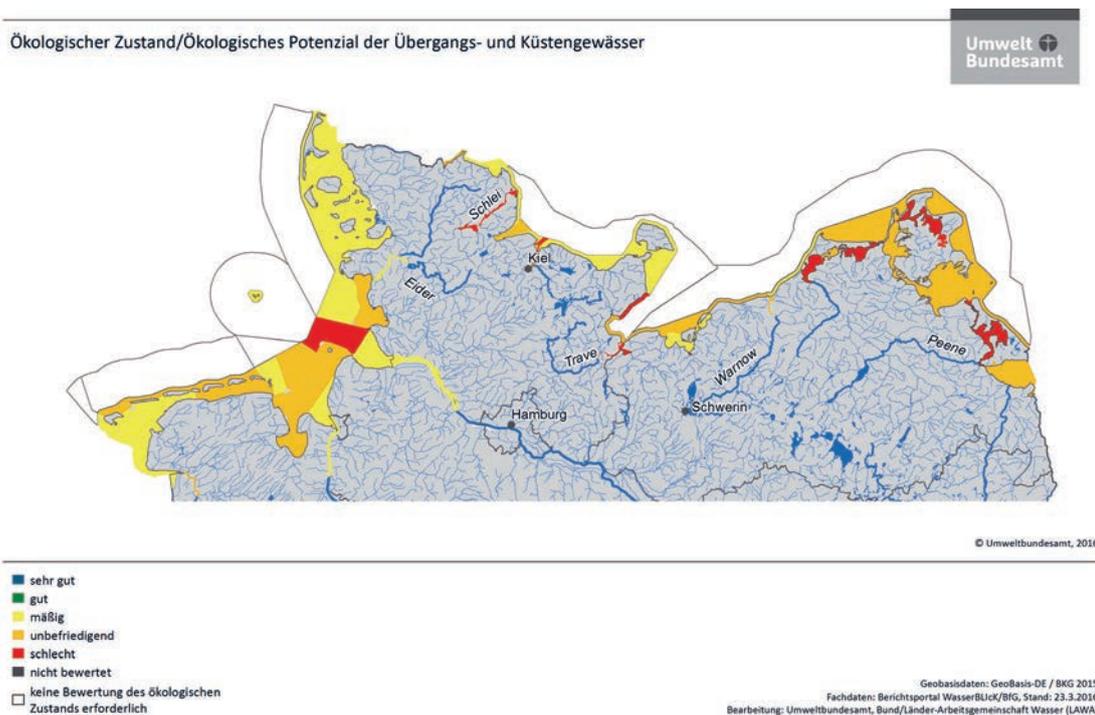


Abb.1: Ökologische Zustandsbewertung der Küstengewässer (2015)

Laut dem Umweltbundesamt (UBA, 2018) gelangten im Jahre 2010 immer noch 29 738 t Stickstoff und 780 t Phosphor über deutsche Flüsse in die deutsche Ostsee – das entspricht 13 Güterwaggons mit einer Ladekapazität von 60 t. Die Hälfte dieser Frachten stammten aus der Trave, 29 % aus der Peene, 17 % aus der Warnow und 4 % aus der Schwentine. Hinzu kommen Nährstofffrachten aus der Oder, die an der polnischen Küste in die Ostsee fließt. Ihre Frachten belasten vor allem das Stettiner Haff, den Greifswalder Bodden und die Pommersche Bucht. Doch nicht alle Nähr-

stoffe gelangen über die Flüsse in die Ostsee. Mit 29 953 t gelangte 2010 mehr als die Hälfte allen Stickstoffs über den Luftpfad in das Binnenmeer.

Die Abnahme der Nährstoffeinträge seit den 1980er Jahren spiegelt sich auch im Rückgang der Nährstoffgehalte im Ostseewasser wider. Während in der offenen Ostsee im Arkonabecken zwischen Rügen und Schweden die Zielwerte des Helsinki-Übereinkommens zum Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebiets (HELCOM) für gelöste anorganische Stickstoffverbindungen knapp erreicht werden, werden die Phosphat-Zielwerte noch um fast das Doppelte überschritten. In Flussmündungen und Küstengewässern sind die Gehalte weiterhin deutlich zu hoch.

Durch verschiedene Untersuchungen wurde für Mecklenburg-Vorpommern ein Anteil der diffusen Quellen an der Gesamtstickstoff-Fracht der Fließgewässer von 83 bis 94 % ermittelt. Hierbei spielt der Nitrat-Stickstoff die dominierende Rolle. Dabei wurde festgestellt, dass die Stickstoffkonzentrationen in den Fließgewässern sehr deutlich regionale Unterschiede aufweisen, die auf eine unterschiedliche Landnutzung und Bodenbeschaffenheit zurückzuführen sind. Hohe Nitratkonzentrationen sind in Gewässern anzutreffen, in deren Einzugsgebieten der Anteil an ackerbaulicher Nutzung dominiert. Geringe Nitratkonzentrationen treten dagegen in Fließgewässern mit hohem Wald und/oder Grünlandanteil im Einzugsgebiet auf (LUNG, 2013).

In Folge der hohen Nährstoffzufuhr wachsen bei sommerlichen Temperaturen verstärkt Mikroalgen in Größenordnungen und sorgen so für trübes Wasser. Makroalgen wie Seetang und die Seegraswiesen, die Fischbrutstuben der Ostsee, bekommen nicht mehr genug Licht und sterben ab. Untersuchungen haben ergeben, dass Seegraswiesen, nur noch bis Tiefen von 6–8 Meter (m) vorkommen. Früher erstreckten sie sich bis in Tiefen von 30 m. Wenn die Algen absterben, sinken sie auf den Meeresboden und werden dort von Bakterien zersetzt. Dies führt unter anderem zur Sauerstoffzehrung, in dessen Folge große sauerstofffreie Zonen entstehen, in denen kein marines Leben mehr möglich ist.

Etwa ein Drittel des Ostsee-Grundes besteht bereits aus toten Zonen, in denen kein Sauerstoff mehr vorkommt. Sogenannte „Tote Zonen“ gab es in der Ostsee natürlicherweise auch vor den Zeiten der Eutrophierung, v.a. in der zentralen Ostsee, wo sich das Wasser oft über lange Zeiten nicht mischt, wenn keine Einströmung aus der Nordsee erfolgt. Die Toten Zonen haben sich in ihrer Ausdehnung mehr als verzehnfacht von 5 000 km² 1906 auf über 60 000 km² heute (ANONYM, 2018).

Die Eutrophierung der Oberflächengewässer und deren Frachteintrag in die Küstengewässer haben dazu geführt, dass die Küstengewässer der deutschen Ostseeküste als sogenanntes „Eutrophierungsproblemgebiet“ einzustufen sind. Effekte sind neben einer Erhöhung der Intensität von Phytoplanktonblüten auch Verschiebungen in der Artenzusammensetzung, vermehrtes Auftreten von Blaualgen und die Initiierung oder Steigerung der Toxinproduktion bei bestimmten, potentiell schädlichen Algenarten, was für ein Tourismusland wie Mecklenburg-Vorpommern eine besondere Rolle spielt.

Die regionalen Meeresschutzübereinkommen, HELCOM für die Ostsee und OSPAR

für den Nordostatlantik, setzen sich schon seit Mitte der 1980er Jahre dafür ein, die als eine Hauptursache identifizierten Nährstoffeinträge Stickstoff und Phosphat über die Flüsse in Nord- und Ostsee um 50% zu verringern. Seit 1985 konnten die Einträge in die Flüsse im deutschen Nordsee-Einzugsgebiet für Stickstoff um 48 % und für Phosphor um 73 % gesenkt werden. Bei der deutschen Ostsee beträgt der Rückgang bei Stickstoff 50 %, bei Phosphor 76 %. Diese Erfolge sind vor allem auf verbesserte Kläranlagen und die Einführung phosphatfreier Waschmittel zurückzuführen. Sie lassen inzwischen einige Effekte der Eutrophierung langsam abklingen.

Dennoch kann noch keine generelle Entwarnung gegeben werden. Von den 189 untersuchten Gebieten, in die HELCOM die Ostsee aufteilte, konnten nur 13 als „nicht eutrophiert“ eingestuft werden. Alle Gebiete der deutschen Hoheitszone gelten hingegen als nährstoffbelastet – das gilt vor allem für die Förden, die Bodden und die Haffe. Eine vorläufige aktuelle Eutrophierungsbewertung basierend auf Daten der Jahre 2007 bis 2011 lässt noch keine Verbesserung des Zustands erkennen.

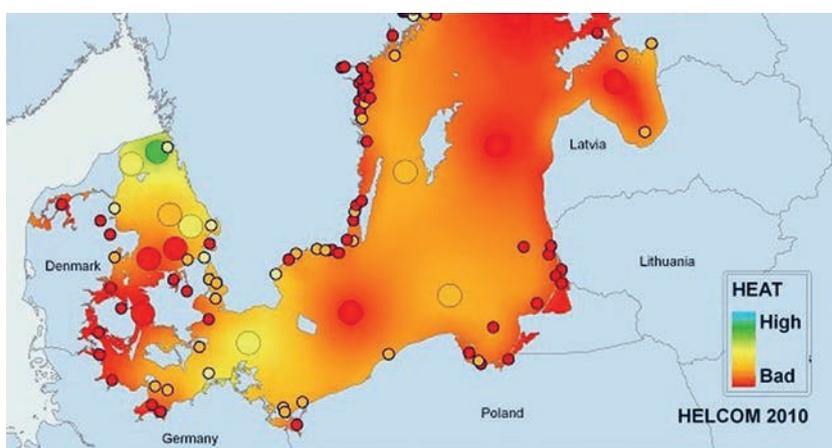


Abb.2: Klassifizierung des Eutrophierungsstatus gemäß HELCOM

Gemäß der 2000 in Kraft getretenen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der Europäischen Union bewerten die Länder die Eutrophierung nicht direkt, sondern ihre Auswirkungen auf den ökologischen Zustand anhand der biologischen Qualitätskomponenten Mikroalgen (Phytoplankton), Großalgen und Blütenpflanzen (Makrophyten) sowie wirbellose Bodentiere (Makrozoobenthos). Aufgrund von Eutrophierungseffekten verfehlten 2008 43 von 44 bewerteten Wasserkörpern den „guten Zustand“.

Im Rahmen der Meeresstrategierahmenrichtlinie der Europäischen Union kommt Deutschland in der Anfangsbewertung zum Schluss, dass die Anreicherung mit Nährstoffen und organischem Material in der Nordsee weiterhin zu hoch ist und das Ökosystem erheblich beeinträchtigt. Deutschland hat sich im gleichen Jahr auch Umweltziele für die deutsche Ostsee gesetzt. Das übergeordnete Ziel lautet: Bis zum Jahr 2020 eine Ostsee „ohne Beeinträchtigung durch vom Menschen verursachte Eutrophierung“ zu erreichen. Ob dies möglich ist, hängt davon ab, ob es Deutschland und den anderen Ostseeanrainerstaaten gelingt, die Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft deutlich zu senken.

3. Das Warnow-Einzugsgebiet

Die Warnow ist ein 143 km langer Fluss in Mecklenburg-Vorpommern. Sie entspringt etwa 30 km südöstlich von Schwerin bei Grebbin auf einer Höhe von 65 m NN als ein 1–3 m breiter Bach und mündet in Rostock-Warnemünde in die Ostsee. Die Warnow ist auf einer Länge von 14,1 km schiffbar. Die Warnow ist nach der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Teil der Flussgebietseinheit Warnow-Peene. Die Flussgebietseinheit Warnow-Peene umfasst eine Fläche von 21 262 km². Das Warnow-Einzugsgebiet nimmt davon nur eine Fläche von 3 041 km² ein. Neben der Warnow und der Peene gehören die Mildenitz, die Nebel, die Recknitz, die Tollense und die Trebel zu den größeren Flüssen im Gebiet. Über 1,1 Mio. Einwohner zählt die Gebietseinheit. Die Gesamtfläche der Einzugsgebiete, die die Flussgebietseinheit Warnow-Peene bilden, beträgt 13 600 km² Landfläche, die Fläche der der Flussgebietseinheit zugeordneten Küstengewässer 2 900 km². Die mittlere langjährige Wasserführung beträgt am Unterlauf 19 m³/s. Die mittlere Abflussspende beträgt 6,37 l/s je km².

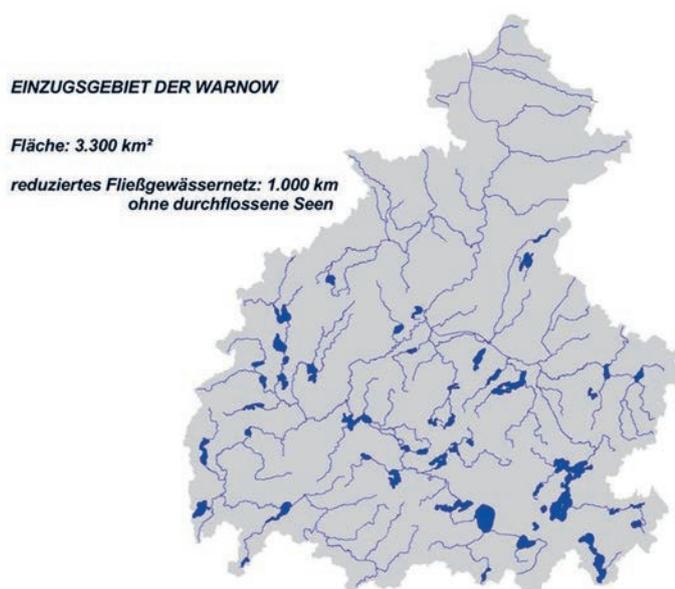


Abb.3: Karte des Warnow-Einzugsgebietes

Das Klima im Warnow-Einzugsgebiet ist atlantisch geprägt mit einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagshöhe von 647 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 9,1 °C. Das Einzugsgebiet ist durch Ackerland dominiert (58 %). Weitere relevante Landnutzungen sind Wald (21 %) und Grünland (13 %). Feuchtgebiete (4 %), besiedelte Gebiete (3 %) und offene Wasserflächen (<1 %) beanspruchen nur kleine Teile des Einzugsgebietes. Bedeutende Bodentypen sind Braunerden (40 %) und Parabraunerden (30 %). Typisch für die Region sind künstliche Dränagen. Es wird geschätzt, dass wenigstens 18 % des gesamten Einzugsgebietes künstlich gedränt sind (BAUWE und LENNARTZ, 2018).

Im Wasserwerk von Eurawasser in Rostock wird seit mehr als 140 Jahren, einzigartig in Deutschland, das Rohwasser zur Trinkwasseraufbereitung aus der „fließenden Welle“ der Warnow entnommen. Bei mittlerer Wasserförderung werden täglich 32 000 m³ ordnungsgemäß aufbereitet und kontrolliert. Nur etwa 5 % des gesamten Warnowwassers wird im Wasserwerk Rostock zu Trinkwasser aufbereitet. Geruch und Geschmack des Rostocker Trinkwassers sind neutral und es kann jederzeit unbedenklich direkt aus der Leitung entnommen und getrunken werden. Nicht ohne Grund, denn in der komplexen Anlage durchläuft das Wasser 7 Stationen. Nitrat wird in einem sogenannten Mehrschichtfilter mit 10 Filterkammern durch Mikroorganismen gebunden. Die automatisch gemessenen Nitratwerte an der Entnahmestelle Warnow weisen im Mittel der Jahre deutlich niedrige Werte auf und liegen zwischen 5 und 15 mg/l Nitrat-N. Dabei sind die Nährstoffkonzentrationen im Winter höher als im Sommer.

Über die Hälfte des Warnow-Einzugsgebietes, 59 % oder 1 800 km², unterliegen dem Trinkwasser-Schutz. Verordnungen, die aus den Jahren 1980 und 1982 stammen legen Beschränkungen der landwirtschaftlichen Nutzung fest. Bewirtschaftungspläne, Maßnahmenprogramme und Umweltbericht für die Flussgebietseinheiten Warnow-Peene wurden durch das LUNG erarbeitet und liegen seit 2009 vor. Im FFH-Managementplan für das Warnowtal mit Zuflüssen werden für die Landnutzungsform Grünlandbewirtschaftung die Auflagen für den Vertragsnaturschutz beschrieben. So ist beispielsweise der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln untersagt, der Bewirtschaftungszeitraum eingeschränkt und bei Weideflächen die Besatzstärke begrenzt.

Das Land Mecklenburg-Vorpommern hat 2011 und 2016 ein Konzept zur Minderung diffuser Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft für die nächsten fünf Jahre vorgelegt. In den vorliegenden Maßnahme-, Management-, oder Bewirtschaftungsplänen kommt der Ökologische Landbau als eine praktikable Möglichkeit zur Minderung des Stickstoffeintrages in die Oberflächengewässer bisher ausdrücklich nicht vor.

Im Einzugsgebiet der Warnow sind mehrere Naturschutzgebiete ausgewiesen. Schon in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts entstanden mit dem NSG „Warnowseen“ und dem NSG „Warnow-Mildenitz-Durchbruchstal“ die ersten Naturschutzgebiete in dieser Region. Das NSG „Warnowseen“ wurde 1967 ausgewiesen und 1982 erweitert. Es handelt sich hierbei um eine Reihe miteinander verbundener Flüsse und Seen, die vermoort sind und Brutplätze für Wasservögel bieten. Des Weiteren ist es ein Vogelzugreservat. Die Naturschutzgebiete „Warnowtal“ und „Unteres Warnowland“ wurden 1982 bzw. 1990 ausgewiesen. Neben den Naturschutzgebieten gibt es in der Region unter anderem auch Naturparks und Feuchtgebiete. Ein Naturpark ist die „Nossentiner-Schwinzer-Heide“, die ein Gebiet von 365 ha umfasst, wovon 221 ha Waldgebiet und 46 ha Gewässer sind. Es ist gekennzeichnet durch viele Seen und die Anwesenheit von Kranichen und Seeadlern. Eine weitere großflächige Seenlandschaft ist der Naturpark „Sternberger Seenland“ mit einer Größe von 539 ha. Ein Feuchtgebiet ist zum Beispiel der Krakower Obersee, der 9 ha groß ist und Wasser- und Watvögeln als Lebensraum dient.

4. Modellregionen zum Grundwasserschutz

Seit mehr als 20 Jahren sind bundesweit verschiedene Wasserversorgungsunternehmen Vorreiter in Sachen vorbeugendem Grund- und Trinkwasserschutz durch Ökologischen Landbau bzw. grundwasserschützende Maßnahmen. Als Auswahl werden exemplarisch zwei erfolgreiche Wasserversorgungsunternehmen in den Großstädten Leipzig und München sowie ein Wasserverband im ländlichen Raum vorgestellt.

4.1 Kommunale Wasserwerke Leipzig

Die Kommunalen Wasserwerke Leipzig (KWL) GmbH fördern gewässerschützende Bewirtschaftungsmaßnahmen der Landwirtschaft zur Reduzierung der Trinkwasseraufbereitungskosten. Auf eigenen Flächen wird ein wasserschutzoptimierter ökologischer Landbau betrieben. Auf weiteren Flächen werden den Landwirten Aufwendungen im Zusammenhang mit der Verminderung des Nährstoffaustragspotentials ausgeglichen (GÖTZE, 2014).

Die KWL versorgen mehr als 630 000 Menschen in der Region Leipzig mit Trinkwasser aus größtenteils landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten. Die Bewirtschaftungspraktiken der Landwirte sind von großer Bedeutung für die Qualität der umliegenden Gewässer und des Grundwassers und somit auch für die wirtschaftliche Trinkwassergewinnung. So kann z. B. ein übermäßiger oder zum falschen Zeitpunkt vorgenommener Einsatz von Düngemitteln dazu führen, dass diese nicht durch die Pflanzen aufgenommen werden, sondern in umliegende Oberflächen- oder das Grundwasser ausgewaschen werden. Die Folgen intensiver landwirtschaftlicher Nutzung zu vermeiden, kann sich daher u. a. für Wasserversorger auch auf betriebswirtschaftlicher Ebene lohnen. Um Nitratbelastungen im Grundwasser langfristig zu verringern, wenden die Kommunalen Wasserwerke Leipzig in ihren Einzugsgebieten zwei verschiedene Maßnahmen an:

- Ausgleichszahlungen an umliegende landwirtschaftliche Betriebe, die wasserschützende Maßnahmen einleiten und
- wasserschutzoptimierten ökologischen Landbau auf eigenen Flächen im zentralen Einzugsgebiet.

Gewässerschützende Maßnahmen in der Landwirtschaft können bereits mit wenig Aufwand die Nährstoffeinträge verringern. Durch Begrenzung des Viehbesatzes, geeignete Fruchtfolgegestaltung, bedarfsgerechtes Düngungs- und Bodenbearbeitungsmanagement oder Zwischenfruchtanbau zur Vermeidung auswaschunggefährdeter Brachzeiten können Ökosystemleistungen aufrechterhalten und Grundwasser geschont werden. Diese Maßnahmen werden jedoch selten freiwillig durchgeführt. Deshalb übernehmen die KWL in ihren Trinkwasserschutzgebieten über die wasserrechtliche Ausgleichsverpflichtung für verordnete Landnutzungseinschränkungen hinaus Kosten für Wasserschutzanpassungen bzw. Ertragseinbußen landwirtschaftlicher Betriebe.

Im Unterschied zu „Maßnahmen“, also dem nicht zwingend ergebnisorientierten Handeln eines Akteurs, wird mit diesen Ausgleichszahlungen eine „zielorientierte Ausgleichsregelung“ verfolgt. Dieser emissionsbezogene Ansatz nutzt in einer qualifizierten Stoffstromanalyse den Agrar-Umweltindikator Stickstoff-Saldo auf der Basis des Humus-Saldos. Der N-Saldo wurde dabei als Indikator an der Schnittstelle zwischen Landwirtschaft (dem Landwirt vertraut, ohne wesentliche Zusatzdatenerhebung erfassbar, durch die Landnutzung beeinflussbar) und Wasserwirtschaft (N-Saldo im Mittel der Fruchtfolge als Ursache für auch sickerwassergebundene N-Verlustpotentiale und damit der Nährstoffauswaschung in das Grundwasser) ausgewählt.

Im Hinblick auf die Zielerreichung wird den Landwirten nicht vorgeschrieben, welche Mittel der betrieblichen Anpassung angewendet werden müssen, sondern allein die Zielerreichung, d. h. Senkung der N-Salden als mittelbare Ursache für Stickstoffauswaschung honoriert. Für den Wasserversorger ergibt sich daraus auch eine hohe Transparenz der Landnutzung, die für die Steuerung der Qualitätssicherung im Einzugsgebiet Voraussetzung ist. Die Ausgleichszahlungen können sich für den Wasserversorger lohnen. Im Fall der KWL belaufen sich die Kosten für den Ausgleich der Wasserschutzanpassungen angrenzender Landwirte einschließlich des administrativen Aufwandes auf etwa 1 ct/m³ als Kosten für die betriebliche Vorgabe der Rohwassergüte und die eigentlich staatliche Aufgabe der Sicherung der Umweltqualitätsnorm für Grundwasser, wie sie z. B. in den wasserrechtlichen Vorgaben für den flächendeckenden Gewässerschutz (EU-Nitrat-RL, WRRL) verankert sind. Diesen Kosten stehen aber eingesparten Aufwendungen zur technischen Wasseraufbereitung gegenüber, die mit etwa 7 ct/m³ geschätzt werden, womit die Ausgleichszahlungen im Vergleich das kosteneffizienteste Mittel zur Sicherung der Rohwassergüte und damit einer Nitratminimierung darstellen.

Nitratkonzentration Wasserwerk Canitz

Jahresmittelwerte, Rohmischwasser

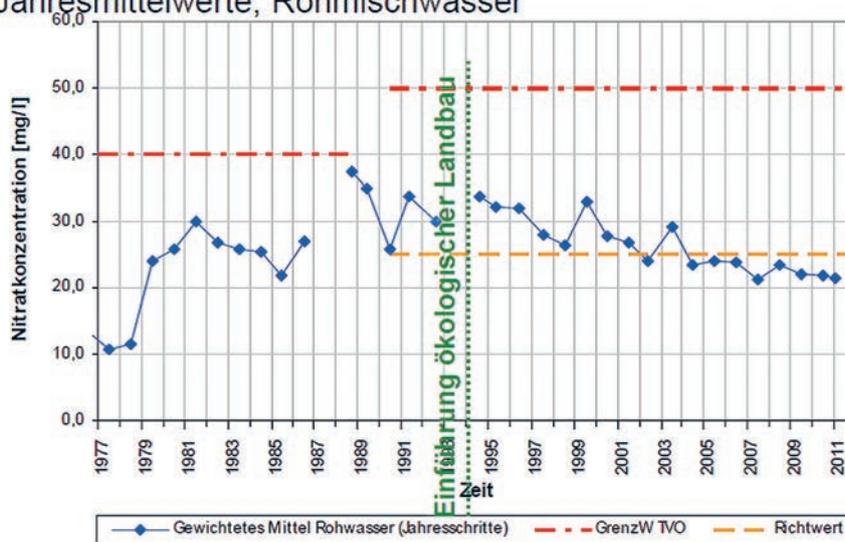


Abb. 4: Nitratkonzentration im Wasserwerk Canitz (Jahresmittelwerte, Rohmischwasser)

Im direkten Umfeld der Brunnenfassungen hat die Stadt Leipzig bereits 1907 „für den hygienischen Schutz der Wasserfassungen“ die Flächen der Dörfer Canitz und Waseswitz gekauft. Auf diesen Landwirtschaftsflächen wird seit 1992 wasserschutzoptimierter **ökologischer Landbau** betrieben. Die Aufgabe der Wassergut Canitz GmbH ist dabei zuerst eine unbelastete Grundwasserneubildung, die durch angepassten ökologischen Landbau sichergestellt wird. Der ökologische Landbau stellt dabei das effizienteste Mittel dar, um u. a. externe Effekte gar nicht erst entstehen zu lassen. Die Nitratkonzentration im Wasser hat sich in Canitz seit 1990 erheblich verringert und die Überwachung des Einzugsgebietes sowie der Brunnen zeigt, dass die hohe Wasserschutzleistung des ökologischen Landbaus die standörtlich, betriebsstruktur- und fruchtfolgebedingt nicht ausreichende Wasserschutzleistung der umliegenden konventionellen Landwirtschaft. (Gemischtbetriebe, teilweise ca. 1,4 GV/ha) puffern kann. Damit ist der ökologische Landbau ein wichtiger Baustein eines „integrierten Qualitätsmanagements“ im Rahmen des Multi-Barrieren-Prinzips der Sicherung der Trinkwassergüte.

Durch dieses „Vorsorgeprinzip“ der Kommunalen Wasserwerke und die frühzeitige Einbeziehung der negativen externen Effekte konnten die Kosten langfristig gesenkt werden. Der Verzicht auf chemische Pflanzenbehandlungsmittel und mineralische Stickstoff-Düngemittel, konsequenter Zwischenfruchtanbau und ein geringer Tierbestand pro Fläche können auch über den Gewässerschutz hinaus viele Ökosystemleistungen aufrechterhalten. So fördert Ökolandbau durch seine Orientierung an der Idee der Kreislaufwirtschaft aktiv die Humusbildung und das Bodenleben und führt durch den Erhalt wildlebender Tier- und Pflanzenarten zu einer Erhöhung der Selbstregulationsfähigkeit und einer höheren Artenvielfalt. Der wasserschutzoptimierte ökologische Landbau ist damit nicht nur die „Lebensversicherung“ für die Rohmischwassergüte bei den KWL, sondern nutzt und fördert auch gesamtgesellschaftlich Ökosystemleistungen und Biodiversität.

4.2 Stadtwerke München

Das Mangfalltal, in dem das Münchener Trinkwasser gewonnen wird, befindet sich in der Voralpenlandschaft, ca. 40 km südlich von München. Die Mangfall ist ein linker Nebenfluss des Inn in Oberbayern und 58 km lang. Sie entspringt als Abfluss des Tegernsees und mündet bei Rosenheim in den Inn. Die Mangfall ist ein typisches Gewässer der Äschenregion. Im Mangfalltal wird seit 1880 Trinkwasser gefördert (ANONYM, 2017).



Abb.5: Über hundert Jahre alte Grundwasserfassung Reisach im Mangfalltal

Um die gute Qualität des Trinkwassers zu sichern, wurden bereits seit Jahrzehnten verschiedene Schutzmaßnahmen durchgeführt. Doch trotz umfangreicher Schutzmaßnahmen war eine über Jahrzehnte messbare Zunahme von Schadstoffen, vor allem aus der Landwirtschaft, festzustellen. Zwar bewegten sich Nitrat- und Pestizidwerte noch weit unter den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung, der schleichende Aufwärtstrend sollte jedoch rechtzeitig und dauerhaft vorbeugend unterbrochen werden. Die Stadtwerke München GmbH (SWM) entschloss sich 1991 dazu, die Schutzmaßnahmen für das Münchner Trinkwasser im Mangfalltal noch einmal deutlich zu verstärken. Unter dem Motto „Vorausschauender Wasserschutz ist sinnvoller als aufwändige Reinigung und Aufbereitung“ soll die Münchner Trinkwasserqualität langfristig gesichert werden. Die gepachteten Gebiete im Besitz der Stadtwerke und im Einzugsgebiet der Trinkwassergewinnung werden nach den Vorgaben des **ökologischen Landbaus** bewirtschaftet:

- In den Wassergewinnungsgebieten dürfen keinerlei chemisch-synthetische Düngemittel oder Pflanzenschutzmittel verwendet werden.
- Verwendet werden dürfen ausschließlich betriebseigene Wirtschaftsdünger, die boden- und pflanzenverträglich aufbereitet worden sind, Gülle aus konventioneller Tierhaltung ist verboten, Düngehöchstmengen sind flächenbezogen festgelegt.

- Durch ein Limit für den Futtermittelzukauf wird der Viehbesatz auf 1,4 bis 2,0 GV/ha reduziert, Massentierhaltung mit der Folge eines übermäßigen Anfalls an Gewässer gefährdenden Exkrementen ist damit ausgeschlossen, alle Tiere werden artgerecht gehalten.

Darüber hinaus wurden die Standorte aller Gewinnungsanlagen als Wasserschutzgebiet ausgewiesen. Der Wald der Gewinnungsgebiete wird von der städtischen Forstverwaltung im Auftrag der SWM bewirtschaftet und als Mischwald aufgeforstet. Mehr als 1 500 ha neue Waldflächen tragen zu einem ausgewogenen Wasserhaushalt im Trinkwassereinzugsgebiet bei.

Um die gute Qualität des Wassers langfristig zu gewährleisten, wurden seit jeher Flächen im Trinkwassereinzugsgebiet von den Stadtwerken München (SWM) aufgekauft und verpachtet. Die Landwirte verpflichten sich, die Flächen nach ökologischen Richtlinien zu bewirtschaften. Durch die Wasserschutzinitiative der SWM ist dort das größte zusammenhängend ökologisch bewirtschaftete Gebiet der Bundesrepublik entstanden. Zurzeit gibt es rund 6 000 ha Umstellungsflächen. Zudem haben die SWM 1992 die Initiative „Ökobauern“ ins Leben gerufen. Mit dieser Initiative fördern die SWM den ökologischen Landbau im Einzugsgebiet der Wassergewinnung im Mangfalltal. Dabei arbeiten sie eng mit den Ökoverbänden Bioland, Demeter und Naturland zusammen. Schon mehr als 100 Landwirte haben seither ihre Betriebe von konventioneller auf Boden und Gewässer schonende Landwirtschaft und artgerechte Tierhaltung umgestellt. Gemeinsam bewirtschaften sie eine Fläche von rund 2 500 ha.

Um möglichst viele Landwirte zu gewinnen, erhalten diese finanzielle Fördermittel von den SWM. Die SWM unterstützen die ökologisch arbeitenden Landwirte mit einer „Umstellungsbeihilfe“, die ihren Beitrag zum Gewässerschutz honoriert und Ertragsminderungen sowie notwendige Investitionen ausgleichen hilft. In den ersten sechs Jahren ist es eine Umstellungsbeihilfe von jährlich 281 €/ha Grünland und Acker. Inzwischen wurde die Förderung um 12 Jahre verlängert – mit einem Beihilfesatz von 230 €/ha/a. Eigentums- und Pachtflächen werden gleichermaßen berücksichtigt. Die SWM übernehmen auch die Kosten für die Erstberatung interessierter Landwirte durch die Öko-Verbände sowie die jährlichen Betriebskontrollen. Zusätzlich unterstützen die SWM die Bauern bei der Vermarktung ihrer Bio-Produkte. Das Förderprogramm wird über die normalen Wasserpreise finanziert und schlägt sich derzeit mit rund einem halben Cent pro Kubikmeter Trinkwasser auf den Wasserpreis nieder. Das Münchner Trinkwasser weist konstant eine gute Qualität auf und kann ohne Behandlung wie Chlorung, Entmineralisierung oder Aufwertung mit zusätzlichen Stoffen vom Verbraucher genutzt werden. Somit tragen diese Maßnahmen in Kooperation von Landwirtschaft und Wasserwirtschaft auch zum langfristigen Erhalt des guten chemischen Zustands des Grundwassers nach WRRL und zur Verminderung von Schadstoffeinträgen in die Oberflächengewässer bei.

4.3 Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband

Der Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV) mit Sitz in Brake an der Unterweser zählt mit einer jährlichen Trinkwasserabgabe von 77 Millionen Kubikmetern und circa einer Million Kunden zu den zehn größten Wasserversorgern Deutschlands. Das Trinkwasser wird ausschließlich aus Grundwasser aufbereitet (AUE, 2017).

Der OOWV fördert im Oldenburger Münsterland aus einer Tiefe bis 160 Meter Grundwasser von hervorragender Qualität und bereitet es in seinen Wasserwerken mittels Belüftung, Entfernung von Eisen und Mangan zu Trinkwasser auf. So gut diese Werte auch sind, so alarmierend sind die Messergebnisse im flachen Grundwasser. Die Auswertung der 422 Vorfeldmessstellen im Verbandsgebiet im Jahr 2014 zeigte, dass in 31 Prozent aller Messstellen im flachen Grundwasser bis fünf Meter unter Grundwasseroberfläche unter allen Nutzungen mehr als 25 Milligramm Nitrat pro Liter gemessen wurden und in 21 Prozent der Messstellen der Grenzwert von 50 Milligramm überschritten wurde.

Das südliche OOWV-Verbandsgebiet liegt in einer Region, die seit den 1970er-Jahren als intensiv genutzter Veredelungsstandort bekannt ist. Die Folgen der flächenungebundenen Tierhaltung zeigten sich bereits in den 1980er-Jahren in dem südlichsten OOWV-Wasserwerk Holdorf im Landkreis Vechta. Dort mussten sieben der 14 Förderbrunnen 1986 vertieft werden, um den Grenzwert von 50 Milligramm Nitrat im abzugebenden Trinkwasser einhalten zu können. Da der OOWV auch eine satzungsbegründete Verpflichtung zum Ressourcenschutz hat, setzt er – statt auf eine bisher einzige „Sofortmaßnahme“ – heute prinzipiell auf präventiven Grundwasserschutz. Und die Bemühungen haben sich gelohnt: 30 Jahre nach Beginn der Sanierung der Trinkwasserressourcen im Gewinnungsgebiet Holdorf gibt der OOWV im Jahr 2016 das Trinkwasser mit einer Konzentration von nur fünf Milligramm Nitrat pro Liter an seine Kunden ab. Das OOWV-Grundwasserschutzprogramm besteht aus folgenden Maßnahmen:

- **Aufforstung** und Umsetzung von Kompensationsverpflichtungen: Der OOWV hat in den vergangenen 5 Jahren rund 2 500 Hektar Landwirtschaftsfläche für 45 bis 50 Millionen Euro gekauft, davon wurden 1 000 Hektar aufgeforstet.
- Förderung des **Ökologischen Landbaus**: Auf 1 000 Hektar wird innerhalb des Verbandsgebietes mit vergleichsweise geringem Stickstoffeinsatz und ohne synthetische Pflanzenschutzmittel gewirtschaftet, zum Teil mit Förderung des OOWV.
- Pachtvereinbarungen: Auf 1 500 Hektar werden Zielvorgaben umgesetzt und Kontrollen durchgeführt.
- **Kooperativer Grundwasserschutz**: Auf 30 000 Hektar, entsprechend 75 % der landwirtschaftlichen Flächen werden in den Trinkwassergewinnungsgebieten Maßnahmen zum vorbeugenden Grundwasserschutz mit Förderung über die Wasserentnahmegebühr des Landes Niedersachsen umgesetzt. Der OOWV nimmt seit Einführung dieses Programms an der Kooperationsarbeit teil.

Die freiwilligen Kooperationen zum Grundwasserschutz gibt es in Niedersachsen seit Einführung der Wasserentnahmegebühr 1992. 7,5 Cent pro Kubikmeter Trinkwasser werden als ehemaliger sog. „Wassergroschen“ über den Wasserversorger an das Land Niedersachsen abgeführt. 40 Prozent dieser Einnahmen, circa 17 Millionen Euro stellt das Land wiederum den Wasserversorgern jährlich für den kooperativen Grundwasserschutz in Wasserschutz- und Wassergewinnungsgebieten Niedersachsens bereit, d. h. für Aufwandsentschädigungen und Beratung in den derzeit rund 75 Kooperationen mit rund 314 000 Hektar.

Die Landwirte schließen innerhalb der Kooperation freiwillige Vereinbarungen ab und bekommen für die Umsetzung der Maßnahmen gemäß dem Kooperationsmodell des Landes Niedersachsen eine Entschädigung, die je nach Maßnahme zwischen 30 und 330 €/ha liegt. Die Einhaltung der Vorgaben wird kontrolliert. Auf OOWV-Pachtflächen gelten wesentlich strengere Anforderungen an die Reduktion der Düngung, so dass Düngungsabschläge von der erlaubten Düngermenge von über 50 Prozent vorgeschrieben sind.

Beim Biohof Bakenhus in der Nähe von Großenkneten, den der OOWV 1997 gekauft hat, werden Möglichkeiten zum Grund- und Trinkwasserschutz erforscht und angewandt und im Rahmen von Seminaren mit Interessierten diskutiert. Des Weiteren unterhält der Verband Besuchereinrichtungen wie die „Kaskade“ in Diekmannshausen, den „Trinkwasserlehrpfad“ in Nethen oder den „Rundweg Baum und Natur“ in Holdorf, wo den Besuchern vor Augen geführt wird, wie Trinkwasser gewonnen, aufbereitet und an die Verbraucher weitergeleitet wird.



Abb.6: OOWV-Trinkwasser-Lehrpfad beim Biohof Bakenhus

5. Modellierung möglicher Nitrat-Frachten im Warnow-Einzugsgebiet

Für das gesamte Warnow-Einzugsgebiet und seine wichtigsten Teileinzugsgebiete wurde im Auftrag des BUND-Landesverbandes Mecklenburg-Vorpommern an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock, Professur für Bodenphysik erstmalig ein ökohydrologisches Modell konstruiert, um Nitratfrachten bei unterschiedlicher Landbewirtschaftung abzubilden. (BAUWE und LENNARTZ, 2018, im Anhang) Grundlage hierfür war ein hydrologisches Modell, welches in der Lage ist, Durchflüsse über einen langen Zeitraum realistisch wiederzugeben. Darauf aufbauend wurden nach umfangreicher Kalibrierung Nitratfrachten für die gegebene Landbewirtschaftung simuliert. Es zeigte sich, dass das verwendete Modell in der Lage war, gemessene Nitratfrachten gut bis sehr gut für die Teileinzugsgebiete der Warnow und den Gebietsauslass abzubilden. In einem nächsten Schritt wurde die Landbewirtschaftung in einer Weise modifiziert, dass für ein Extensivierungsszenario die Düngegaben gegenüber dem Referenzszenario halbiert wurden und für ein Ökoszenario die Landbewirtschaftung komplett auf Ökolandbau umgestellt wurde. Die Simulationsergebnisse ergaben sowohl für das Extensivierungsszenario (im Mittel 1,4 kg NO₃-N/ha a) als auch für das Ökoszenario (1,2 kg NO₃-N/ha a) deutlich verringerte Nitratfrachten in den Oberflächengewässern gegenüber dem Referenzszenario (5,4 kg NO₃-N/ha a). Die Frachtreduktionen beim Extensivierungs- und Ökoszenario ähnelten sich und betrug 73 bzw. 75 %. Ursächlich für die enormen Frachtreduktionen waren fundamentale Unterschiede im Stickstoffmanagement der einzelnen Szenarien. Die Stickstoffbilanz war beim Referenzszenario deutlich positiv. Im Gegensatz dazu waren die Stickstoffbilanzen beim Extensivierungs- und Ökoszenario auf Einzugsgebietsebene relativ ähnlich und leicht negativ.

Die im Mittel verringerten Düngegaben beim Ökoszenario im Vergleich zum Extensivierungsszenario wurden nahezu vollständig durch die Fixierung von Luftstickstoff durch Leguminosen (Klee gras, Lupine) ausgeglichen.

6. BIO-Modellregion Warnow

Öko-Modellregionen in Deutschland und Bio-Regionen in Österreich bilden den konzeptionellen Rahmen für Initiativen, die den Ökolandbau in ihren Kommunen im Zusammenhang mit einer nachhaltigen Regionalentwicklung voran bringen wollen. Hervorragendes Beispiel sind die staatlich anerkannten Öko-Modellregionen in Bayern und die Öko-Modellregion Nürnberg, Nürnberger Land, Roth (BUND, 2015). Aus den erfolgreichen Konzepten und den langjährigen Erfahrungen zahlreicher Bio-Modellregionen werden im Folgenden erste Ideen bzw. Maßnahmevorschläge für eine mögliche BIO-Modellregion Warnow skizziert.

In einer möglichen **BIO-Modellregion Warnow** sollten alle Maßnahmen im gesamten Warnow-Einzugsgebiet so gestaltet werden, dass so wenige Nährstoffe wie möglich in die Warnow gelangen. Das betrifft die Landbewirtschaftung, die flächengebundene, artgerechte Nutztierhaltung aber auch die nachhaltige touristische und wirtschaftliche Entwicklung im Einzugsgebiet der Warnow.

Die konzeptionelle Entwicklung der BIO-Modellregion Warnow sollte durch einen **Projektmanager/in** erfolgen, dessen Aufgabe es ist, allgemein, die BIO-Modellregion Warnow voranzubringen u. a. durch die Erschließung entsprechender Fördermöglichkeiten zur Realisierung der Maßnahmevorschläge und durch Netzwerkarbeit mit den regionalen Akteuren.

Folgende Maßnahmevorschläge sollten in den vier Arbeitsfeldern gleichzeitig bearbeitet werden:

1. Landnutzung und Nutztierhaltung

- Das gesamte Warnow-Einzugsgebiet wird landwirtschaftlich extensiviert oder auf ökologischen Landbau umgestellt. Für die Extensivierung sollte der Stickstoff-Einsatz in allen Kulturen um die Hälfte verringert werden. Für die Umstellung auf ökologischen Landbau gelten die allgemeinen EU-Bio-Richtlinien, d. h. u. a. freiwilliger Verzicht auf chemisch-synthetischen Stickstoff. Die ökologische Landwirtschaft muss so praktiziert werden, dass es durch kluges Stickstoffmanagement zu keiner wesentlichen N-Auswaschung kommt. Durch die Anpassung der Anbaustruktur und der Anbauverfahren wird der N-Austrag deutlich reduziert.
- Die Förderung der Extensivierung sollte über eine regionale Förderrichtlinie zur Extensivierung landwirtschaftlicher Flächen finanziert werden. Die Umstellung auf ökologischen Landbau kann nach den landesüblichen Fördersätzen für die Umstellung auf und die Beibehaltung des ökologischen Landbaus erfolgen.

- Die flächengebundene Nutztierhaltung sollte artgerecht und bäuerlich erfolgen und einen oberen Tierbesatz von unter 2 GV/ha einhalten.
- Auflage eines Festmist- und Kompostprogramms für die gesamte Region.
- Auflage eines Bio-Heumilch-Programms für Milchkühe auf der Futterbasis frisches Grünfutter im Sommer und Heu im Winter.
- Auflage eines Bio-Weidemilch-Programms für Milchkühe, bei dem die Milchkühe in der Zeit von Ende April bis Ende Oktober des Jahres an mindestens 120 Tagen im Jahr mindestens sechs Stunden täglich auf der Weide grasen.
- Einstellung eines Fach-Beraters für Boden- und Gewässerschutz für die Warnow-Region, der sowohl die Umstellungsberatung als auch die besonderen Anforderungen des Boden- und Gewässerschutz für die praktizierenden Landwirte vermitteln kann.

2. Verarbeitung und Vermarktung regionaler und ökologischer Produkte

- Aufbau und Entwicklung der Bio-Wertschöpfungsketten Fleisch, Gemüse und Obst sowie Wild und Fisch in der Warnow-Region von der Erzeugung, der Lagerung, Verarbeitung bis zur Vermarktung.
- Aufbau und Vernetzung von Regional- und Bio-Hofläden als Zentren der Nahversorgung und entlang der touristischen Infrastruktur, wie Fernradwege und entlang der Warnow.
- Bessere Vernetzung von ökologischen Erzeuger- mit Verarbeitungs- und Handels-Betrieben bzw. -Firmen in Form einer regionalen Online Warenbank.
- Logistische Nutzung erfolgreicher Regional-Vermarkter wie „BIOFRISCH Nordost“ für Bio-Produkte und „Meck Schweizer“, einer Regionalvermarktungsinitiative in der Mecklenburgischen Schweiz.
- Entwicklung einer regionalen Bio-Eigenmarke mit dem Namen „BIO von der Warnow“.
- Initiative für eine BIOStadt Rostock als erste ostdeutsche Stadt im Netzwerk der deutschen BIO-Städte.

3. Naturverträglicher Tourismus und Erholung

- Förderung und Entwicklung naturverträglicher Tourismusangebote und Erholungsnutzungen in der Warnow-Region.
- Ausbau der Infrastruktur an der Warnow durch Ausbau der attraktiven Anlegeplätze und Rastmöglichkeiten für Kanu-, Kajak- und andere Freizeit-Boote.
- Wiederbelebung der Personenschiffahrt auf der Oberwarnow zwischen Schwaan und Bützow mit einem Boot mit umweltschonendem Antrieb.
- Entwicklung eines regionalen Radwegenetzes entlang der Warnow und sinnvolle Anbindung an die beiden internationalen Fernradwege Berlin-Kopenhagen und Hamburg-Rügen.

4. Öffentlichkeitsarbeit und Verbraucheraufklärung

- Verbesserung der Verbraucheraufklärung. Informationskampagne für Verbraucher zum Ökolandbau und zu den ökologischen Produkten aus der Warnow-Region.
- Bessere Vernetzung der Initiativen des ökologischen Landbaus mit der Gesundheitswirtschaft, dem Naturschutz, der regionalen, landestypischen Gastronomie und den regionalen Kulturangeboten in der Warnow-Region.

7. Diskussion

Die vorliegende BUND-Studie zur BIO-Modellregion Warnow beschreibt erstmalig den Versuch, die vorhandenen Nährstoffeinträge in einem Flusseinzugsgebiet durch die Veränderung der Landbewirtschaftung im Modell nachhaltig zu verringern. Die Kombination von Extensivierung der Landbewirtschaftung mit der Umstellung auf Ökolandbau könnte nach Berechnungen von BAUWE und LENNARTZ (2018) zu einer Stickstoffreduktion von 70 %–76 % der herkömmlichen industriellen Pflanzenproduktion führen.

Die gesamten deutschen Ostseegewässer waren 2011–2016 weiterhin von **Eutrophierung** betroffen. Die betrachteten Indikatoren zeigten keine Veränderung zur letzten Bewertung. Die Konzentrationen von Gesamtstickstoff und -phosphor in den Mündungen der meisten deutschen Flüsse überschreiten weiterhin die Bewirtschaftungsziele. Die Landwirtschaft trug 2012–2014 78 % der Stickstoff- und 51 % der Phosphoreinträge in die deutschen Ostseegewässer bei. Um die Eutrophierung der Meeresumwelt zurückzuführen, empfiehlt die Facharbeitsgruppe „Wasserrahmenrichtlinie“ des Bund/Länder-Messprogramms Nord- und Ostsee (BLMP) schnellstmöglich sicherzustellen, dass in Fließgewässern des Binnenlands 3 mg/l Gesamtstickstoff als Jahresmittelwert eingehalten werden. Ein Vergleich der mittleren Nitrat-Stickstoff- und Gesamt-Stickstoff-Konzentrationen in ausgewählten Ostseezuflüssen Mecklenburg-Vorpommerns zeigt, dass zur Erreichung dieser Zielstellung noch erhebliche Anstrengungen zur Reduzierung der Stickstoffeinträge im Binnenland unternommen werden müssen.

Die **Warnow** ist der einzige Ostseezufluss Mecklenburg-Vorpommerns, in dessen Mündungsbereich der festgelegte Zielwert von 3 mg/l im langjährigen Mittel der Zeitreihe 2007–2011 erreicht wurde. In abflussreichen Jahren wird er noch geringfügig überschritten. Neben den dränierten Flächen ist der hohe Grad der Verrohrung für extrem hohe Nitratbelastungen in landwirtschaftlichen Vorflutern Mecklenburg-Vorpommerns hauptverantwortlich. Die Messstellen der Warnow und Recknitz weisen ein mittleres Konzentrationsniveau von 1,5-3 mg/l NO₃-N mit leicht abnehmender Tendenz auf. Überschreitungen für Nitrat traten in Mecklenburg-Vorpommern ausnahmslos in kleinen Bächen und Gräben in intensiv ackerbaulich genutzten Regionen der Flussgebietseinheiten Warnow-Peene und Oder zumeist unterhalb von verrohrten Gewässerabschnitten auf. Zu Überschreitungen kam es vor allem in Jahren mit hohen Niederschlägen (LUNG, 2016).

Die zu reduzierenden N-Frachten werden sehr unterschiedlich angegeben. Schätzt das Umweltbundesamt (UBA, 2018) die N-Fracht aus der Warnow in die Ostsee mit 5 000 t/a, so berechneten BAUWE und LENNARTZ (2018) im Durchschnitt der Jahre die Nitratfracht der Warnow am Mühlendamm in Rostock mit 1 479 t/a.

Im Zeitraum 1993 bis 2013 ist der **Stickstoffüberschuss** bundesweit im gleitenden 5-Jahresmittel von 118 kg/ha/a auf 97 kg/ha/a gesunken. Das entspricht einem

Rückgang um 18 %. Damit wurden bis 2013 45 % der bis 2030 erwünschten Reduktion auf den von der Bundesregierung vorgegebenen Zielwert von 70 kg/ha/a erreicht (UBA (2018)). Mit den Neuregelungen der Düngeverordnung werden endlich auch Wirtschaftsdünger pflanzlichen Ursprungs, wie Gärreste aus Biogasanlagen in die Ausbringungsobergrenze für organische Düngemittel mit einbezogen und eine verpflichtende Düngeplanung nach konkreten Vorgaben eingeführt. Ab 2020 wird der zulässige Flächenbilanzüberschuss von vormals 60 auf 50 kg/ha/a im 3-jährigen Mittel gesenkt.

Für Mecklenburg-Vorpommern gaben KAPE und PÖPLAU (2009) nach Berechnung der Stickstoffsalden an, dass die Stickstoffüberhänge sehr schwanken z. B. beim Raps von 97 bis 145 kg/ha N, beim Winterweizen von 52 bis 86 kg/ha N, bei der Wintergerste von 40 bis 85 kg/ha N, beim Mais von 33 bis 138 kg/ha N und bei der Sommergerste sogar von einem negativen Jahressaldo -16 bis 43 kg/ha N. Die Düngeverordnung fordert ab dem Jahr 2011 einen maximalen Stickstoffüberhang von 60 kg/ha N. Dieser Zielwert wird bei den ausgewerteten Fruchtarten im Mittel der Jahre 2001 bis 2008 nur von der Zuckerrübe mit 59 kg/ha N und der Sommergerste mit 7 kg/ha N erreicht. Die Wintergetreidearten Wintergerste und Winterroggen sowie die Kartoffel liegen im Mittel mit einem Plus von 1 bis 4 kg/ha N nur geringfügig über diesem Zielwert. Auch der Winterweizen und die Wintertriticale liegen mit einem mittleren Plus von 7 bzw. 10 kg/ha N im Bereich des Zielwertes der Düngeverordnung. Dabei sind trotz geringerer Stickstoffeinsatzmengen auf den leichteren und mittleren Böden die Stickstoffbilanzüberhänge bei Raps und Wintergetreide über den Bilanzüberhängen der besseren Böden. KAPE und PÖPLAU schlussfolgern 2009 daraus, dass bei der Entscheidung zur Höhe der Stickstoffdüngung die Bodenqualität oft nicht ausreichend beachtet wurde bzw. zu berücksichtigen war, dass die Düngungseffizienz auf den leichteren Böden in der Regel geringer als auf den besseren Standorten ist, so dass auch dieser Umstand zu den höheren Stickstoffbilanzüberhängen auf den leichteren Böden führt. Da die leichteren Böden ein geringeres Nährstoffspeicherungspotential haben und auch die Wasserhaltefähigkeit geringer ist, sind hier die größeren Probleme hinsichtlich einer Umweltgefährdung durch Stickstoffeinträge zu sehen.

Laut LUNG (2018) liegen die Ursachen für die unterschiedliche Nitratbelastung in der verschiedenartigen Bodengeologie, Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung und Naturraumausstattung der Einzugsgebiete der Gewässer. Der bereits früher erkannte enge Zusammenhang zwischen Ackerflächenanteil im Einzugsgebiet und Nitratkonzentration im Gewässer konnte wiederum bestätigt werden. Die höchsten Nitratbelastungen wurden in kleinen Gewässern registriert, in denen der Ackerflächenanteil im Einzugsgebiet über 70 % lag. In solchen Gewässern wurde auch die Umweltqualitätsnorm für Nitrat überschritten. Danach werden die höchsten Belastungen durch Nitrat vor Beginn und am Ende des Winters gemessen, zu einem Zeitpunkt also, in dem ausgebrachter Wirtschaftsdünger kaum durch Pflanzen gebunden wird und die vertikalen Sickerwasserbewegungen am höchsten sind.

Andererseits werden in Gewässern, deren Einzugsgebiet einen geringen Acker-

flächenanteil und einen hohen Grad der Naturraumausstattung hinsichtlich retentionswirksamer Bestandteile wie hohe Anteile an Wald, Moor und durchflossenen Seen aufweisen, die niedrigsten Nitratkonzentrationen gemessen. Dies trifft sowohl auf mittelgroße Gewässer zu, die Seen durchfließen, wie z. B. die Mildnitz, der Oberlauf der Warnow und die obere Havel, als auch auf kleine Gewässer mit niedrigem Ackerflächenanteil im Einzugsgebiet.

Bei der **Verminderung der Stickstoffeinträge in die Ostsee** wurde das politische Ziel der 50%-Reduktion von den Ostseeanrainern nicht erreicht. In Mecklenburg-Vorpommern wurden im Mittel zwischen 1990 und 2000 jedoch überdurchschnittliche Reduktionen von ca. 30–40 % erzielt, die zu gleichen Anteilen der Schließung der Punktquellen und der Reduktion der diffusen Einträge aus der Landwirtschaft zuzurechnen sind. Die Reduktion der Stickstoffüberschüsse auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen betrug 50–60 %. Zurzeit sind 60–70 % aller Stickstoffeinträge des Landes in die Ostsee den diffusen Einträgen aus den landwirtschaftlichen Flächen zuzuordnen (ANONYM, 2018).

Nach Berechnungen vom Institut für ökologische Forschung und Planung biota-GmbH verbleiben jährlich ca. 111 800 t/a N oder 50 kg/ha/a verlagerbares N im Boden von Mecklenburg-Vorpommern (LUNG, 2016). Bei den modellierten landwirtschaftlichen mittleren **Stickstoffbilanzen** der Jahre 2005 bis 2010 auf Einzugsgebietsebene ergaben sich im Landesmittel ein Wert von ca. 65 kg/ha/a N bezogen auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im Mittel summieren sich die Einträge auf ca. 91 100 t/a N. Insgesamt gelangen jährlich ca. 32 270 t/a N aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer.

Um die Qualitätsnorm von Grundwasser von 50 mg/L NO₃ langfristig einzuhalten, sollte die Nitratkonzentration bereits im Sickerwasser diesen EU-Schwellenwert nicht überschreiten. Um die heutige durchschnittliche Konzentration von 72 mg/L NO₃ auf diesen Wert zu senken, müssten – bei gleichbleibenden atmosphärischen Einträgen – die landwirtschaftlichen Bilanzüberschüsse flächendeckend einen Wert von 60 kg/ha/a deutlich unterschreiten. Der mittlere Reduktionsbedarf der absoluten N-Bilanzüberschüsse gegenüber heute liegt bei 41 500 t/a N von derzeit 91 100 t/a N. Auf Flächen mit Minderungsbedarf beträgt dieser durchschnittlich 42 kg/ha/a N.

Zur Erreichung der Meeresschutzziele sollen die durchschnittlichen N-Gesamtgehalte in den Zuflüssen in die Ostsee 2,6 mg/L N nicht überschreiten. Für die Ostsee besteht ein Minderungsbedarf von 44 % der aktuellen Frachten um rd. 5 000 t. Wegen der Variabilität der Einzugsgebiete und deren Entfernung zum Meer sind die sich daraus ergebenden maximalen Bilanzüberschüsse sehr unterschiedlich. Der N-Minderungsbedarf schwankt zwischen 10 und 50 kg/ha/a N. In vielen Regionen Mecklenburg-Vorpommerns wird durch eine konsequente Umsetzung der geltenden Düngeverordnung ein signifikanter Rückgang der N-Einträge in die Gewässer erreicht werden können. Eine Begrenzung der N-Bilanzsalden auf maximal 50 kg/ha/a N hätte eine Reduzierung der N-Einträge um rd. 10 000 t/a (31 %) zur Folge. Dies würde in einigen Regionen Mecklenburg-Vorpommerns genügen, um die Meeres-

schutzziele zu erreichen, nicht jedoch die für das Grundwasser. Um das Grundwasserschutzziel flächendeckend zu einzuhalten, ist eine Reduzierung der N-Einträge von weiteren 20 500 N t/a erforderlich. Es geht also um eine Reduktion der N-Bilanzsalden auf maximal 100kg/ha/a, oder 62 %, um sowohl die Grundwasser- als auch die Meeresschutzziele zu erreichen. Nach den nun vorliegenden, simulierten N-Frachten von 70–76 %, wäre es möglich, durch Extensivierung oder Ökolandbau diese Ziele im Warnow-Einzugsgebiet nachhaltig zu erreichen.

Als N-Minderungsmaßnahmen werden vom LUNG (2015) aktuell fünf Szenarien empfohlen:

1. Szenario „DüV 60“: Die konsequente Umsetzung der zuletzt 2012 novellierten Düngeverordnung, d.h. eine Begrenzung des N-Bilanzüberschusses der Landwirtschaft auf 60 kg/ha/a.
2. Szenario „DüV 50“: Absenkung des zulässigen N-Bilanzüberschusses der Landwirtschaft auf 50 kg/ha/a LN.
3. Szenario „DüV-Mais“: Reduktion der N-Bilanzsalden bei Mais um 40 kg/ha/a durch Unterlassen von Gülle- und Gärrestausbringung nach der Ernte, da aufgrund der zeitlichen Einordnung kein Düngbedarf einer Folgekultur besteht.
4. Szenario „DüV-Weizen“: Reduktion der N-Bilanzsalden bei Weizen nach Getreide und sonst. Früchten um ca. 12 kg/ha/a und bei Weizen nach Raps um ca. 27 kg/ha/a gegenüber dem jetzigen Niveau, da nach der Novelle der DüV das Ergebnis der Düngbedarfsermittlung verbindlich einzuhalten ist und insbesondere Raps einen anzurechnenden Nährstoffgehalt im Boden hinterlässt.
5. Szenario „DüV-Raps“ mit drei Varianten: Reduktion der N-Bilanzsalden bei Raps um 15 bzw. 30 kg/ha/a (Raps15 bzw. Raps30), und insbesondere nach Wintergerste (RapsGerste30), in Abhängigkeit von der N-Aufnahme im Herbst und Berücksichtigung bei der 1. Frühjahrsgabe unter Nachweis eines entsprechenden Düngedarfs.

Ökologischer Landbau als N-Minderungsmaßnahmen kommt dabei leider nicht vor.

Was wurde auf Landesebene bisher unternommen bzw. als **N-Minderungsmaßnahmen** geplant?

Zur Entwicklung geeigneter Maßnahmen zur Minderung der diffusen Stoffeinträge in die Gewässer wurde im Juni 2007 im Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz (LU) eine **Arbeitsgruppe „Diffuse Nährstoffeinträge“** innerhalb der Allianz Umwelt und Landwirtschaft gegründet (LUNG 2016). In diesem Gremium verständigen sich seither regelmäßig die Landwirtschafts- und Wasserwirtschaftsverwaltung, Naturschutzverbände, wie der BUND sowie der Bauernverband M-V unter Beteiligung von Experten über notwendige Schritte zur Reduzierung der diffusen Nährstoffbelastungen. Die Fachthemen und Schwerpunkte zur Reduzierung der Gewässerbelastung durch diffuse Nährstoffe werden auf Ebene der Fachbehörden bzw. -stellen unter Federführung des LUNG bearbeitet. Mit dem Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in M-V legten die Landwirtschafts- und Wasserwirtschaftsverwaltung Mecklenburg-Vorpommerns 2011 eine gemeinsame Strategie zur Umsetzung der Anforderungen an die Minde-

rung der Nährstoffbelastung in den Gewässern vor. Im Jahr 2016 erfolgte eine Fortschreibung für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum 2016–2021. Die Strategie zur Ableitung von Minderungsmaßnahmen fußt auf folgenden wesentlichen Punkten:

- 1. Reduzierung der diffusen Quellen hat erste Priorität.** Primär sind die rechtlichen Normen, die die Nährstoffausträge aus den Flächen betreffen, sicher und dauerhaft umzusetzen (Düngeverordnung, Bodenschutzgesetz, Klärschlammverordnung). Ergänzende freiwillige Maßnahmen sind die Teilnahme an Agrarumweltprogrammen (Förderungen), Landwirtschaftsforschung mit Praxisüberleitung und Landwirtschaftsberatung.
2. Auch bei Einhaltung aller geltenden Rechtsvorschriften und Regeln der guten fachlichen Praxis unter Aufrechterhaltung einer wettbewerbsfähigen Landwirtschaft gibt es **unvermeidbare Nährstoffausträge**. Diese werden voraussichtlich noch immer zu hoch für die Zielerreichung der WRRL sein.
- 3. Ergänzende Reduzierungsmöglichkeiten durch landwirtschaftliches Wassermanagement werden geprüft.** Diese Maßnahmen können ergänzend angewandt werden, wenn das Reduzierungspotenzial an den Quellen ausgeschöpft ist. Hierzu gehören u. a. die Anlage von Retentionsflächen, die kontrollierte Dränung, eine standortgerechte Gewässerunterhaltung und -entwicklung, die Anlage von Gewässerrandstreifen, Maßnahmen der Wald- und Forstwirtschaft wie Renaturierungen von Mooren und Nassstandorten, Neuaufforstung/Waldumbau u. a. m. Grundlage dieses Ansatzes ist die Nutzung der natürlichen Selbstreinigungsprozesse wie z. B. Denitrifikation, Sedimentation, Biomasseakkumulation.

Im Rahmen der Konzeptumsetzung wurden bislang erste Demonstrationsvorhaben zum Wassermanagement und zum Rückhalt von Nährstoffen in der Fläche konzipiert und z. T. umgesetzt. Dabei handelt es sich um die Vorhaben kontrollierte Dränung, Retentionsteiche (Dränteiche), Gewässerrandstreifen, Wiederherstellung von Feuchtgebieten, Wiedervernässung von Mooren, standortgerechte Gewässerunterhaltung und die Gewässerentwicklung bzw. Renaturierung. Zur Verbesserung der Gewässerstruktur (Durchgängigkeit, Rückbau von Wehren und Begradigungen) wurden bis 2015 insgesamt 400 Mio. Euro an investiven Mitteln bereitgestellt. Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur fördern gleichzeitig die Selbstreinigungskraft der Gewässer und tragen hierüber mit zu einer Verringerung von Nährstoffeinträgen in die Ostsee bei.

Das Land hat 2016 ein **Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft - Schwerpunkt Grundwasserschutz** aufgelegt. Dort wurden entsprechende Praxisüberleitung beschrieben, u. a.: - Reduzierung von N-Salden bei der Qualitätsweizenproduktion, Optimierung des Einsatzes von flüssigen organischen Düngemitteln, Verringerung von Nährstoffausträgen bei Raps und Wintergetreide auf leichten Standorten und eine gezielte Landwirtschaftsberatung zur Wasserrahmenrichtlinie eingefordert. Gleichzeitig wird empfohlen: Leguminosen freier Zwischenfruchtanbau, Untersaaten in wachsende Bestände, Flächenbegrünung durch zügige Wiederbestellung, extensive Bewirtschaftung von Grünland auf Gewässerrandstreifen sowie Anlage von Gewässerrandstreifen mit Feldgehölzen (HENNING, 2016).

HESS beschreibt 2017 die Leistungen des **Ökolandbaus** für den Grund- und Trinkwasserschutz und fasst seine Studie so zusammen: Die Ökologische Landwirtschaft schneidet aufgrund ihres Systemansatzes per se besser ab als die konventionelle Landwirtschaft. Es gibt eine hohe Synergie zwischen den Interessen des Ökolandbaus und denen der Wasserwirtschaft. Das betrifft insbesondere den Stickstoffeintrag. Denn Stickstoff steht dem Ökolandbau nur sehr begrenzt zur Verfügung, außerdem ist er der ertragslimitierende Faktor. Insofern ist jeder ökologisch wirtschaftende Landwirt sehr daran interessiert, den Stickstoff im System zu halten. Daher empfiehlt sich der Ökolandbau nicht nur zur Bewirtschaftung der Wasserschutzgebiete, sondern darüber hinaus generell zur grundwasserschonenden Landbewirtschaftung. Die Politik ist gefordert, die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass sich die positiven Beispiele des Grundwasserschutzes durch Ökolandbau weiter verbreiten. Dazu gehören auch Maßnahmen zur Vermeidung oder Internalisierung externalisierter Kosten.

Das FIBL fasst bereits 2007 eine Studie zur Eignung des ökologischen Landbaus zur Minimierung des Nitrataustrags ins Grundwasser ähnlich zusammen: Bei ökologischer Bewirtschaftung wird im Durchschnitt deutlich weniger Stickstoff ausgewaschen und das Risiko für Belastungen des Grundwassers ist aufgrund der geringeren Intensität und der geringeren Stickstoffbilanzüberschüsse im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft niedriger. Zudem sind Ökolandwirte aus eigenem Interesse bestrebt, Stickstoffverluste so gering wie möglich zu halten, weil deren Substitution nur begrenzt erlaubt und teuer ist. Die aus zahlreichen Untersuchungen abgeleitete durchschnittliche Nitratauswaschung auf ökologisch bewirtschafteten Flächen liegt im Ackerbau mit 21,9 und bei Dauergrünlandnutzung mit 13 kg N/ha/a. Im Vergleich dazu weisen konventionelle Flächen eine Auswaschung von 60 bzw. 31 kg/ha/a auf. Nach Umstellung auf ökologischen Landbau kommt es i. d. R. innerhalb weniger Jahre zu einer Abnahme der Stickstoffverluste auf den betreffenden Flächen.

Trotz der insgesamt deutlich günstigeren Einschätzung des Öko-Landbaus bezüglich des Nitrataustrags im Vergleich zu konventionellen Verfahren besteht auch im Öko-Landbau ein Risiko grundwasserbelastender Nitratauswaschung. Ein solches Risiko kann vor allem die Bodenbearbeitung nach Leguminosen und Hackfrüchten im zeitigen Herbst sowie der Einsatz von Wirtschaftsdüngern darstellen, wenn es nicht gelingt, den mineralisierten Stickstoff durch die Etablierung einer Folgekultur oder Zwischenfrucht wieder zu binden. Diesem Risiko kann der Öko-Landwirt durch Optimierung des Stickstoffmanagements begegnen. Für eine Kampagne „Grundwasserschutz durch Ökologischen Landbau“ werden folgende Elemente empfohlen: Vermarktungsförderung, Beratungsförderung, Flächenförderung und Öffentlichkeitsarbeit. Für die erfolgreiche Umstellung auf ökologischen Landbau hat dabei die erfolgreiche Vermarktung der Produkte entscheidenden Impulscharakter. Zwar sind alle Instrumente grundsätzlich gleichgewichtig anzuwenden, in der zeitlichen Abfolge gilt es jedoch zuerst, den Absatz der Produkte zu sichern.

Bei den skizzierten Ideen und Maßnahmevorschlägen für eine mögliche **BIO-Modellregion Warnow** hat die vorliegende Aufzählung keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Von der Idee, der politischen Willensbildung bis hin zu konkreten Maßnahmen in der Modellregion bedarf es oft längere Zeit und Beharrlichkeit bei den Akteuren. Öko-Modellregionen wurden entwickelt, um ökologischen Landbau und Regionalentwicklung durch gezieltes Regionalmanagement voranzubringen. Außerdem soll das Bewusstsein für Regionalität und ökologische Ernährung und dessen Beitrag für eine nachhaltige Regionalentwicklung gesteigert werden. Die Grundidee des Regionalmanagements ist es – ausgehend von Handlungskonzepten und durch den Einsatz von Regionalmanagern – die Entwicklung von Regionen und regionalen Teilräumen durch Projekt- und Netzwerkarbeit voranzutreiben. Das Regionalmanagement zielt darauf ab, die vorhandenen Potenziale in den Räumen zu erkennen, optimal zu erschließen und zu nutzen. Dadurch sollen die Schwächen einer Region möglichst kompensiert und die vorhandenen Stärken insbesondere bei den wirtschaftsnahen harten und weichen Standortfaktoren gesichert und weiter verbessert werden.

In Bayern gibt es bereits 12 erfolgreiche Öko-Modellregionen. Folgende vier Arbeitsfelder werden in den Öko-Modellregionen regional bearbeitet:

- Landwirtschaftliche Erzeugung einschließlich Gartenbau, Imkerei und Teichwirtschaft,
- Verarbeitung,
- Vermarktung, Gastronomie, Hotellerie, Gemeinschaftsverpflegung und
- Information und Bewusstseinsbildung.

Die Zusammenführung von Regionalentwicklung und Landwirtschaft über die Schnittstelle Regionalmarketing kann zu Synergieeffekten führen und somit für eine gesamte Region Impulse geben. Um diese Synergieeffekte zu optimieren ist allerdings ein kohärentes Bild der regionalen Entwicklung notwendig. Das Entwicklungsleitbild der Bioregion könnte eine derartige Kohärenz liefern.

Die **Bio-Modellregion Warnow** wäre bundesweit die erste Modellregion, in der alle Maßnahmen in einem Fluss-Einzugsgebiet so gestaltet werden, dass so wenige Nährstoffe wie möglich in die Warnow gelangen. Das betrifft die Landbewirtschaftung, die flächengebundene, artgerechte Nutztierhaltung, aber auch die nachhaltige touristische und wirtschaftliche Entwicklung im Einzugsgebiet der Warnow. Die Extensivierung und die Umstellung auf ökologischen Landbau wären dabei ein geeignetes Mittel zur Erreichung geringerer Nitratfrachten aus der Warnow und dadurch weniger Eutrophierung in den Küstengewässern der Ostsee.

8. Zusammenfassung

Die Ostsee ist nach wie vor von Eutrophierung bedroht. Besonders betroffen sind die Küstengewässer. Diese Überdüngung wird u.a. durch die intensive, industrielle Landwirtschaft verursacht. Übermäßige Düngergaben, vor allem Phosphor und Stickstoff, gelangen über die Luft, das Grundwasser und die Flüsse, wie z. B. die Warnow in die Ostsee. Die Ostseeanliegerstaaten haben sich verpflichtet, die Nährstoffeinträge bei Phosphat und Stickstoff über die Flüsse in Nord- und Ostsee um 50 % zu verringern. Für das Einzugsgebiet Warnow-Peene entsteht ein Minderungsbedarf für die Ostsee von 5 000 t Stickstoff/Jahr.

Das Land Mecklenburg-Vorpommern hat 2011 und 2016 ein Konzept zur Minderung diffuser Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft vorgelegt. Weder in den Maßnahme-, den Management-, noch in den Bewirtschaftungsplänen der Flüsse kommt der Ökologische Landbau als eine praktikable Möglichkeit zur Minderung des Stickstoffeintrages in die Oberflächengewässer bis heute vor.

Der Ökologische Landbau dient bundesweit seit Jahren erfolgreichen Wasserversorgungsunternehmen beim vorbeugenden Grund- bzw. Trinkwasserschutz.

Innerhalb des länderübergreifenden BUND-Projektes „Weitsicht für die Ostsee“ hat der BUND Landesverband Mecklenburg-Vorpommern darum erstmals eine Studie in Auftrag gegeben, um den Einfluss unterschiedlicher Landbewirtschaftung auf den Stickstoffaustrag in die Warnow zu berechnen. Dafür wurde an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock, Professur für Bodenphysik ein ökohydrologisches Modell konstruiert. Einerseits die Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion in Form einer Halbierung des Stickstoff-Einsatzes und andererseits die Umstellung auf ökologischen Landbau wurden in diesem Modell abgebildet und die Reduzierung des Stickstoffes im gesamten Warnow-Einzugsgebiet simuliert. Die Simulationsergebnisse ergaben sowohl für das Extensivierungsszenario (im Mittel 1,4 kg NO₃-N/ha a) als auch für das Ökoszenario (1,2 kg NO₃-N/ha a) deutlich verringerte Nitratfrachten in den Oberflächengewässern gegenüber dem Referenzszenario (5,4 kg NO₃-N/ha a). Die Frachtreduktionen beim Extensivierungs- und Ökoszenario ähnelten sich und betragen 73 bzw. 75 %.

Die enormen Frachtreduktionen werden von den fundamentalen Unterschieden im Stickstoffmanagement der einzelnen Szenarien verursacht. Die Stickstoffbilanz war beim Referenzszenario deutlich positiv. Im Gegensatz dazu waren die Stickstoffbilanzen beim Extensivierungs- und Ökoszenario auf Einzugsgebietsebene relativ ähnlich und leicht negativ.

Die eindeutigen Ergebnisse führten zu ersten Überlegungen, eine sogenannte BIO-Modellregion Warnow zu entwickeln. 20 Maßnahmevorschläge wurden folgenden vier Arbeitsfeldern zugeordnet: Landnutzung und Nutztierhaltung, Verarbeitung und Vermarktung, Tourismus und Erholung sowie Öffentlichkeitsarbeit und Verbrau-

cheraufklärung.

Die BIO-Modellregion Warnow wäre bundesweit die erste Modellregion, in der alle Maßnahmen in einem Fluss-Einzugsgebiet so gestaltet werden, dass so wenige Nährstoffe wie möglich in die Warnow gelangen. Das betrifft die Landbewirtschaftung, die flächengebundene, artgerechte Nutztierhaltung, aber auch die nachhaltige touristische und wirtschaftliche Entwicklung. Die Extensivierung und die Umstellung auf ökologischen Landbau wären dabei ein geeignetes Mittel zur Erreichung wesentlich geringerer Nitratfrachten aus der Warnow und dadurch deutlich weniger Eutrophierung in den Küstengewässern der Ostsee.

9. Literaturverzeichnis

- ANONYM (2016): Bericht zur Nährstoffbelastung der Ostsee.
www.eca.europa.eu/de/Pages/DocItem.aspx
- ANONYM (2018): Zustand der deutschen Ostseegewässer 2018.
www.meeresschutz.info/oeffentlichkeitsbeteiligung.html?file=files/.../2018...Ostsee
- ANONYM (2017): Wasserversorgung München im Mangfalltal.
http://www.wrrl-info.de/docs/wrrl_steckbrief_mangfall.pdf
- ANONYM (2018): Zustand der deutschen Ostseegewässer. Aktualisierung der Anfangsbewertung nach § 45c, der Beschreibung des guten Zustands der Meeresgewässer nach § 45d und der Festlegung von Zielen nach § 45e des Wasserhaushaltsgesetzes zur Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie.
http://www.meeresschutz.info/oeffentlichkeitsbeteiligung.html?file=files/meeresschutz/berichte/art8910/zyklus18/2018_Zustand_Ostsee_Entwurf.pdf
- AUE, Ch. (2017): Grenzen und Möglichkeiten des Grundwasserschutzes. Über steigende Nitratwerte und erfolgreiche Kooperationen zwischen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft.
www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten.../KAB_2017_163_168_Aue.pdf
- BAUWE, A. und LENNARTZ, B. (2018): Modellierung von Nitratfrachten bei unterschiedlicher Landbewirtschaftung (Realnutzung, Extensivierung, ökologischer Landbau) in die Oberflächengewässer des Einzugsgebiets der Warnow. Abschlussbericht. (unveröffentlicht)
- BUND (2015): Aktionsprogramm Mehr BIO in M-V.
https://www.bund-mecklenburg-vorpommern.de/fileadmin/mv/PDF/Energie/Broschuere_OEkolandbau_2016_komplett_web_kl.pdf
- FIBL (2007): Eignung des ökologischen Landbaus zur Minimierung des Nitrat-austrags ins Grundwasser.
<http://orgprints.org/id/file/57696>
- GÖTZE, K. (2014): Erfolgreich, nachhaltig und umweltverträglich Wirtschaften auf einem ökologischen Ackerbaubetrieb mit Mutterkuhhaltung.
https://www.gaea.de/userfiles/file/Downloads/2014/wasserschutztagung/goetze_wassergut_canitz_tagung.pdf
- HENNINGS, U. (2016): Vorsorgender Grundwasserschutz in Mecklenburg-Vorpommern.
https://www.lung.mv-regierung.de/dateien/gs_21_08_hennings.pdf
- HESS, J. (2017): Per es gut. Die Leistungen des Ökolandbaus für den Grund- und Trinkwasserschutz.
http://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2017/KAB_2017_118_122_He%C3%9F.pdf
- KAPE, H.-E. und PÖPLAU, R. (2009): Düngungsniveau und Nährstoffbilanzen auf dem Ackerland von MV – Stickstoff, Fachinformation der zuständigen Stelle für landwirtschaftliches Fachrecht und Beratung (LFB).
http://www.lms-beratung.de/upload/59/1260968508_16311_18966.pdf

- LUNG (2009): Bewirtschaftungsplan nach Art. 13 der Richtlinie 2000/60/EG für die Flussgebietseinheit WARNOW/PEENE.
http://www.wrrl-mv.de/doku/bekanntm/WarnowPeene/BP/BP_Warnow_Peene_Endredaktion.pdf
- LUNG (2013): Gewässergüteberichte, Bericht zur Entwicklung und zum Stand der Nährstoffbelastung der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns.
https://www.lung.mv-regierung.de/dateien/bericht_chemische_zustandsbewertung_der_ow_mvs_2007-2011.pdf
- LUNG (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.
http://www.wrrl-mv.de/doku/hintergrund/modellierung_naehrstoffeintraege_mv.pdf
Institut für Bio- und Geowissenschaften
- LUNG (2016): Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser – Fortschreibung für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum 2016 bis 2021.
<https://www.regierung-mv.de/serviceassistent/download?id=1575739>
- STALU (2011): Managementplan für das FFH-Gebiet DE 2138-302 Warnowtal mit Zuflüssen, Teilgebiet: Nördlicher Teilbereich.
<http://www.stalu-mv.de/serviceassistent/download?id=83901>
- UBA (2018): Eutrophierung der Ostsee.
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/ostsee/eutrophierung-der-ostsee#textpart-7>

Universität
Rostock



Traditio et Innovatio

**Modellierung von Nitratfrachten bei unterschiedlicher
Landbewirtschaftung (Realnutzung, Extensivierung,
ökologischer Landbau) in die Oberflächengewässer des
Einzugsgebiets der Warnow**

2. überarbeitete Auflage

im Auftrag des

BUND Landesverband Mecklenburg-Vorpommern

17.01.2019

Andreas Bauwe und Bernd Lennartz

Universität Rostock

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät

Professur für Bodenphysik

Justus-von-Liebig-Weg 6, 18059 Rostock

andreas.bauwe@uni-rostock.de

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	3
2	Einleitung.....	4
3	Material und Methoden	5
3.1	Untersuchungsgebiet	5
3.2	SWAT Modell und Modellierungsansatz	6
3.3	Eingangsdaten	7
3.3.1	Allgemein.....	7
3.3.2	Bewirtschaftung	7
3.3.2.1	Referenz- und Extensivierungsszenario	7
3.3.2.2	Ökoszenario	9
3.4	Sensitivitätsanalyse und Kalibrierung.....	10
4	Ergebnisse.....	10
4.1	Hydrologie	10
4.2	Nitratfrachten.....	13
4.2.1	Kalibrierung und Validierung des Referenzszenarios.....	13
4.2.2	Monatliche absolute Austräge	16
4.2.3	Jährliche flächengewichtete Austräge	18
4.2.4	Einfluss der Landnutzung	20
4.3	Stickstoffbilanz	21
4.3.1	Zufuhr	21
4.3.2	Abfuhr.....	22
4.3.3	Bilanz	24
5	Schlussbemerkungen.....	26
6	Literatur	26

1 Zusammenfassung

Für das Warnow-Einzugsgebiet und seine wichtigsten Teileinzugsgebiete wurde ein ökohydrologisches Modell konstruiert, um Nitratfrachten bei unterschiedlicher Landwirtschaft abzubilden. Grundlage hierfür war ein hydrologisches Modell, welches in der Lage ist, Durchflüsse über einen langen Zeitraum realistisch wiederzugeben. Darauf aufbauend wurden nach umfangreicher Kalibrierung Nitratfrachten für die gegebene Landwirtschaft simuliert. Es zeigte sich, dass das verwendete Modell in der Lage war, gemessene Nitratfrachten gut bis sehr gut für die Teileinzugsgebiete der Warnow und den Gebietsauslass abzubilden. In einem nächsten Schritt wurde die Landwirtschaft in einer Weise modifiziert, dass für ein Extensivierungsszenario die Düngegaben gegenüber dem Referenzszenario halbiert wurden und für ein Ökoszenario die Landwirtschaft komplett auf Ökolandbau umgestellt wurde. Die Simulationsergebnisse ergaben sowohl für das Extensivierungsszenario (im Mittel 1,4 kg NO₃-N/ha a) als auch für das Ökoszenario (1,2 kg NO₃-N/ha a) deutlich verringerte Nitratfrachten in den Oberflächengewässern gegenüber dem Referenzszenario (5,4 kg NO₃-N/ha a). Die Frachtreduktionen beim Extensivierungs- und Ökoszenario ähnelten sich und betragen 73 bzw. 75 %. Ursächlich für die enormen Frachtreduktionen waren fundamentale Unterschiede im Stickstoffmanagement der einzelnen Szenarien. Die Stickstoffbilanz war beim Referenzszenario deutlich positiv. Im Gegensatz dazu waren die Stickstoffbilanzen beim Extensivierungs- und Ökoszenario auf Einzugsgebietsebene relativ ähnlich und leicht negativ.

Bei der Interpretation der Daten sollte immer berücksichtigt werden, dass es sich hier um eine Modellstudie handelt, die auf vielfältigen Annahmen beruht und die Ergebnisse mit einem gewissen Fehler behaftet sind. Mit Modellstudien dieser Art können Tendenzen aufgezeigt werden, wie sich eine Zielgröße unter veränderten Randbedingungen verändert. Eine exakte Vorhersage in die Zukunft ist auf Grund der komplexen Wirkzusammenhänge in der Natur nicht möglich.

2 Einleitung

Ein Überangebot an Pflanzennährstoffen insbesondere von Stickstoff (N) und Phosphor kann zur Belastung und Eutrophierung von Oberflächengewässern führen. Zahlreiche Studien belegen, dass die diffusen Stoffeinträge aus der Landwirtschaft die Hauptquelle für Nährstoffe in die Grund- und Oberflächenwasserkörper einschließlich der Küstengewässer sind. Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000) fordert von den EU-Mitgliedsstaaten einen guten ökologischen Zustand von Wasserkörpern bis zum Jahr 2027. Verschiedene Maßnahmen können zur Verminderung der Nährstoffbelastung von Gewässern beitragen. Die Landwirtschaft spielt dabei eine zentrale Rolle, weil sie letztendlich regelt, wieviel an Nährstoff den Böden zugeführt wird. Die Landnutzungsintensität und damit das Düngerregime beeinflussen ebenso wie Fruchtfolgen und Bodenbearbeitung Nährstoffvorräte in Böden und damit das Nährstoffverlustpotenzial. Der eigentliche Austrag der Nährstoffe in Grund- und Oberflächengewässer hängt neben den Bodenvorräten maßgeblich vom Witterungsgeschehen und der Sickerwasser- und Abflussbildung ab.

Simulationsmodelle sind grundsätzlich dazu geeignet, die Wirkung von verschiedensten Landnutzungsszenarien auf die Gewässerqualität zu beurteilen. Voraussetzung ist, dass die Modelle die hydrologischen Prozesse in der Landschaft und die landwirtschaftlichen Prozesse, insbesondere Düngungsregime und Fruchtfolge, hinreichend genau beschreiben können.

Ziel der vorliegenden Studie war es, mit Hilfe eines sogenannten ökohydrologischen Modells den Einfluss unterschiedlicher Landwirtschaftspraktiken auf den Nährstoffaustrag am Beispiel des Stickstoffs in die Gewässer abzuschätzen. Ausgehend von einem *Referenzszenario* (Ist-Zustand) wird im Rahmen dieser Studie untersucht, wie sich die Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) Austräge in die Oberflächengewässer bei einer Extensivierung der Landwirtschaft (*Extensivierungsszenario*) und bei vollständiger Umstellung auf ökologische Landwirtschaft (*Ökoszenario*) entwickeln. Als Untersuchungsgebiet dient das Einzugsgebiet der Warnow in Nordostdeutschland. Für die Modellierung wurde das bewährte ökohydrologische Modell Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Arnold et al. 1998) verwendet. Um ein umfassendes Bild der unterschiedlichen Bewirtschaftung aufzeigen zu können, wurden neben dem Einzugsgebietsauslass sieben Teileinzugsgebiete hinsichtlich des Durchflusses und der Nitratfrachten über einen Zeitraum 20 Jahren untersucht.

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet

Das Warnow-Einzugsgebiet befindet sich in Mecklenburg-Vorpommern (Nordostdeutschland) und nimmt eine Fläche von 3041 km² ein (Abb. 1a). Die Warnow mündet in der Hansestadt Rostock in die Ostsee. Dieses Tieflandeinzugsgebiet erreicht Geländehöhen von 0 m über NN am Gebietsauslass bis 146 m an den Einzugsgebietsgrenzen (Abb. 1d). Das Klima ist atlantisch geprägt mit einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagshöhe von 647 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 9.1 °C. Das Einzugsgebiet ist durch Ackerland dominiert (58 %). Weitere relevante Landnutzungen sind Wald (21 %) und Grünland (13 %). Feuchtgebiete (4 %), besiedelte Gebiete (3 %) und offene Wasserflächen (<1 %) beanspruchen nur kleine Teile des Einzugsgebietes (Abb. 1c). Bedeutende Bodentypen sind Braunerden (40 %) und Parabraunerden (30 %). Typisch für die Region sind künstliche Dränagen. Es wird vermutet, dass entsprechend der digitalen Dränkarte des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern wenigstens 18 % des gesamten Einzugsgebietes künstlich gedrängt sind.

Neben dem Einzugsgebietsauslass der Warnow in Rostock wurden weitere bedeutende Teileinzugsgebiete mit den wichtigsten Warnow Zuflüssen mit in die Modellierung einbezogen. Dies sind im Einzelnen die Kösterbeck mit dem Pegel Kessin, die Zarnow mit dem Pegel Reez, die Beke mit dem Pegel Bröbberow, die Nebel mit dem Pegel Wolken, die Mildenitz mit dem Pegel Sternberger Burg, der Mühlenbach mit dem Pegel Sülten und schließlich die Obere Warnow mit dem Pegel Langenbrütz (Abb. 1b).

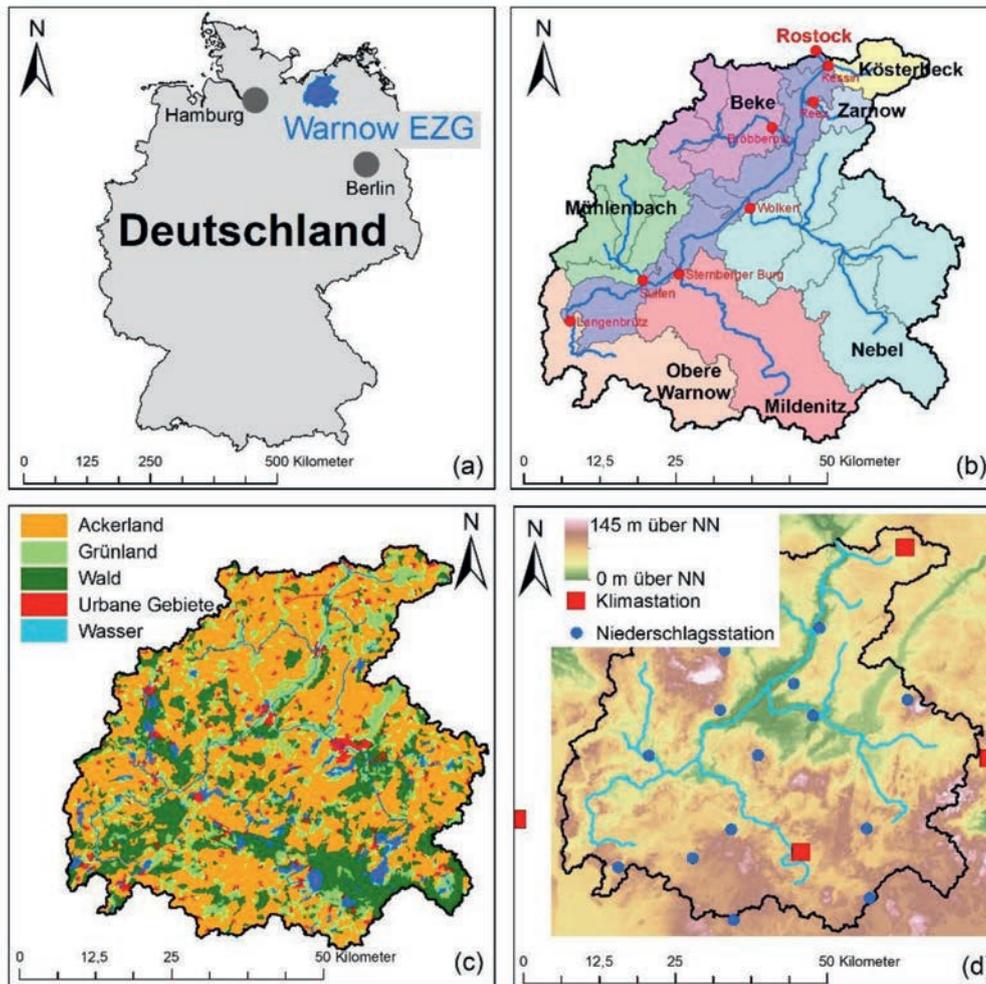


Abbildung 1 Untersuchungsgebiet mit Lage in Deutschland (a), Teileinzugsgebieten (b), Landnutzung (c) und Höhenmodell mit Klima- und Niederschlagsstationen (d).

3.2 SWAT Modell und Modellierungsansatz

Das Soil and Water Assessment Tool ist ein physikalisch basiertes ökohydrologisches Modell zur Vorhersage von Abfluss, Sediment- und Nährstofffrachten für kleine bis sehr große Einzugsgebiete in täglicher Auflösung (Neitsch et al. 2011). Das Modell teilt das Einzugsgebiet in Teileinzugsgebiete ein. Das Warnow-Einzugsgebiet wurde abgegrenzt unter Zuhilfenahme der Software ArcGIS 10.4 SP1, ArcSWAT Version 2012.10_4.19. Es besteht aus 29 Teileinzugsgebieten und demzufolge aus 29 Fließgewässern (Abb. 1b). Die kleinsten räumlichen Objekte in SWAT sind Hydrotone, welche sich aus der Überschneidung von Landnutzung, Bodentyp und Hangneigung ergeben. Insgesamt 491 Hydrotone bilden die räumliche Variabilität des Einzugsgebietes ab.

3.3 Eingangsdaten

3.3.1 Allgemein

Daten von 4 Klimastationen und 14 Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes wurden als meteorologische Eingangsgrößen genutzt. Diese Daten beinhalteten tägliche Werte für Niederschlag, Maximum- und Minimumtemperatur, Solarstrahlung, Windgeschwindigkeit und relative Luftfeuchte. CORINE Landnutzungskarten wurden zur Klassifizierung der Landnutzung im Einzugsgebiet verwendet. Die Bodenübersichtskarte 1:200000 (BÜK200) lieferte horizontbezogene bodenphysikalische Informationen und Bodentypen für die Region. Das digitale Geländemodell in einer Auflösung von 25 x 25 m wurde genutzt, um das Einzugsgebiet, Teileinzugsgebiete und Fließgewässer auszuweisen. Acht amtliche Durchflussmessstationen – betrieben durch die staatlichen Ämter für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg und Westmecklenburg – im Einzugsgebiet wurden genutzt, um den Durchfluss teileinzugsgebietsspezifisch zu kalibrieren und zu validieren. Hierbei wurden tägliche Durchflussdaten von 1992 bis 2001 für die Kalibrierung und Daten von 2002 bis 2011 für die Validierung genutzt. Lediglich für die Teileinzugsgebiete der Zarnow und der Nebel lagen nicht so lange Datenreihen vor, so dass hier die Zeitspanne 2002 bis 2006 für die Kalibrierung und 2007 bis 2011 für die Validierung genutzt wurde. Die Jahre 1985 bis 1991 dienten als Vorlaufphase.

Nitratkonzentrationen lagen in einer 14-tägigen bis monatlichen Auflösung vor. Tägliche Frachten wurden mittels linearer Regression unter Zuhilfenahme des R-Pakets *loadflex* (Appling et al. 2015) ermittelt. Diese täglichen Frachten wurden anschließend zu monatlichen Frachten aufsummiert. Die monatlichen Nitratfrachten bildeten die Basis für Modellierung der Nitratfrachten des Referenzszenarios.

3.3.2 Bewirtschaftung

3.3.2.1 Referenz- und Extensivierungsszenario

Den Ackerflächen wurden für das Referenz- und das Extensivierungsszenario typische Fruchtfolgen bestehend aus den Hauptfrüchten Winterweizen, Winterraps, Wintergerste, Mais und Zuckerrübe zugeordnet (Tabelle 1). Die einzelnen Früchte wurden realitätsnah entsprechend statistischer Jahrbücher (LAIV 2014) auf die Ackerflächen verteilt.

Tabelle 1 Ackerfrüchte für das Referenz- und Extensivierungsszenario.

Ackerfrucht	Fläche (ha)	Anteil (%)
Winterweizen	64202	40
Winterraps	42586	26
Wintergerste	32346	20
Mais	16451	10
Zuckerrübe	6340	4

Saat- und Erntetermine orientieren sich an den Gegebenheiten in der Region. Düngedaten (Tabelle 2) für das Referenzszenario wurden der Literatur entnommen (MLUV 2009). Das Extensivierungsszenario entspricht dem Referenzszenario mit dem einzigen Unterschied, dass die Düngegaben halbiert wurden. Es kamen sowohl mineralische Düngemittel als auch organischer Wirtschaftsdünger zum Einsatz. Die Ackerfrüchte erhielten zwei bis vier Düngeapplikationen pro Jahr.

Tabelle 2 Ackerfrüchte und Bewirtschaftungsmanagement für das Referenz- und das Extensivierungsszenario.

Frucht	Düngung			
	Saat	Ernte	N (kg/ha)**	P ₂ O ₅ -P (kg/ha)**
Winterweizen	1.10.*	10.8.	220 (110)	14 (7)
Winterraps	15.8.*	15.8.	240 (120)	26 (13)
Mais	15.4.	25.9.	180 (90)	30 (15)
Wintergerste	15.9.*	15.7.	180 (90)	14 (7)
Zuckerrübe	1.4.	15.10.	150 (75)	14 (7)

* - Vorjahr, ** - Die Zahlen beziehen sich auf das Referenzszenario und auf das Extensivierungsszenario (in Klammern).

Grünland erhielt pro Jahr 200 kg N/ha für das Referenz- und 100 kg N/ha für das Extensivierungsszenario. Die Flächen wurden viermal im Jahr gemäht.

3.3.2.2 Ökoszenario

Für das Ökoszenario wurde sämtlichen Ackerflächen im Einzugsgebiet eine einzige 7-gliedrige Fruchtfolge zugewiesen (Tabelle 3). Damit nicht auf der gesamten Ackerfläche des Einzugsgebiets die gleiche Frucht steht, wurde die Fruchtfolge auf das Einzugsgebiet flächenmäßig dahingehend aufgeteilt, dass in jedem beliebigen Jahr jedes Fruchtfolgeglied 1/7 der Ackerfläche im Einzugsgebiet in Anspruch nimmt. Somit gibt es in jedem Jahr einen Mix aus Früchten derselben Fruchtfolge im Einzugsgebiet. Um Brachzeiten zu vermeiden, wurde nach der Ernte von Winterweizen Weißklee als Zwischenfrucht angebaut. Nach der Lupinenernte schließt sich als Zwischenfrucht Ackergras an. Die Bewirtschaftung des Ökoszenarios mit Saat- und Ernteterminen sowie Düngegaben sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Fruchtfolge und Bewirtschaftungsmanagement für das Ökoszenario.

Jahr	Düngung				
	Frucht	Saat	Ernte	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ -P (kg/ha)
1	Kleegras	1.9.*	2.6., 20.7., 10.9.	0	0
2	Kleegras		2.6., 20.7., 10.9.	0	0
3	Mais	15.4.	25.9.	100	17
4	Winterweizen	1.10.*	10.8.	70	12
5	Lupine	1.4.	10.8.	0	0
6	Hafer	1.4.	15.8.	0	0
7	Winterroggen	1.10.*	10.8.	100	17

* - Vorjahr

Grünland beim Ökoszenario erhielt drei Düngegaben pro Jahr mit insgesamt 50 kg N/ha. Die Flächen wurden im Jahr wie beim Referenz- bzw. Extensivierungsszenario viermal gemäht.

3.4 Sensitivitätsanalyse und Kalibrierung

SWAT enthält eine Vielzahl an Parametern zur Kalibrierung des Modells. Um sensitive von nicht sensitiven Parametern zu unterscheiden, wurde für diese Studie zunächst eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. In dieser Sensitivitätsanalyse wurden 16 Parameter berücksichtigt, die das hydrologische Geschehen im Einzugsgebiet potenziell beeinflussen. Von diesen 16 Parametern wurden schließlich neun für die Kalibrierung ausgewählt. Die Kalibrierung erfolgte teileinzugsgebietsspezifisch, d.h. es wurde jedes Teileinzugsgebiet separat kalibriert. Die Kalibrierung erfolgte automatisch unter Nutzung der Software SWAT-CUP (SWAT-CUP 2012, version 5.1.6.2; Abbaspour 2014). Nachdem optimale Parametersätze für den Durchfluss ermittelt wurden, wurden die monatlich ermittelten Nitratfrachten für das Referenzszenario kalibriert. Für das Extensivierungs- und Ökoszenario fand keine weitere Kalibrierung statt. Hier wurde der Parametersatz des Referenzszenarios übernommen und es wurden lediglich Bewirtschaftungsdaten wie weiter oben beschrieben angepasst.

4 Ergebnisse

4.1 Hydrologie

Abb. 2 zeigt die gemessenen und modellierten Durchflüsse für alle Teileinzugsgebiete und den Gebietsauslass für den gesamten Modellierungszeitraum. Bei visueller Betrachtung der Durchflussganglinien zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung von gemessenen und simulierten Werten. Dies ist umso bemerkenswerter, da es sich beim Warnow-Einzugsgebiet um ein Tieflandeinzugsgebiet handelt, bei denen sich eine hydrologische Modellierung oftmals als schwierig herausstellt. Sowohl Basis- als auch Spitzenabflüsse werden gut dargestellt. Ebenso wird die jahreszeitliche Dynamik der Durchflüsse im Einzugsgebiet sehr gut abgebildet.

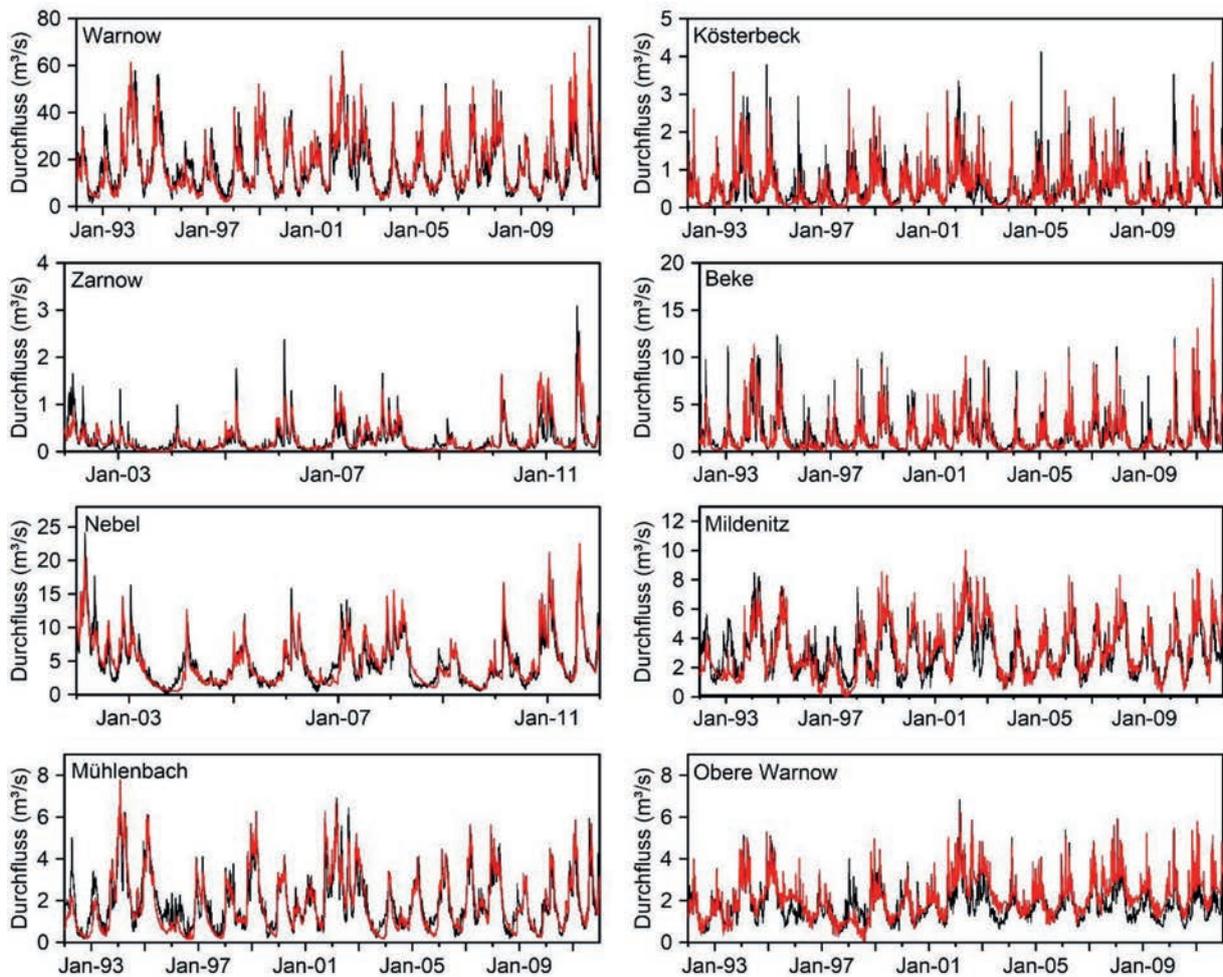


Abbildung 2 Gemessene (schwarze Linien) und simulierte (rote Linien) Durchflüsse für die komplette Simulationsperiode.

Für die Einschätzung der Güte einer Modellierung existieren verschiedene Güteindizes, die in der hydrologischen Modellierung Anwendung finden. Eines der populärsten Gütemaße ist der Nash-Sutcliffe-Index (NSI). Dieser nimmt Werte von $-\infty$ bis $+1$ ein, wobei 1 einer exakten Übereinstimmung von gemessenen und modellierten Werten entspricht. Ein NSI von >0 bedeutet, dass die Modellierung besser ist als das arithmetische Mittel sämtlicher gemessener Werte. Für die Kalibrierungsperiode wurden durchweg Werte $>0,5$ erreicht, was einer mindestens „befriedigenden“ Modellgüte entspricht (Tabelle 4). Für das gesamte Einzugsgebiet (Warnow) und für die Teileinzugsgebiete der Beke und des Mühlenbaches werden hinsichtlich NSI „gute“ Modellgüten erreicht. Mit einem NSI von $0,83$ im Teileinzugsgebiet der Nebel kann die Modellgüte mit „sehr gut“ eingeschätzt werden. Der NSI nimmt für die Validierungsperiode, abgesehen von der Oberen Warnow, ähnliche Werte an, was für ein robustes und hydrologisch stabiles Modell spricht. Als weiteres Maß für die Güte eines Modells hat sich der Percent Bias (PBIAS) bewährt. Dieser gibt an, ob die modellierten Werte die Messwerte tendenziell über-

oder unterschätzen. Ein Wert von 0 bedeutet eine exakte Übereinstimmung der Abflusssummen von Mess- und Modellwerten. Ein positiver Wert bedeutet eine tendenzielle Unterschätzung der Messwerte, wohingegen ein negativer Wert einer tendenziellen Überschätzung der simulierten Abflüsse gegenüber den Messwerten entspricht. Für das Einzugsgebiet der Warnow und seiner Teileinzugsgebiete wurden mindestens „befriedigende“ PBIAS-Werte für die Kalibrierungsperiode erreicht (Beke). In der Regel (drei Teileinzugsgebiete und Gesamtgebiet) wurden „gute“ Modellgüten hinsichtlich PBIAS erzielt. Für die Teileinzugsgebiete der Zarnow, der Nebel und der Oberen Warnow kann die Modellgüte hinsichtlich PBIAS sogar als „sehr gut“ eingestuft werden. Die PBIAS-Kenngrößen sind in der Validierungsperiode im Vergleich zur Kalibrierungsperiode kleiner, das bedeutet, dass in der zweiten Modellierungshälfte, die gemessenen Durchflüsse eher überschätzt werden. Trotzdem werden auch während der Validierungsperiode in der Regel mindestens „befriedigende“ Modellgüten hinsichtlich PBIAS erzielt. Die Bestimmtheitsmaße (R^2) erreichen ähnliche Modellgüten und vervollständigen Tabelle 4.

Tabelle 4 Modellgüte hinsichtlich Durchfluss für die Kalibrierungs- und Validierungsperiode. R^2 – Bestimmtheitsmaß, NSI – Nash-Sutcliffe-Index, PBIAS – Percent Bias.

	R^2		NSI		PBIAS	
	Kal.	Val.	Kal.	Val.	Kal.	Val.
Warnow	0,82**	0,85**	0,79**	0,79**	9,5**	-12,0*
Kösterbeck	0,69*	0,63*	0,64*	0,62*	9,9**	6,9**
Zarnow	0,63*	0,76**	0,63*	0,63*	1,8***	-21,7
Beke	0,80**	0,80**	0,78**	0,76**	10,1*	-1,9***
Nebel	0,84**	0,85**	0,83***	0,80**	2,2***	-9,4**
Mildenitz	0,59	0,68*	0,52*	0,55*	8,0**	-9,7**
Mühlenbach	0,80**	0,83**	0,72**	0,81***	6,6**	-0,2***
Obere Warnow	0,58	0,61*	0,55*	0,18	-1,1***	-28,4

*Befriedigend ($0,60 < R^2 \leq 0,75$; $0,50 < NSI \leq 0,70$; $\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$), **Gut ($0,75 < R^2 \leq 0,85$; $0,70 < NSI \leq 0,80$; $\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$), ***Sehr gut ($R^2 > 0,85$; $NSI > 0,80$; $PBIAS < \pm 5$) (nach Moriasi et al. 2015)

4.2 Nitratfrachten

4.2.1 Kalibrierung und Validierung des Referenzszenarios

Abb. 3 zeigt gemessene und modellierte monatliche Nitratfrachten für alle Teileinzugsgebiete und den Gebietsauslass. Zusätzlich wurden die Frachten aufsummiert, um Über- oder Unterschätzungen im Verlauf der Simulationsperiode aufzeigen zu können. Da die Nitratfrachten in Tonnen pro Monat angegeben sind und damit die Einzugsgebietsfläche in Abb. 3 keine Berücksichtigung findet, korrespondieren die Nitratausträge mit der Flächengröße. So ergeben sich konsequenter Weise die höchsten Frachten für das gesamte Einzugsgebiet (Warnow). Insgesamt wurde die Nitratdynamik vom Modell gut wiedergegeben. Nitratspitzen treten in der Regel in den Wintermonaten auf, während im Sommer auf Grund verringerter Durchflüsse die Nitratfrachten auf ein Minimum reduziert sind. Auffällig ist, dass einige Nitratspitzen vom Modell nicht optimal abgebildet werden konnten. Dies wird beispielsweise im Einzugsgebiet der Kösterbeck bei den vier größten Nitratspitzen deutlich. Besonders wichtig bei der Modellierung war die korrekte Abbildung der Nitratfrachten über lange Zeiträume und weniger eine exakte Darstellung individueller Ereignisse. Der rechte Teil der Abbildung zeigt die gute Übereinstimmung von Mess- und Modellwerten bezüglich der kumulierten monatlichen Frachten. Über einen längeren Zeitraum werden die gemessenen Nitratfrachten für die meisten Teileinzugsgebiete vom Modell leicht unterschätzt.

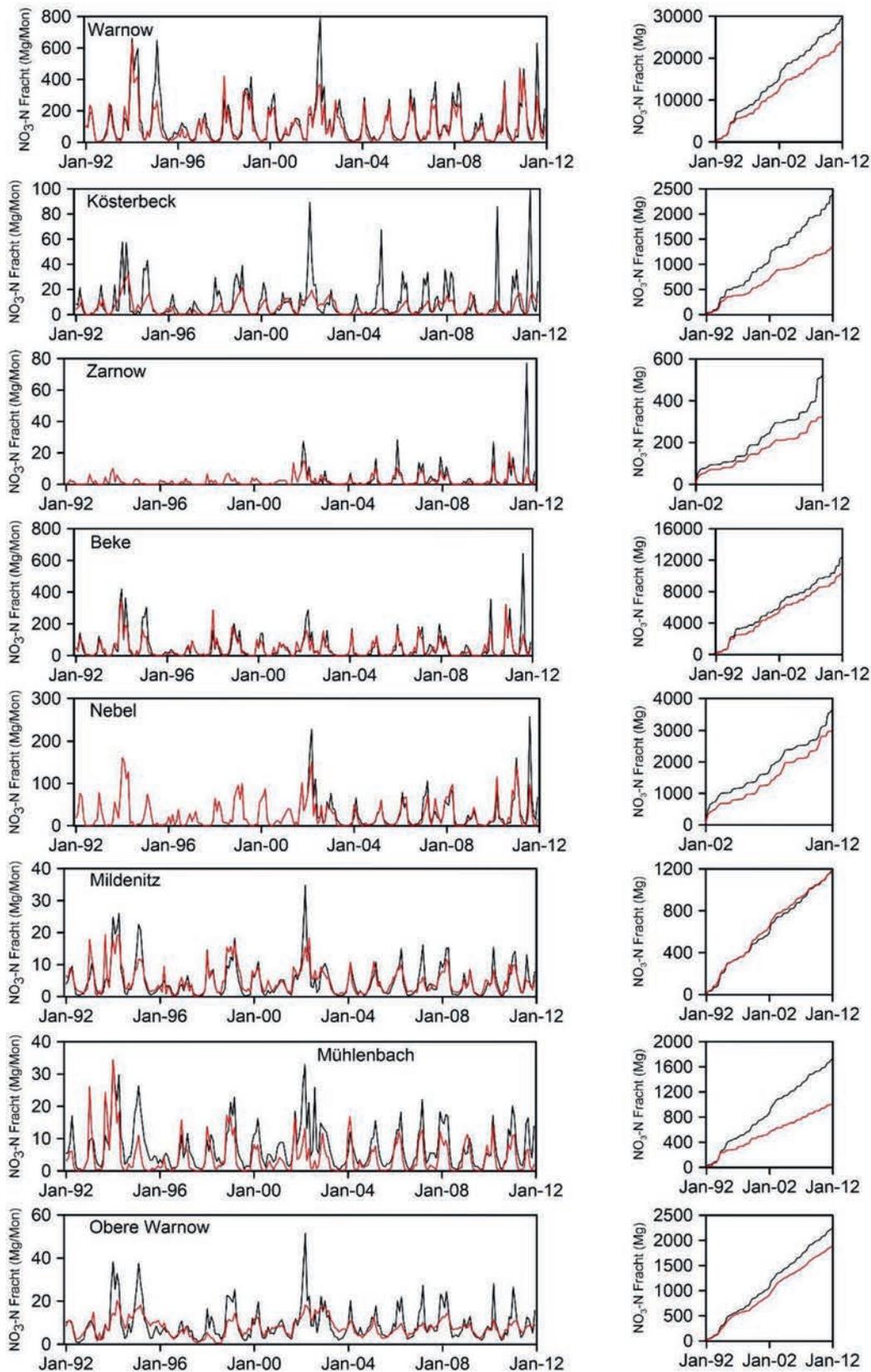


Abbildung 3 Gemessene (schwarze Linien) und simulierte (rote Linien) monatliche (links) und kumulierte (rechts) $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten für die komplette Simulationsperiode.

Als Zielfunktion für die Modellierung der monatlichen Nitratfrachten wurde ebenso wie beim Durchfluss der NSI gewählt (Tabelle 5). Hinsichtlich des NSI überwiegen „gute“ bis „sehr gute“ Modellgüten. Lediglich für die Teileinzugsgebiete der Kösterbeck, der Zarnow und des Mühlenbaches konnten in der Validierungsperiode keine „befriedigenden“ NSI-Werte simuliert werden. Für die Teileinzugsgebiete der Zarnow, der Beke, der Nebel, der Mildenitz sowie für den Gebietsauslass wurden „sehr gute“ Modellgüten hinsichtlich NSI während der Kalibrierungsperiode erzielt. Für die Validierungsperiode wurden in der Regel ähnliche NSI-Werte erreicht, wodurch die Stabilität und Robustheit des Modells unterstrichen wird. Die Analyse der PBIAS-Werte bestätigt die Fähigkeit des Modells, die Nitratfrachten auch in ihrer Summe über einen längeren Zeitraum realitätsnah abzubilden. Hinsichtlich dieses Parameters kann das Modell für sechs von acht getesteten Gebieten für die Kalibrierungsperiode als mindestens „befriedigend“ beurteilt werden. Lediglich die Teileinzugsgebiete der Kösterbeck und des Mühlenbaches bilden hier eine Ausnahme. Die Güte für die Kalibrierungsperiode wird in der Validierungsperiode nicht ganz erreicht. Insgesamt weisen die positiven PBIAS-Werte darauf hin, dass die gemessenen Nitratfrachten vom Modell etwas unterschätzt werden. Neben NSI und PBIAS sind in Tabelle 5 zusätzlich die Bestimmtheitsmaße R^2 angegeben.

Tabelle 5 Modellgüte hinsichtlich monatlicher Nitrat-Stickstoff-Frachten für die Kalibrierungs- und Validierungsperiode. R^2 – Bestimmtheitsmaß, NSI – Nash-Sutcliffe-Index, PBIAS – Percent Bias.

	R^2		NSI		PBIAS	
	Kal.	Val.	Kal.	Val.	Kal.	Val.
Warnow			0.77***	0.73***	17.2**	21.0*
Kösterbeck			0.43*	0.11	33.2	51.4
Zarnow			0.69***	0.25	23.8*	45.9
Beke			0.77***	0.57**	8.8***	24.1*
Nebel			0.79***	0.63**	22.7*	13.4***
Mildenitz			0.70***	0.65**	-9.8***	11.5***
Mühlenbach			0.39*	0.27	36.2	47.4
Obere Warnow			0.51**	0.40*	13.8***	17.6**

*Befriedigend ($0,30 < R^2 \leq 0,60$; $0,35 < NSI \leq 0,50$; $\pm 20 \leq PBIAS < \pm 30$), **Gut ($0,60 < R^2 \leq 0,70$; $0,50 < NSI \leq 0,65$; $\pm 15 \leq PBIAS < \pm 20$), ***Sehr gut ($R^2 > 0,70$; $NSI > 0,65$; $PBIAS < \pm 15$) (nach Moriasi et al. 2015)

4.2.2 Monatliche absolute Austräge

Nachdem für das Referenzszenario ein valides und robustes Modell konstruiert wurde, konnte der Parametersatz für Szenario-Simulationen genutzt werden. Hierzu wurde die Landwirtschaft modifiziert, was einer Halbierung der Düngegaben für das Extensivierungsszenario entsprach (Tabelle 2). Ansonsten gleicht dieses Szenario dem Referenzszenario. Für das Ökoszenario wurde eine spezielle sich am ökologischen Landbau orientierende 7-gliedrige Fruchtfolge mit entsprechenden Düngegaben gewählt und über die Ackerflächen im Einzugsgebiet verteilt (Tabelle 3). Hervorzuheben hierbei ist die Integration von Leguminosen wie Klee gras in die Fruchtfolge. Abb. 4 zeigt die monatlichen $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten für alle drei Szenarien und die komplette Simulationsperiode. Zur Verdeutlichung des langjährigen Effekts einer Extensivierung oder einer vollständigen Umstellung auf ökologische Landwirtschaft sind zudem die kumulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten aufgetragen. Es zeigt sich, dass die $\text{NO}_3\text{-N}$ Austräge sowohl beim Extensivierungs- als auch beim Ökoszenario deutlich unter denen des Referenzszenarios liegen. Dieser Effekt trifft für alle Teileinzugsgebiete und den Gebietsauslass gleichermaßen zu. Insbesondere werden die hohen monatlichen $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten, welche bei Abflussereignissen auftreten, durch Extensivierung oder ökologischer Bewirtschaftung deutlich reduziert. Bei Basisabflussverhältnissen hingegen wirkt sich eine Extensivierung oder ökologische Landwirtschaft kaum aus, da hier selbst beim Referenzszenario die $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten sehr gering sind. Die Frachtreduktionen ähneln sich für das Extensivierungs- und Ökoszenario und liegen für die komplette Simulationsperiode bei 73 % für das Extensivierungsszenario und bei 75 % für das Ökoszenario. Diese geringen Unterschiede in der Frachtreduktion beim Extensivierungs- und Ökoszenario liegen im Bereich von Modellunsicherheiten und lassen nicht den Schluss zu, dass ein Szenario gegenüber dem anderen hinsichtlich der Verbesserung der Wasserqualität bezüglich Nitrat zu bevorzugen ist.

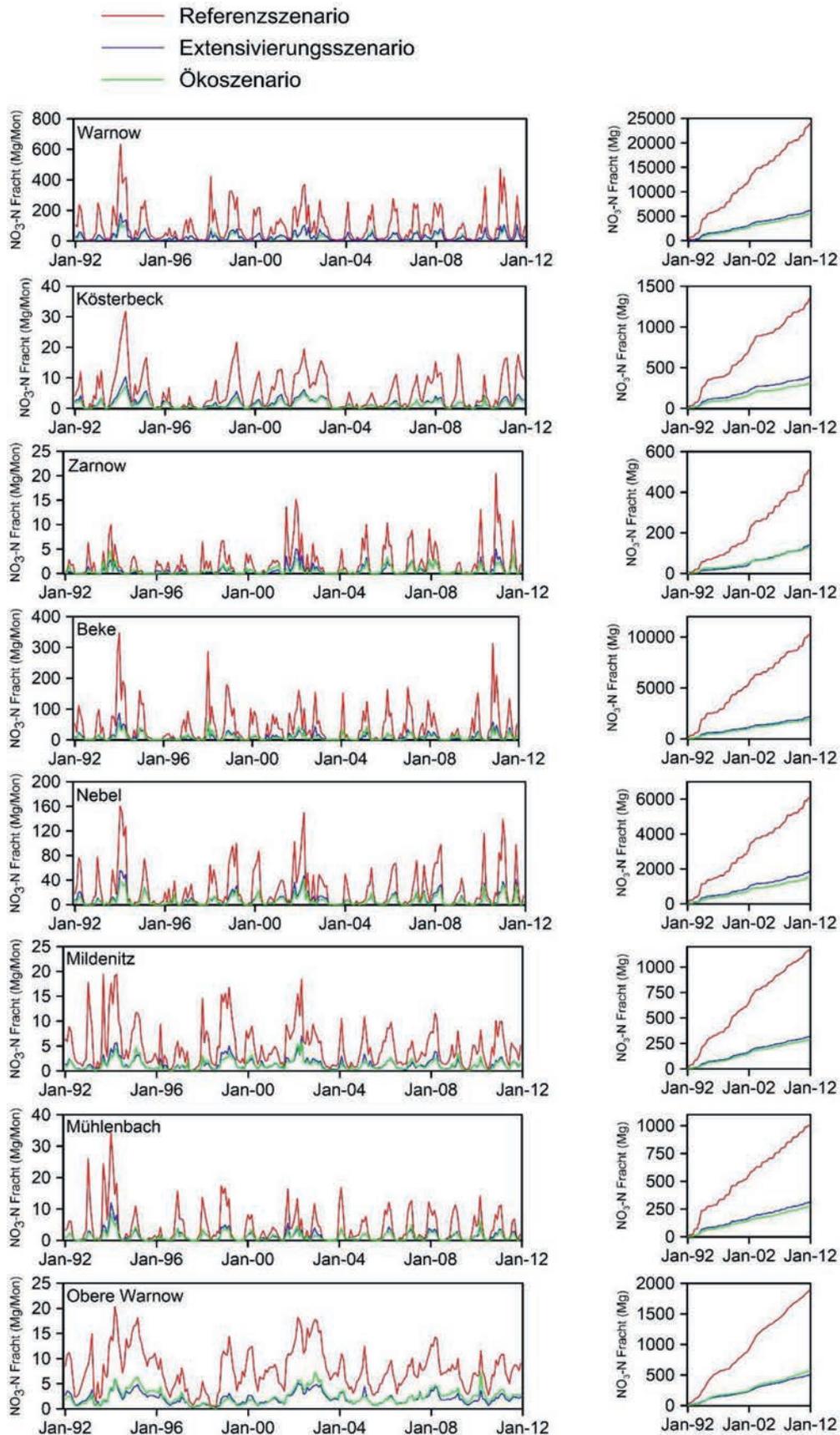


Abbildung 4 Simulierte monatliche (links) und kumulierte (rechts) $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten für das Referenzszenario, das Extensivierungsszenario und das Ökoszenario über die komplette Simulationsperiode.

4.2.3 Jährliche flächengewichtete Austräge

Abb. 5 zeigt die mittleren jährlichen $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten bezogen auf einen Hektar für alle Teileinzugsgebiete und den Gebietsauslass berechnet aus Messwerten und den drei simulierten Szenarien. Die mittleren gemessenen $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten liegen im Einzugsgebiet bei 7,4 kg/(ha a). Für das Referenzszenario, welches die tatsächlichen Gegebenheiten im Einzugsgebiet widerspiegeln soll, wurden mit 5,4 kg/(ha a) etwas geringere $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten berechnet. Sowohl diesen beiden Zahlen als auch der visuelle Vergleich in Abb. 5 (schwarze und rote Balken) verdeutlichen, dass SWAT in der Lage war, die gemessenen $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten gut zu reproduzieren. Die jährlichen Frachten des Extensivierungs- (blaue Balken) und des Ökoszenarios (grüne Balken) zeigen die bereits weiter oben beschriebenen Frachtreduktionen für diese beiden Szenarien. Auffällig sind die enormen Unterschiede hinsichtlich der $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten zwischen den Teileinzugsgebieten, und zwar unabhängig von der Wahl des Szenarios. Mit Abstand am meisten wird Nitrat im Einzugsgebiet der Beke den Fließgewässern zugeführt. Hier beträgt die jährliche $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht 20 kg/ha. Im Einzugsgebiet der Mildenitz hingegen beträgt der $\text{NO}_3\text{-N}$ Eintrag in Oberflächengewässer lediglich 1 kg/ha.

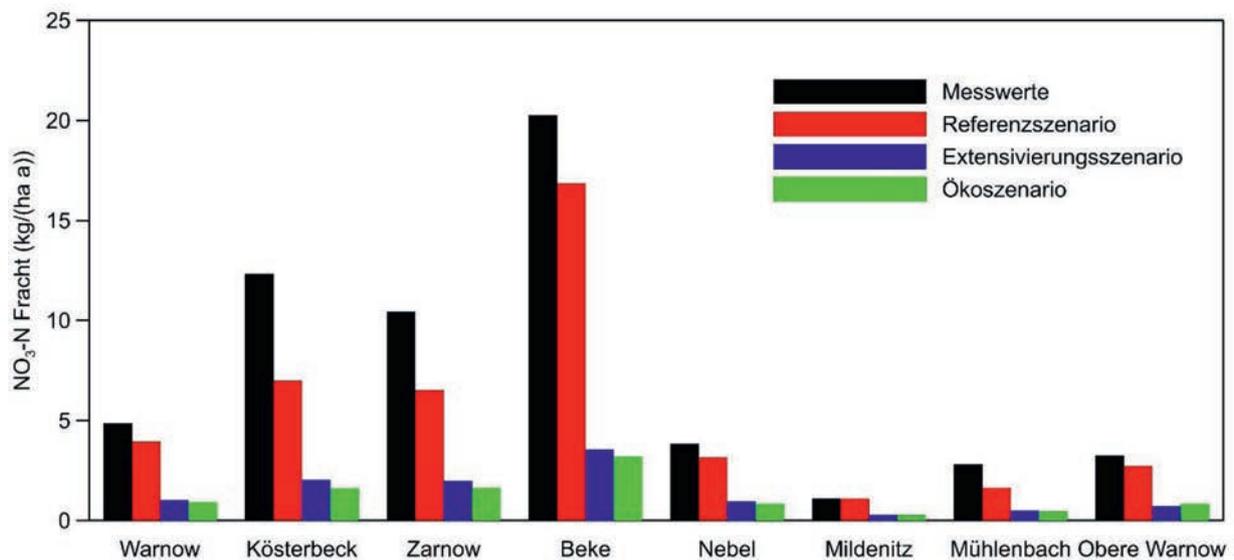


Abbildung 5 Mittlere jährliche gemessene und simulierte $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten für alle Teileinzugsgebiete und den Gebietsauslass.

Zur Visualisierung von Risiko- oder Hot Spot Gebieten und zur Verdeutlichung des Effekts einer Extensivierung oder Umstellung auf ökologische Landwirtschaft zeigt Abb. 6 die Teileinzugsgebiete kartografisch mit mittleren jährlichen $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten für alle drei Szenarien. Es ist deutlich zu erkennen, wie die $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten beim Extensivierungsszenario und beim Ökoszenario deutlich abnehmen und die Hauptbelastungsgebiete im nördlichen Teil des Warnow-Einzugsgebietes liegen.

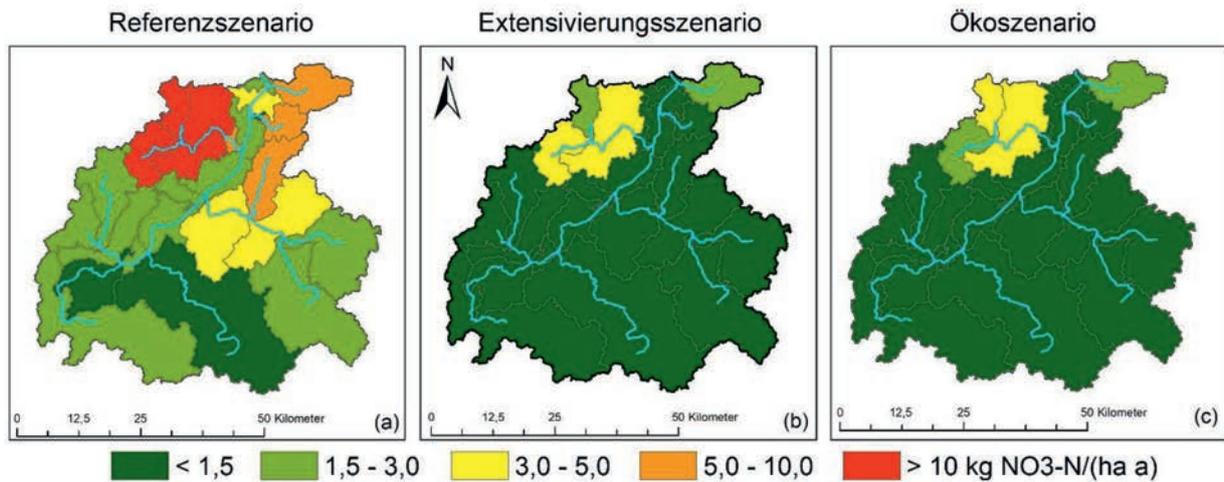


Abbildung 6 Kartografische Darstellung der mittleren jährlichen simulierten $\text{NO}_3\text{-N}$ Frachten für alle Teileinzugsgebiete und alle drei Szenarien.

4.2.4 Einfluss der Landnutzung

Im Rahmen dieser Studie wurden nicht dezidiert Untersuchungen zu Ursachen der enormen Unterschiede auf Teileinzugsgebietsebene hinsichtlich der Nitratausträge vorgenommen. Eine maßgebliche Rolle spielt aber die Landnutzung im Einzugsgebiet. So konnte für jedes Szenario ein deutlicher positiver Zusammenhang zwischen Anteil der Ackerfläche und $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht nachgewiesen werden (Abb. 7). Hierbei bilden die bereits angesprochenen Teileinzugsgebiete der Beke und der Mildenitz mit höchstem und geringstem Ackeranteil die Extreme. Dass die Höhe der $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht jedoch weiteren vielfältigen Einflussfaktoren unterliegt, zeigen die Teileinzugsgebiete der Zarnow, der Nebel und des Mühlenbaches, welche bei einem Ackeranteil von etwa 57 % deutlich unterschiedliche Frachten aufweisen.

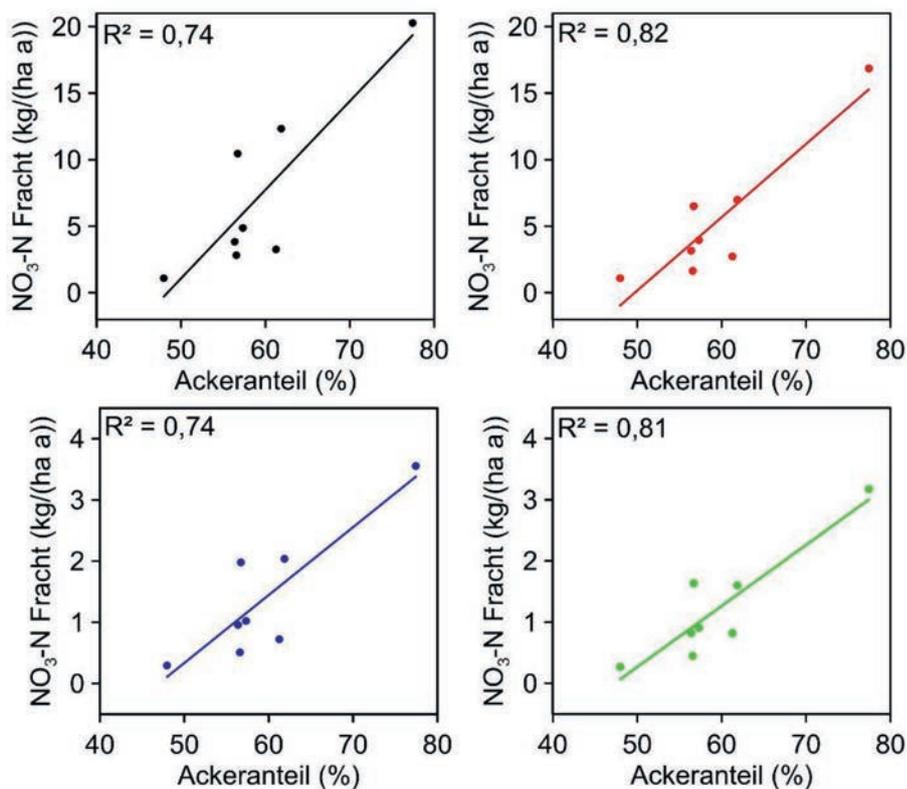


Abbildung 7 $\text{NO}_3\text{-N}$ Fracht als Funktion des Ackeranteils für alle Teileinzugsgebiete. Schwarz – Messwerte, Rot – Referenzszenario, Blau – Extensivierungsszenario, Grün – Ökoszenario

4.3 Stickstoffbilanz

4.3.1 Zufuhr

Die für die einzelnen Szenarien ermittelten unterschiedlichen Nitratfrachten haben ihre Ursache im zugrundeliegenden Stickstoffmanagement. Dieses Management unterscheidet sich fundamental zwischen den drei betrachteten Szenarien. Auf der Inputseite wird dem System beim Referenzszenario doppelt so viel Stickstoff in Form von Dünger zugeführt wie beim Extensivierungsszenario. Beim Ökoszenario verringern sich die Düngegaben weiter. Eine zusätzliche Stickstoffquelle beim Ökoszenario bilden jedoch Leguminosen, die nicht unerhebliche Mengen an Luftstickstoff binden. Die Inputgrößen sind für alle Ackerfrüchte vergleichend in Tabelle 6 zusammengefasst. Für das komplette Einzugsgebiet ergeben sich gemittelt 154 kg N/ha für das Referenzszenario, 77 kg N/ha für das Extensivierungsszenario und 30 kg N/ha für das Ökoszenario, die dem System in Form von Stickstoffdünger jährlich zugeführt werden. Hinzukommen für das Ökoszenario 32 kg N/ha durch stickstofffixierende Leguminosen (Tabelle 8).

Tabelle 6 Jährliche Stickstoffdüngegaben für das Referenz-, Extensivierungs- und Ökoszenario. Die Zahlen bei Lupine und Klee gras ermitteln sich ausschließlich aus der Fixierung von Luftstickstoff.

	Referenzszenario (kg N/(ha a))	Extensivierungsszenario (kg N/(ha a))	Ökoszenario (kg N/(ha a))
Winterweizen	220	110	70
Winterraps	240	120	-
Wintergerste	180	90	-
Silomais	180	90	100
Zuckerrübe	150	75	-
Hafer	-	-	0
Lupine	-	-	94
Klee gras	-	-	195
Winterroggen	-	-	100
Grünland	200	100	50

4.3.2 Abfuhr

Ein wesentlicher Teil des Stickstoffs wird mit dem Erntegut dem System entzogen. Daher wirkt sich die Modellierung der Erträge direkt auf die Stoffentzüge aus. Die modellierten Erträge sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7 Erträge für das Referenz-, Extensivierungs- und Ökoszenario.

	Literatur Konventionell (LAIV, 2014) (dt/ha)	Referenz- szenario (dt/ha)	Extensivierungs- szenario (dt/ha)	Literatur Ökolandbau (dt/ha)	Öko- szenario (dt/ha)
Winterweizen	70	69	58	40 ^a 39-63 ^b	35
Winterraps	35	39	33		-
Wintergerste	65	65	53		-
Silomais	358	363	285	226-518 ^c	283
Zuckerrübe	483	384	270		-
Hafer		-	-	47 ^a	43
Lupine		-	-	24 ^a	26
Klee gras (TM)		-	-	65 ^d	65
Winterroggen		-	-	40 ^a 48-59 ^b	52
Grünland (TM)	55	55	44		33

^a Gruber und Wegner 2015

^b Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2006

^c Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2002

^d Gruber und Burmann 2015

Die Literaturwerte in Tabelle 7 für Winterweizen, Winterraps, Wintergerste, Silomais, Zuckerrübe und Grünland beziehen sich auf konventionelle Landwirtschaft und sind dem statistischen Jahrbuch Mecklenburg-Vorpommern (LAIV, 2014) entnommen. Die Erträge von Lupine können sehr stark schwanken und wurden für Mecklenburg-Vorpommern mit einer Spanne von 8,1 bis 21,4 dt/ha angegeben, wobei höhere Erträge auf Standorten mit höherer Niederschlagsmenge (Nordwestmecklenburg) und zunehmender Bodengüte erzielt worden sind (Ziesemer 2010). Anbauversuche der Landesanstalt für Landwirtschaft und Fischerei ergaben hingegen mittlere Erträge von 29 dt/ha (Gruber 2016). Die Erträge von Klee gras sind stark witterungsabhängig und können großen Schwankungen unterliegen. In einem Langzeitversuch zur Ertragsentwicklung bei ökologischer Bewirtschaftung wurden im Mittel Erträge von 65 dt/ha

ermittelt (Gruber und Burmann 2015). In Abhängigkeit der Sorte wurden bei Landessortenversuchen mittlere Erträge für Hafer von 47 dt/ha und für Winterweizen und Winterroggen jeweils 40 dt/ha im Ökolandbau erzielt (Gruber und Wegner 2015). Eine andere Studie weist Ernteerträge bei ökologischer Bewirtschaftung in Abhängigkeit der Vorfrucht für Winterweizen mit einer Spanne von 48 bis 60 dt/ha und für Winterroggen von 39 bis 63 dt/ha aus (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2006). Für Silomais gibt eine Studie Frischmasseerträge von 226 dt/ha auf Sandböden und bis zu 518 dt/ha auf Lössböden bei ökologischer Bewirtschaftung an (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2002). Diese Beispiele zeigen, dass die Ernteerträge in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung deutlichen Schwankungen unterliegen können.

In Tabelle 7 ist gut zu erkennen, dass die Erträge für die Hauptfrüchte in Mecklenburg-Vorpommern für das Referenzszenario die Realität sehr gut widerspiegeln. Lediglich bei der Zuckerrübe liegt der modellierte Ertrag deutlich unter den Angaben der statistischen Jahrbücher. Auch bei den Kulturen, die ausschließlich für das Ökoszenario angebaut wurden wie Hafer, Winterroggen, Lupine und Klee gras wurden von SWAT Erträge modelliert, die sich in den Spannbreiten von Literaturangaben decken.

Das unterschiedliche Düngeregime wirkt sich auf die Erträge der einzelnen Kulturen aus. Generell lässt Tabelle 7 erkennen, dass eine Reduzierung der Düngung zu einer Reduktion der Erträge führt. Die Ergebnisse sind insgesamt plausibel und der Effekt des Landmanagements auf die Erträge durch zahllose wissenschaftliche Untersuchungen überprüft (z.B. Badgley et al. 2007, de Ponti et al. 2012, Seufert et al. 2012). Eine groß angelegte globale Metastudie zeigte, dass im Ökolandbau generell geringere Erträge erzielt werden (-5 bis -34%), die Ertragseinbußen jedoch sehr stark abhängig von der Anbaukultur, den Standorteigenschaften und dem Anbausystem sind (Seufert et al. 2012). Zu ähnlichen Ergebnissen kommt die Studie von de Ponti et al. (2012), in welcher die mittleren Erträge im ökologischen Landbau im Vergleich zu konventioneller Landbewirtschaftung mit 80 % angegeben werden.

Während Grünland im Referenzszenario 200 kg N/ha jährlich erhielt, waren es Ökoszenario lediglich 50 kg N/ha. Diese enormen Unterschiede schlagen sich deutlich in den Erträgen nieder. Der Ertrag des Ökoszenarios liegt hier bei 60 % im Vergleich zum Referenzszenario.

4.3.3 Bilanz

Eine vereinfachte Stickstoffbilanz mit den wesentlichen Bilanzgliedern lässt sich durch Zufuhr (Düngung + legume N-Fixierung) minus Abfuhr (Entzug durch Ernte) ermitteln (Tabelle 8). Für das Referenzszenario ergibt sich auf Einzugsgebietsebene eine deutlich positive Stickstoffbilanz. Positive Stickstoffbilanzen sind typisch für die konventionelle Landwirtschaft wie zahlreiche Studien belegen. Beispielsweise wurden für Schleswig-Holsteinische Betriebe N-Bilanz-Überschüsse bei konventionell wirtschaftenden Betrieben von im Mittel 68 kg N/ha im Jahr ermittelt, wohingegen bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben der Bilanzüberschuss lediglich bei 9 kg N/(ha a) lag (Kelm et al. 2007). Eine Extensivierung der Landwirtschaft durch Verringerung des Düngemitelesinsatzes oder Umstellung auf ökologische Landwirtschaft wirkt sich direkt auf die Stickstoffbilanz aus. So sind diese im Rahmen dieser Studie auf Einzugsgebietsebene für die Extensivierungs- und Ökovariante leicht negativ. Osterburg et al. (2007) geben bei einer Änderung des Produktionssystems von konventionell auf ökologisch eine Minderung des N-Saldos von im Mittel 60 kg N/ha an. Gleichzeitig weisen die Autoren allerdings darauf hin, dass dauerhaft negative N-Bilanzen zum Verlust der Bodenfruchtbarkeit führen können.

Tabelle 8 Stickstoffbilanz und Auswaschungsraten für das Referenz-, Extensivierungs- und Ökoszenario im Einzugsgebietsmaßstab.

	Referenzszenario (kg N/ha)	Extensivierungsszenario (kg N/ha)	Ökoszenario (kg N/ha)
Düngung (Zufuhr)	154	77	62*
Ernte (Abfuhr)	106	85	75
Saldo (Zufuhr-Abfuhr)	49	-8	-13
Auswaschung	64	17	16

*inkl. legumer N-Fixierung

Aufgrund des markanten Bilanzüberschusses sind die Auswaschungsraten beim Referenzszenario im Vergleich zu den anderen beiden Szenarien deutlich erhöht. Die Salden beim Extensivierungs- und Ökoszenario unterscheiden sich kaum voneinander. Dementsprechend ähneln sich auch die von SWAT ermittelten Nitratauswaschungsraten. Es ist anzumerken, dass sich die in Tabelle 8 angegebenen Nitratauswaschungsraten nicht direkt in Oberflächengewässer fortpflanzen, sondern bei weiterer vertikaler Versickerung in den Grundwasserleiter maßgebliche Mengen des Stickstoffs durch Denitrifikationsprozesse abgebaut werden. Geringere Nitratauswaschungsraten bei ökologischer Landwirtschaft im Vergleich zu konventioneller Landwirtschaft sind durch zahlreiche Studien belegt. So wurden bei einer Vergleichsstudie im Seine-Einzugsgebiet mittlere $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen von 24 mg/L im Sickerwasser bei konventioneller und 12 mg/L bei ökologischer Landwirtschaft bestimmt. Dementsprechend waren die $\text{NO}_3\text{-N}$ Auswaschungsraten beim ökologischen Landbau deutlich geringer (14-50 kg/ha) als beim konventionellen Landbau (32-77 kg/ha) (Benoit et al. 2014). In diesem Bereich liegen auch die $\text{NO}_3\text{-N}$ Auswaschungsraten dieser Studie. Osterburg et al. (2007) quantifizieren die Verminderungspotenziale des N-Austrages bei Umstellung von konventionellem hin zu ökologischem Landbau mit einer Spanne von 0 bis 50 kg N/ha. Haas et al. (2002) ermittelten verringerte Nitratauswaschungsraten bei Umstellung von konventionellem auf ökologischen Landbau von 50 %. Die verringerten Nitratauswaschungsraten beim Ökolandbau werden im Wesentlichen mit einem geringeren N-Input und einer Fruchtfolgegestaltung, die den Anbau von Zwischenfrüchten einschließt, begründet (Hansen et al. 2000).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Extensivierungs- und Ökoszenario im Vergleich zum Referenzszenario die im Boden vorhandene Menge an potenziell auswaschungsgefährdetem Stickstoff in Form von Nitrat deutlich reduziert ist. Die unterschiedlichen N-Bilanzen schlagen sich in der Folge in den Nitratauswaschungsraten und schließlich bei den berechneten Nitratfrachten für die einzelnen Fließgewässer nieder.

5 Schlussbemerkungen

Bei der hier vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine Modellstudie, welche auf vielfältigen Annahmen beruht. Dies sollte immer berücksichtigt werden, wenn die Daten interpretiert werden. Weder lassen sich die Zahlen eins zu eins auf die Realität übertragen, noch ist das Modell in der Lage, die komplexen Wirkzusammenhänge in der Natur exakt abzubilden. Solch ein Modell existiert nicht! Weiterhin ist anzumerken, dass es sich beim Extensivierungsszenario und beim Ökoszenario um „Extremszenarien“ handelt, welche so in ihrer Absolutheit wohl nicht in der Landschaft umgesetzt werden. Trotz dieser Einschränkungen war das Modell in der Lage, Stickstoffflüsse unter der tatsächlichen Bewirtschaftung realitätsnah abzubilden. Darauf aufbauend konnte durch Szenariorechnungen abgeschätzt werden, welche Auswirkungen eine alternative Landbewirtschaftung auf die Nitratfrachten in den Teileinzugsgebieten der Warnow hat. Obwohl diesen Szenariorechnungen mit Unsicherheiten behaftet sind, konnten mit Hilfe dieser Modellstudie Tendenzen aufgezeigt werden, wie sich eine alternative Landbewirtschaftung auf die Höhe der Nitratfrachten in den Oberflächengewässern des Einzugsgebiets der Warnow vermutlich auswirken wird.

6 Literatur

Abbaspour K.C., 2014. SWAT-CUP: SWAT Calibration and Uncertainty Programs—A User Manual. Eawag: Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Schweiz.

Appling A.P., Leon M.P., McDowell W.H., 2015. Reducing bias and quantifying uncertainty in watershed flux estimates: The R package loadflex. *Ecosphere* 6, 269.

Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of American Water Resources Association* 34, 73–89.

Badgley C., Moghtader J., Quintero E., Zakem E., Chappell M.J., Aviles-Vazquez K., Samulon A., Perfecto I., 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22, 86–108.

Benoit M., Garnier J., Anglade J., Billen G., 2014. Nitrate leaching from organic and conventional arable crop farms in the Seine Basin (France). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 100, 285–299.

EG-WRRL, 2000. Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Europäische Gemeinschaft, Brüssel, Belgien.

Gruber H., Wegner C., 2015. Einfluss der Sorte auf Ertrag und Qualität bei Mähdruschfrüchten im Öko-Landbau. In: Beiträge zum Ökologischen Landbau, Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Heft 56, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Gülzow, BRD.

Gruber H., Burmann B., 2015. Ertragsentwicklung wichtiger Ackerbaukulturen nach langjähriger ökologischer Bewirtschaftung am Standort Gülzow. In: Beiträge zum Ökologischen Landbau, Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Heft 56, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Gülzow, BRD.

Gruber H., 2016. Optimierung der Anbauverfahren von Blauen Lupinen und Körnerfuttererbsen im ökologischen Landbau. Abschlussbericht 2016. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Gülzow, BRD.

Haas G., Berg M., Köpke U., 2002. Nitrate leaching: comparing conventional, integrated and organic agricultural production systems. In: *Agricultural Effects on Ground and Surface Waters*. IAHS Publ. no. 273, Oxfordshire, UK, 131-136.

Hansen B., Kristensen E.S., Grant R., Høgh-Jensen H., Simmelsgaard S.E., Olesen J.E., 2000. Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems — a systems modelling approach. *European Journal of Agronomy* 13, 65–82.

Kelm M., Loges R., Taube F., 2007. N-Bilanzen ökologischer und konventioneller Praxisbetriebe in Norddeutschland – Ergebnisse aus dem Projekt COMPASS. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. <http://orgprints.org/view/projects/wissenschaftstagung-2007.html>

LAIV, 2014. Statistische Jahrbücher. Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin, BRD.

MLUV, 2009. Düngungs niveau und Nährstoffbilanzen auf dem Ackerland von MV – Stickstoff. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg Vorpommern, Schwerin, BRD.

Moriasi D., Pai N., Daggupati P., 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. Transactions of the ASABE 58, 1763–1785.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool: Theoretical documentation. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406, Temple, USA.

Osterburg B., Rühling I., Runge T., Schmidt T.G., Seidel K., Antony F., Gödecke B., Witt-Altfelder P., 2007. Kosteneffiziente Maßnahmenkombination nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft. Braunschweig, BRD.

de Ponti T., Rijk B., van Ittersum M.K., 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. Agricultural Systems 108, 1–9.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002. Maisanbau im Ökologischen Landbau. Informationen für Praxis und Beratung. Dresden, BRD.

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2006. Feldfutterbau und Gründüngung im Ökologischen Landbau. Informationen für Praxis und Beratung. Dresden, BRD.

Seufert V., Ramankutty N., Foley J.A., 2012. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. Nature 284, 229-232.

Ziesemer A., 2010. Lupinenanbau im Ökolandbau – Bereitstellung von agrarökonomischen Informationen und Entscheidungshilfen für den Ökolandbau in Mecklenburg-Vorpommern. Abschlussbericht. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Gülzow, BRD.

