

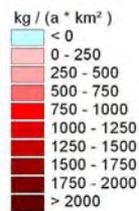
# Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern in Mecklenburg-Vorpommern

im Auftrag des

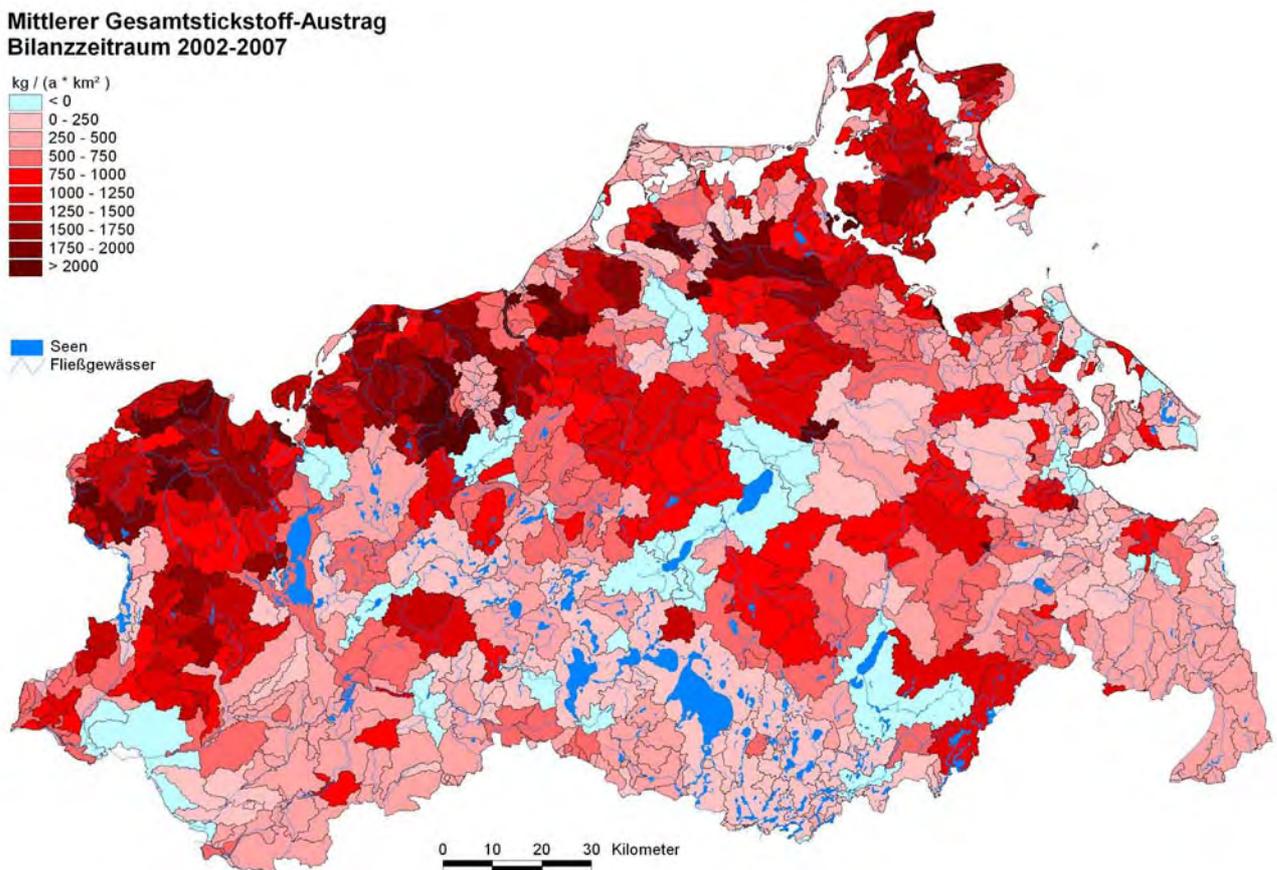
Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und  
Geologie Mecklenburg-Vorpommern

(2009)

## Mittlerer Gesamtstickstoff-Austrag Bilanzzeitraum 2002-2007



Seen  
Fließgewässer



## **biota** – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH

Geschäftsführer:

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl

Sitz:

18246 Bützow, Nebelring 15

Dr. rer. nat. Volker Thiele

Telefon:

038461 / 9167-0

USt.-Id.-Nr. (VAT-Number):

DE 164789073

Telefax:

038461 / 9167-50

Steuernummer (FA Güstrow):

086 / 106 / 02690

email:

postmaster@institut-biota.de

Bankverbindung:

Volks- und Raiffeisenbank Güstrow e. G.

Internet:

www.institut-biota.de

779 750 (BLZ: 140 613 08)

Handelsregister:

Amtsgericht Rostock HRB 5562

**Bearbeitung:**

Dipl.-Hydr. Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl  
(Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Naturschutz und Landschaftspflege, Gewässerschutz – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, Anerkennung und Vereidigung gemäß § 6 LwSachvVO M-V am 20.07.2000)

**unter Mitarbeit von:**

Dipl.-Ing. André Steinhäuser  
cand.-Ing. Ulrike Kästner  
Dipl.-Ing. Juliane Müller

**biota** – Institut für ökologische Forschung  
und Planung GmbH

Nebelring 15  
18246 Bützow

Telefon: 038461/9167-0  
Telefax: 038461/9167-55

Email: [postmaster@institut-biota.de](mailto:postmaster@institut-biota.de)  
Internet: [www.institut-biota.de](http://www.institut-biota.de)

**Auftraggeber:**

Dipl.-Ing. Andreas Kuchler  
Dipl.-Ing. Franka Koch  
(Ansprechpartner, fachliche Betreuung)

Landesamt für Umwelt,  
Naturschutz und Geologie  
Mecklenburg-Vorpommern

Goldberger Straße 12  
18273 Güstrow

Telefon: 03843/777-0  
Telefax: 03843/777-106

Email: [poststelle.lung.mv-regierung.de](mailto:poststelle.lung.mv-regierung.de)  
Internet: [www.mv-regierung.de/lung](http://www.mv-regierung.de/lung)

**Vertragliche Grundlage:** Werkvertrag vom 04.04./10.04.2008

Bützow, den 13.05.2009

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl

***Im Land Mecklenburg-Vorpommern  
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gewässerschutz***

## Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Veranlassung und Zielsetzung</b> .....	<b>7</b>
<b>1.1 Rechtlicher Hintergrund</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2 Nährstoffüberangebot in Gewässern - überregionales und regionales Problem</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Übersicht zu Datengrundlagen und -quellen</b> .....	<b>17</b>
<b>3 Frachtberechnung aus Messwerten</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 Grundlagen</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2 Grundsätzliche Methoden der Frachtberechnung</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.1 Frachtberechnung für die Einzeljahre 2002-2007</b> .....	<b>20</b>
3.2.1.1 „Standardmethode“: Frachtberechnung als Mittelwert der Einzelfrachten .....	20
3.2.1.2 „Monatsmittelwert-Methode“: Frachtberechnung als Produkt der mittleren Monatsabflüsse und der mittleren Monatskonzentrationen mit anschließender Summation zu Jahresfrachten .....	20
3.2.1.3 „Abflusskorrigierte Standardmethode“: Korrektur der Jahresfracht durch Normierung auf den mittleren Jahresdurchfluss MQ(a) .....	21
3.2.1.4 „c-Q- Regressionsmethode“: Frachtberechnung auf der Grundlage einer Konzentrations-Durchfluss-Beziehung .....	22
<b>3.2.2 Frachtberechnung für den ausgewählten, mehrjährigen Bilanzierungszeitraum</b> .....	<b>22</b>
3.2.2.1 Durchschnitt der Einzeljahre des Bilanzierungszeitraumes .....	22
3.2.2.2 Durchschnitt der Einzeljahre unter Gewichtung des jeweiligen mittleren Jahresdurchflusses durch Normierung auf den mittleren Durchfluss des Bilanzierungszeitraumes .....	22
<b>3.3 Aufbereitung der Konzentrationsmessdaten</b> .....	<b>23</b>
<b>3.4 Aufbereitung der hydrologischen Daten</b> .....	<b>27</b>
<b>3.5 Exemplarischer Methoden- und Ergebnisvergleich</b> .....	<b>30</b>
<b>3.6 Frachtberechnungsergebnisse nach dem Vorzugsansatz</b> .....	<b>43</b>
<b>4 Flächendeckende Regionalisierung von Belastungen</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1 Grundsätze und Vorüberlegungen</b> .....	<b>45</b>
4.1.1 Einleitung .....	45
4.1.2 Nicht betrachtete Quellen .....	46
4.1.3 Derzeit nicht quantifizierbare Eintragspfade .....	47
4.1.4 Derzeit nicht quantifizierbare Prozesse .....	50
<b>4.2 Punktuelle Belastungsquelle: behördlich überwachte Kläranlagen</b> .....	<b>52</b>

<b>4.3 Diffuse Belastungsquellen</b> .....	<b>56</b>
4.3.1 Atmosphärische Deposition.....	56
4.3.2 Nährstoffeinträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen .....	59
4.3.3 Kleinkläranlagen.....	61
<b>5 Regionalisierung der Nährstofffrachten</b> .....	<b>67</b>
<b>5.1 Regressionsanalysen für beobachtete Gebiete</b> .....	<b>67</b>
5.1.1 Grundlagen .....	67
5.1.2 Ableitung der potenziellen Regressoren.....	68
<b>5.2 Regressionsanalysen</b> .....	<b>70</b>
<b>5.3 Regressionsbeziehungen als Schätzfunktionen für un beobachtete Gebiete</b> .....	<b>73</b>
<b>6 Zusammenfassende Fracht- und Belastungsbilanzierung</b> .....	<b>74</b>
6.1 Nord- und Ostseegebiet .....	74
6.2 WRRL-Bearbeitungsgebiete.....	76
6.3 WRRL-Küstenwasserkörper.....	82
6.4 Differenzierte Teilgebiete .....	83
6.5 Kurzbewertung.....	86
<b>7 Maßnahmenkonzept zur Belastungsminderung</b> .....	<b>87</b>
<b>7.1 Ausgewählte Förderkonzepte und –programme in anderen Bundesländern bzw. Ländern</b> .....	<b>87</b>
7.1.1 Bundesland Thüringen .....	87
7.1.2 Bundesland Sachsen .....	89
7.1.3 Bundesland Schleswig-Holstein .....	90
7.1.4 Bundesland Sachsen-Anhalt.....	93
7.1.5 Bundesland Niedersachsen .....	94
7.1.6 Bundesland Bayern.....	98
7.1.7 Die Nitratstrategie der Schweiz.....	100
7.1.8 Schlussfolgerungen .....	101
<b>7.2 Kulisse der Hauptbelastungsgebiete (hot spots)</b> .....	<b>102</b>
<b>7.3 Auswahl, Quantifizierung und Priorisierung geeigneter Maßnahmen</b> .....	<b>106</b>
7.3.1 Grundlagen .....	106
7.3.2 Maßnahmen auf der Emissionsseite .....	110
7.3.2.1 Gebietskulisse für landwirtschaftliche Förderprogramme bzw. förderpolitische Instrumente.....	110
7.3.2.2 Allgemeine belastungsmindernde landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen.....	111

7.3.2.3 <i>Fruchtartenspezifische belastungsmindernde landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen</i> .....	116
7.3.2.4 <i>Zielwertbestimmte landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen in Hauptbelastungsgebieten</i> .....	125
<b>7.3.3 Maßnahmen auf der Immissionsseite</b> .....	<b>125</b>
<b>7.3.4 Vorschläge für die Gestaltung landwirtschaftlicher Fördermaßnahmen</b> .....	<b>131</b>
<b>7.4 Ausblick</b> .....	<b>132</b>
<b>Quellenverzeichnis</b> .....	<b>139</b>
<i>Schriften</i> .....	<b>139</b>
<i>Internet, Printmedien</i> .....	<b>149</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>149</b>

## Danksagung

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde von einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe aktiv begleitet und fachlich unterstützt. Unser Dank gilt daher den Mitgliedern dieser interdisziplinären Arbeitsgruppe: Herrn Dr. Bachor, Herrn Klitzsch, Frau Koch, Herrn Küchler, Frau Dr. Schwerdtfeger, Herrn Seefeldt, alle Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Frau Dr. Boelke, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern sowie Herrn Dr. Kape, Landwirtschaftliche Fachbehörde/LMS Landwirtschaftsberatung Mecklenburg-Vorpommern/Schleswig-Holstein GmbH.

Herrn Wiebensohn, Universität Rostock, danken wir für die unkomplizierte Überlassung von GIS-Daten zu landwirtschaftlichen Nährstoffsalden in Mecklenburg-Vorpommern.

Ein großer Dank geht an die Mitarbeiter der gewässerkundlichen Dezernate der Staatlichen Ämter für Umwelt und Natur Neubrandenburg, Rostock, Schwerin, Stralsund und Uecker-münde für die Recherche und Zusammenstellung der Daten zu Gewässersondermessungen und der Daten zu den überwachten Kläranlagen.

Für sachdienliche Auskünfte zu den Ergebnissen der amtlichen Messungen der atmosphärischen Immissionen in Mecklenburg-Vorpommern bedanken wir uns bei Herrn Dr. Hainsch, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, insbesondere für seinen Hinweis auf neuere Daten zur atmosphärischen Deposition des Umweltbundesamtes. Herrn Geupel, Umweltbundesamt, danken wir für die schnelle und unkomplizierte Bereitstellung der Depositionsdaten Stickstoff, die im Rahmen der nationalen Umsetzung der UNECE-Luftreinhaltkonvention abgeleitet wurden.

Bützow, im Mai 2009

Dietmar Mehl und Kollegen

# 1 Veranlassung und Zielsetzung

## 1.1 Rechtlicher Hintergrund

Das Ziel der im Jahr 2000 in Kraft getretenen Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist entsprechend Artikel 1 die Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers zwecks

- Vermeidung einer weiteren Verschlechterung sowie Schutz und Verbesserung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Land-Ökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt,
- Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen,
- Anstreben eines stärkeren Schutzes und einer Verbesserung der aquatischen Umwelt, unter anderem durch spezifische Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von prioritären Stoffen und durch die Beendigung oder schrittweise Einstellung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von prioritären gefährlichen Stoffen,
- Sicherstellung einer schrittweisen Reduzierung der Verschmutzung des Grundwassers und Verhinderung seiner weiteren Verschmutzung und
- Beitrag zur Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren.

Die Umsetzung der WRRL erfordert u. a.

- eine flusseinzugsgebietsbezogene Ausrichtung wasserwirtschaftlicher Planung und Umsetzung („Koordinierung in Flussgebieteinheiten“ entsprechend Artikel 3),
- eine breite Beteiligung und Einbeziehung der Öffentlichkeit in Planungs- und Entscheidungsabläufe (Artikel 14),
- ganzheitliche Gewässerbewertungs- und -überwachungsansätze (Artikel 8) mit umfassenden Detailregelungen (v.a. im Anhang V WRRL),
- spezielle Strategien zur Verringerung bzw. Verhinderung der Belastung mit gefährlichen Stoffen (Artikel 16) und zur Verhinderung und Begrenzung der Grundwasserverschmutzung (Artikel 17) sowie
- die Einführung kostendeckender Wasserpreise (Artikel 9).

Das operative Ziel der WRRL besteht entsprechend Artikel 4 im Erreichen eines mindestens guten Zustands der Oberflächengewässer und des Grundwassers. Außerdem sind in Schutzgebieten die Umweltziele der WRRL an den Normen und Zielen auszurichten (Artikel 4 WRRL), auf deren Grundlage die Schutzgebiete ausgewiesen wurden.

In der WRRL werden zudem die engen Verknüpfungen zwischen Gewässergüte und Wassermenge hervorgehoben. Im Hinblick auf das Ziel einer angemessenen Güte sind von daher nicht nur Maßnahmen für die Regulierung des Stoffhaushalts der Gewässer, sondern auch Maßnahmen in Bezug auf die Wassermenge festzulegen (Grundsatz Nr. 19 der einleitenden Gründe). Die Bewältigung verschiedener Probleme des Gewässerzustands ist aus diesem Grund ohne die gekoppelte Betrachtung von Wasser- und Stoffhaushalt unmöglich. Eine integrierte Betrachtung qualitativer und quantitativer Aspekte wird auch im Grundsatz Nr. 34 der einleitenden Gründe der WRRL in entsprechend stärkerem Maße gefordert.

Die WRRL fordert im Rahmen der Bestimmung des ökologischen Zustands nach den in Anhang V genannten Kriterien deshalb eine Bewertung der sogenannten „physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten“ einschließlich der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff bzw. relevanter chemischer Bindungsformen. Diesen Komponenten kommt eine unter-

stützende Bedeutung bei der Bewertung des ökologischen Zustandes bzw. Potenzials zu. Sie dienen:

- der Ergänzung und Unterstützung der Interpretation der Ergebnisse für die biologischen Qualitätskomponenten,
- zur Ursachenklärung im Falle „mäßigen“ oder schlechteren ökologischen Zustands bzw. Potenzials,
- der Maßnahmenplanung in Zusammenhang mit den biologischen und hydromorphologischen Qualitätskomponenten und
- der späteren Erfolgskontrolle.

Kürzlich wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für die WRRL-Umsetzung neue typspezifische Orientierungswerte für die Nährstoffe Orthophosphat-Phosphor, Gesamt-Phosphor und Ammonium-Stickstoff vorgelegt (LAWA 2007). Abweichend von der Güteklassifikation nach LAWA (1998) sind die Orientierungswerte jedoch nicht anhand von 90-Perzentilen, sondern anhand von Jahresmittelwerten zu prüfen. Bei den vorgeschlagenen Werten nach LAWA (2007) handelt es sich aber um keine gesetzlich verbindlichen Grenzwerte oder allgemein anzustrebenden Sanierungswerte, sondern um Schwellenwerte. Solche Schwellenwerte werden vorgeschlagen für

- den Übergang vom „sehr guten“ zum „guten“ Zustand („Hintergrundwerte“) und
- den Übergang vom „guten“ zum „mäßigen“ Zustand/Potential („Orientierungswerte“)

Die WRRL wirkt rechtlich mit der bereits seit 1991 bestehenden Richtlinie zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Nitratrichtlinie) und mit der aktuellen (seit 2006) verbindlichen EU-Grundwasserrichtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (Grundwasserrichtlinie) zusammen. So definierte bereits die Nitratrichtlinie in Anhang II Regeln der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft, die sich unter anderem im Düngemittelgesetz, in der Düngeverordnung (DüV) sowie in der Verwaltungsvorschrift Düngeverordnung Mecklenburg-Vorpommerns (VV DüVO M-V) niedergeschlagen haben.

Gleichfalls wesentlich für die Güteproblematik war die auch bereits 1991 erlassene Richtlinie 91/271/EWG des Rates der Europäischen Gemeinschaften über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Kommunalabwasserrichtlinie), die 1997 mit Überführung in eine Landes-Kommunalabwasserverordnung (KAbwVO M-V) verbindlich wurde. Danach wurden die Küstengewässer der Ostsee und die Einzugsgebiete der oberirdischen Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern als empfindliche Gebiete im Sinne von Artikel 5 und Anhang II der Richtlinie eingestuft, so dass verpflichtende Gebote zum Anschluss an zentrale Abwasserkanalisationen und erhöhte Qualitätsanforderungen an einzuleitendes Abwasser und damit die Abwassertechnik bestehen. Die Umsetzung dieser Richtlinie und der darauf basierenden Landesverordnung kann mittlerweile für Verdichtungsgebiete mit 2.000 Einwohnerwerten und mehr als anlagenkonkret und vorfristig erfolgt angesehen werden, wobei auch die sonstigen Anforderungen grundsätzlich eingehalten werden, z. B. in Bezug auf Industriekläranlagen (LUNG M-V 2007a).

Die Bundesrepublik Deutschland ist durch Gesetz vom 23. August 1994 den internationalen Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes und des Nordostatlantiks beigetreten (HELCOM und OSPAR), so dass sich hieraus zusätzliche Verpflichtungen ergeben. Die Helsinki-Kommission, oder HELCOM, ist exekutiv verantwortlich für den Schutz der Meeresumwelt der Ostsee und geht auf die gleichnamige Konvention der Mitgliedsstaaten im baltischen Raum aus dem Jahr 1992 zurück. Das Hauptaugenmerk der HELCOM liegt auf der Reduktion der Frachteinträge der Pflanzennährstoffe: „*The overall goal of HELCOM is to have a Baltic Sea unaffected by eutrophication*“ (HELCOM 2007). OSPAR (auch OSPARCOM) ist die Abkürzung für das Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks im Jahr 1992. Es ist nach den beiden Vorläufern be-

nannt, der OSLO-Konvention (OSCOM) von 1972 und Paris-Konvention (PARCOM) von 1974. Sitz der exekutiven OSPAR-Kommission ist London.

Erst kürzlich wurden von der AG WRRL des Bund/Länder-Messprogramms Nord- und Ostsee (BLMP) Orientierungswerte zum Schutz der Meeresumwelt für Gesamt-Phosphor (GP) und Gesamt-Stickstoff (GN) in Fließgewässern abgeleitet (BLMP 2007). Um die Eutrophierung der Meeresumwelt zurückzuführen, müsste nach diesen Anforderungen schnellstmöglich sicher gestellt werden, dass in den Fließgewässern 0,1 mg/l GP und 3 mg/l GN als Jahresmittelwert eingehalten werden.

Ausgehend von den aus ökologischer Sicht der Meeresumwelt in der Nordsee notwendigen Anforderungen wurden jüngst im Rahmen der WRRL-Interkalibrierungsbestrebungen von der FGG Elbe (2008) neue Nährstofffrachtreduzierungsvorgaben für das Elbeeinzugsgebiet abgestimmt. Als Indikator bzw. Zielgröße wurde dabei das 90-Perzentil der Chlorophyll-a Konzentration in der Nordsee im Sommerhalbjahr (März – September) verwendet (Chlorophyll(a)-Konzentration von 10,8 µg/l für die Küstengewässer des Typs N3). Danach ist aus ökologischer Sicht der Küstengewässer eine Verringerung der Nährstoffkonzentrationen um 24% notwendig, wobei die Reduktion in Schritten von jeweils einem Drittel (8%) in drei Bewirtschaftungszeiträumen realisiert werden soll.

Dasselbe strategische Ziel verfolgt auch der von den HELCOM-Staaten beschlossene Aktionsplan für die Ostsee (Baltic Sea Action Plan), nach dem die deutschen Phosphoreinträge um 240 t/a und die Stickstoffeinträge um 5.620 t/a gesenkt werden sollen. Bezogen auf den mittleren Jahreseintrag der Zuflüsse aus dem Ostsee-Einzugsgebiet Mecklenburg-Vorpommerns in Höhe von 438 t P/a und 12.125 t N/a für den Zeitraum 1986-2005 müssten bei einer flächenproportionalen Aufteilung Lastreduzierungen von 32 % bei Phosphor und von 27 % bei Stickstoff in den Zuflüssen erreicht werden. Da die Einträge in die Küstengewässer maßgeblich aus den einmündenden Flüssen und Bächen stammen, müssen die Eintragsreduzierungen im Wesentlichen durch die Verringerung ihrer Frachten erzielt werden.

## **1.2 Nährstoffüberangebot in Gewässern - überregionales und regionales Problem**

Hohe Einträge der Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor in die Oberflächengewässer sind nach wie vor eines der Hauptprobleme des Gewässerschutzes in Mecklenburg-Vorpommern (LUNG M-V 2008). Dies gilt besonders im Ostsee-Einzugsgebiet (BACHOR 2004, 2005, BACHOR & VON WEBER 2006). In Mecklenburg-Vorpommern sind erhöhte Einträge für das Grundwasser, die Fließgewässer, die meisten Seen, die inneren und äußeren Küstengewässer sowie die Ostsee als Meerestgewässer, aber auch für die Nordsee zu verzeichnen, da Mecklenburg-Vorpommern einen nennenswerten Anteil am Elbegebiet hat. Die aktuelle Eutrophierungsproblematik, die sich in den Küstengewässern von Nord- und Ostsee ergibt, beschreibt GADE (2008).

Die übermäßige Nährstoffbelastung in den o. g. Gewässerarten kann auf Grund ökosystemarer Unterschiede differenzierte Eutrophierungsphänomene bzw. -erscheinungen auslösen. Grundsätzliche Folgen der Eutrophierung sind vor allem:

- Massenvermehrungen von benthischen und planktischen Algen (vor allem in Stand-, Küsten- und Meerestgewässern sowie in langsamfließenden und gestauten bzw. rückgestauten Flüssen) und/oder
- Massenentwicklungen von Pflanzen (aquatische, semiaquatische Makrophyten) in und an unbeschatteten Bächen und Flüssen sowie
- eine damit verbundene, enorme gewässerinterne biologische Primärproduktion, die zu erhöhter Sauerstoffzehrung und bisweilen Sauerstofffreiheit führt (nächtliche Veratmung und extremer Sauerstoffverbrauch beim Abbau der organischen Substanz in

der vegetationsärmeren Zeit), womit lebensfeindliche, vielfach todbringende Bedingungen für wasseratmende Tiere der Gewässer entstehen,

- eine Verschlammung der Gewässerböden auf Grund der hohen Abbaumengen organischer Substanz mit stark negativen Folgen für die benthische Besiedlung (Verlust ursprünglicher Habitatbedingungen),
- eine Toxizität der mineralisierten Stickstoffverbindungen Ammoniak (NH<sub>3</sub>) bzw. Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) sowie der Denitrifizierungszwischenstufe Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) für viele Tierarten der Gewässer (vor allem für Fische und Wirbellose) sowie
- eine stark klimaschädliche Wirkung der weiteren Zwischenstufe des Denitrifizierungsprozesses Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O, „Lachgas“, ca. 300 mal stärkere Klimawirkung als Kohlendioxid - CO<sub>2</sub>), dessen stratosphärisches Abbauprodukt Stickstoffmonoxid (NO) zudem unmittelbar zur Zerstörung der Ozonschicht beiträgt.

Die typische Biomasse weist eine mittlere Zusammensetzung der Kernelemente Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Phosphor (P) von



auf. Insofern müssen diese chemischen Elemente für die autotrophen Organismen auch im entsprechenden Mengenverhältnis physiologisch verfügbar sein. Für Stickstoff und Phosphor bedeutet dies ein Verhältnis von 16:1, weshalb in vielen Gewässern (vor allem in Standgewässern) ein geringer Phosphorgehalt limitierend wirken kann. Aber auch der Stickstoff kann eine limitierende Größe darstellen, was gerade für marine Gewässerökosysteme gilt. Sowohl in den offenen Ozeanen als auch in den Küstengewässern bildet Stickstoff, von Ausnahmen abgesehen, das entscheidende Manglelement. Dies trifft auch auf die Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns zu. Von Juli bis September zeigen Stickstoffmangel und ein ungünstiges N/P-Verhältnis in den meisten Gewässern eine N-Limitation an (BACHOR 2004). Allerdings stellen sich bei einer Stickstofflimitierung teilweise Blaualgenbestände (eigentlich Cyanobakterien) ein, die molekularen Stickstoff N<sub>2</sub> aus der Luft in Form von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> binden und so das Defizit kompensieren können. Zudem stellen diese Bakterien im Regelfall toxische Verbindungen her, die bei Akkumulation in der Nahrungskette zu Vergiftungen und zum Tode führen können.

In nahezu allen natürlichen, anthropogen völlig unbeeinflussten Landschaften und damit Gewässersystemen ist die Nährstofffracht sehr gering, da sich Nährstofffreisetzung und –inkorporation in kleinen Kreisläufen vollziehen. Natürliche Ökosysteme nutzen die freien Nährstoffe grundsätzlich in hohem Maße. Zudem sind viele Ökosystemtypen von Natur aus nährstoffarm. In Fließgewässersystemen nimmt auf Grund der transportierenden Wirkung des fließenden Wassers der Nährstoffgehalt von der Quelle zur Mündung gemeinhin zu (vgl. „River Continuum Concept - RCC“ nach VANNOTE et al. 1980). Sind relativ große, tiefe oder in mehrere Seenbecken gegliederte Seen eingeschlossen oder kommen gar solche „Fließgewässer-Seen-Systeme“ mit einer Abfolge von Seen und Fließstrecken (MEHL 2004) vor, dann kann das Stoffhaushalts- und –transportregime „intranslativ“ sein (MEHL 1998, MEHL & THIELE 1998), da nennenswerte Teile der Nährstofffracht durch Retention in den Tiefenzonen der Seen für geologische Zeiträume den querenden Fließgewässern entzogen werden. Gleichfalls können natürliche Überschwemmungsgebiete, insbesondere Auen, einen wichtigen Stickstoff- und Phosphorretentionsraum darstellen (MITSCH & GOSSELINK 2000, GARCIA-LINARES et al. 2003). Zudem ist die hohe Variabilität ökosystemarer Prozesse (Raum und Zeit) in Fließgewässersystemen zu beachten (THOMS 2006). Vor diesem Hintergrund erweiterten THORP et al. (2006) in ihrer „Riverine Ecosystem Synthesis“ (RES) das RCC um die laterale Auen-/Überschwemmungsgebiets-Perspektive, Aspekte der autochtonen Produktion vom Standpunkt eines Fluss-Produktions-Modells sowie um Fragestellungen der Diskontinuität des Stoff- und Energieflusses.

In Mecklenburg-Vorpommern sind unbestritten große Erfolge des Gewässerschutzes im Hinblick auf die Reduzierung stofflicher Belastungen zu verzeichnen, was insbesondere auf eine konsequente Modernisierung der Abwasserbehandlungsanlagen zurückzuführen ist. Dieser Effekt ist vor allem bei großen Kläranlagen deutlich in den Gewässerbelastungen nachweisbar. Die Abbildungen 1-1 und 1-2 zeigen hier das Beispiel der Alten Nebel, in welche die Kläranlage Güstrow einleitet. Die durchgeführte Modernisierung mit 3. Reinigungsstufe (Phosphoreliminierung, Denitrifizierung) lässt sich seit der Inbetriebnahme im Jahr 2001 durch einen signifikanten Rückgang der Belastung identifizieren.

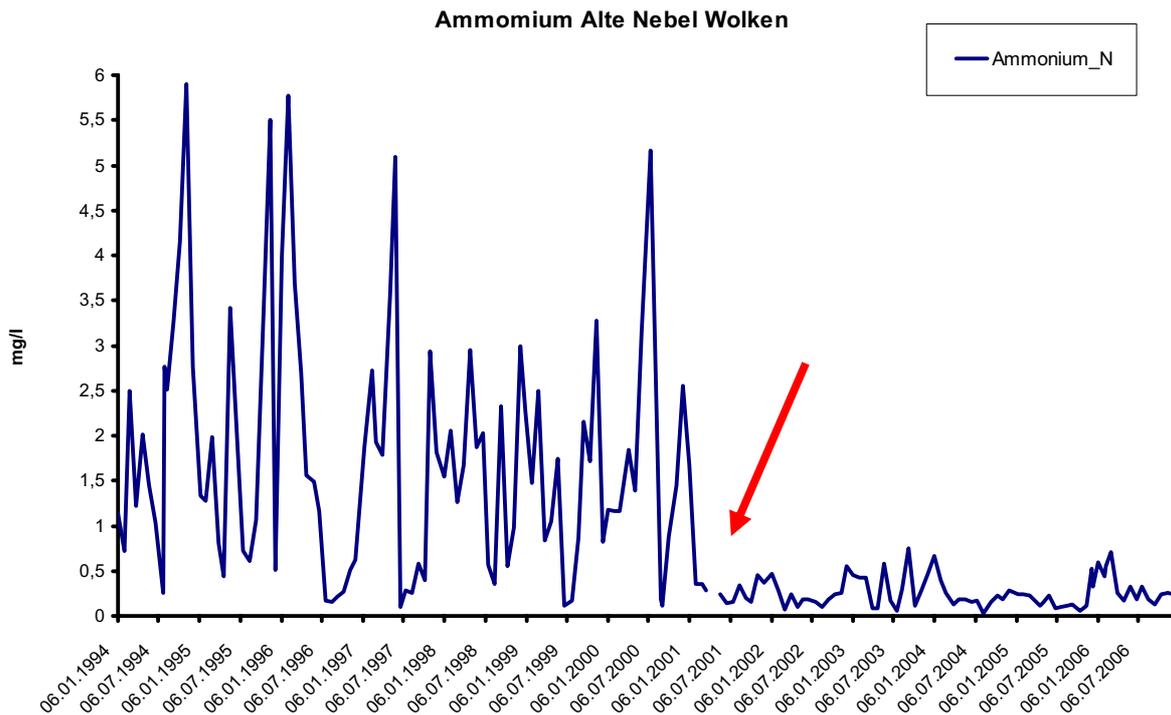


Abbildung 1-1: Messwerte der Ammoniumkonzentrationen an der Messstelle Wolken zwischen 1994 und 2006 (StAUN Rostock 2008)

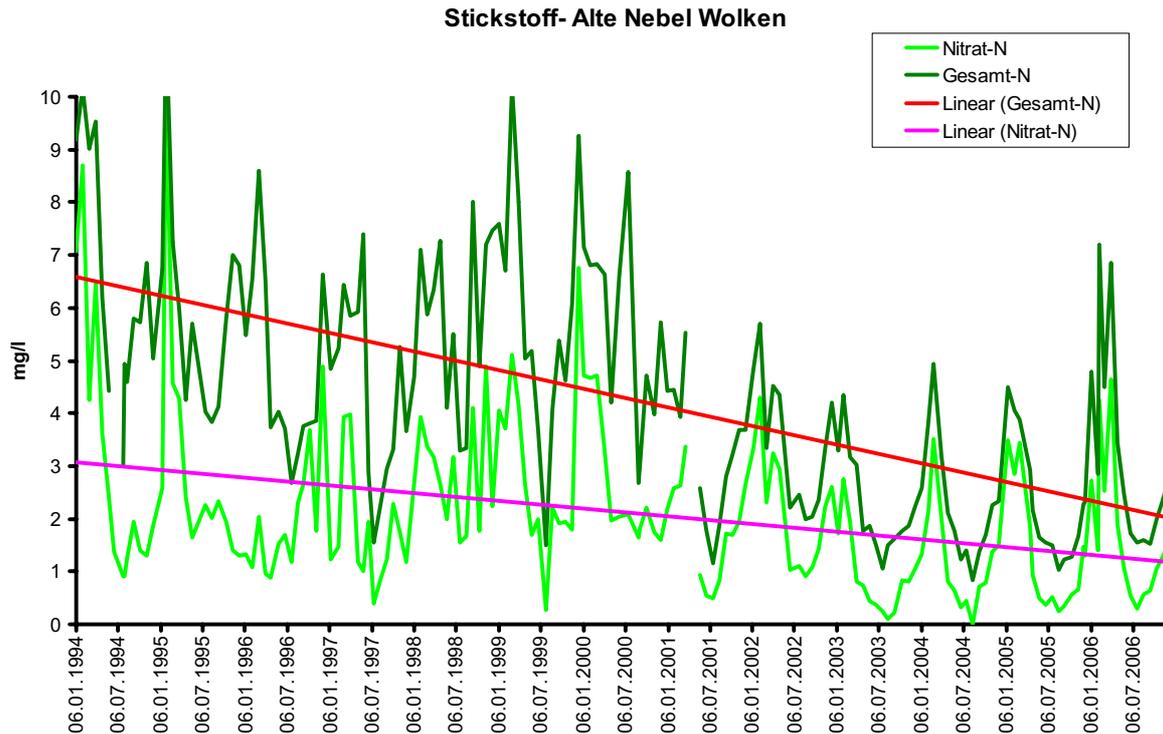


Abbildung 1-2: Messwerte der Nitrat- und Gesamtstickstoffkonzentrationen an der Messstelle Wolken zwischen 1994 und 2006 mit linearem Trend (StAUN Rostock 2008)

In Bezug auf die Nährstoffbelastung durch Stickstoff und Phosphor stellen BACHOR & VON WEBER (2006) für das Ostseeinzugsgebiet Mecklenburg-Vorpommerns fest:

- Die Phosphoremissionen aus den Direkteinleitern haben sich gegenüber dem Zeitraum 1986-1990 um 98% und die Frachten der Ostseezuflüsse um 65% verringert. Insgesamt ist der Phosphoreintrag in die Küstengewässer um 83% zurückgegangen.
- Die Stickstoffemissionen aus den Direkteinleitern haben sich im gleichen Zeitraum um 81% und die Stickstofffrachten der Zuflüsse um 20% verringert. Insgesamt ist der Stickstoffeintrag in die Küstengewässer aber nur um 34% zurückgegangen. Damit ist die Zielstellung der HELCOM (s. u.), die Halbierung der Einträge, beim Stickstoff nicht erreicht worden.

Diese Rückgänge führten insgesamt zu leichten Verbesserungen bei der Eutrophierungssituation der Küstengewässer, insbesondere für die Wismarbucht, die Unterwarnow und den Kleinen Jasmunder Bodden, wo eine Verbesserung des Trophiestatus um ein bis zwei Klassenstufen zu verzeichnen ist (Tab. 1-1).

Tabelle 1-1: Fünfstufige Klassifizierung der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns nach „Trophie und organischer Belastung“, aus BACHOR (2004), n.u. = nicht untersucht, rot = polytroph, gelb = stark eutroph, grün = eutroph, hellblau = mesotroph; nicht dargestellt: hypertroph sowie oligotroph

Gewässer	Gewässerbereich	1986-1990	1991-1995	1996-2000
Wismar-Bucht	Innere Bucht	3,3	3,0	2,6
	Äußere Bucht	2,7	2,3	2,0
	Salzhaff	n.u.	n.u.	3,1
Unterwarnow	Südlicher Teil	5,0	4,9	4,3
	Nördlicher Teil mit Breitling	4,5	3,7	2,9
Darß-Zingster Bodden	Ribnitzer See	n.u.	5,0	5,0
	Saaler Bodden	n.u.	5,0	4,6
	Bodstedter Bodden	n.u.	4,5	4,4
	Barther Bodden	4,2	4,0	4,0
	Grabow	3,8	4,0	3,8
Rügensche Bodden	Kleiner Jasmunder Bodden	n.u.	5,1	4,1
	Großer Jasmunder Bodden	3,0	3,0	2,8
	Äußere Rügensche Bodden	2,8	2,9	2,7
Strelasund	Gesamter Bereich	3,2	3,0	2,9
Greifswalder Bodden	Nördlicher u. zentraler Bereich	3,2	3,0	2,5
	Südöstlicher Bereich	3,5	3,3	3,1
Peenestrom	Nördlicher Bereich	4,4	4,1	4,2
	Südlicher Bereich	4,5	4,4	4,4
Kleines Haff	Gesamter Bereich	4,9	4,5	4,5

Der aktuelle Gewässergütebericht 2003-2006 (LUNG M-V 2008) verweist im Zusammenhang mit der landesweiten Nährstoffbelastung des Grundwassers und der Oberflächengewässer des Binnenlandes folgende aktuelle Trends:

- Die in den 1990er Jahren dokumentierte positive Trendentwicklung in der Wasserbeschaffenheit der Fließgewässer hat sich in den letzten Jahren deutlich abgeschwächt. Neben den großen Fließgewässern, in denen die Gebiets- und Gewässerretention und häufig eine heterogene hydrologische Prozessstruktur (z.B. Verdünnungseffekte durch Grundwasserzufluss) eine Rolle spielen, richtet sich das Augenmerk zunehmend auf die kleinen Fließgewässer, in denen diese Prozesse weniger tragen. Insbesondere hier weisen deshalb sowohl chemische als auch biologische Befunde zum Teil erhebliche Abweichungen vom guten ökologischen Zustand auf. Auf der chemischen Seite sind hierfür oft Belastungen aus kommunalen Kläranlagen, vor allem aber Stoffeinträge aus diffusen Quellen verantwortlich. Dies trifft in besonderem Maße auf die Stickstoffbelastung der Gewässer zu, die in Abhängigkeit von den aktuellen meteorologisch-hydrologischen Bedingungen maßgeblich von den Stickstoffüberschüssen auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen beeinflusst wird.
- Durch den Rückgang der punktuellen Belastungen aus den Einzugsgebieten und dem damit einhergehenden Anstieg der Fließgewässergüte seit Beginn der 1990er Jahre werden auch bei einigen Seen erste Reaktionen hinsichtlich einer Verbesserung der Wasserbeschaffenheit registriert.

- Beim Grundwasser gibt es nach wie vor Defizite im oberflächennahen Grundwasserleiter. Dies betrifft insbesondere die Nitratbelastung, wo regional die Qualitätsnormen der EU-Nitrat- und der EU-Grundwasserrichtlinie um ein Vielfaches überschritten werden. Maßgebliche Eintragspfade werden auch hier durch die landwirtschaftlichen Flächennutzungen bestimmt. Insbesondere in Grundwasserleitern mit fehlenden bindigen Deckschichten gibt es einen unmittelbaren Zusammenhang zu den anthropogenen Einträgen.

Zudem ist festzustellen:

- Die Datenauswertung der Gewässerüberwachung zeigt trotz einiger positiver Entwicklungen in den vergangenen Jahren anhaltende Defizite der Gewässergüte, insbesondere Belastungen mit Stickstoff. Nitratstickstoff ist hierbei mit 70 % des Gesamtstickstoffs die dominierende Verbindung. Der Hauptanteil der Fließgewässer ist in Abhängigkeit von den hydrologischen Verhältnissen bezüglich der gemessenen Nitrat-Konzentrationen den Güteklassen II-III und/oder III (nach LAWA) zuzuordnen, d. h. es überwiegen nach wie vor Gewässer mit deutlicher und erhöhter Nitratbelastung. Tendenzielle Veränderungen sind beim Nitrat nicht zu erkennen.
- Die Defizite der Gewässerbeschaffenheit sind im Ergebnis der Bestandsaufnahme nach WRRL für alle Flussgebietseinheiten Mecklenburg-Vorpommerns erneut besonders deutlich geworden. Die Nährstoffeinträge über Fließgewässer und Grundwasser in die Stand- und Küstengewässer stellen eine signifikante Beeinträchtigung für deren Gewässerqualität dar. Die Nährstoffbelastung trägt neben den strukturellen Defiziten dazu bei, dass sich 90 % der Fließgewässer-, 34 % der Seen- und 85 % der 1-Seemeile-Küstengewässerkörper nicht im Einklang mit der Zielvorstellung „guter ökologischer Zustand“ befinden. Nahezu alle biologischen Qualitätskomponenten, welche den guten Zustand der Oberflächengewässer am stärksten bestimmen, weisen in allen Gewässerkategorien eine deutliche bis starke Nährstoffsensibilität auf.

Vor diesem Hintergrund sollen Handlungsansätze für Maßnahmen zur Verminderung der Nährstoffbelastung und damit zur Erreichung des guten ökologischen Zustandes der Gewässer sowohl auf der Seite der Emissionen (Verursacher) als auch auf der Seite der Immissionen ansetzen. Folgende Strategien sind vorzusehen:

### 1. Emissionsseite

- a. Verminderung der Nährstoff-Überschüsse (insbes. N) bzw. des Nährstoff-Austrags aus landwirtschaftlicher, forst- und gartenbauwirtschaftlicher Nutzfläche
- b. Verminderung des Nährstoff-Austrags aus Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft (da die größeren Kläranlagen bereits über eine 3. Reinigungsstufe zur Nährstoffelimination verfügen, trifft dies in erster Linie auf kleinere Anlagen zu) und der Kommunalentwässerung

### 2. Immissionsseite

- a. Erhöhung der Gebietsretention (Wasser- und Nährstoffrückhalt in der Landschaft, dadurch Austragsverzögerung und/oder -minderung z. B. durch Denitrifikation)
- b. Erhöhung der Selbstreinigungskraft der Gewässer durch Strukturentwicklung u. a. Maßnahmen

Bei aktuellen Messungen für ausgewählte Küstengewässer fiel auf, dass insbesondere beim Stickstoff der Anteil, der über kleine Küstenbäche eingetragen wird, überproportional hoch ist. Die großen, nach WRRL berichtspflichtigen Fließgewässer bringen zwar mit der Abflussmenge auch eine hohe Nährstofffracht; diese kann jedoch nicht flächenspezifisch auf das gesamte Einzugsgebiet verteilt werden. Ein Beschränken von Maßnahmen und Überwachung auf größere Fließgewässer würde den Eintrag aus solchen "hot spots" vernachlässigen. Dieser kann aber für einzelne Boddengewässer durchaus beachtlich sein.

Gleiches gilt für die Fließ- und Standgewässer im Binnenland. Die Messungen zeigen, dass insbesondere aus kleineren Teileinzugsgebieten an den Oberläufen der Flüsse überproportional hohe flächenspezifische Nährstoffeinträge zu verzeichnen sind. Gebietsretention und Verdünnungseffekte, welche die Nährstofffracht an den Unterläufen bzw. Mündungsquerschnitten der Flüsse relativieren, kommen hier kaum zum Tragen, so dass die Gebietsemission in hohem Maße als Fracht im Gewässer wiederzufinden ist.

Für die Elbe wurde im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft eine Modellierung der Nährstoffeinträge aus dem gesamten Elbeeinzugsgebiet (150.000 km<sup>2</sup>) durchgeführt. Hintergrund war das überregionale Problem der Nährstoffbelastung in der Nordsee, das mit einem makroskaligen Modell (MONERIS, BEHRENDT et al. 2007) bis zur Ebene der Koordinierungsräume hinreichend beschrieben werden kann. Das Herunterbrechen der Ergebnisse auf Bundeslandebene ergab jedoch erhebliche Differenzen zu den Messwerten der Bundesländer. Um auf mesoskaliger Ebene Belastungsgebiete zu regionalisieren und insbesondere um daraus konkrete, flächenbezogene Maßnahmen abzuleiten, muss ein anderer Ansatz gewählt werden. So sollen nunmehr für das Land Mecklenburg-Vorpommern die Belastungsgebiete für Nährstoffe in Oberflächengewässern in einem ersten Schritt aus den Messwerten der Gewässerüberwachung ermittelt werden. Ziel ist die Schaffung einer Datengrundlage für die Aufstellung bzw. Optimierung der Maßnahmenprogramme zur gezielten und effektiven Reduzierung von Nährstoffeinträgen aus der Fläche. Das im Zuge der Umsetzung der WRRL modifizierte Monitoringprogramm sollte zukünftig darauf ausgerichtet werden, die hier erzielten Ergebnisse zu validieren und zu verdichten.

Basis sind die Messdaten (Konzentrationen) der Überwachung an den Messstellen des gewässerkundlichen Landesdienstes, die repräsentativ die Wasserkörper und die Gewässer-einzugsgebiete in Mecklenburg-Vorpommern abdecken. Aus diesen Daten sollen Teileinzugsgebiete identifiziert werden, die in besonderem Maße zur Nährstoffbelastung von Flussgebieten oder von Küstengewässern beitragen. Für den nicht überwachten Einzugsgebietsanteil ist unter Berücksichtigung der relevanten Parameter (z. B. Bodenkenndaten, Dränung, agrarstatistische Daten) eine Systematik zur Übertragung des Ansatzes auf diese Gebiete zu entwickeln, um auch im nichtüberwachten Bereich die Belastungsgebiete repräsentativ ermitteln zu können.

Zudem stehen für eine Reihe von Ostseezuflüssen Frachten bzw. zum Teil auch flächenspezifische Emissionsangaben zur Verfügung. Für weitere kleinere Küstenbäche sind Frachten neu zu berechnen. Ziel ist es, für die bisher nicht überwachten Zwischeneinzugsgebiete belastbare Aussagen zu den Flächenausträgen in die Küstengewässer zu erhalten.

Für die Regionalisierung der Nährstoff-Belastungsgebiete sollen entsprechend der Anforderungen des Auftraggebers insbesondere folgende Aufgaben gelöst werden:

1. Flächendeckendes Screening der Flusseinzugsgebiete Mecklenburg-Vorpommerns anhand der gemessenen Konzentrationen
2. Entwicklung einer Systematik zur Übertragung von Frachtdaten überwachter Teileinzugsgebiete auf den nichtüberwachten Einzugsgebietsanteil
3. Skalierung, Abgrenzung und Beschreibung der Teileinzugsgebiete, die in besonderem Maße zur Belastung von Oberflächengewässern des Binnenlandes mit Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Phosphor beitragen = Ermittlung der Gebiete mit besonders hoher Gebietsemission = Nährstoff-Belastungsgebiete („hot spots“, Kategorie „rot“)
4. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den ermittelten Belastungen und den Grundwasserbelastungsgebieten
5. Auswahl, Quantifizierung und Priorisierung von geeigneten Maßnahmen (bzw. Maßnahmekombinationen) aus dem Maßnahmenkatalog M-V, die zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele der Fließgewässer, Seen und des Grundwassers beitragen

6. Auswertung von Förderszenarien anderer (Flächen-) Bundesländer und Vorschlag geeignet erscheinender Fördertatbestände für Mecklenburg-Vorpommern
7. Ermittlung einzugsgebietsspezifischer Nährstoffausträge im Ostsee- sowie im Nordsee-einzugsgebiet Mecklenburg-Vorpommerns nach hierarchischen Einzugsgebietsstrukturen
8. Quantifizierung der Emissionen in die Gewässer über die Pfade (soweit möglich und sinnvoll)

## 2 Übersicht zu Datengrundlagen und -quellen

Als Grundlage der Bearbeitung fanden die in Tabelle 2-1 aufgeführten Daten Verwendung. Dabei ist besonders bemerkenswert, dass gerade bei Gütemess- und hydrologischen Daten, bei Kläranlagendaten und landwirtschaftlichen Fachdaten eine hohe Aktualität dieser Grundlagen gegeben ist.

Im Küstenraum Mecklenburg-Vorpommerns sind nicht alle kleinen Zuflüsse hydrologisch und güteseitig überwacht, so dass es sich hier um teilweise unbeobachtete Gebiete handelt. Da aus zeitlichen und –aufwendungsbezogenen Gründen ebenso (noch) keine Einbeziehung von Daten benachbarter Bundesländer erfolgte, ergibt sich zudem eine zweite kleine Gebietskulisse an der südlichen Landesgrenze, die demnach adäquat als „unbeobachtet“ behandelt werden musste. Diese Kulisse aus kleinen Gebieten des Küstenraums sowie im Bereich der südlichen Landesgrenze musste bei den nachfolgenden Analysen über Regionalisierungstechniken einbezogen werden.

Tabelle 2-1: Verwendete wesentliche Grundlagendaten mit Quellen- sowie Aktualitäts- bzw. Zeitbezugsangabe

Datengrundlage	Quelle bzw. Herkunft	Aktualität/Zeitbezug
Gütemessungen (Konzentrationen) an Fließgewässern und Güteklassifikationen der Seen	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2001-2007
Abflussdaten des Landespegelmessnetzes, Koordinaten der Pegel	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2001-2007
Karten der mittleren Mittelwasserdurchflüsse sowie der mittleren Niedrigwasserdurchflüsse in den Flussgebieten Mecklenburg-Vorpommerns	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern bzw. BIOTA (2003a)	2003 (Bezugszeitraum 1971-2000)
Aktualisierte Daten zu den überwachten Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern	Staatliche Ämter für Umwelt und Natur	2001-2007
N- und P-Überwachungsdaten zu Kläranlagen, Angaben zu Schmutzwassermengen	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2006
Angaben zur Einwohnerzahlen je Gemeinde	Amt für Statistik im Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern	2007
Angaben zu Anschlussgraden der Einwohner an zentrale Kläranlagen	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2003
Geologische und bodenkundliche Karten: Konzeptbodenkarte M-V (KBK 1:25.000), Geologische Oberflächenkarte (1:100.000)	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2008
Karte der Projekte der ehemaligen Meliorationskombinate der Bezirke Rostock, Schwerin und Neubrandenburg	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	vor 1991

<b>Datengrundlage</b>	<b>Quelle bzw. Herkunft</b>	<b>Aktualität/Zeitbezug</b>
Depositionsdaten Stickstoff-Gesamtdeposition	Umweltbundesamt	2004
CORINE-Landnutzungsdaten 2000 (1:100.000), Biotop- und Nutzungstypenkartierung (BNTK, 1:10.000)	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	1991, 2000
Wasserwirtschaftliche Fachdaten aus dem zentralen WRRL-Projekt des Landes	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2008 (Zeitbezüge 2001-2007)
Nährstoffsalden der landwirtschaftlichen Nutzflächen auf der Grundlage aktueller Flächendaten (auf Feldblockebene)	LMS Landwirtschaftsberatung Mecklenburg-Vorpommern, WIEBENSOHN (2008)	2006
Karte der grundwasserabhängigen Oberflächengewässer- und Landökosysteme (1:25.000)	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2004
Standorte größerer Tierhaltungsanlagen	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern	2007
Diffuse stoffliche Grundwasserbelastungen	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern bzw. HYDOR (2005)	2005 (Bezugszeitraum 1999-2003)

### 3 Frachtberechnung aus Messwerten

#### 3.1 Grundlagen

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde als Bezugszeitraum grundsätzlich das hydrologische Jahr (01.11.-31.10.) gewählt, um der hohen Bedeutung des Abflussgeschehens als Prozessauslöser und Prozessstruktur für die Nährstoffausträge entsprechend Rechnung zu tragen. Dabei wurden alle Analysen für den Zeitraum 2002 bis 2007 durchgeführt (Zeitraum hoher Aktualität, hoher meteorologisch-hydrologischer Kontrast in den Einzeljahren, vgl. Kapitel 3.5).

Basierend auf der Differenzierung der oberirdischen Einzugsgebiete der Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern (LAWA 1993, LUNG M-V 2001) und der Abdeckung dieser Einzugsgebiete durch Gütemessstellen wird ein hydrologisch orientierter Ansatz gewählt. Die für die Pegel vorliegenden täglichen Werte des Durchflusses werden nach einem eigens entwickelten Verfahren insoweit regionalisiert, dass für jedes mit einer Messstelle abgedeckte Teilgebiet ein täglicher Durchfluss- bzw. Abflusswert generiert werden kann. Generell setzen die Berechnungen von Frachten umfangreiche Umrechnungsprozeduren voraus. Ausgangseinheiten sind mg/l und l/s oder m<sup>3</sup>/s. Damit muss u. a. die Einheit des Transportes als Produkt aus Durchfluss x Konzentration mg/s durch Berücksichtigung des Zeitraumes in die Frachteinheiten kg/a oder t/a umgerechnet werden. Die Gesamtmethodik ist im Überblick in Abbildung 3-1 dargestellt.



Abbildung 3-1: Methodischer Gesamtablauf der Nährstoffregionalisierung

Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden der Frachtberechnung vorgestellt und deren exemplarisch an 11 Messstellen berechneten Ergebnisse verglichen und bewertet. Dabei kristallisiert sich eine Vorzugsvariante heraus, welche den nachweislich hohen Einfluss des Abflusses, insbesondere beim Stickstoff, auf die Nährstofffracht am besten widerspiegelt (vgl. u. a. MÜLLER-WOHLFEIL et al. 2003, MEHL & STEINHÄUSER 2003, SCHILLING & LUTZ 2004, SCHILLING & ZHANG 2004, KAHLE & LENNARTZ 2005, KAHLE et al. 2007).

Die Fracht ist definiert als der Transport über einen Zeitraum. Der Transport stellt das Produkt aus Durchfluss und Konzentration dar. Die Stofffracht eines begrenzten Zeitraumes berechnet sich damit als Integral des Transportes über die Zeit und entspricht folglich der Fläche unter der Transportganglinie (HILDEN 2003):

$$T = Q(t) \cdot c(t)$$

$$F = \int Q(t) \cdot c(t) dt$$

$T$  = (Stoff-)Transport

$F$  = Fracht im definierten Messzeitraum

$Q(t)$  = Durchfluss des Gewässerquerschnittes in Abhängigkeit von der Zeit

$c(t)$  = Konzentration im Gewässerquerschnitt in Abhängigkeit von der Zeit

In der Praxis erfolgt die Berechnung der Fracht allerdings nicht als Integral, sondern vereinfacht als Summe von Einzelfrachten. Während nämlich für den Durch- bzw. Abfluss vielerorts kontinuierliche Messdaten (Ganglinien) vorliegen, beschränken sich die Konzentrationsangaben meist auf einzelne, periodisch gemessene Werte. Um trotzdem die Stofffrachten berechnen bzw. abschätzen zu können, wurden in der wasserwirtschaftlichen Praxis verschiedene Verfahren entwickelt, von denen die wichtigsten nachfolgend kurz vorgestellt werden sollen, vgl. u. a. Empfehlungen in LAWA (2006) und Diskussion bei VENOHR (2006).

## **3.2 Grundsätzliche Methoden der Frachtberechnung**

### **3.2.1 Frachtberechnung für die Einzeljahre 2002-2007**

#### **3.2.1.1 „Standardmethode“: Frachtberechnung als Mittelwert der Einzelfrachten**

Die sogenannte „Standardmethode“ stellt das einfachste Verfahren der Frachtberechnung dar und wurde u. a. als Grundlage der Abschätzung von Nährstoffimmissionen in Dänemark genutzt (BEHRENDT 1996):

$$F(a) = t \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i \text{ mit}$$

$C_i$  Konzentrationswert der i-ten Beprobung im Jahr a

$Q_i$  zugehöriger, taggleicher Durchfluss an der Konzentrationsmessstelle

$t$  Berechnungszeitraum = 1 Jahr

$n$  Anzahl der Konzentrationsmessungen/-werte

#### **3.2.1.2 „Monatsmittelwert-Methode“: Frachtberechnung als Produkt der mittleren Monatsabflüsse und der mittleren Monatskonzentrationen mit anschließender Summation zu Jahresfrachten**

Neben der o. g. „Standardmethode“ wird unter anderem von der HELCOM (1994) auch die „Monatsmittelwert-Methode“ empfohlen. Diese wurde bislang zur Abschätzung des Nährstoffeintrags in die Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns verwendet (BACHOR 2004, 2005):

$$F(a) = t \cdot \sum_{i=1}^{12} \bar{C}_i \cdot MQ_i \text{ mit}$$

$F(a)$  Jahresfracht

$\bar{C}_i$  mittlerer monatlicher Konzentrationswert im i-ten Monat

$MQ_i$  mittlerer Monatsabfluss an der Konzentrationsmessstelle

$t$  Berechnungszeitraum = 1 Jahr

$i$  Monate 1 bis 12

### 3.2.1.3 „Abflusskorrigierte Standardmethode“: Korrektur der Jahresfracht durch Normierung auf den mittleren Jahresdurchfluss MQ(a)

Zur Frachtberechnung und Nährstoffbilanzierung in verschiedenen Flussgebieten Deutschlands findet u. a. bei HIRT (2002), BEHRENDT & DANNOWSKI (2005) und VENOHR (2006) die von der OSPAR favorisierte, „abflusskorrigierte Standardmethode“ Anwendung. Diese erzielt im Rahmen der einfachen Berechnungsverfahren nach den Vergleichen von HILDEN (2003) die realsten Ergebnisse:

$$F_{Q(a)} = \frac{MQ(a)}{Q_{M(a)}} \cdot F(a) \text{ mit}$$

$F_{Q(a)}$  durchflussnormierte Jahresfracht

$F(a)$  Jahresfracht (Mittelwert der Einzelfrachten)

$MQ(a)$  mittlerer Durchfluss des Jahres a, abgeleitet/regionalisiert aus Pegeldaten

$Q_{M(a)}$  Mittelwert der Durchflüsse an den Tagen mit Beprobung bzw. Konzentrationswert, abgeleitet/regionalisiert aus Pegeldaten

und

$$F(a) = t \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i \text{ mit}$$

$C_i$  Konzentrationswert der i-ten Beprobung im Jahr a

$Q_i$  zugehöriger, taggleicher Durchfluss an der Konzentrationsmessstelle

$n$  Anzahl der Konzentrationsmessungen/-werte

$t$  Berechnungszeitraum = 1 Jahr

Somit gilt:

$$F_{Q(a)} = \frac{MQ(a)}{Q_{M(a)}} \cdot t \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i$$

### 3.2.1.4 „c-Q- Regressionsmethode“: Frachtberechnung auf der Grundlage einer Konzentrations-Durchfluss-Beziehung

Die rechentechnisch aufwändigere Methode der c-Q-Regression stellt eine weitere Option dar, indem der statistische Zusammenhang zwischen Durchfluss und Konzentration analysiert wird und mit Hilfe einer Ausgleichfunktion fehlende Konzentrationswerte berechnet werden. So konnten beispielsweise SCHILLING & LUTZ (2004) für den Racoon River in Iowa (USA) lineare statistische Zusammenhänge zwischen Nitratkonzentrationen und dem Abfluss belegen, wobei dieser Zusammenhang auf den Zeitskalen Tag, Monat, Halbjahr und Jahr signifikant ist (vgl. auch SCHILLING & ZHANG 2004).

Von der von HILDEN (2003) favorisierten Methode der T-Q-Regression wird hier Abstand genommen, da mit der implizit vorhandenen Beziehung zwischen Transport und Abfluss die Gefahr von Scheinkorrelationen besteht.

## 3.2.2 Frachtberechnung für den ausgewählten, mehrjährigen Bilanzierungszeitraum

### 3.2.2.1 Durchschnitt der Einzeljahre des Bilanzierungszeitraumes

Einfachstes Verfahren für eine mehrjährige mittlere Frachtberechnung ist die Bildung des arithmetischen Mittels der Frachten der Einzeljahre:

$$F(BZ) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n F_{Q(a)_i} \quad \text{mit}$$

$F(BZ)$	mittlere Jahresfracht im Bezugszeitraum BZ
$F_{Q(a)}$	durchflussnormierte Jahresfracht des Jahres a
$n$	Anzahl der Jahre im Bezugszeitraum
$i$	Jahre 1 bis n

### 3.2.2.2 Durchschnitt der Einzeljahre unter Gewichtung des jeweiligen mittleren Jahresdurchflusses durch Normierung auf den mittleren Durchfluss des Bilanzierungszeitraumes

Adäquat zu Kapitel 3.2.1.3 kann die Mittelwertbildung ggf. aber auch durch Normierung auf den mittleren Durchfluss des Bilanzierungszeitraumes vorgenommen werden:

$$F_{Q(BZ)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n F_{Q(a)_i} \cdot \frac{MQ(BZ)}{MQ(a)} \quad \text{mit}$$

$F_{Q(BZ)}$	mittlere durchflussnormierte Fracht im Bezugszeitraum BZ
$F_{Q(a)}$	mittlere durchflussnormierte Jahresfracht des Jahres a
$n$	Anzahl der Jahre im Bezugszeitraum
$MQ(a)$	mittlerer Durchfluss des Jahres a, abgeleitet/regionalisiert aus Pegeldata
$MQ(BZ)$	mittlerer Durchfluss des Bezugszeitraumes BZ, abgeleitet/regionalisiert aus Pegeldata
$i$	Jahre 1 bis n

### 3.3 Aufbereitung der Konzentrationsmessdaten

Im Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern liegen im zentralen Datenspeicher „Wasserbeschaffenheit“ (WAB) insgesamt 16.730 Datensätze chemischer Analysen von insgesamt 534 Fließgewässer-Messstellen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2007 vor. Die zu Grunde liegenden Beprobungen erfolgen zeitlich äquidistant und überwiegend im 4-Wochen-Takt. Einzelne, besonders wichtige Messstellen (mit Bedeutung für die nationalen oder internationalen Berichtspflichten) werden alle 14 Tage beprobt.

Eine zusätzliche Datenquelle für Nährstoffkonzentrationen stellen die durchgeführten Sondermessungen der Staatlichen Ämter für Umwelt und Natur dar. Diesen Messungen liegt der „Ermittlungszweck“ nach WRRL zugrunde. So sind denn auch die meisten Analysen an Gewässern mit mittleren oder kleinen Einzugsgebieten vorgenommen worden und basieren häufig auf dem Prinzip des „Längsschnittes“, d.h. die Beprobung an mehreren Messstellen entlang eines Gewässers erfolgte an nur einem Tag oder wenigen aufeinander folgenden Tagen, um zu einer gewässerabschnittsbezogenen und damit räumlich differenzierten Belastungsanalyse zu kommen.

Eine Übersicht über die Anzahl der Datensätze und Messstellen für den Zeitraum 2002 bis 2007 gibt Tabelle 3-1. Abbildung 3-2 zeigt die räumliche Verteilung sowie die Anzahl der Messungen pro Messstelle im genannten Untersuchungszeitraum.

Tabelle 3-1: Anzahl der Messstellen und Datensätze der Konzentrationsmessdaten mit Datenquelle (Periode 2002–2007)

Quelle	Anzahl der Datensätze	Anzahl der Messstellen
LUNG M-V	16730	534
StAUN Rostock	318	86
StAUN Stralsund	1070	61
StAUN Ueckermünde	779	168

Zur EDV-technischen Weiterverarbeitung war es zuerst nötig, alle Gütemessdaten in eine einheitliche Struktur zu bringen. Dies geschah durch das Erzeugen einer an die WAB-Daten angepassten Tabelle mit einer Struktur wie in Tabelle 3-2 dargestellt. Die Messstellennummer wurde aus den WAB-Daten übernommen. Für die Sonderanalysen der StÄUN wurden eigene Codes, bestehend aus der StAUN-Bezeichnung (StAUN Rostock = HRO, StAUN Stralsund = HST, StAUN Ueckermünde = UEM), dem oder den Anfangsbuchstaben des Gewässers und einer Zahl vergeben.

Konzentrationswerte, die in den Daten mit einem „<“ als unterhalb der Bestimmungsgrenze vermerkt sind, werden für die Weiterverarbeitung durch den jeweils halben Wert der Bestimmungsgrenze ersetzt (vgl. HILDEN 2003). Einige Datensätze enthielten zudem keine Werte für Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor und mussten damit aus dem Datenkollektiv gelöscht werden. Da es sich bei den Konzentrationsdaten um amtliche Daten handelt, erfolgte keine weitere Konsistenzprüfung.

Tabelle 3-2: „Tabellenkopf“ zur Vereinheitlichung der Datenstruktur

Gewässer	Messstelle	MST-Nr.	Datum	Uhrzeit	Konzentration Gesamtstickstoff	Konzentration Gesamtphosphor
----------	------------	---------	-------	---------	--------------------------------	------------------------------

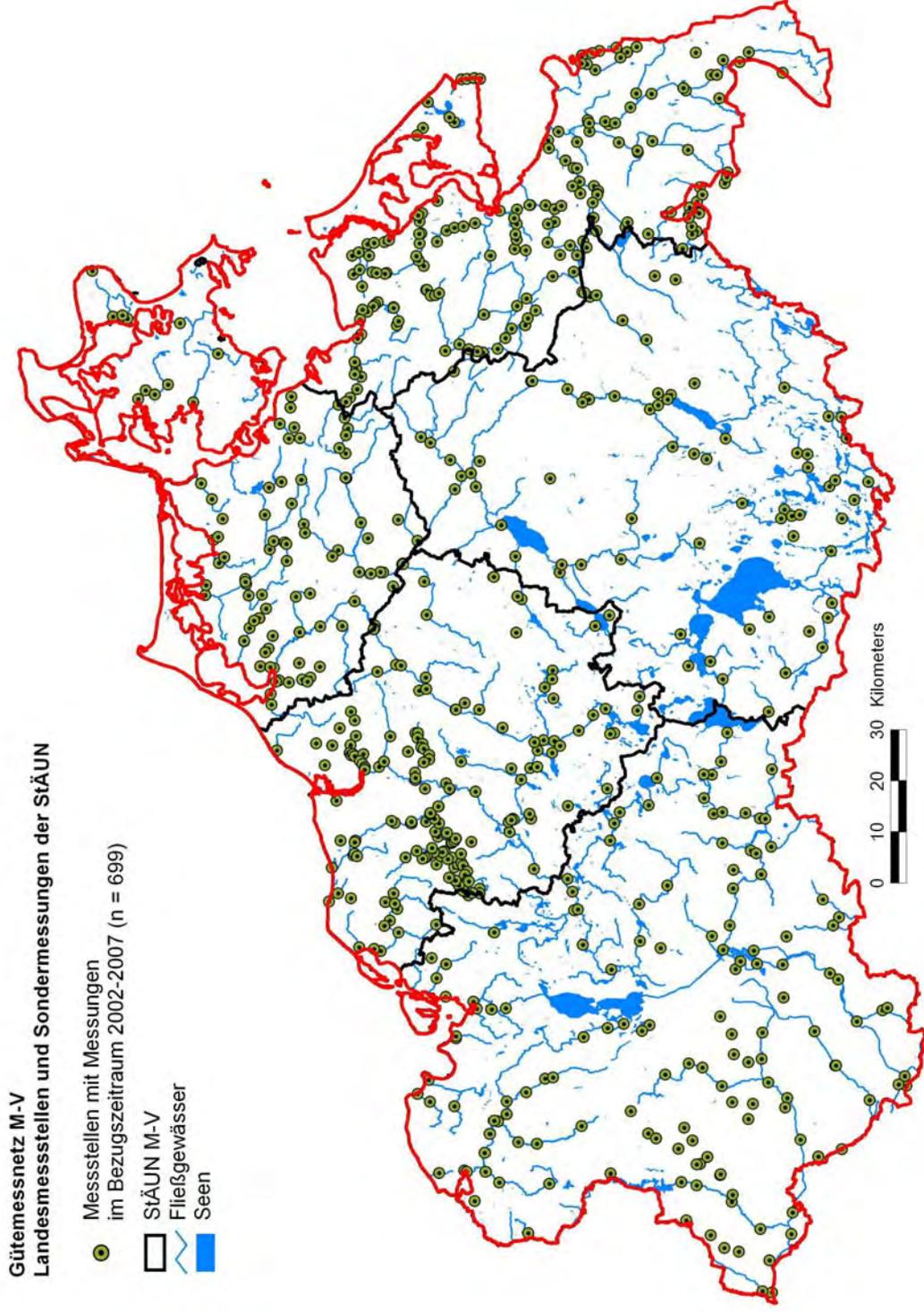


Abbildung 3-2: Amtliche Gütemessstellen an Fließgewässern im Zeitraum 2002-2007 (Hintergrund: Hauptgewässernetz in Mecklenburg-Vorpommern)

Parallel wurden sämtliche Messstellen im Geoinformationssystem (GIS) lokalisiert und ihnen die jeweiligen Koordinaten zugewiesen. Dadurch war eine „Verschneidung“ der Messstellen mit den Einzugsgebietspolygonen möglich. Da die Berechnung bzw. Regionalisierung des taggleichen Abflusses bzw. Durchflusses auf der Ebene der Basis-Einzugsgebiete in Mecklenburg-Vorpommern vorgenommen wurde (im Mittel nahezu 10 km<sup>2</sup> Einzugsgebietsfläche), s. Kapitel 3.4, ist auch jeweils nur die Verwendung eines Gütedatensatzes pro Tag und Teilgebiet sinnvoll. Durch die durchgängige Orientierung auf die feingliedrigen Basis-Einzugsgebiete konnte zudem vereinfacht angenommen werden, dass die Lage einer Gütemessstelle innerhalb eines Teilgebiets vernachlässigbar ist (ggf. „virtuelles Verschieben“ an den Gebietsauslass eines Basisgebiets) und so auf Korrekturfaktoren für den Einzugsgebietsbezug von Messstellen verzichtet werden kann.

Da die Genauigkeit der Frachtberechnung wesentlich von der Quantität von Analysedaten abhängt, wurde eine Mindestzahl von Analyseergebnissen je Teilgebiet und hydrologischem Jahr abgesetzt. Um zumindest nahezu einen monatlichen Messwert in den Datensätzen zu haben, wurde diese nach dem Kriterium  $\geq 10$  Messungen in einem Jahr gefiltert (Abb. 3-3). Im Ergebnis dieser Datenvorbereitung lagen nunmehr für rund 200 Messstellen Datensätze für Stickstoff und Phosphor für die Periode 2002 bis 2007 vor (Tab. 3-3).

Tabelle 3-3: Anzahl der verwendeten Messstellen (MST) mit mindestens 10 Messungen/Jahr

Hydrologisches Jahr	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>MST Stickstoff</b>	219	193	199	210	168	214
<b>MST Phosphor</b>	229	198	200	210	168	213

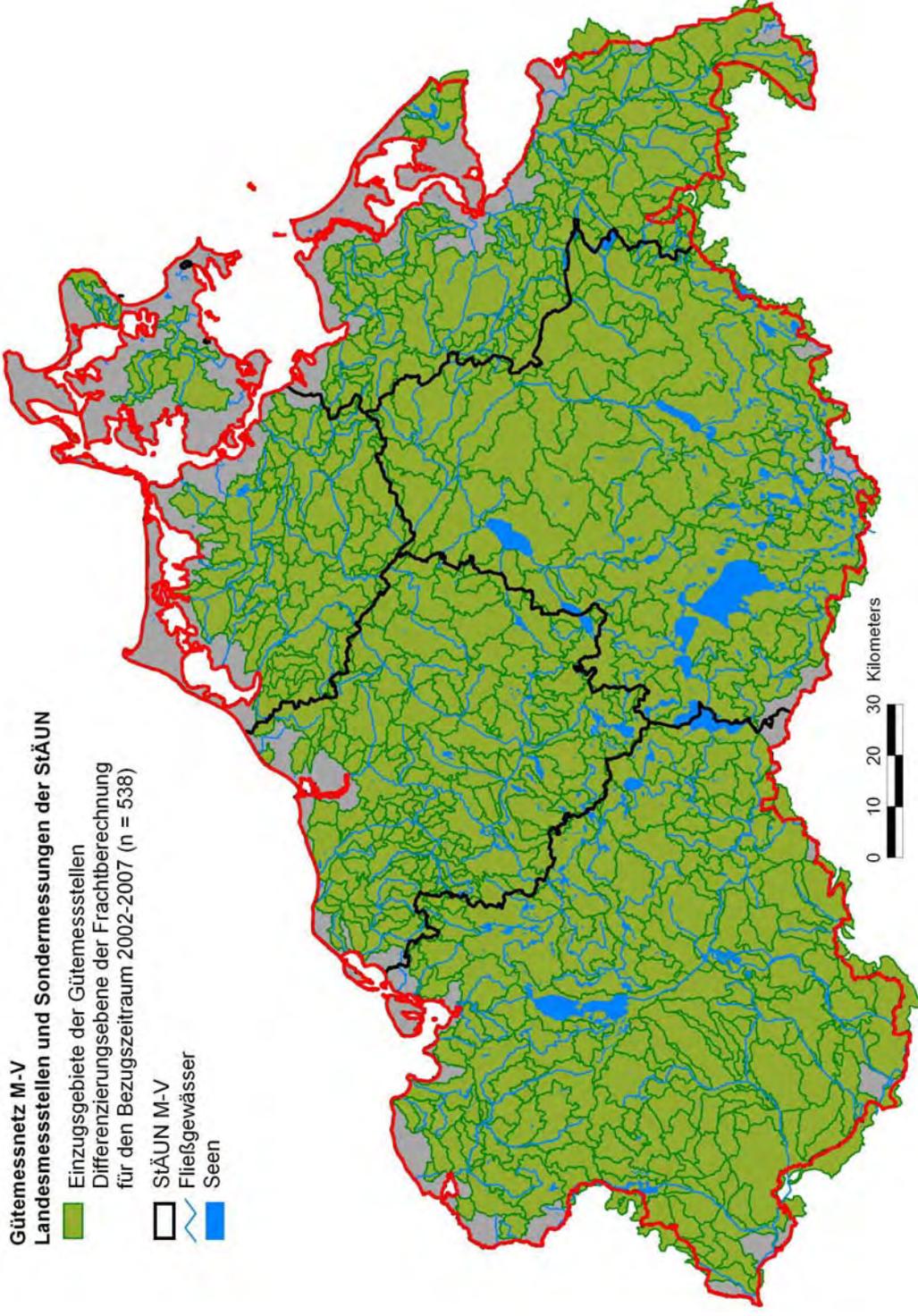


Abbildung 3-3: Differenzierte Einzugsgebiete von Gütemessstellen mit mindestens 10 Messungen pro Jahr; grau: unbeobachtete Gebiete

### 3.4 Aufbereitung der hydrologischen Daten

Für Frachtberechnungen nach den Vorzugsansätzen (vgl. Kapitel 3.5) werden für die einbezogenen Gütemessungen taggleiche Durchflüsse am Messquerschnitt benötigt. Diese liegen jedoch direkt nur für die Messstellen mit benachbarten hydrologischen Pegeln vor. Ein erster Arbeitsschritt musste daher sein, für alle Gütemessstellen und Messtage taggleiche Durchflüsse zu ermitteln. Basis der Durchflussermittlung ist die hydrographische Gliederung des Landes Mecklenburg-Vorpommern in Form der oberirdischen Einzugsgebiete (OEG). Entsprechend der landesspezifischen Umsetzung der LAWA-Richtlinie für die Gebietsbezeichnung und die Verschlüsselung von Fließgewässern (LAWA 1993, LAUN M-V 1996, WOLFF et al. 2000) wurde dabei die vorliegende Einzugsgebietsdifferenzierung in der Größenordnung von ca. 10 km<sup>2</sup> genutzt. Aufgrund von Vorarbeiten (BIOTA 2003a) liegen für diese Bezugsebene Grundlageninformationen zu mittleren Mittelwasser- und Niedrigwasserdurchflüssen der Bezugsreihe 1971-2000 vor, so dass die sich daraus ergebende Regionalisierung hier auch für einen Regionalisierungsansatz beobachteter Tagesdurchflüsse genutzt werden kann.

Die hydrologischen Daten wurden aus dem Langzeitdatenspeicher Oberflächenwasser (LOWO) des LUNG M-V übergeben. Hierbei werden die Daten in Form einer Access-Datenbank gehalten. Im Folgenden sollen die Schritte zur Datenaufbereitung und –verarbeitung dargestellt werden.

Hier werden die Daten von 134 Landespegeln verwendet, für die Messwerte für die Jahre nach 1999 vorliegen. Zudem sind die Pegel GIS-technisch mit ihrem jeweiligen Einzugsgebiet verortet (BIOTA 2003a, 2004). Die Pegeldata dienen als Grundlage zur Erzeugung von tagesgenauen Durchflüssen für die Gütemessstellen, da sich diese in den überwiegenden Fällen nicht direkt an einem Pegel befinden. Zur Darstellung von Sondereffekten, wie z. B. an Seenabläufen, werden in Anlehnung an BIOTA (2003a) virtuelle Pegel gebildet. Diese basieren auf realen Pegeln, die aufgrund anthropogener Veränderungen oder natürlicherweise nur Teilabflüsse erfassen. Die Durchflusswerte der virtuellen Pegel entstehen in der Folge durch Summen- bzw. Differenzbildung realer Messwerte. Beispielsweise entwässert das Müritz-Plauer-Seen-Gebiet über 3 Abläufe: die Müritz-Elde-Wasserstraße (Pegel Plau), die Müritz-Havel-Wasserstraße (Pegel Mirow) und den Bolter Kanal (Pegel Bolt). Der Gesamtabfluss des Gebietes stellt also die Summe der 3 Pegel dar. Ähnliche Situationen sind u. a. am Schweriner See sowie am Schaalsee vorzufinden.

Die zeitliche Einordnung der Frachtberechnung erfolgt in den hydrologischen Jahren 2002 bis 2007 (01.11.2001 bis 31.10.2007). Die Durchflussdaten für diesen Zeitraum weisen allerdings an 15 Pegeln Lücken von 1 bis 4 Jahren im Datenbestand auf. Eine Übersicht über die betroffenen Pegel und das zeitliche Ausmaß der Datenlücken gibt Tabelle 3-4.

Um die Datenlücken zu schließen, wurden für die betroffenen Pegel Regressionsbeziehungen zu oberhalb oder unterhalb im Gewässerlängsschnitt liegenden Pegeln bzw. vergleichbaren Nachbarpegeln aufgestellt (2-Flüsse-Modell). Die Regressionsgleichung gibt dabei den Zusammenhang der Durchflusswerte  $Q_x$ ,  $Q_y$  in Form einer Ausgleichskurve mit einem Minimum der quadrierten Abweichungen wieder. Die Bewertung der Qualität der Regressionsbeziehung erfolgt mit dem Bestimmtheitsmaß  $B = r^2$ . Dieses ist ein normiertes Maß für den Anpassungsgrad eines (linearen) Zusammenhanges und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen (0 = kein linearer Zusammenhang, 1 = exakter linearer Zusammenhang), wobei der Korrelationskoeffizient  $r$  bei gleicher Streuung mit der Länge der Datenreihe zunimmt. Stehen verschiedene Bezugspegel für die Regression zur Verfügung, so wird jeweils der Pegel mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß ausgewählt.

Grundsätzlich liegt die Priorität hinsichtlich des Bezugspegels auf der Nutzung eines Pegels aus dem bearbeiteten Gewässersystem (Längsschnittbezug). Allerdings können in einigen Teilgebieten, in denen der nächste übergeordnete Pegel relativ weit entfernt liegt, durch die Einbeziehung angrenzender Nachbarpegel bessere Ergebnisse erzielt werden als über den

Längsschnittbezug. Da gerade kleine Einzugsgebiete häufig nur über einen Pegel verfügen, ist auch hier ein Zurückgreifen auf vergleichbare Nachbarpegel unumgänglich.

Tabelle 3-4: Übersicht über die Pegel mit Datenlücken (verändert nach KÄSTNER 2008)

Gewässersystem	Ort	Pegel-Kennzahl	Fehlzeit		Fehljahre
			von	bis	
Hellbach/Panzower Bach	Neubukow	43920	01.11.2001	31.10.2002	1
Warnow	Bützow gesamt	44051	01.11.2003	31.10.2004	1
Warnow/Beke	Schwaan	44253	01.11.2001	31.10.2004	3
Warnow/Nebel	Güstrower Tiergarten	44380	01.11.2001	31.10.2004	3
Warnow/Nebel/Augraben	Dehmen	44551	01.11.2002	31.10.2004	2
Recknitz	Tessin	45130	01.11.2001	31.10.2004	3
Wallbach	Willershagen	45312	01.11.2001	31.10.2002	1
Tribohmer Bach	Gruel	45411	01.11.2002	31.10.2003	3
			01.11.2004	31.10.2005	
			01.11.2006	31.10.2007	
Barthe	Schuenhagen	45570	01.11.2002	31.10.2007	5
Barthe	Krummenhagen	45871	01.11.2001	31.10.2002	1
Brandmühlengraben	Hanshagen	46614	01.11.2004	31.10.2005	1
Brebowbach	Wehrland	46660	01.11.2004	31.10.2006	2
Peene/Trebel/Tangrimbach	Tangrim	47700	01.11.2001	31.10.2003	2
Zarow	Grambin	48500	01.11.2006	31.10.2007	1
Müritz-Elde-Wasserstraße	Malchow	596141	01.11.2001	31.10.2003	2
Müritz-Elde-Wasserstraße	Klinken	596550	01.11.2006	31.10.2007	1

Wie in der Hydrologie allgemein üblich (DYCK et al. 1980), wird mit Ausnahme des Barthe-Pegels Krummenhagen durchgängig eine lineare Regression gewählt. Die besten Regressionsergebnisse für Krummenhagen konnten mit dem nicht direkt angrenzenden Pegel Drechow (Blinde Trebel) mittels logarithmischer Regression erzielt werden.

Der Pegel Schuenhagen (Barthe), für den nur für 1 Jahr Durchflussdaten vorhanden waren, schied aus dem Datenkollektiv aus. Das Aufstellen einer Regression scheint in diesem Fall nicht sinnvoll. Gleiches gilt für den Pegel Klinken (Klinker Mühlbach), welcher für die letzten Jahre unplausible Werte aufweist.

Als Resultat der Regressionen ergeben sich für die betroffenen Pegel sehr gute Annäherungen (Tab. 3-5). Für 10 Pegel wurde eine Regression in Bezug auf einen Nachbarpegel (anderes Gewässersystem) gewählt. Nur für 4 Pegel konnte ein Längsschnittbezug (eigenes Gewässersystem) hergestellt werden. Die Bestimmtheitsmaße (B) als Gütekriterium der Anpassung weisen größtenteils auf sehr gute Ergebnisse hin. Nur 5 der 14 Regressionsbeziehungen liegen beim Bestimmtheitsmaß unter 0,8 und kein B liegt unter 0,6.

Mittels der gefundenen Regressionsbeziehungen wurden für alle Datenreihen die fehlenden Tagesdurchflüsse berechnet und so die Lücken geschlossen. Letztendlich konnte für die Frachtberechnung somit auf vollständige Datensätze von 122 hierarchisch sortierten Pegeln mit Tagesdurchflüssen für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2007 zurückgegriffen werden.

Tabelle 3-5: Ermittelte Regressionsbeziehungen des 2-Flüsse-Modells (aus KÄSTNER 2008)

Gewässer-system	„Lückenhafter“ Pegel		„Regressor“-Pegel		Regression	
	Pegel (Pegelkennzahl)		Pegel (Pegelkennzahl)		Gleichung	B (r <sup>2</sup> )
<b>Regression mittels Pegel aus Nachbargebiet</b>						
Hellbach/ Pan-zower Bach	Neubukow	43920	Jörnstorf	43911	$y = 0,4019x - 1,1685$	0,812
Warnow/Nebel/Augraben	Dehmen	44551	Liessow	45431	$y = 2,0235x + 17,231$	0,765
Barthe	Krummenhagen	45871	Drechow	47590	$y = 143,89 \ln(x) - 170,1$	0,673
Recknitz	Tessin	45130	Schulenberg	45402	$y = 7,1985x + 545,64$	0,88
Wallbach	Willershagen	45312	Schulenberg	45402	$y = 1,6567x - 110,61$	0,866
Tribohmer Bach	Gruel	45411	Schulenberg	45402	$y = 0,562x - 30,75$	0,869
Brandmühlen-graben	Hanshagen	46614	Gützkow-Hasenberg	47402	$y = 0,4114x + 4,2559$	0,758
Brebowbach	Wehrland	46660	Lodmannshagen Kleinbahn	46641	$y = 1,0068x + 61,145$	0,862
Peene/Trebel/Tangrimbach	Tangrim	47700	Gnoien	47611	$y = 0,1959x + 20,317$	0,851
Zarow	Grambin	48500	Friedland	48701	$y = 3,7651x - 502,58$	0,784
<b>Regression mittels Pegel aus Gewässerlängsschnitt</b>						
Warnow	Bützow gesamt	44051	Groß Görnow	44080	$y = 1,7984x + 140,53$	0,844
Warnow/Beke	Schwaan	44253	Bröbberow	44250	$y = 1,0555x + 96,281$	0,843
Warnow/Nebel	Güstrower Tier-garten	44380	Güstrow	44370	$y = 0,9521x - 220$	0,874
Müritz-Elde-Wasserstraße	Malchow	596141	Malliss OP+Eldena	596251 596241	$y = 0,2309x + 1723,7$	0,616

Das Vorgehen zur Übertragung der täglichen Durchflüsse auf die mehr als 3.000 Basis-Einzugsgebiete (im Mittel nahezu ca. 10 km<sup>2</sup>) in Mecklenburg-Vorpommern entspricht dem Verfahrensansatz der Regionalisierung der mittleren und der Niedrigwasserabflüsse nach BIOTA (2003a). Mittels Differenzierung der Durchflüsse und Einzugsgebiete anhand einer Hierarchie wurde der „gebietsbürtige“ Abfluss sowie die zugehörige Abflussspende jedes Teilgebietes bestimmt. In einem weiteren Rechenschritt erfolgt die Verteilung der Abflussspenden auf 10-km<sup>2</sup>-Teileinzugsgebiete. Über die automatisierte Zuweisung der Gütemessstellen-Einzugsgebiete konnten durch Summation der dazugehörigen Basis-Einzugsgebiete die taggleichen Durchflüsse für jede Gütemessstelle erzeugt werden (Abb. 3-4).

Das damit praktizierte „Ausdifferenzieren“ der Pegelraten auf der Basis eines taggleichen Ansatzes ist pragmatisch. Fehler, die beispielsweise durch Laufzeitunterschiede der Abflusskonzentration bzw. des Durchflussverlaufes verursacht werden, müssen hier zunächst vernachlässigt werden. Bei einer Weiterentwicklung der Methodik im Sinne eines stärkeren hydrologischen Modellansatzes kann dies minimiert werden.

Durch Zuordnung der entsprechenden Tagesdurchflüsse zu den Daten der Gütemessungen konnten letztlich die taggleichen Wertepaare aus Konzentration und Durchfluss (c;Q) abge-

leitet werden, die als Grundlage zur Frachtberechnung dienen. Parallel erfolgte die Berechnung der mittleren Jahresdurchflüsse sowie mittlerer Monatsdurchflüsse für jede Gütemessstelle.

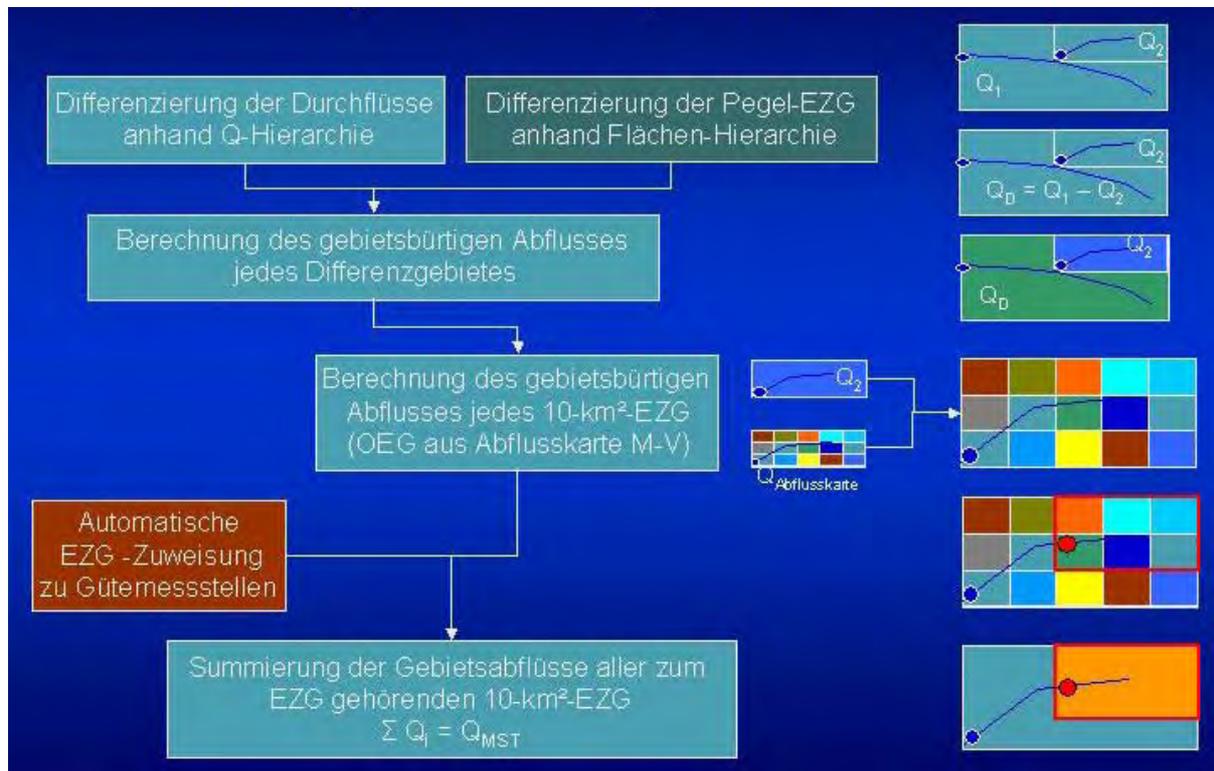


Abbildung 3-4: Schema der hydrologischen Bearbeitung zur Erzeugung der taggleichen Durchflüsse für alle Einzugsgebiete der Gütemessstellen  $Q_{MST}$  (EZG = Einzugsgebiet, Abflusskarte M-V = Karte der mittleren Durchflüsse und Durchflussspenden entsprechend BIO-TA 2003a)

### 3.5 Exemplarischer Methoden- und Ergebnisvergleich

Ein exemplarischer Methodenvergleich zu Frachtberechnungsverfahren wurde innerhalb einer parallelen Diplomarbeit geführt (KÄSTNER 2008) und wird hier inhaltlich adäquat wiedergegeben. Für den Vergleich der Frachtberechnungsmethoden wurden 11 Messstellen an verschiedenen Fließgewässern des Landes ausgewählt (Tab. 3-6, Abb. 3-5). Die Auswahl der Messstellen erfolgte dabei nach folgenden Kriterien:

- Ausreichend Messungen, d.h. mindestens eine Messung pro Monat, nach Möglichkeit zwei
- Nähe zu Pegel mit vollständigen Daten, um auf gemessene Durchflüsse zurückgreifen zu können
- Räumlich repräsentative Verteilung der Messstellen im Einzugsgebiet der Ostsee

Die ausgewählten Messstellen erfüllen die genannten Kriterien. Allerdings erstrecken sich die Gütemessungen an der Ostsee nur über den Zeitraum 1.11.2001 bis 31.12.2005. Da für diese Region keine zeitlich umfangreicheren Daten vorliegen, wurden die Berechnungen und Auswertungen in diesem Fall nur für die hydrologischen Jahre 2002 bis 2005 vorgenommen. Die Peene stellt durch ihre temporär negativen Durchflüsse (Rückstrom) infolge des Ostseeinflusses einen Sonderfall dar.

Tabelle 3-6: Verwendete Messstellen und Anzahl der Messungen im Untersuchungszeitraum (aus KÄSTNER 2008)

MST-Nr. (LUNG M-V)	Gewässer	Ort	Anzahl der Messungen (2002-2007)
202440017	Radegast	Törber	129
106330010	Maurine	Schönberg	152
210230095	Mildenitz	Sternberger Burg	151
201070034	Nebel	Wolken	157
201060012	Beke	Bröbberow	78
108170014	Warnow	Rostock-Geinitzbrücke	157
103420010	Barthe	Radebas	129
112230016	Duvenbeek	Kluis (Rügen)	77
304080016	Ostpeene	Gielow Süd	53
302020028	Peene	Anklam	155
307330017	Uecker	Pasewalk	78

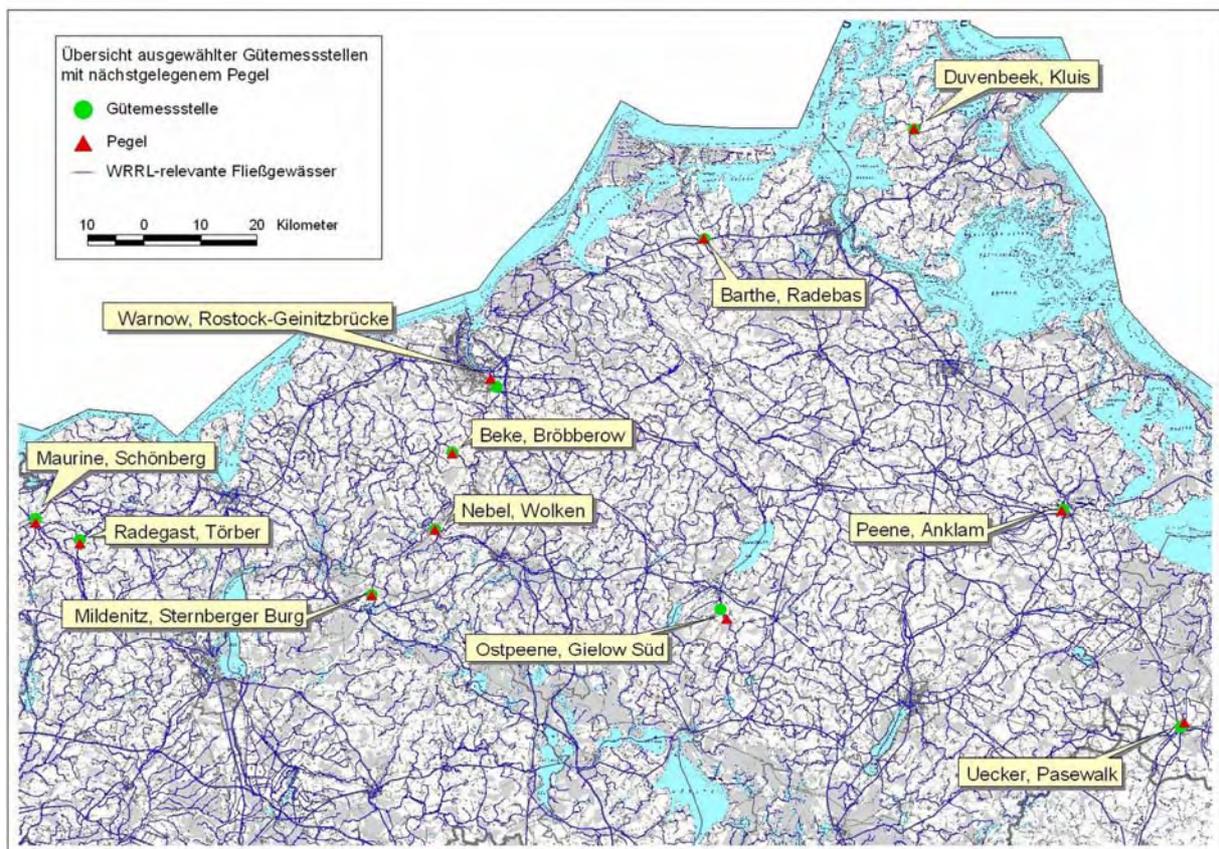


Abbildung 3-5: Kartographische Übersicht der 11 verwendeten Gütemessstellen mit dazugehörigem Pegel (aus KÄSTNER 2008)

Auf Grundlage der Vorbetrachtungen in Kapitel 3.2 wurden hier die folgenden 4 Methoden ausgewählt:

- Standardmethode
- abflusskorrigierte Standardmethode
- Monatsmittelwert-Methode
- c-Q- Regressionsmethode

Rechengrundlage für die Frachtberechnung stellte ein gängiges Programm zur Tabellenkalkulation dar (Excel). Als Datengrundlage lagen die Konzentrationswerte der Gütemessungen mit zugehörigem Datum und Durchfluss sowie die Mittelwerte der Jahres- sowie Monatsdurchflüsse vor. In teilweise aufeinander aufbauenden Rechenschritten konnten nun die Jahresfrachten nach den verschiedenen Methoden berechnet werden (Abb. 3-6).

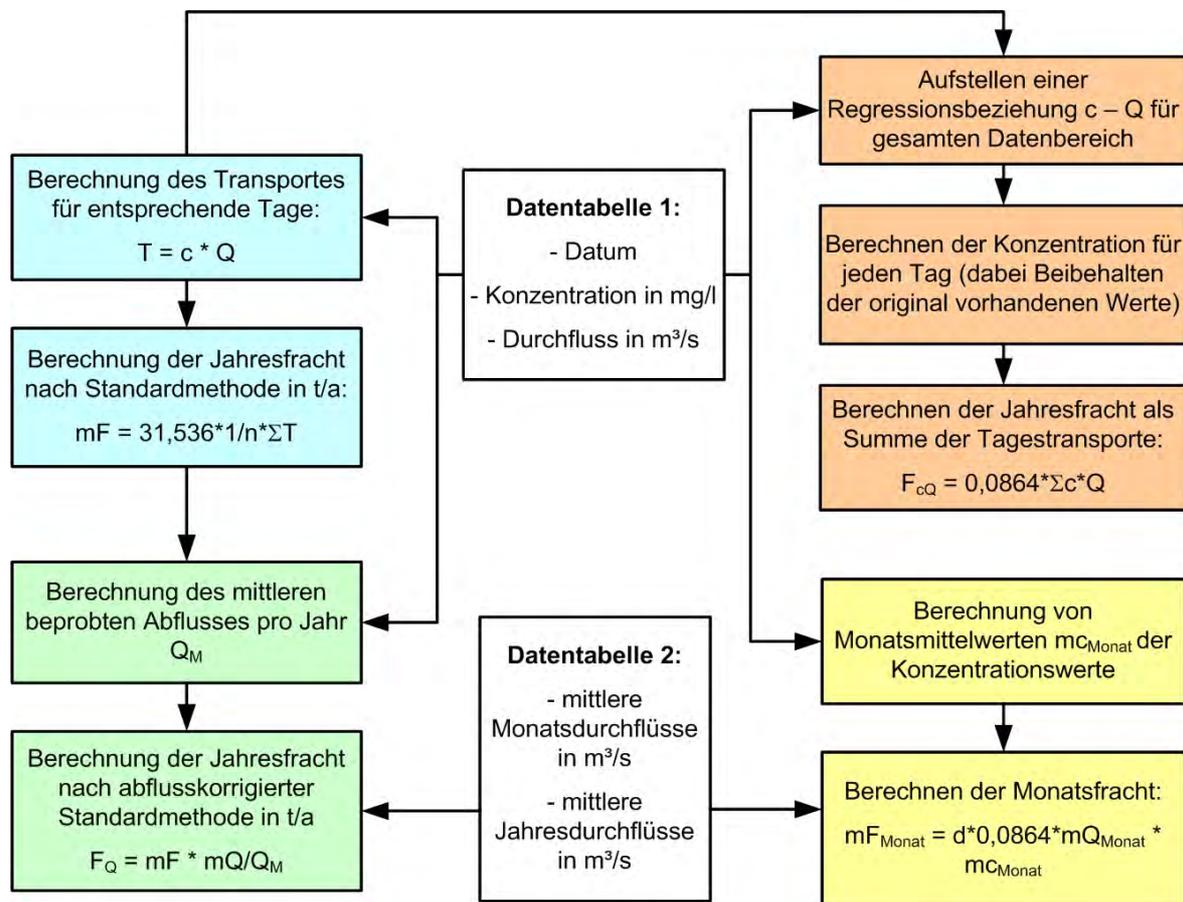


Abbildung 3-6: Schema zur Frachtberechnung mit den ausgewählten Ansätzen (aus KÄSTNER 2008)

Auf der vorliegenden Datengrundlage konnten zunächst einzelne Transporte – entsprechen dem Produkt aus Konzentration und Durchfluss – und daraus der mittlere jährliche Transport berechnet werden. Dessen mengenmäßige Hochrechnung auf ein Jahr ergab die Jahresfracht nach Standardmethode. Wird diese mit dem Verhältnis aus mittlerem Jahresabfluss zum mittleren beprobten Abfluss multipliziert, so ist das Ergebnis die abflusskorrigierte Jahresfracht.

Zur Berechnung der Jahresfracht nach dem Ansatz der Monatsmittelwerte war zunächst die Mittelwertbildung der pro Monat vorliegenden Konzentrationswerte notwendig. Das Produkt aus mittlerer Konzentration und mittlerem Abfluss eines Monats hochgerechnet auf das Zeitintervall des betreffenden Monats ergibt die jeweilige Monatsfracht. Diese konnten zur Jahresfracht aufsummiert werden. Da im Fall der Ostpeene für den Monat Dezember 2002 keine Konzentrationswerte vorliegen, wurde die Summe der vorliegenden 11 Monatswerte mit dem Faktor 12/11 multipliziert, um eine entsprechende Jahresfracht für das hydrologische Jahr 2003 zu erhalten.

Rechentechnisch aufwändiger ist der Ansatz, fehlende Konzentrationswerte mittels Regressionsbeziehung zum Durchfluss zu ersetzen. Das Aufstellen einer Regression erfolgt anhand aller vorhandenen Wertepaare (c;Q) durch Anpassen einer Funktion. Um den Zusammenhang zu linearisieren, wurde der Durchfluss logarithmiert (Ausnahme Peene, deren teils durch Ostseeinfluss bedingte, negative Durchflüsse nicht logarithmierbar sind). Die Ableitung einer Regressionsbeziehung erfolgte mittels Erstellen einer Trendlinie mit dazugehöriger Funktionsgleichung (s. Beispiel in Abbildung 3-7).

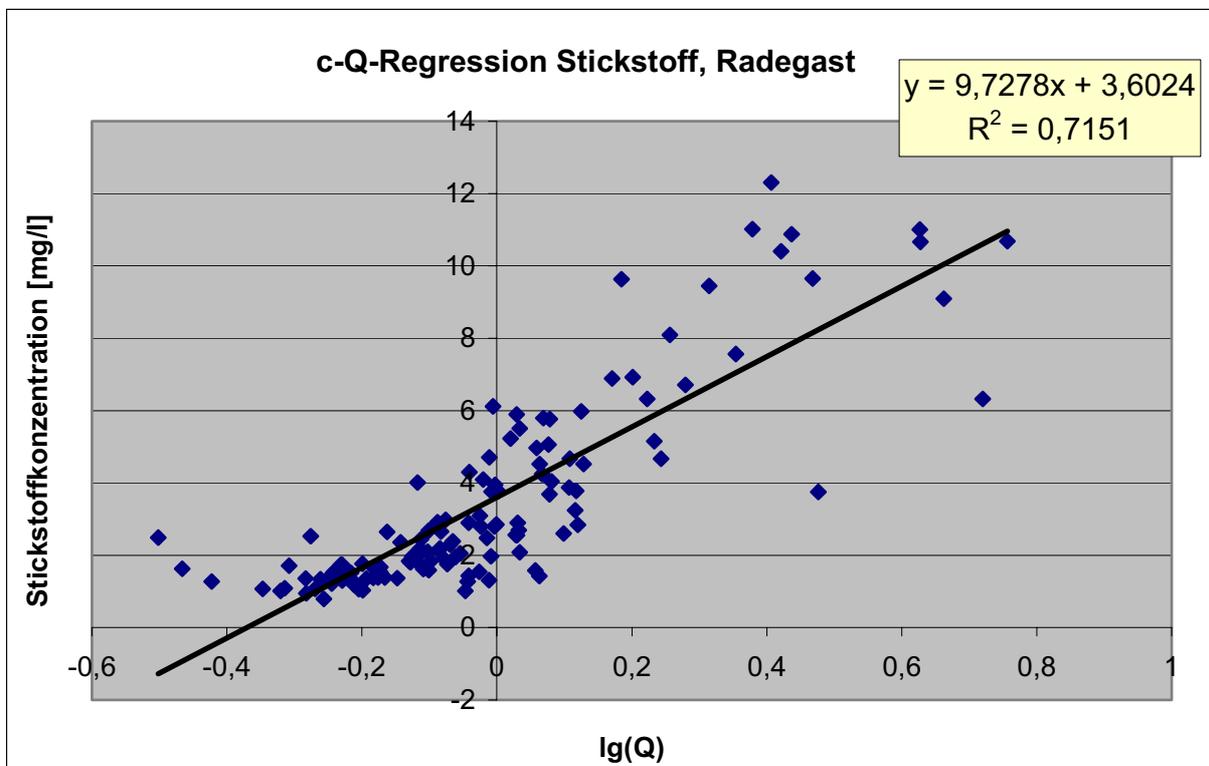


Abbildung 3-7: Zusammenhang Stickstoffkonzentration – Logarithmus des Durchflusses für die Messstelle Törber (Radegast), aus KÄSTNER (2008)

Die Güte der Anpassung wird durch das Bestimmtheitsmaß B angegeben. Die Überprüfung der Signifikanz des Zusammenhanges und damit der Verwendbarkeit der Regression wurde mittels t-Test vorgenommen (entsprechend DYCK et al. 1980). Dabei wurde das Signifikanzniveau  $\alpha$  (Irrtumswahrscheinlichkeit), wie in der wasserwirtschaftlichen Praxis üblich, mit 5% (0,05) gewählt. Damit beträgt die statistische Sicherheit  $1 - \alpha = 95\%$  (0,95).

Für die Betrachtung des Stickstofftransportes konnte einzig für die Mildenitz keine anwendbare Beziehung zwischen N-Konzentration und Durchfluss aufgestellt werden. Für den weniger abflussgekoppelten Phosphortransport konnten dagegen nur für 5 von den 11 Messstellen Regressionsbeziehungen gefunden werden (Tab. 3-7).

Allgemein erhöht sich die Streuung der Konzentrationswerte mit steigendem Abfluss enorm. Der Grund ist in der begrenzten Nährstoffverfügbarkeit zu sehen, die in Abhängigkeit von diversen Faktoren, unter anderem Landnutzung, Zeitpunkt und Menge der letzten Düngung, Bodenart, Vegetationsphase, Witterung etc. schwankt. Während sich bei unbegrenztem Nährstoffpool der Anstieg der Konzentration mit dem Durchfluss immer weiter fortsetzen würde, ist in Realität zeitweise eine Erschöpfung des Pools zu verzeichnen, in dessen Folge die Nährstoffkonzentrationen auch bei hohen Durchflüssen auf vergleichsweise niedrigerem Niveau stagnieren können. Deshalb treten während hoher Durchflüsse teilweise sehr hohe Nährstoffkonzentrationen auf, zeitweise nur niedrigere. Die Anpassung einer Regression ist für diesen Bereich folglich stark fehlerbehaftet und kritisch.

Tabelle 3-7: Zur c-T-Regression verwendete Gleichungen und dazugehörige Bestimmtheitsmaße B für Stickstoff (N) und Phosphor (P), aus KÄSTNER (2008)

	c-Q-Regression Stickstoff	B (N)	c-Q-Regression Phosphor	B (P)
<b>Radegast</b>	$c = 9,7278 \cdot \lg(Q) + 3,6024$	0,715	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>	
<b>Maurine</b>	$c = 9,9105 \cdot \lg(Q) + 6,6746$	0,722	$c = 0,0438 \cdot \lg(Q) + 0,0905$	0,226
<b>Mildennitz</b>	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>		$c = -0,1043 \cdot \lg(Q) + 0,1263$	0,389
<b>Nebel</b>	$c = 3,8562 \cdot \lg(Q) + 0,5019$	0,648	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>	
<b>Beke</b>	$c = 6,2962 \cdot \lg(Q) + 5,3107$	0,607	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>	
<b>Warnow</b>	$c = 2,56 \cdot \lg(Q) - 0,1577$	0,373	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>	
<b>Barthe</b>	$c = 5,7131 \cdot \lg(Q) + 6,115$	0,679	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>	
<b>Duvenbeek</b>	$c = 6,0615 \cdot \lg(Q) + 11,988$	0,682	$c = -0,127 \cdot \lg(Q) + 0,154$	0,201
<b>Ostpeene</b>	$c = 9,0095 \cdot \lg(Q) + 3,3418$	0,734	$c = -0,062 \cdot \lg(Q) + 0,1081$	0,215
<b>Peene</b>	$c = 0,0008 \cdot Q^2 + 0,0362 \cdot Q + 1,9277$	0,499	$c = -0,001 \cdot Q + 0,1495$	0,119
<b>Uecker</b>	$c = 5,5868 \cdot \lg(Q) - 0,2445$	0,665	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>	
<b>Mittel</b>		<b>0,632</b>		<b>0,230</b>
<b>Minimum</b>		<b>0,373</b>		<b>0,119</b>
<b>Maximum</b>		<b>0,734</b>		<b>0,389</b>

Ausgehend von den beschriebenen Daten wurden für alle 11 Messstellen die Jahresfrachten für Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor, entsprechend den ausgewählten Methoden, berechnet. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3-8 und 3-9 dargestellt. Als Beispiel sind die Jahresfrachten der Messstelle Schönberg (Maurine) in Diagrammen veranschaulicht (Abb. 3-8 und 3-9).

Allgemein ist ein Anstieg der Frachten mit zunehmenden Durchflüssen offensichtlich. Dies geschieht besonders beim Stickstoff überproportional, da mit ansteigendem Durchfluss gemeinhin auch eine steigende Stickstoffkonzentration einhergeht. Der augenscheinliche Zusammenhang zwischen Durchfluss und Stickstoffkonzentration ist am Beispiel der Maurine in Abbildung 3-10 dargestellt. Währenddessen ist beim Phosphor der Zusammenhang zwischen Konzentration und Durchfluss weniger straff ausgebildet (Abb. 3-11).

Tabelle 3-8: Jahresfrachten Gesamtstickstoff (in t) für gewählte Methoden und Messstellen, vgl. Abb. 3-5 (aus KÄSTNER 2008)

Jahresfracht Stickstoff (t)	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Radegast</b>						
Standardmethode	344	196	101	139	141	171
abflusskorrigiert	343	168	97	142	137	166
Monatsmittel	289	148	91	140	130	162
c-Q-Regression	334	150	94	131	107	155
<b>Maurine</b>						
Standardmethode	379	202	129	161	181	224
abflusskorrigiert	365	150	118	179	178	242
Monatsmittel	289	127	101	170	146	241
c-Q-Regression	446	147	92	172	149	203
<b>Mildennitz</b>						
Standardmethode	243	145	124	130	156	147
abflusskorrigiert	237	145	121	131	160	148
Monatsmittel	238	146	122	132	158	149
c-Q-Regression	<i>kein signifikanter Zusammenhang herstellbar</i>					
<b>Nebel</b>						
Standardmethode	935	371	281	357	515	716
abflusskorrigiert	972	389	275	374	487	718
Monatsmittel	975	380	259	371	449	691
c-Q-Regression	995	431	277	336	426	638
<b>Beke</b>						
Standardmethode	785	379	302	151	368	582
abflusskorrigiert	816	305	286	238	389	636
Monatsmittel	805	314	244	260	364	619
c-Q-Regression	834	361	233	254	374	598
<b>Warnow</b>						
Standardmethode	3575	1421	1152	1538	1929	2387
abflusskorrigiert	3435	1406	1186	1570	1846	2418
Monatsmittel	3416	1456	1160	1526	1751	2487
c-Q-Regression	3159	1543	1173	1387	1647	2000
<b>Barthe</b>						
Standardmethode	500	271	282	444	387	537
abflusskorrigiert	456	195	285	425	319	535
Monatsmittel	413	161	250	378	294	542
c-Q-Regression	490	153	211	366	334	537
<b>Duvenbeek</b>						
Standardmethode	86	43	41	52	123	169
abflusskorrigiert	99	48	39	82	96	152
Monatsmittel	103	50	41	89	81	128
c-Q-Regression	112	48	30	85	85	154
<b>Ostpeene</b>						
Standardmethode	606	128	217	365		
abflusskorrigiert	635	125	201	338		
Monatsmittel	634	128	207	328		
c-Q-Regression	663	151	175	254		
<b>Peene</b>						
Standardmethode	6104	1266	1689	3045	2389	3483
abflusskorrigiert	5174	1232	1678	3734	1870	3124
Monatsmittel	5161	1205	1338	3265	2093	2805
c-Q-Regression	5449	1387	1515	2871	2002	3066
<b>Uecker</b>						
Standardmethode	917	235	337	208	392	369
abflusskorrigiert	942	222	330	214	358	382
Monatsmittel	936	222	328	209	328	396
c-Q-Regression	913	273	252	219	290	395

Tabelle 3-9: Jahresfrachten Gesamtphosphor (in t) für gewählte Methoden und Messstellen, vgl. Abb. 3-5 (aus KÄSTNER 2008)

Jahresfracht Phosphor (t)	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<b>Radegast</b>						
Standardmethode	6,4	3,9	3,0	4,2	4,6	5,7
abflusskorrigiert	6,4	3,3	2,9	4,2	4,4	5,5
Monatsmittel	5,9	3,2	3,0	4,2	4,6	5,5
c-Q-Regression	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>					
<b>Maurine</b>						
Standardmethode	6,7	2,7	1,5	1,9	1,8	2,1
abflusskorrigiert	6,5	2,0	1,3	2,1	1,8	2,2
Monatsmittel	5,3	1,8	1,3	2,1	1,7	2,2
c-Q-Regression	4,9	2,0	1,4	2,2	1,9	2,5
<b>Mildennitz</b>						
Standardmethode	9,1	6,7	5,4	5,7	7,0	7,0
abflusskorrigiert	8,8	6,8	5,3	5,7	7,1	7,1
Monatsmittel	9,2	6,8	5,3	5,8	7,1	7,2
c-Q-Regression	7,7	6,4	6,2	6,7	6,6	7,2
<b>Nebel</b>						
Standardmethode	20,3	9,7	9,0	8,8	15,8	20,0
abflusskorrigiert	21,1	10,2	8,8	9,2	14,9	20,0
Monatsmittel	21,0	10,1	8,7	9,3	13,7	19,8
c-Q-Regression	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>					
<b>Beke</b>						
Standardmethode	7,6	9,9	3,3	2,0	4,8	9,4
abflusskorrigiert	7,9	8,0	3,1	3,2	5,0	10,3
Monatsmittel	8,0	7,4	3,1	3,2	4,6	12,8
c-Q-Regression	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>					
<b>Warnow</b>						
Standardmethode	79,9	40,5	35,6	39,0	62,8	64,9
abflusskorrigiert	76,7	40,1	36,6	39,8	60,1	65,7
Monatsmittel	77,1	40,0	35,5	38,6	58,0	65,2
c-Q-Regression	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>					
<b>Barthe</b>						
Standardmethode	4,5	2,8	1,9	3,4	5,0	6,2
abflusskorrigiert	4,1	2,0	1,9	3,2	4,1	6,2
Monatsmittel	4,2	1,7	1,8	3,1	3,9	6,3
c-Q-Regression	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>					
<b>Duvenbeek</b>						
Standardmethode	1,6	0,7	0,7	0,9	4,2	3,2
abflusskorrigiert	1,8	0,8	0,6	1,4	3,2	2,9
Monatsmittel	1,4	0,8	0,6	1,3	2,3	3,2
c-Q-Regression	1,9	1,1	0,8	1,5	1,7	2,6
<b>Ostpeene</b>						
Standardmethode	6,2	2,8	3,9	4,6		
abflusskorrigiert	6,5	2,8	3,6	4,3		
Monatsmittel	6,3	2,7	3,7	4,4		
c-Q-Regression	6,0	3,4	3,8	4,1		
<b>Peene</b>						
Standardmethode	91,3	13,4	36,8	48,0	87,6	91,1
abflusskorrigiert	77,4	13,1	36,5	58,9	68,6	81,7
Monatsmittel	74,8	40,0	36,3	57,4	67,8	85,2
c-Q-Regression	79,0	37,7	34,7	58,5	58,1	68,3
<b>Uecker</b>						
Standardmethode	13,3	6,9	6,8	6,0	10,0	15,6
abflusskorrigiert	13,6	6,5	6,6	6,1	9,1	16,2
Monatsmittel	13,7	6,4	6,5	5,9	8,9	16,5
c-Q-Regression	<i>kein signifikanter Zusammenhang nach t-Test</i>					

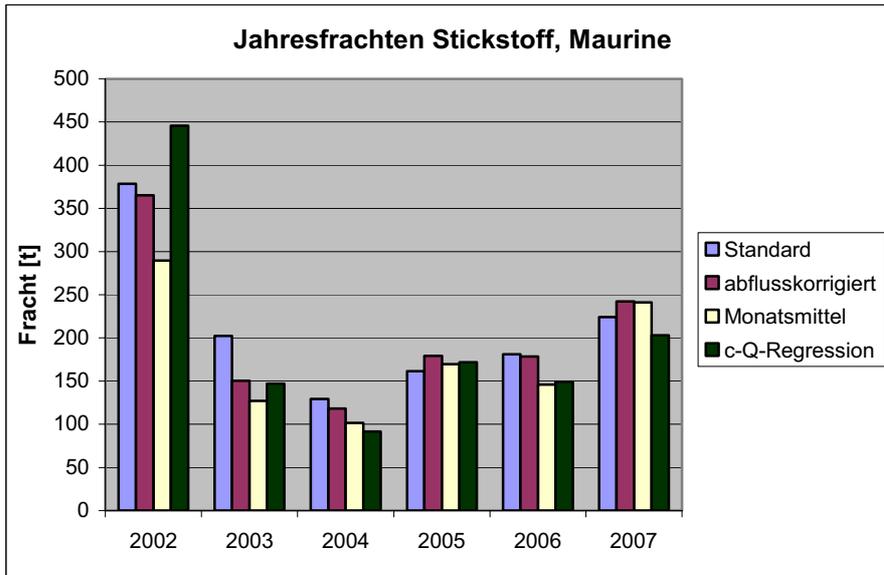


Abbildung 3-8: Gegenüberstellung der Stickstoff-Jahresfrachten der Maurine für verschiedene Berechnungsmethoden (aus KÄSTNER 2008)

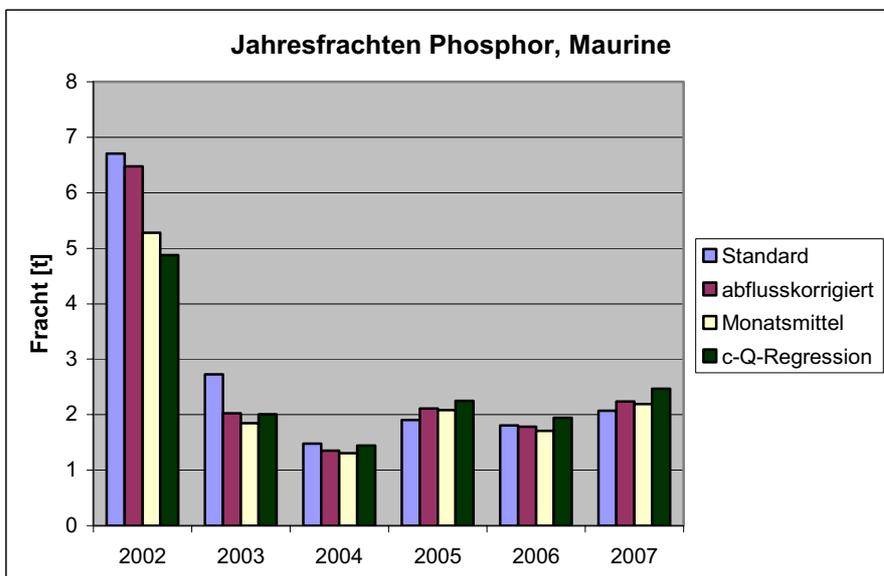


Abbildung 3-9: Gegenüberstellung der Phosphor-Jahresfrachten der Maurine für verschiedene Berechnungsmethoden (aus KÄSTNER 2008)

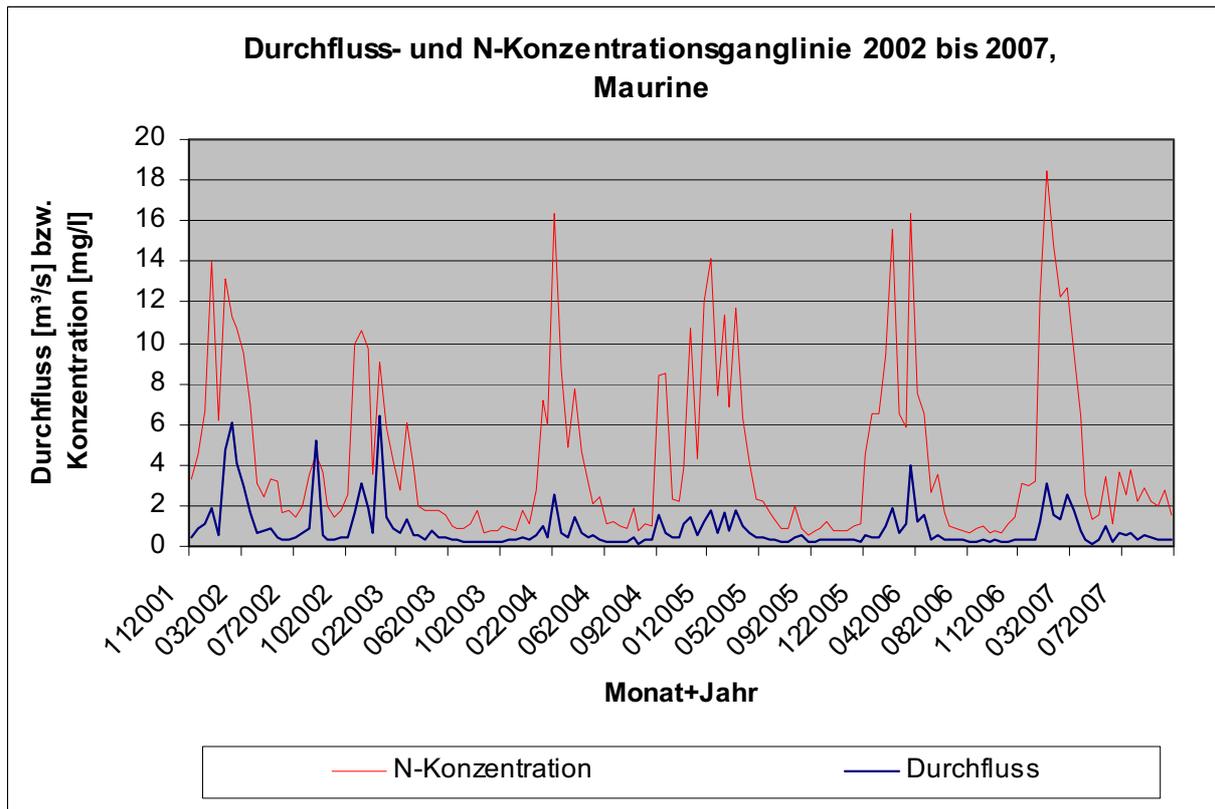


Abbildung 3-10: Durchfluss- sowie Stickstoffkonzentrationsganglinie im Zeitraum 2002 bis 2007 an der Messstelle Schönberg/Maurine (aus KÄSTNER 2008)

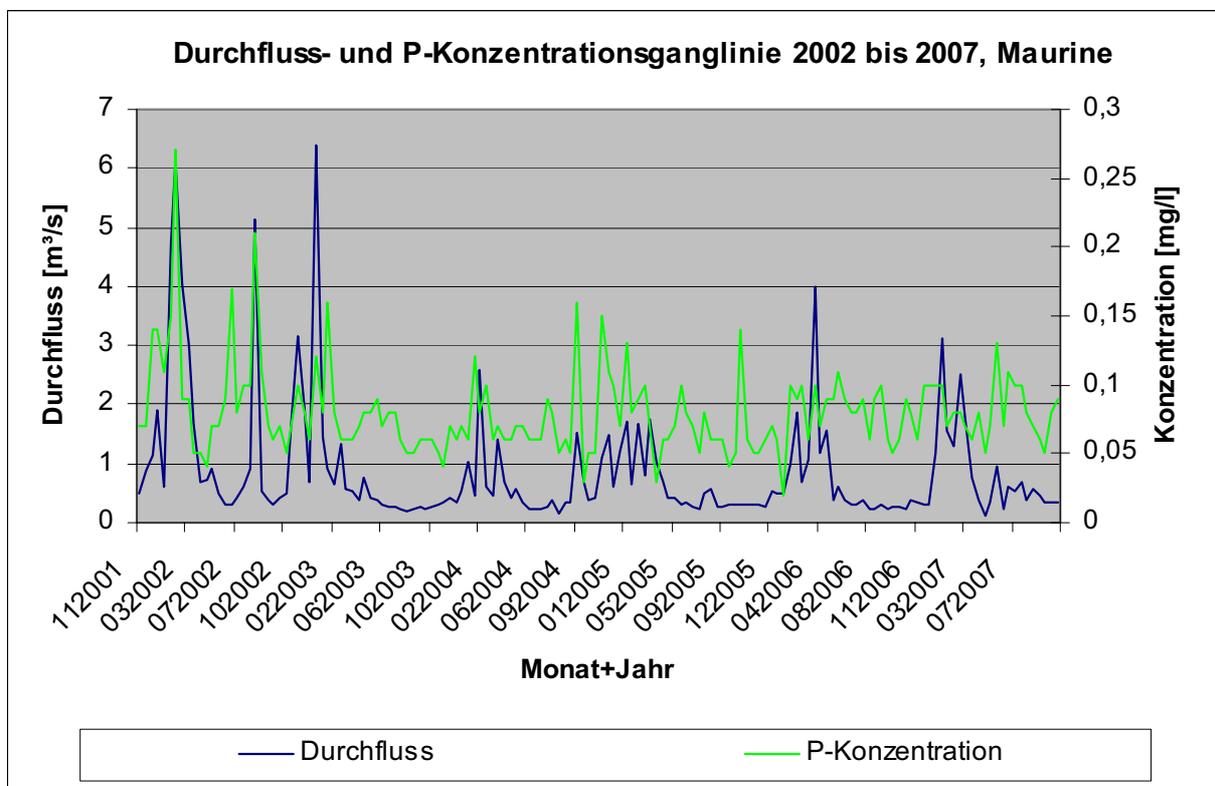


Abbildung 3-11: Durchfluss- sowie Phosphor-Konzentrationsganglinie im Zeitraum 2002 bis 2007 an der Messstelle Schönberg/Maurine (aus KÄSTNER 2008)

Im Vergleich der einzelnen Berechnungsergebnisse sind auf den ersten Blick keine klaren Trends erkennbar. Ein regelmäßiges Unter- bzw. Überschätzen der Jahresfracht scheint durch keine der Methoden stattzufinden.

Zur weiteren Untersuchung wurden die Ergebnisse nach verschiedenen Gesichtspunkten gruppiert. Als Bezug dient jeweils die abflusskorrigierte Standardmethode, da von ihr zumindest keine systematischen Fehler erwartet werden. Die Differenz zwischen den Jahresfrachten wird als prozentuale Abweichung dargestellt. Dieser Vergleich wird nur für die Stickstofffracht vorgenommen werden, da hier Tendenzen in Abhängigkeit vom Abfluss am ehesten zu erkennen sind.

Mittelt man die Ergebnisse aller Messstellen für die Einzeljahre, so lässt sich immerhin für die Methode der Monatsmittelwerte eine Tendenz erkennen: Es scheint eine durchgängige Unterschätzung der Jahresfracht stattzufinden, wobei die Abweichung aber deutlich unter 10% liegt (Abb. 3-12). Sowohl die Standardmethode als auch die Methode der c-Q-Regression weichen in beide Richtungen ab. Die Abweichungen sind mit weniger als 15%, überwiegend weniger als 10%, auch hier relativ gering.

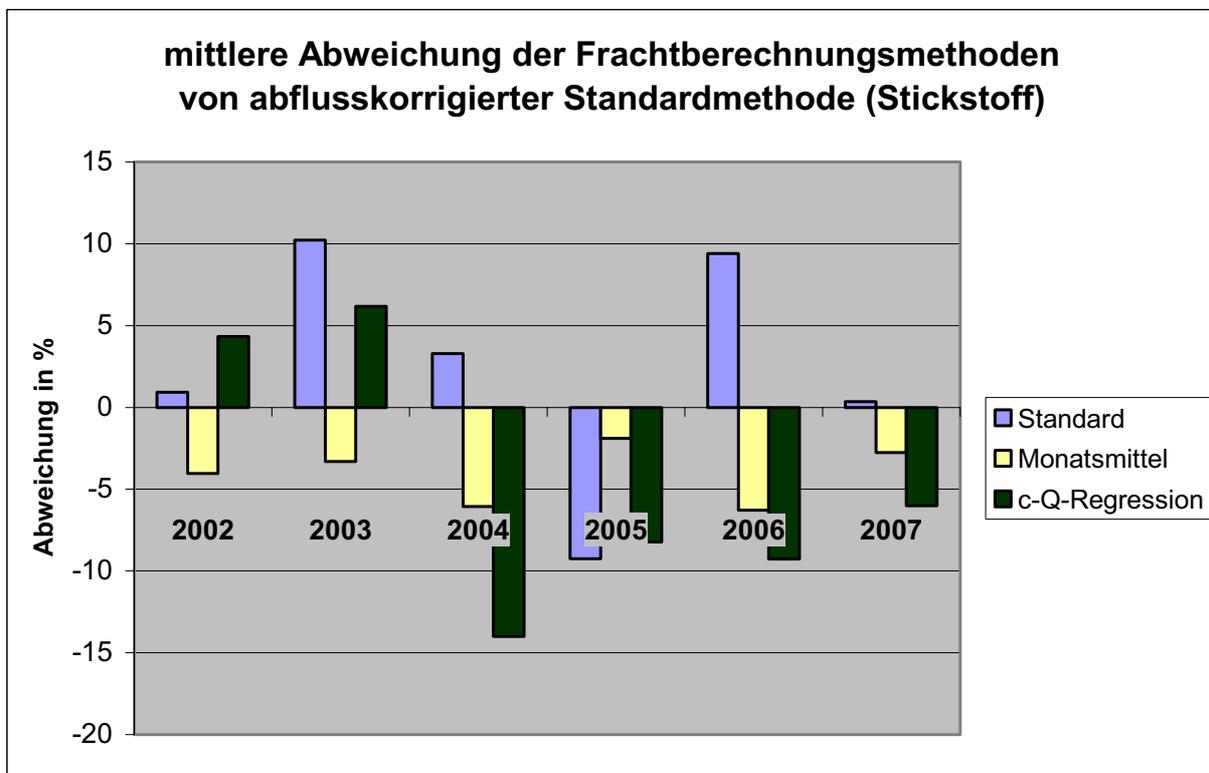


Abbildung 3-12: Mittlere prozentuale Abweichung der Jahresfrachten aller 11 Gütemessstellen für Stickstoff nach den verschiedenen Berechnungsmethoden (Bezug: abflusskorrigierte Standardmethode), aus KÄSTNER (2008)

Interessant ist die Bewertung der Einzeljahre unter dem Aspekt einer meteorologisch-hydrologischen Einordnung. Auf der Basis von Niederschlagsdaten lassen sich die hydrologischen Jahre gegenüber den langjährigen Verhältnissen (MEHL et al. 2004) einordnen (Abb. 3-13, Tab. 3-10).

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

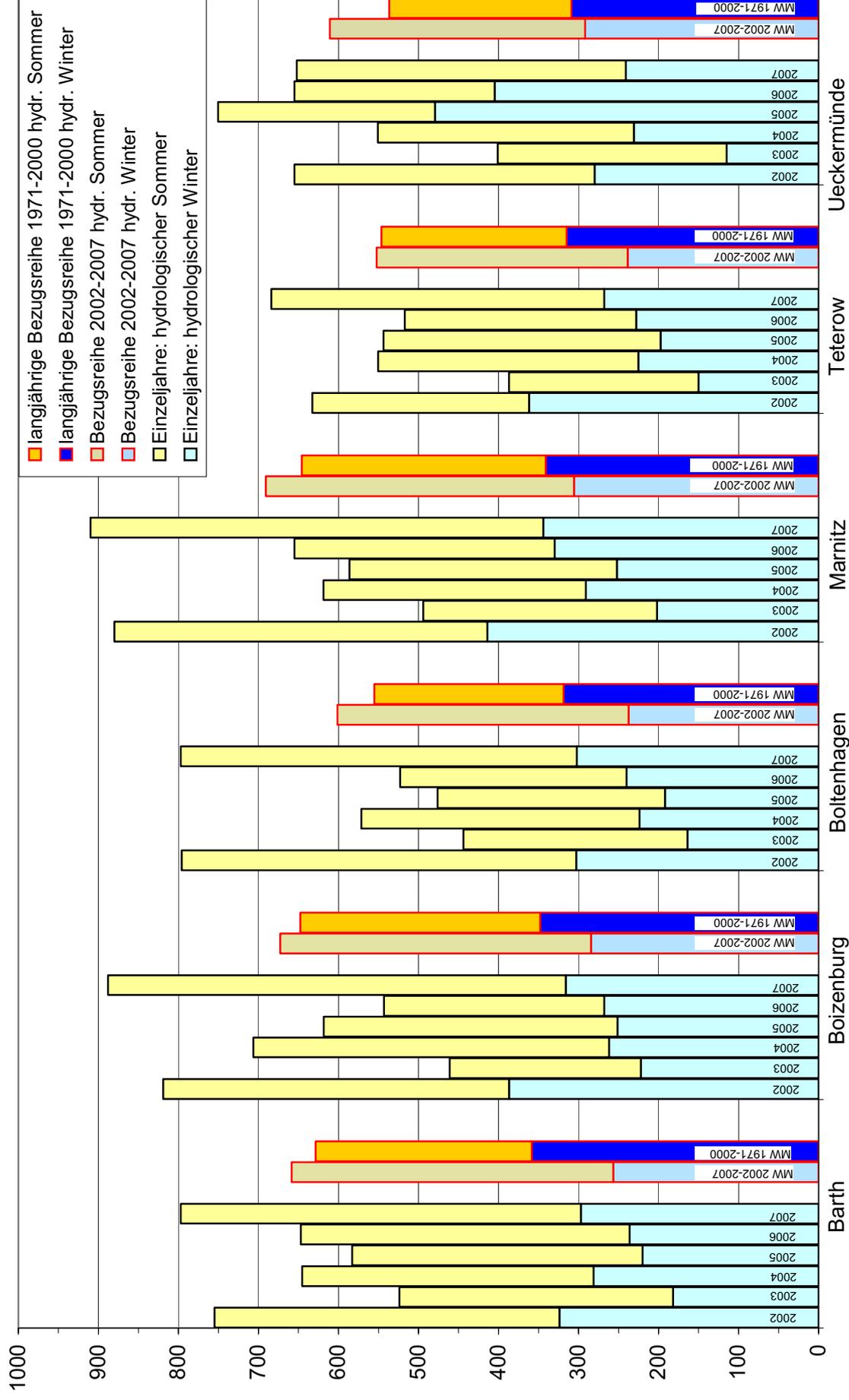


Abbildung 3-13: Niederschlagssumme repräsentativer Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes in Mecklenburg-Vorpommern für die hydrologischen Jahre 2002-2007; Datenquelle: LUNG M-V

Hydrologisches Jahr	Meteorologisch-hydrologische Einordnung
2002	Nassjahr
2003	Trockenjahr
2004	ca. Normaljahr
2005	Trockenjahr
2006	ca. Normaljahr
2007	Nassjahr

Tabelle 3-10: Einordnung der hydrologischen Situation der Einzeljahre in Bezug auf das langjährige Mittel 1971-2000

Offensichtlich treten innerhalb der Jahre mit etwa mittleren meteorologisch-hydrologischen Verhältnissen die größten Schwankungen in der Berechnung auf, während die Ergebnisse in Nass- und Trockenjahren relativ dicht beieinander liegen (Abb. 3-14). Sowohl die Methode der Monatsmittelwerte als auch die der c-Q-Regression schätzen durchweg niedrigere Jahresfrachten als die abflusskorrigierte Standardmethode, während dessen die Standardmethode eher zu hohe Ergebnisse erzielt.

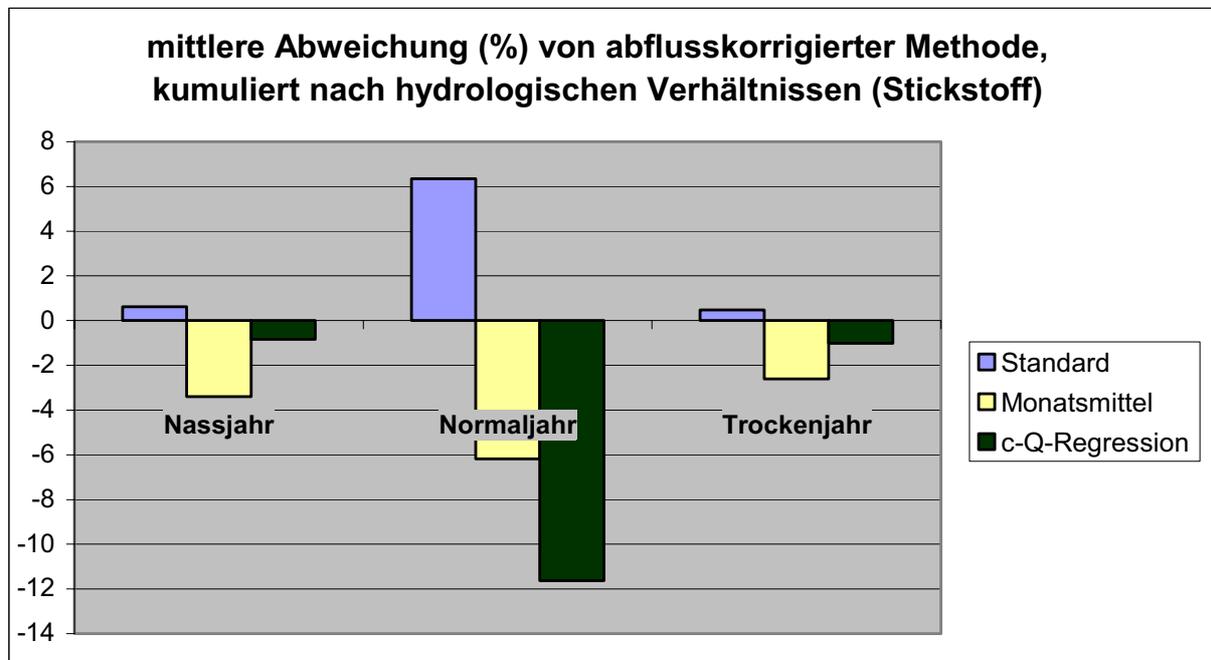


Abbildung 3-14: Mittlere prozentuale Abweichung der Jahresfrachten aller 11 Gütemessstellen für Stickstoff nach den verschiedenen Berechnungsmethoden (Bezug: abflusskorrigierte Standardmethode) in Abhängigkeit von meteorologisch-hydrologischer Situation, aus KÄSTNER (2008)

Besonders im Hinblick auf die von MEHL (2004) abgeleiteten Abflussregimetypern für Mecklenburg-Vorpommern zeigen sich die größten Unterschiede. Danach sind gerade die Frachtberechnungen für die hydrologisch dynamischen Systeme (Typen 7 und 8, vgl. Kapitel 7.4) am sensitivsten (KÄSTNER 2008), vgl. Abbildung 3-15.

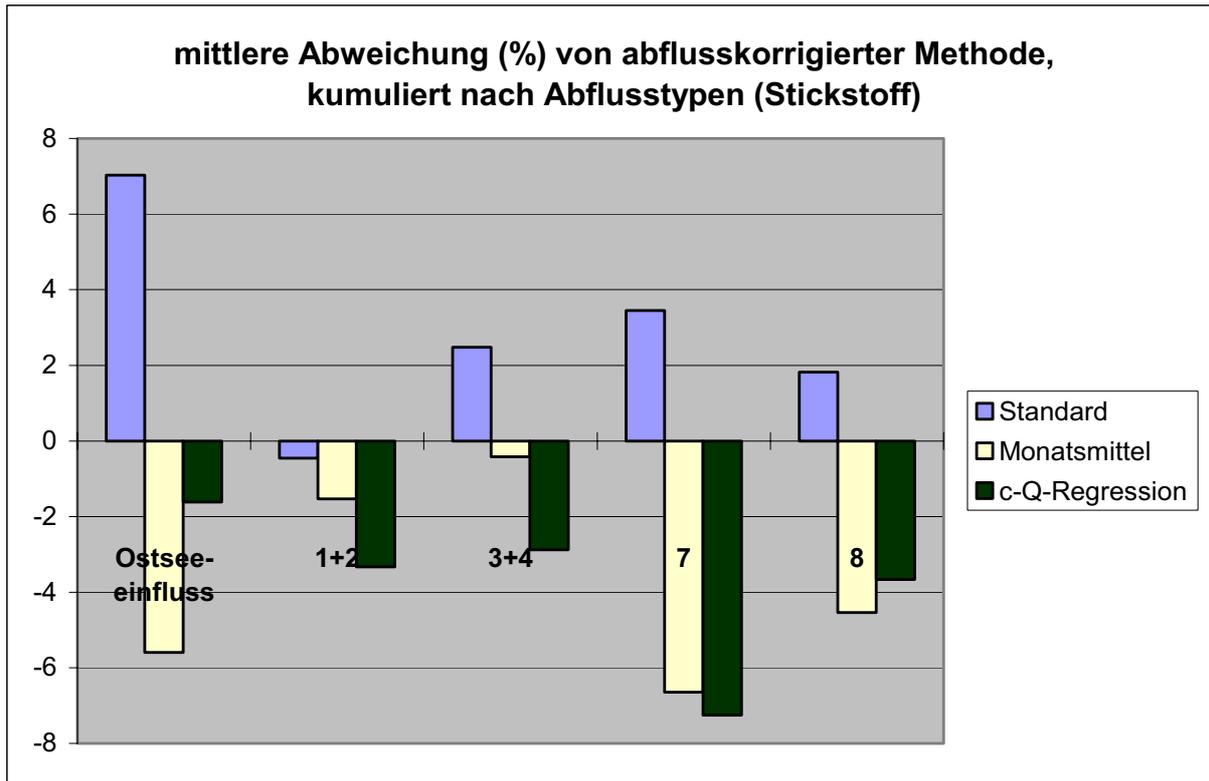


Abbildung 3-15: Mittlere prozentuale Abweichung der Berechnungsergebnisse voneinander (Bezug: abflusskorrigierte Standardmethode) über den gesamten Zeitraum 2002-2007 in Anhängigkeit von Abflussregimetypen nach MEHL (2004), aus KÄSTNER 82008)

KÄSTNER (2008) empfiehlt vor diesem Hintergrund für die praktische Anwendung die „abflusskorrigierte Standardmethode“ und benennt hierfür folgende Gründe:

- Standardmethode und Monatsmittelwertmethode können den hohen Einfluss der Abflusssituation nur bei Vorliegen zeitlich sehr hoch aufgelöster c-Daten widerspiegeln; das ist in der wasserwirtschaftlichen Praxis nicht der Fall; sowohl die Methode der Abflusskorrektur als auch die c-Q-Regressionsmethode steuern der einseitigen Datenerfassung mit einer stärkeren Einbeziehung des Durchflusses entgegen
- die Anwendung der c-Q-Regressionsmethode muss im Einzelfall geprüft werden; diese Methode ist zwar zeitlich hochaufgelöst, besitzt aber gerade im Bereich hoher Q-Werte im Regelfall eine enorme Streuung der c-Werte, was die Regressionsbeziehung in diesem Bereich als unsicher erscheinen lässt, vgl. Abbildung 3-16
- die Anwendung der abflusskorrigierten Methode ist mit höherem Arbeitsaufwand als die Monatsmittelwertmethode verbunden; für die praktische Anwendung liegt aber ein enormer Vorteil darin, dass sie die sicheren Ergebnisse erbringt
- gerade im Ostseeküstenbereich dominieren hydrologisch dynamische Gewässersysteme, für deren Frachtberechnung eine sachgerechte Berücksichtigung der Abflusssituation unerlässlich ist

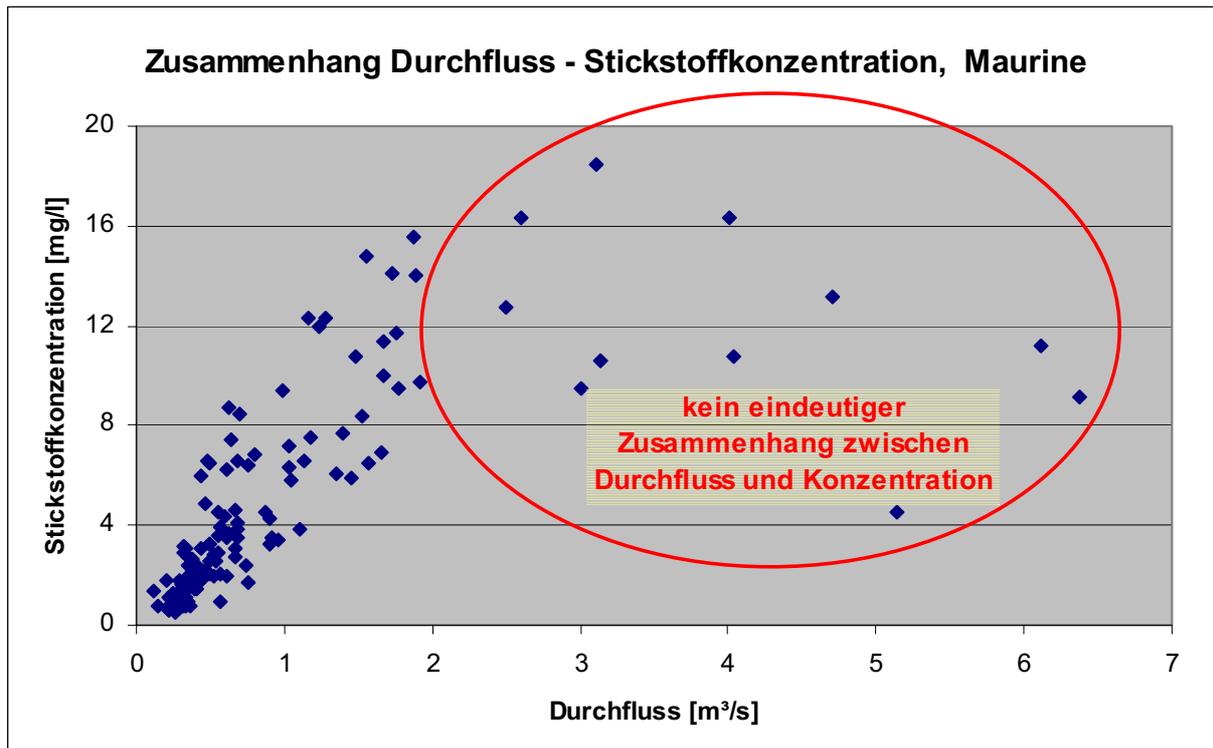


Abbildung 3-16: Zusammenhang Durchfluss – Stickstoffkonzentration für die Maurine, aus KÄSTNER (2008)

### 3.6 Frachtberechnungsergebnisse nach dem Vorzugsansatz

Für die mit Gütemessstellen abgedeckten Einzugsgebiete können auf der Basis des Vorzugsansatzes „abflusskorrigierte Standardmethode“ Frachten (des effektiven Gebietsaustrages) berechnet werden. Durch Rückrechnung bzw. Abzug der Frachten von ebenfalls messtechnisch ausreichend beobachteten Teilgebieten lässt sich die Fracht weiter räumlich ausdifferenzieren (Art „Restgliedermittlung“) und ergibt bei Division durch die jeweils maßgebliche Flächengröße der Teilgebiete den „effektiven, flächenbezogenen Austrag“ als Fracht in  $t a^{-1} km^{-2}$ . Negative Frachten sind als Gebietsrückhalt (Retentions- bzw. Verlustraum) aufzufassen und bedeuten, dass in dieses Gebiet größere Frachten eingetragen werden als letztlich am Gebietsauslass erscheinen. Generell erfolgte die Berechnung für die Einzeljahre 2002 bis 2007 (s. Anhang) sowie als Mittelwert dieses Bezugsraumes (Abb. 3-17 und 3-18).

Eine zusammenfassende Fracht- und Belastungsbilanzierung nach den maßgeblichen hydrologischen Teilräumen mit hoher wasserwirtschaftlicher bzw. WRRL-relevanter Bedeutung erfolgt in Kapitel 6.

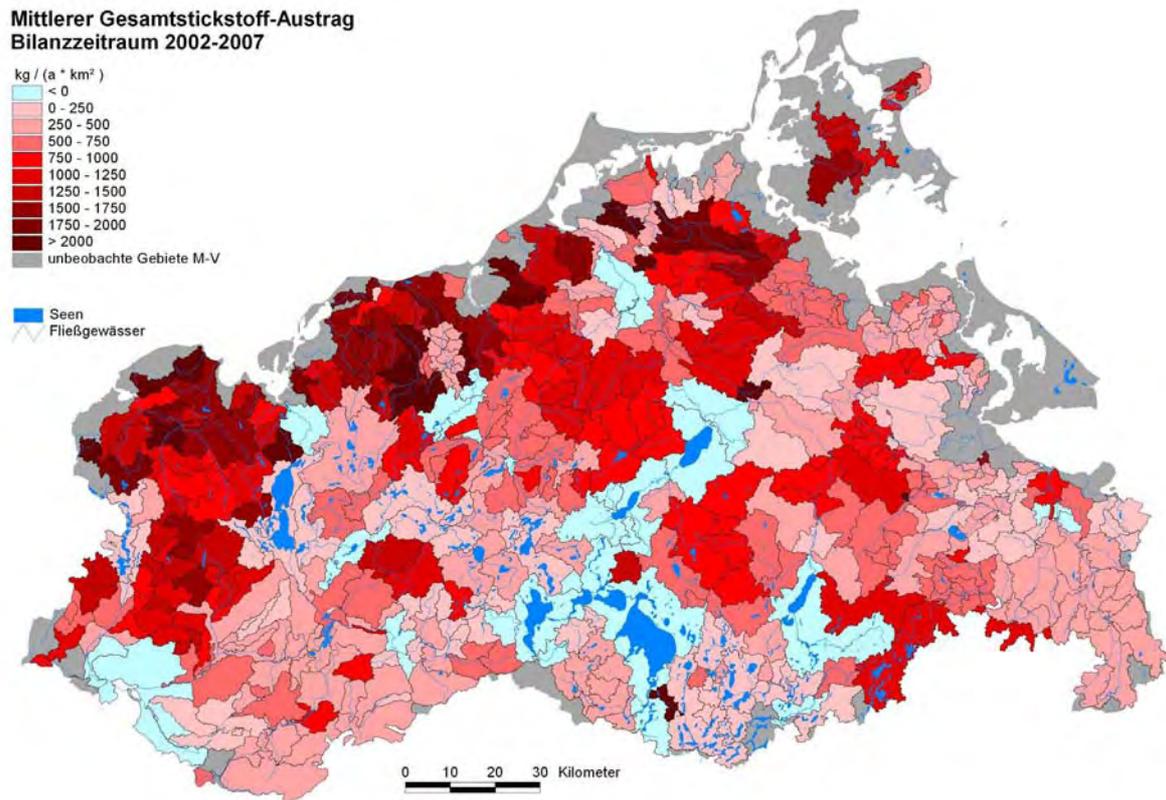


Abbildung 3-17: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007) für die beobachteten Gebiete

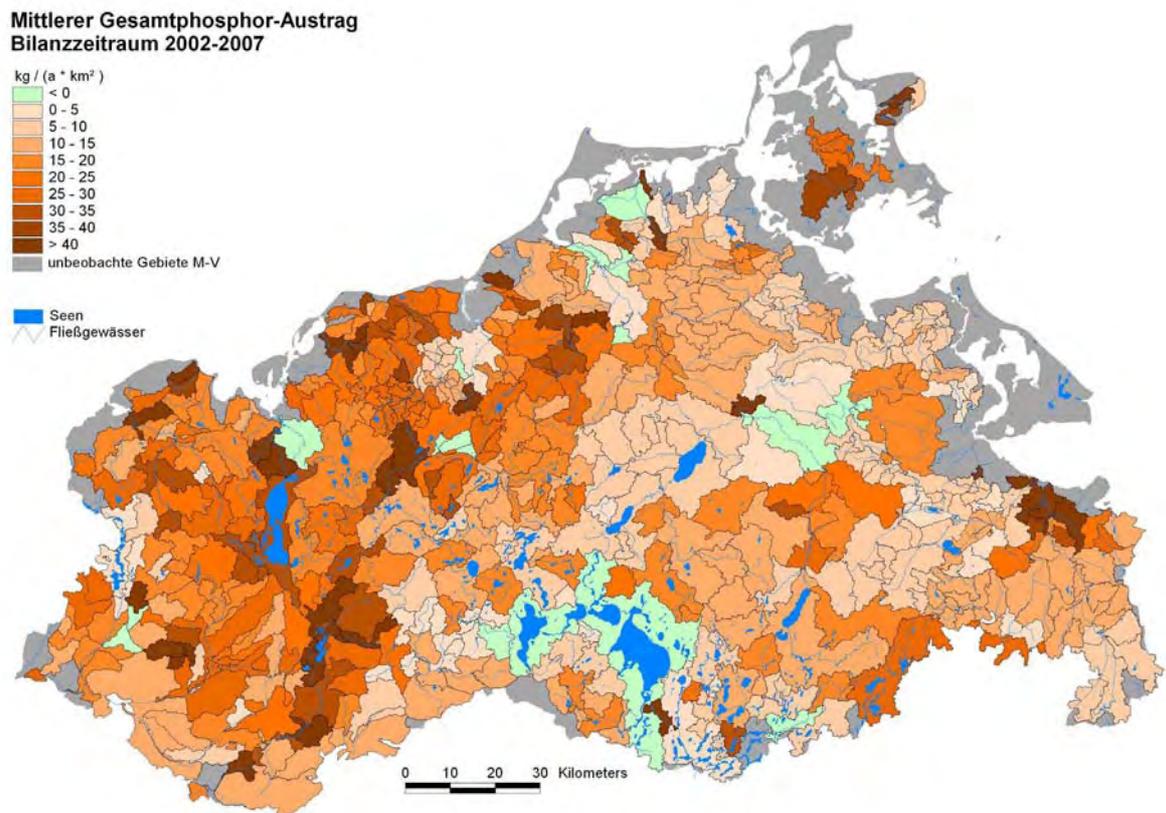


Abbildung 3-18: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007) für die beobachteten Gebiete

## 4 Flächendeckende Regionalisierung von Belastungen

### 4.1 Grundsätze und Vorüberlegungen

#### 4.1.1 Einleitung

Eine flächendeckende (und realitätsnahe) Regionalisierung von Belastungen im Sinne eines Emissionsansatzes setzt qualitativ und quantitativ hinreichende Daten und Informationen sowie geeignete Bilanzierungs- bzw. Berechnungsmethoden voraus. An dieser Stelle sollen diese maßgeblichen Voraussetzungen erörtert werden. Dabei bilden ermittelte Datendefizite einen entscheidenden Hintergrund für weiteren Untersuchungsbedarf (Kapitel 7.4).

Für Mecklenburg-Vorpommern oder Teilgebiete liegen bislang vor allem Emissionsschätzungen bzw. Berechnungen mit dem Modell MONERIS vor (u. a. THIELE & MEHL 1995, BEHRENDT 1996, BEHRENDT et al. 1999, BEHRENDT & BACHOR 1998, PAGENKOPF 2001, BEHRENDT et al. 2007). Beim Vergleichen dieser Modellergebnisse mit in den Gewässern gemessenen Frachten zeigte sich, dass gerade bei hoher Flächendifferenzierung, d.h. einer teileinzugsgebietsbezogenen Betrachtung, z.T. erhebliche Abweichungen zu konstatieren waren. Die starken Differenzen gerade beim Stickstoff lassen sich teilweise auf die mangelnde „Sensibilität“ des modellinternen Retentionsansatzes für Stickstoff zurückführen. Andererseits steht aber auch die Güte der Emissionsschätzungen im Zweifel. So beträgt z. B. die MONERIS-Schätzung für die mittlere jährliche Emissionsfracht (Stoffaustrag) für die Beke bei Groß Belitz im Zeitraum 1995-1999 250 t/a (PAGENKOPF 2001), während im Gewässer (d.h. bereits inklusive der Stickstoffretentions- und -verlustprozesse) als Mittelwert 310 t/a im Vergleichszeitraum auf der Basis der Messungen registriert wurden, siehe auch Abbildung 4-1.

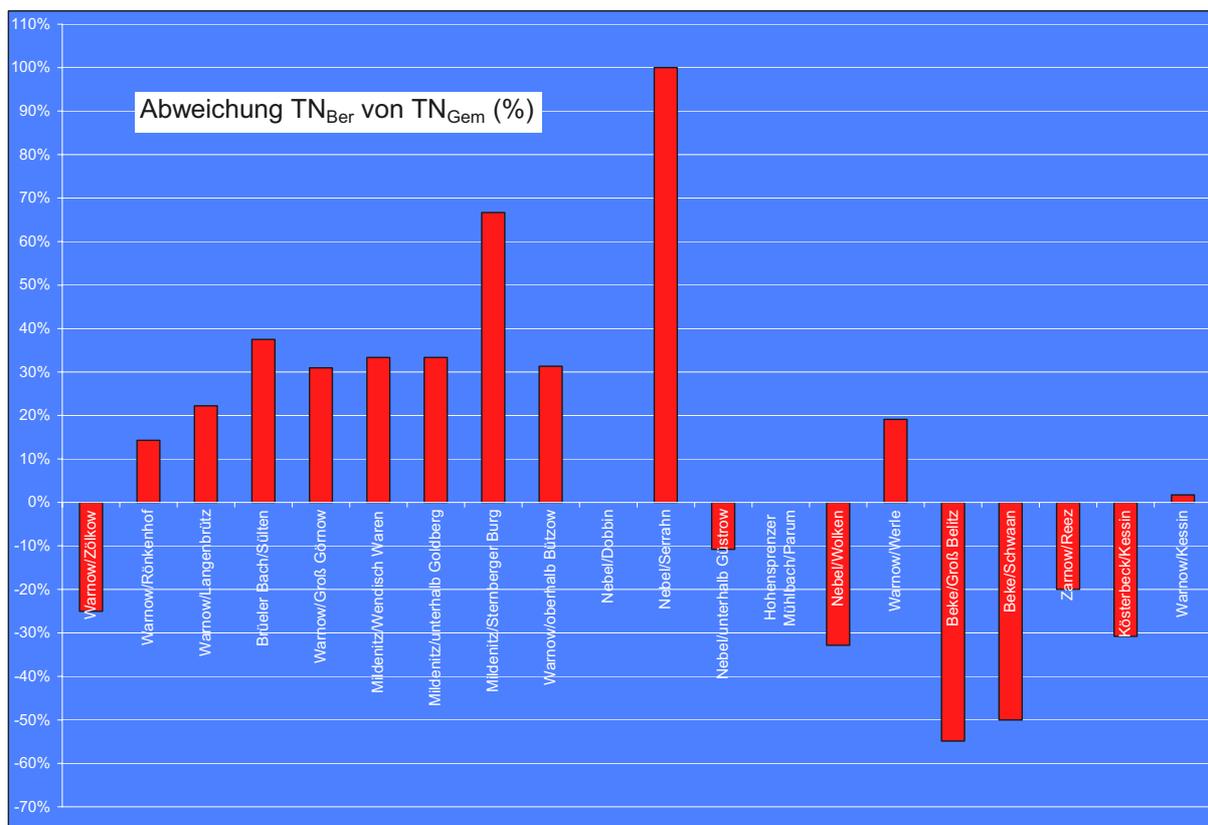


Abbildung 4-1: Nährstoffbilanzierung im Warnowgebiet (Modell MONERIS): Teilgebietsbezogene prozentuale Abweichung der berechneten ( $TN_{Ber}$ ) von den gemessenen ( $TN_{Gem}$ ) mittleren jährlichen Stickstofffrachten in den Gewässern (Periode 1995-1999), aus BIOTA (2003b)

Die Ursachen für die Modellunsicherheiten von MONERIS auf einer differenzierten räumlichen Betrachtungsebene, liegen hauptsächlich in der Qualität und Quantität verfügbarer Daten begründet. Dieses Problem verschärft sich bei Bilanzierungen über Bundeslandgrenzen hinweg, da dann das Problem der Inhomogenität der Daten nach der Datenstruktur und nach dem räumlichen und zeitlichen Bezug hinzutritt (vgl. u. a. BEHRENDT et al. 2007).

Vor diesem Hintergrund sollen bei der folgenden Belastungsanalyse nur die Quellen geschätzt bzw. berechnet werden, für die eine vergleichsweise sichere Datengrundlage vorliegt. Um dies abgrenzen zu können, erfolgt hier eine kurze Diskussion zu den Belastungspfaden (Emissionen), für die keine weitere Differenzierung erfolgen kann und die folglich zunächst nur als Gesamtgröße („black box“) betrachtet werden können.

Insofern sollen sich die weiter unten dargestellten Analysen zum regionalisierten Belastungsgeschehen aus den o. g. Gründen zunächst auf folgende, einigermaßen sicher berechen- bzw. schätzbare Belastungsquellen beschränken:

- Punktuell: behördlich überwachte Kläranlagen
- Diffus: atmosphärische Deposition, Nährstoffeinträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen, Einträge durch Kleinkläranlagen

### **4.1.2 Nicht betrachtete Quellen**

#### 1. Einträge aus Misch- und Betriebswassereinleitungen

Mischwassereinleitungen bei hydraulischer Überlastung der Kanalnetze, insbesondere bei Starkregen, können zu starken Gütedefiziten in betroffenen Vorflutern führen. Allerdings ist der Effekt generell ein temporärer (Starkregenereignisse) und kleinräumiger (Städte) und daher landesweit von untergeordneter Bedeutung. Zudem ist der Eintrag nur schwer zu quantifizieren und soll hier als separate Größe nicht erfasst werden.

Betriebswassereinleitungen (z. B. aus Kühlprozessen) sind mangels Datengrundlagen nicht quantifizierbar, aber auch wenig bedeutsam, so dass dieser Eintragspfad ebenso nicht näher untersucht wird.

#### 2. Einträge von Waldflächen

Der potenzielle Eintrag von Waldflächen würde sich grundsätzlich über eine Differenzberechnung der atmosphärischen Deposition abzüglich der Nährstofffestlegung in der Vegetation und dem Boden ergeben. Als weitere Verlustgrößen wäre vor allem die Denitrifikation zu bewerten. Grundsätzlich ist hier aber, auch angesichts der kurzen Bearbeitungszeit die Datenlage als nicht ausreichend zu bewerten. So fehlen (zumindest den Bearbeitern) landesweite Daten zum Waldbestand nach Baumarten und Waldformationen, nach Waldalter und Nährstoffsaldo. Lediglich bei Stickstoff könnte ggf. über die kritischen atmosphärischen Depositionsraten („critical load“) eine grobe Abschätzung erfolgen (vgl. NAGEL et al. 2004 oder GAUGER 2007).

#### 3. Natürliche Einträge bzw. natürlicher Hintergrund

Ein natürlicher geogener Eintrag der Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor würde sich in einer Naturlandschaft Mecklenburg-Vorpommerns wohl hauptsächlich über den Grundwasserpfad vollziehen. Im Rahmen eines bundesweiten Forschungsprojektes zum Grundwasser der oberflächennahen Aquifere wurden von KUNKEL et al. (2004) Hintergrundwerte für alle hydrogeologischen Einheiten ermittelt und länderübergreifende Spannbreiten der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit für die gesamte Bundesrepublik Deutschland abgeleitet. Damit ist eine Abgrenzung der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit von der (deutlich) anthropogenen bzw. durch geogene Anomalien beeinflussten Grundwasserbeschaffenheit möglich. Ober- bzw. Unter- und Obergrenzen der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit sind von KUNKEL et al. (2004) u. a. für die Lockergesteinseinheiten der Norddeutschen Tiefebene angegeben, so dass für  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,

NO<sub>2</sub> und PO<sub>4</sub> für verschiedene Entnahmetiefen hier Werte entnommen werden können. Das den Gewässern als Basisabfluss zuströmende Grundwasser ist dabei im Regelfall dem Grundwasser der Entnahmetiefe 0-10 m, also dem oberflächennahesten Grundwasser zuzuordnen.

KUNKEL et al. (2004) geben als Obergrenzen der natürlichen, ubiquitär überprägten Grundwasserbeschaffenheit in der Entnahmetiefe 0-10 m für die Lockergesteinseinheiten der Norddeutschen Tiefebene folgende Werte an:

- NH<sub>4</sub>: 0,10 mg/l
- NO<sub>3</sub>: 0,90 mg/l
- NO<sub>2</sub>: 0,06 mg/l
- PO<sub>4</sub>: 0,10 mg/l

Bei HYDOR (2005) wird dagegen bei Nitrat ein natürlicher Hintergrundwert in Höhe von < 0,5 mg/l bis 8,0 mg/l für das oberflächennahe Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern diskutiert. An vielen Grundwassermessstellen in stark bewaldeten Gebieten werden höchstens 5 mg/l gemessen. Bei Ammonium geht HYDOR von einer Hintergrundbelastung von < 0,2 mg/l bis 0,6 mg/l aus. Da, wie oben erwähnt, keine Daten zur Grundwasserneubildung verwendet werden konnten, konnte auch der geogene Eintrag über das Grundwasser nicht bilanziert werden.

Eine Bestimmung des natürlichen biogenen Eintrags gestaltet sich noch schwieriger. Der biogene Eintrag vollzieht sich in Fließgewässern hauptsächlich über in die Gewässer gelangendes Falllaub und Totholz. In Standgewässern oder breiten Fließgewässern kann ferner der Eintrag durch tierische Exkremente bedeutsam sein, wenn hohe Populations- und Individuendichten herrschen. Dies gilt insbesondere bei durchziehenden und auf Standgewässern rastenden Wasservögeln, die gerade im Frühjahr und im Herbst teilweise zu Zehntausenden auftreten. Der natürliche biogene Eintrag lässt sich allerdings auf der Basis der vorhandenen Daten nicht seriös schätzen.

Als weiteres Problem muss der kaum quantifizierbare Einfluss von Nährstoffremobilisierungen aus dem Sediment der Fließ- und Standgewässer angesehen werden. Dieser zusätzliche Eintrag der („historischen“) Belastungen aus früheren Jahren vollzieht sich

- in Fließgewässern überwiegend mechanisch (hydraulisch verursachte Aufwirbelungen),
- während es sich in den Standgewässern hauptsächlich um einen Prozess der Phosphor-Rücklösung unter anoxischen Bedingungen handelt, wobei im Falle von thermisch geschichteten Seen erst bei vertikalem Temperatúrausgleich und der damit einsetzenden Zirkulation das nährstoffbelastete Tiefenwasser wieder an die Oberfläche und damit in den Abstrombereich seeaustretender Fließgewässer gelangen kann.

### **4.1.3 Derzeit nicht quantifizierbare Eintragspfade**

#### 1. Mittlere Abflussdaten nach hydrologischen Abflusskomponenten

Hierzu liegen aus einer Wasserhaushaltsmodellierung nach dem BAGROV-GLUGLA-Verfahren landesweite Daten zur Grundwasserneubildung und zur Direktabflusshöhe vor (HGN 2007b). Die Daten konnten nach einer Plausibilitätsprüfung aus verschiedenen Gründen nicht verwendet werden, so dass auch eine Nährstoffbilanzierung nach Abflusskomponenten nicht vorgenommen werden konnte. Zu diesem Problemkomplex wurden dem Auftraggeber in einem separaten Bericht entsprechende Gründe benannt.

## 2. Flächenkulisse gedränter Flächen

Beim Nährstoffhaushalt spielt neben der Dränung (hierunter fällt in den neuen Bundesländern üblicherweise nur die Rohrdränung) die künstliche Beeinflussung des Wasserhaushalts insgesamt eine Rolle. Gerade die Dränung kann in vielen Tieflandeinzugsgebieten aber als eindeutiger Belastungsfaktor identifiziert werden.

Der Zusammenhang zwischen  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen und Abfluss ist bei gedränten Gebieten auf allen hydrologischen Skalenebenen signifikant, wobei aber mit Anwachsen der Einzugsgebietsfläche vor allem Verdünnungen sowie Prozesse des Nährstoffrückhalts und entsprechender Umsetzungen zunehmen (KAHLE et al. 2007). Bei den MONERIS-Berechnungen für die Zeitreihe 1993 bis 1997 wurde der Anteil des Stickstoffeintrages über Dränagen an den diffusen Einträgen auf bis zu 71% geschätzt (Flussgebiet der Peene, vgl. MEWES 2004).

Auf allen Skalen - Sammler, Graben, Bach - zeigen Nitratkonzentrationen und Abflüsse ein synchrones Verhalten, womit die Bedeutung der Stoffkonzentration des Dränwassers für die Wasserqualität auf höheren Ebenen unterstrichen wird. Die Verknüpfung von hohen Nitratkonzentrationen mit hohen Abflüssen kann hierbei als Indiz für eine hohe Nährstoffanreicherung im Boden gedeutet werden (MEHL & STEINHÄUSER 2003, KAHLE et al. 2005a, b, KAHLE & LENNARTZ 2005). Bedeutsam ist aber auch, dass die Dränagen den häufig unterschätzten präferentiellen Abfluss (Makroporenabfluss in natürlichen Bodenstörungen) aufnehmen (s. z. B. VON ITTER 2000) und in solchen Fällen die natürliche Rückhaltefunktion der Böden für Wasser und Nährstoffe nicht oder nur eingeschränkt zum Tragen kommen kann.

Als kartographische Information liegen digitalisierte Drän- und Gewässerausbauprojekte der ehemaligen Meliorationskombinate in Mecklenburg-Vorpommern vor (LUNG M-V 2003). Basis bilden dabei Messtischblätter mit Handeintragungen entsprechender Informationen, die nach 1989/1990 vorgenommen wurden. Danach ist insgesamt davon auszugehen, dass in Mecklenburg-Vorpommern mindestens 550.000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche nachweisbar (rohr-)gedränt sind. Allerdings zeigen stichprobenartige Überprüfungen im Vergleich mit anderen Daten, dass zwar das Gros der Dränflächen erfasst ist, aber Dränungen vor 1945 überhaupt nicht und auch in der DDR vorgenommene Dränungen nicht vollständig berücksichtigt sind (siehe Beispiel in Abb. 4-2). Daher ist das reale Ausmaß noch wirksamer Flächendränungen vermutlich im Mittel ca. 25-30% höher zu veranschlagen (MEHL 2004) und kann in einzelnen Gebieten mehrere hundert Prozent höher liegen. Gerade Dränungen der bindigen Böden sind in Mecklenburg-Vorpommern die Regel. Der gedränte Anteil an diesen bindigen, landwirtschaftlich genutzten Böden wird anhand von Unterlagen und nach Befragungen der Wasser- und Bodenverbände auf etwa 80% geschätzt (HENNIG & HILGERT 2007).

Weiterhin gibt es eine Größenordnung von über Gräben, Vorfluter und Schöpfwerke oberflächlich künstlich entwässerter Flächen von etwa 200.000 ha. Da innerhalb dieser Flächenkulisse auch rohrgedränte Gebiete liegen können, ist die genaue Größenordnung unbekannt.

Zu den bedeutendsten hydrogeographischen Eigenarten der hauptsächlich in Mecklenburg-Vorpommern vorkommenden Jungmoränenlandschaften zählen außerdem die Gebiete ohne oberirdischen Abfluss, sogenannte „*Binnenentwässerungsgebiete*“, die besonders im Bereich des Mecklenburgischen Landrückens und der Seenplatte verbreitet sind (TREICHEL 1957, zit. in HURTIG 1966). SCHUMANN (1968) definiert ein Binnenentwässerungsgebiet „...als das aus einer oder mehreren Hohlformen bestehende, von einer Wasserscheide allseitig begrenzte oberirdische Einzugsgebiet, in dem Niederschlag nur verdunsten und versickern kann oder auf einem der beiden Wege weggeführt wird“. Grundsätzlich sind die Binnenentwässerungsgebiete in Endmoränenbereichen kleiner und weisen eine höhere Reliefenergie auf als diejenigen in Grundmoränenbereichen.

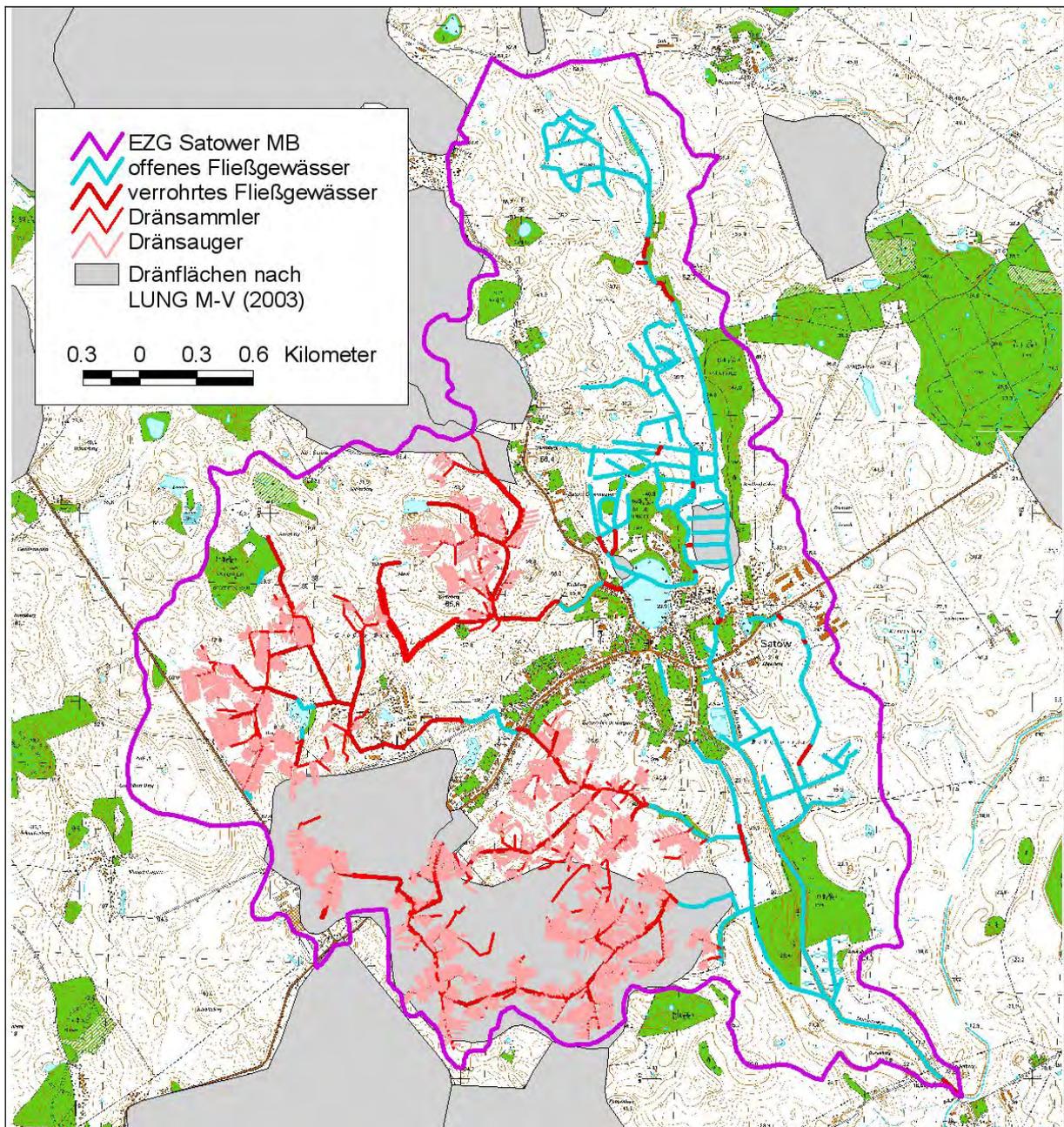


Abbildung 4-2: Lage von Dränflächen bzw. Dränanlagen im Einzugsgebiet Satower Mühlbach (Warnow/Beke) nach landesweiter Datenlage (LUNG M-V 2003) sowie nach eigenen Recherchen und Auswertungen der Unterlagen des Wasser- und Bodenverbandes Warnow-Beke

Für das Einzugsgebiet der Beke ermittelte MOHAUPT (2001) durch Auswertung der topographischen Karte im Maßstab 1:10.000 exemplarisch einen Flächenanteil von ca. 35% der Einzugsgebietsfläche, wobei die kartierten Binnenentwässerungsgebiete in ihrer Größe ca. zwischen 1 ha und 218 ha schwanken und mit hoher Wahrscheinlichkeit ca. 75% dieser Flächen durch meliorative Maßnahmen an das Fließgewässersystem angeschlossen wurden. Insgesamt kann wohl für das Gros aller Binnenentwässerungsgebiete von einer künstlichen Entwässerung ausgegangen werden.

Vor diesem Hintergrund, dass natürlicherweise etwa 11% der Landesfläche oberirdisch abflusslos wäre, gibt es eine nicht unerhebliche Größenordnung der künstlichen Vorflut neben

der Rohrdränung (Hintergrund: Zahlenangaben des Landesverbandes der Wasser- und Bodenverbände - WBV: in der Unterhaltungslast der WBV sind 512 Schöpfwerke mit einem Vorteilsgebiet von 164.540 ha, ca. 7.000 Wehre und Stau und ca. 670 km Deiche mit einem Poldergebiet von insgesamt 53.450 ha).

### 3. Einträge aus Bodenerosionsprozessen

Die Bodenerosion stellt gerade bei den diffusen Phosphoreinträgen offenbar einen sehr hohen Anteil. Bei den MONERIS-Berechnungen für die Zeitreihe 1993 bis 1997 wurde z. B. für das Einzugsgebiet der Peene die Erosion als größte Nährstoffquelle identifiziert (MEWES 2004). Allerdings existieren hier bis heute keine Angaben zu realen Frachteinträgen (kartiert bzw. plausibel berechnet). Bislang liegt nur die Potenzialbewertung von FRIELINGHAUS et al. (1998) vor, die für Mecklenburg-Vorpommern auf Basis der vorliegenden Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK - SCHMIDT & DIEMANN 1981) für die Bodenerosion durch Wind und die Bodenerosion durch Wasser vorgenommen wurde. Folglich konnte der tatsächliche Eintrag durch Bodenerosionsprozesse auch hier nicht quantifiziert werden.

### **4.1.4 Derzeit nicht quantifizierbare Prozesse**

#### 1. Nitratrückhaltevermögen des Bodens

Auf den landwirtschaftlich genutzten (und damit überwiegend gedüngten) Böden kann Nitrat vor allem außerhalb der Vegetationsperiode ausgetragen werden und gelangt mit dem Sickerwasser in das Grundwasser. Das Nitratrückhaltevermögen der Böden hängt allerdings von den bodenphysikalischen Eigenschaften ab, so dass die regionale Differenzierung der Böden entsprechende Beachtung finden muss. Im Hinblick auf die in § 2 (2) BBodSchG definierten Bodenfunktionen kann das Leistungspotenzial des Bodens zur Retention von Nitrat sowohl dem Funktionsbereich 1b (Bestandteil des Wasser- und Nährstoffkreislaufes) als auch 1c (Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen) zugeordnet werden (FETZER et al. 2002).

Grundsätzlich muss zwischen dem Nitratrückhaltevermögen des Bodens und der Nitratauswaschungsgefährdung unterschieden werden. Dabei kennzeichnet das Nitratrückhaltevermögen das Speichervermögen des Bodens für Nitrat, während die Nitrataustragsgefährdung über die Sickerwasserrate (DIN 19732: Quotient aus Grundwasserneubildung und Feldkapazität im effektiven Wurzelraum) ermittelt werden kann.

In den Boden eindringendes Niederschlagswasser sickert nicht eher weiter nach unten ab, ehe nicht eine Sättigung bis zur Feldkapazität erreicht wird. Erst das überschüssige Wasser fließt in die tieferen Schichten ab. Die Feldkapazität kennzeichnet dabei das maximale Wasserspeichervermögens des Bodens und damit die Wassermenge, die der Boden gegen die Schwerkraft halten kann. Die Größe der Feldkapazität ist abhängig vom konkreten Standort. Wesentliche Einflussfaktoren sind die Größe des Porenraumes, der Gehalt an organischer Substanz sowie die Art des Gefüges in Kombination mit dem Stein- und Blockgehalt. Bodenstörungen wie Klüfte, Risse und andere Makroporen können das Versickerungsverhalten aber darüber hinaus signifikant beeinflussen und führen in vielen Fällen zu deutlich höheren Sickerwassermengen und -intensitäten.

Die effektive Durchwurzelungstiefe ist die Tiefe zur Berechnung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums in Abhängigkeit von der Schichtung der Bodenarten bei mittlerer Lagerungsdichte. Sie wurde ursprünglich für Ackerpflanzen entwickelt. Grundlage für die Berechnung ist der Wasserentzug durch Pflanzenwurzeln in Trockenjahren. Die effektive Durchwurzelungstiefe entspricht aber nicht der physiologischen Gründigkeit (Tiefe, bis zu der Wurzeln in den Boden eindringen können), sondern kennzeichnet das Bodenvolumen, in dem der Bodenwasserhaushalt intensiv durch pflanzlichen Wasserverbrauch (Transpirationentzug) beeinflusst ist. Damit bleibt die Möglichkeit einiger Pflanzen, sich durch ihr Wurzelwerk an den Boden anzupassen, außer Betracht. Begrenzend wirkt zudem der mittlere

Grundwasserstand, der die Wirkung einer physiologischen Barriere besitzt. Ist dieser bekannt, wird die Durchwurzelungstiefe mit dem mittleren Grundwasserstand gleichgesetzt. Ist dagegen die Mächtigkeit des Bodens geringer als die berechnete Durchwurzelungstiefe, dann wird die Durchwurzelungstiefe auf die mittlere Mächtigkeit bezogen.

Bei grund- und stauwasserbeeinflussten Standorten wird die Austragsgefährdung durch die potenzielle Denitrifikation stark verringert. Diesbezügliche Effekte sind insbesondere die Reduktion von Nitrat zu Stickstoffmonoxid und elementarem Stickstoff durch anaerobe Bakterien sowie eine längere Verweilzeit des Sickerwassers im Wurzelraum, wodurch auch der N-Entzug vergrößert wird. Gerade intakte Moore wirken in der Landschaft als Nährstoffsinken, da die nährstoffinkorporierende Biomasse akkumuliert wird (SUCCOW & JOOSTEN 2001). Aber auch noch leicht degradierte Moore können in erheblichem Maße Nitrat zurückhalten, da sie über einen sehr hohen Kohlenstoffvorrat verfügen, der für den Denitrifikationsprozess benötigt wird. Wichtig für die Funktion von Mooren als Rückhaltraum ist insbesondere die Lage des Moorwasserspiegels. Liegt dieser im Mittel nahe an, bei oder über der Geländeoberfläche, so handelt es sich um hydrologisch intakte (EDOM 2001), wachsende und damit akkumulierende Moore. Liegt der Moorwasserspiegel tiefer, aber befindet sich noch im Moorkörper, sollte die Denitrifikation nennenswerte Teile der Stickstoffmineralisation kompensieren können. Liegt der Moorwasserspiegel hingegen unterhalb des Torfkörpers, handelt es sich um ein vollständig entwässertes Moor, das durch den Effekt der Mineralisierung des Torfes insgesamt als bedeutender Nährstoffemittent erscheint. Insgesamt ist die landschaftsökologische Bedeutung der durch hohe Wasserstände geprägten Landökosysteme und damit der Feuchtgebiete enorm hoch, gerade im Hinblick auf den Stoffhaushalt.

Generell lassen sich aber die Effekte der grund- und stauwasserbeeinflussten Standorte auf die Nitratrückhaltung nur schwer quantifizieren. Für eine landesweite Analyse fehlen Zustands- und Vergleichsdaten. Insofern kann der Effekt im Moment nur qualitativ gekennzeichnet werden. Zudem schwierig ist die Kennzeichnung und Bewertung weiterer Prozesse, welche die Nitratauswaschungsgefährdung auf Grund von Düngerapplikationen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen beeinflussen. Hierzu zählen versickerungsfördernde Makroporen (Schrumpfungs- und Trocknungsrisse, Störungen) und vor allem die enorm abflussbeschleunigende Wirkung der Dränung. Gedränte Flächen entwässern schneller und stärker als unbeeinflusste Böden. Ggf. auftretender Kapillaraufstieg aus tieferen Schichten wird verhindert. Zudem verringert sich auf Grund der Unterbrechung der Infiltration in tiefergelegene Bodenschichten die Grundwasserneubildung enorm.

### 2. $N_{\min}$ -Daten von Testflächen

Die ursprünglich zugesagte Bereitstellung von  $N_{\min}$ -Daten von 200 landesweiten, unter dem Gesichtspunkt der Düngeverordnung (DüV) festgelegten Testflächen erfolgte nicht, da nach den Ausführungen der Landwirtschaftsberatung Mecklenburg-Vorpommern/Schleswig-Holstein GmbH (Schreiben vom 15. April 2008) mögliche Auswertungen der  $N_{\min}$ -Testflächen höchstens grobe Aussagen zur Stickstoffdynamik zulassen. Wesentlich ist vor allem, dass die Daten offensichtlich zum Beginn der Vegetationsperiode aufgenommen werden und nicht wie sonst üblich als Herbst- $N_{\min}$ -Werte. Der Herbst- $N_{\min}$ -Wert entspricht theoretisch der N-Auswaschungsfracht (bezogen auf das Bodenvolumen der effektiv durchwurzelten Bodenschicht bzw. bis 90 cm Tiefe), wenn Vorabverluste bei der Probenahme auszuschließen sind, nach der Beprobung keine bedeutende Mineralisation erfolgt und die winterliche Sickerwasserrate zum vollständigen Austausch des Bodenwassers führt (effektiv durchwurzelter Bereich oder bis 90 cm nach DIN 19732).

## 4.2 Punktuelle Belastungsquelle: behördlich überwachte Kläranlagen

Die behördlich überwachten Abwassereinleitungen in Mecklenburg-Vorpommern umfassen Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen sowie Einleitungen aus industriellen und gewerblichen Kläranlagen (einschließlich Einleitungen aus bedeutsamen Spülfeldern)

- der Größenklasse 1 (50 bis 999 Einwohnergleichwerte - EW),
- der Größenklasse 2 ( $\geq 1.000$  bis 5.000 EW),
- der Größenklasse 3 ( $> 5.000$  bis 10.000 EW),
- der Größenklasse 4 ( $> 10.000$  bis 100.000 EW) sowie
- der Größenklasse 5 ( $> 100.000$  EW).

Für Kläranlagen mit weniger als 50 EW bzw. mit einem Abwasseranfall von weniger als 8 m<sup>3</sup>/d (Kleinkläranlagen) liegen keine behördlichen Überwachungswerte zu Ablaufkonzentrationen vor, da Kleinkläranlagen über die bauaufsichtliche Zulassung, den ordnungsgemäßen Betrieb und die Wartung kontrolliert werden. Sie werden daher im Regelfall unter der diffusen Belastung bilanziert. Der Grund hierfür ist auch, dass Kleinkläranlagen zwar in Fließgewässer einleiten können, die größere Zahl bestehender Kleinkläranlagen ihr Abwasser aber in den Untergrund einleitet („Untergrundverrieselung“). Eine Abschätzung dieser Belastung erfolgt daher im folgenden Kapitel 4.3 konsequent als diffuse Belastungsquellen.

Um zuverlässige Daten zu den Nährstoffeinträgen aus den überwachten Kläranlagen zugrunde legen zu können, erfolgte eine aktuelle Abfrage von Überwachungswerten der Jahre 2001 bis 2007 bei den Staatlichen Ämtern für Umwelt und Natur, die ihrerseits die Unteren Wasserbehörden der Landkreise sowie teilweise die Abwasserbeseitigungsunternehmen und –körperschaften beteiligten. Im LUNG M-V lag eine landesweite Übersicht aller Kläranlagen, teilweise mit Angaben zu den mittleren Abwassermengen 2006, vor. Eine weitere Übersicht der Kläranlagen enthält das aktuelle GIS-WRRL-Projekt. Zur eindeutigen Identifizierung der Anlagen wurden die Abwasserabgabenummer aus dem WRRL-Projekt (7-stellig) übernommen, bei deren Fehlen erfolgte die Vergabe einer eigenen Nummer (2 bis 3-stellig). Auf Grundlage der genannten Daten wurden anschließend die Kläranlagenfrachten ermittelt.

Im Umgang mit den Kläranlagendaten bleibt zu erwähnen, dass bei der Mengenangabe des Abwassers zwischen Jahresschmutzwassermenge (JSM) und Abwassermenge zu unterscheiden ist. Während die Abwassermenge der realen Ablaufmenge, d. h. der tatsächlich aus dem Kläranlagenablauf in das Gewässer eingeleiteten Menge entspricht, ist die rechnerisch ermittelte Jahresschmutzwassermenge eine Zahl, die der Berechnung der Abwasserabgabe zugrunde liegt. Sie entspricht damit in den meisten Fällen nicht der realen Ablaufmenge. Zur Berechnung der Kläranlagenfrachten wurden deshalb möglichst Abwassermengen verwendet. Nur wenn diese nicht vorlagen, wurde auf die „kalkulatorischen“ Jahresschmutzwassermengen zurückgegriffen oder ggf. auf Kapazitätsangaben oder Einwohnerzahlen ausgewichen. In letzteren Fällen wurde für die Menge einheitlich der „Einwohnerwert“ in Höhe von 110 l/d von BARJENBRUCH (2003) angesetzt.

Abbildung 4-3 zeigt im Überblick das Vorgehen bei der Berechnung der Frachten aus den behördlich überwachten Kläranlagen, während in den Abbildungen 4-4 und 4-5 die Berechnungsergebnisse in ihrer landesweiten Differenzierung (als Punktinformationen) dargestellt sind.

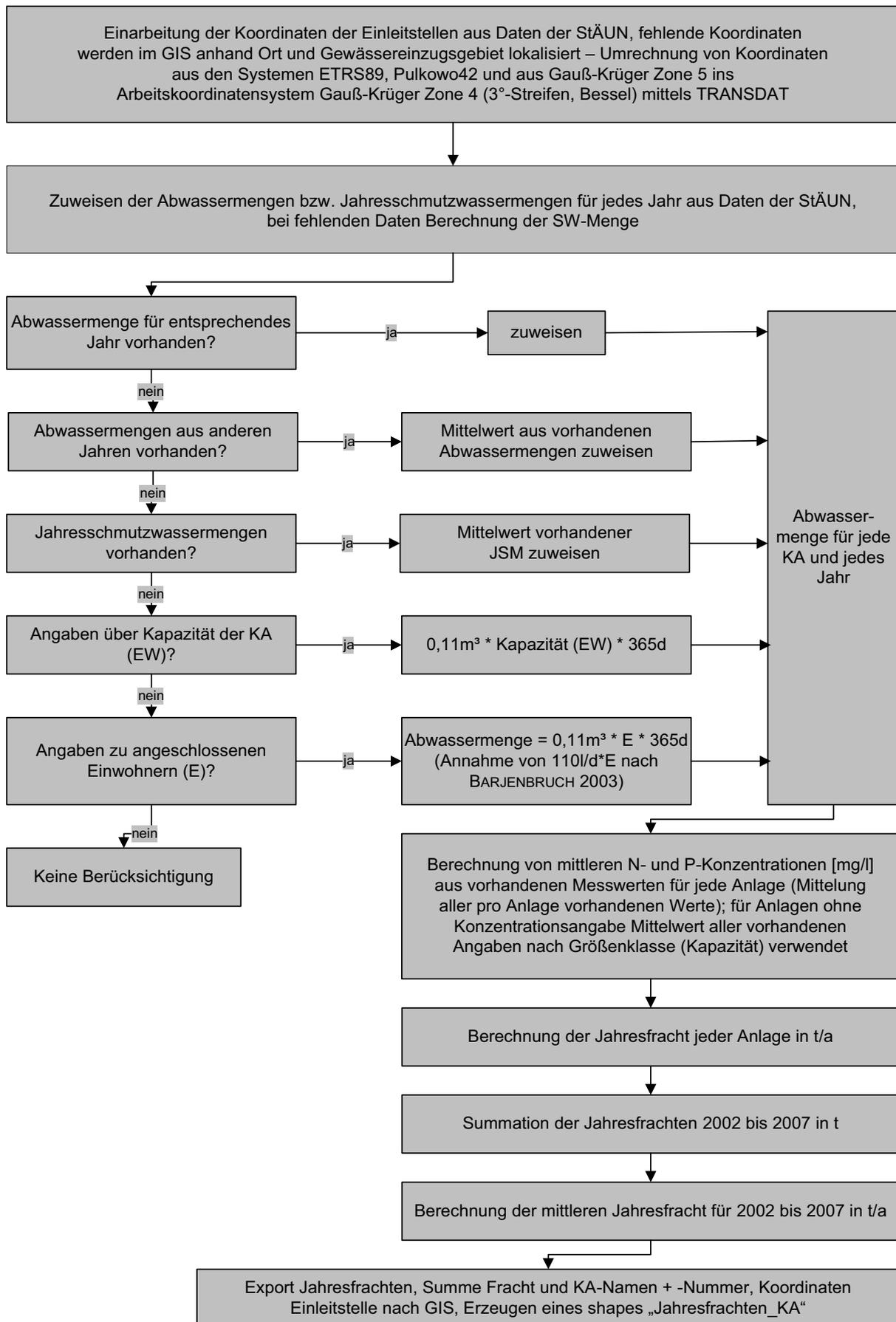


Abbildung 4-3: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte für Kläranlagenfrachten

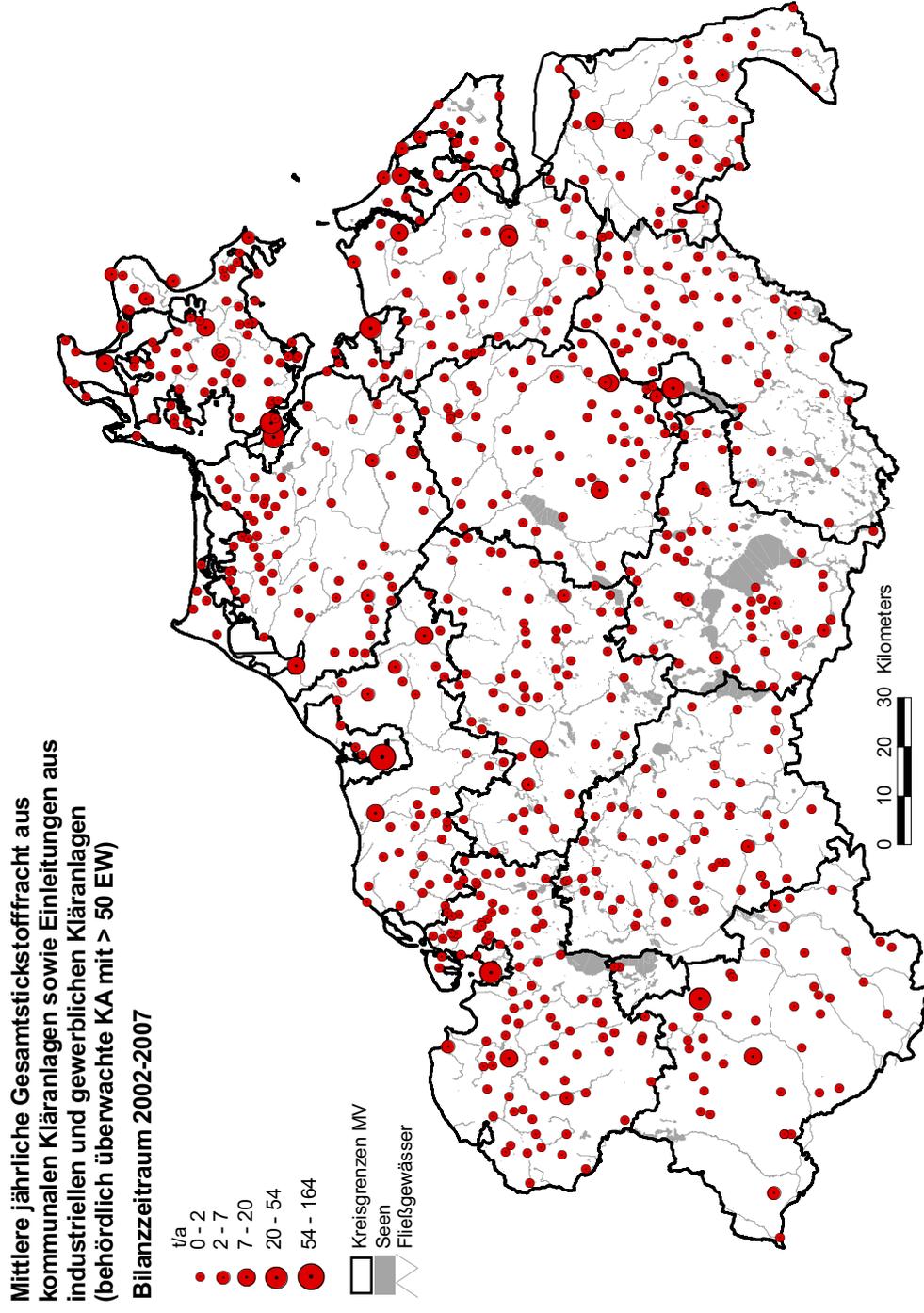


Abbildung 4-4: N-Frachten aus den behördlich überwachten Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern

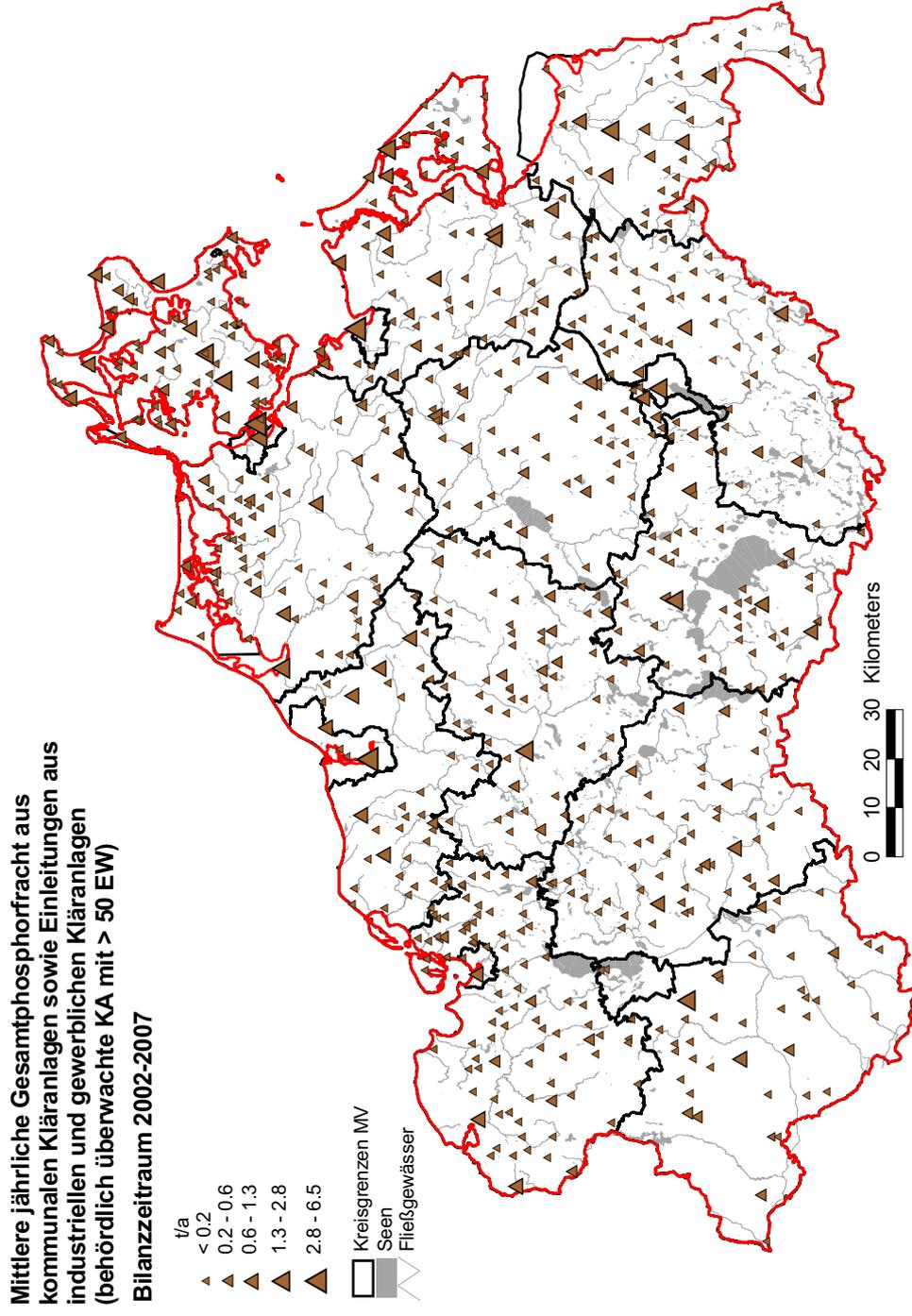


Abbildung 4-5: P-Frachten aus den behördlich überwachten Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern

## 4.3 Diffuse Belastungsquellen

### 4.3.1 Atmosphärische Deposition

Im Rahmen eines vom Umweltbundesamt (UBA) geförderten F+E Vorhabens zur nationalen Umsetzung der UNECE-Luftreinhaltekonvention wurde ein bundesweiter, flächendeckender Datensatz der Gesamtdeposition von Stickstoff (N-Gesamtdeposition) erstellt (GAUGER et al. 2007). Die räumliche Auflösung beträgt  $1 \times 1 \text{ km}^2$  (GAUGER 2007). Danach kann die lokale Stickstoff-Vorbelastung empfindlicher Ökosysteme aus den vorliegenden deutschlandweiten UBA-Datensätzen der N-Gesamtdeposition durch eine räumliche Zuordnung der zu betrachtenden empfindlichen Wald- und Offenland-Ökosysteme zur entsprechenden Landnutzungs-kategorie der Depositionskartierung vorgenommen werden. Die Daten sind auf der folgenden Website zur Abfrage mit Hilfe der Gauss-Krüger-Koordinaten von betroffenen Ökosystemen (Punkte von Interesse) eingestellt: <http://osiris.uba.de/website/depo1/viewer.htm>.

Auf Nachfrage wurden vom Umweltbundesamt die Daten mit einer Nutzungsvereinbarung in einem direkt GIS-kompatiblen Format bereit gestellt (UBA 2008). Dabei handelt es sich um die mittlere Gesamtdeposition Stickstoff für die Jahre 1999-2004.

Die Datensätze der Gesamtdeposition von Stickstoff ( $N_{\text{ges}}$ ) lagen somit als mittlere Frachten (in  $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) vor. Es handelt sich dabei um Rasterkarten in einer Auflösung von  $1 \times 1 \text{ km}^2$ . Rasterdaten (Attribute, Sachdaten) sind in einer rechtwinkligen Matrix angeordnet. Das Raster ist über die Fläche Deutschlands aufgespannt und besteht aus insgesamt 1000 Zeilen (Nord-Süd) und 750 Spalten (West-Ost). Jede  $1000 \text{ m}^2$  große Rasterzelle enthält, wie in einer Tabelle, jeweils einen Wert auf der Fläche Deutschlands (356.849 Zellen), während die übrige Fläche außerhalb der Binnenfläche Deutschlands mit Fehlwerten belegt ist („no data value“ -9999).

Diese Daten stehen ausgehend von den Corine-Land-Cover-2000-Daten für folgende 9 Landnutzungsklassen zur Verfügung: (bg) Bebaute Gebiete, (ag) Ackerflächen, (lw) Laub-, (nw) Nadel-, (mw) Mischwald, (wa) Gewässerflächen, (ww) Wiese & Weide, (nv) semi-natürliche Vegetation (Trocken- Magerrasen, Moore etc.), (re) schütterere Vegetation (Dünen, Felsfluren etc.). Sie sind als (Vegetations-)Strukturtypen zu sehen (vgl. GAUGER et al. 2007), die damit die rezeptorspezifischen Eigenschaften der Landbedeckung widerspiegeln.

Für die atmosphärischen Phosphoreinträge werden die Werte aus der Arbeit von BACHOR (2004) angesetzt, wo einheitlich  $20 \text{ kg km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  für die Periode 2000 bis 2006 angegeben werden – ein Wert der offensichtlich von Messungen des Landesumweltamtes Brandenburg im Nordosten Brandenburgs übernommen wurde (SONNENBURG & BORCHARDT 1998).

Bei der atmosphärischen Stickstoffbelastung zeigt sich ein hoher West-Ost-Gradient, der vermutlich nicht nur Folge der Niederschlagsdifferenzierung in Mecklenburg-Vorpommern ist (vg. MEHL et al. 2004, KLITZSCH & MEHL 2004), sondern auch den hohen Einfluss der straßenverkehrsbedingten Emissionen zeigen dürfte (Abb. 4-6 und 4-7). Auf jeden Fall wird deutlich, dass die mangels raumdifferenzierter Daten bislang in Frachtbilanzierungen angesetzten Pauschalwerte für Mecklenburg-Vorpommern (z. B.  $1.950 \text{ kg N km}^{-2} \text{ a}^{-1}$  bei BEHRENDT et al. 1999) die Situation in vielen Teilräumen unterschätzen und so bislang keine sachgerechte Berücksichtigung dieses Eintragspfades ermöglichten.

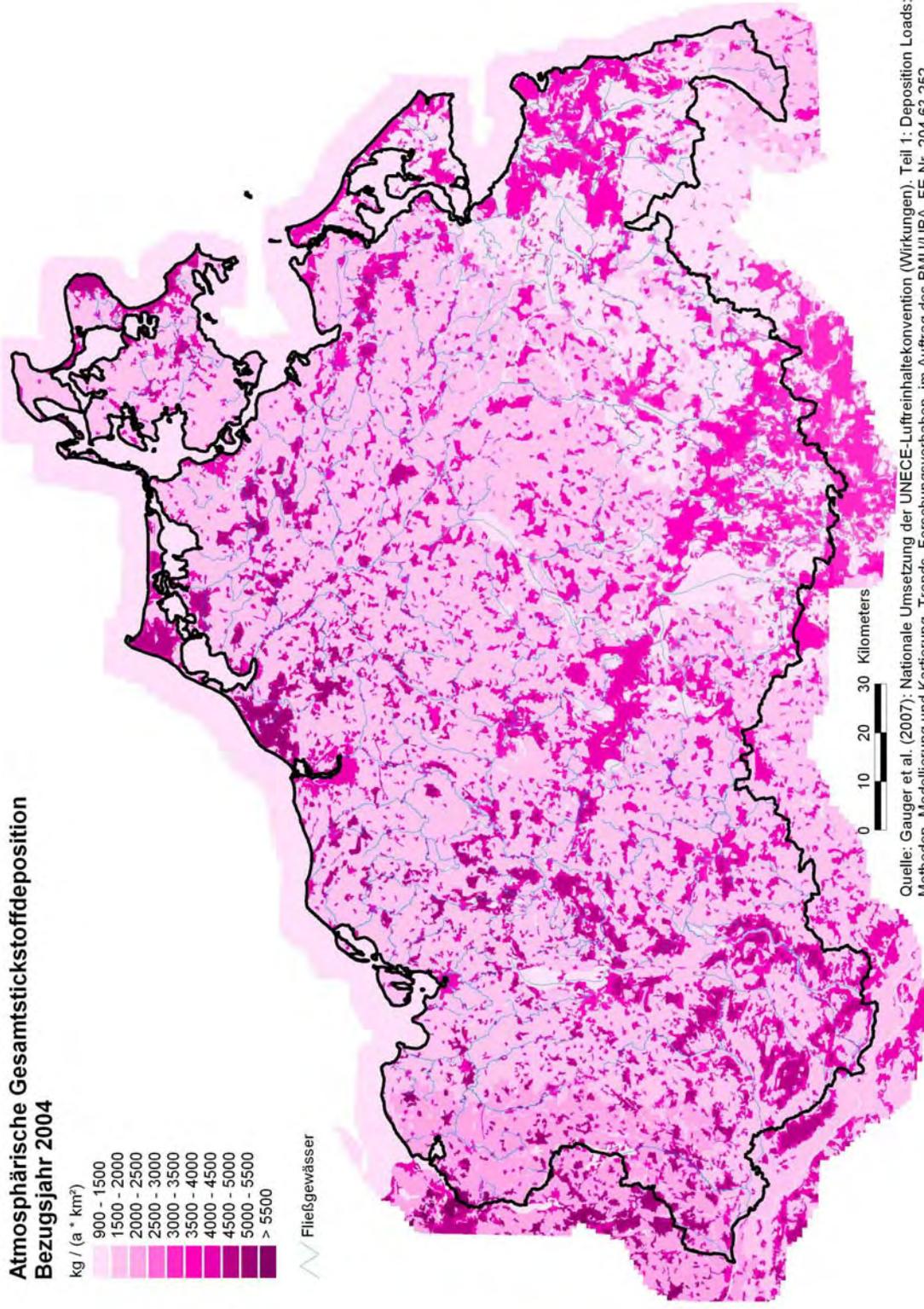


Abbildung 4-6: Atmosphärische Gesamt-N-Deposition in Mecklenburg-Vorpommern (auf der Grundlage von GAUGER et al. 2007 bzw. UBA 2008)

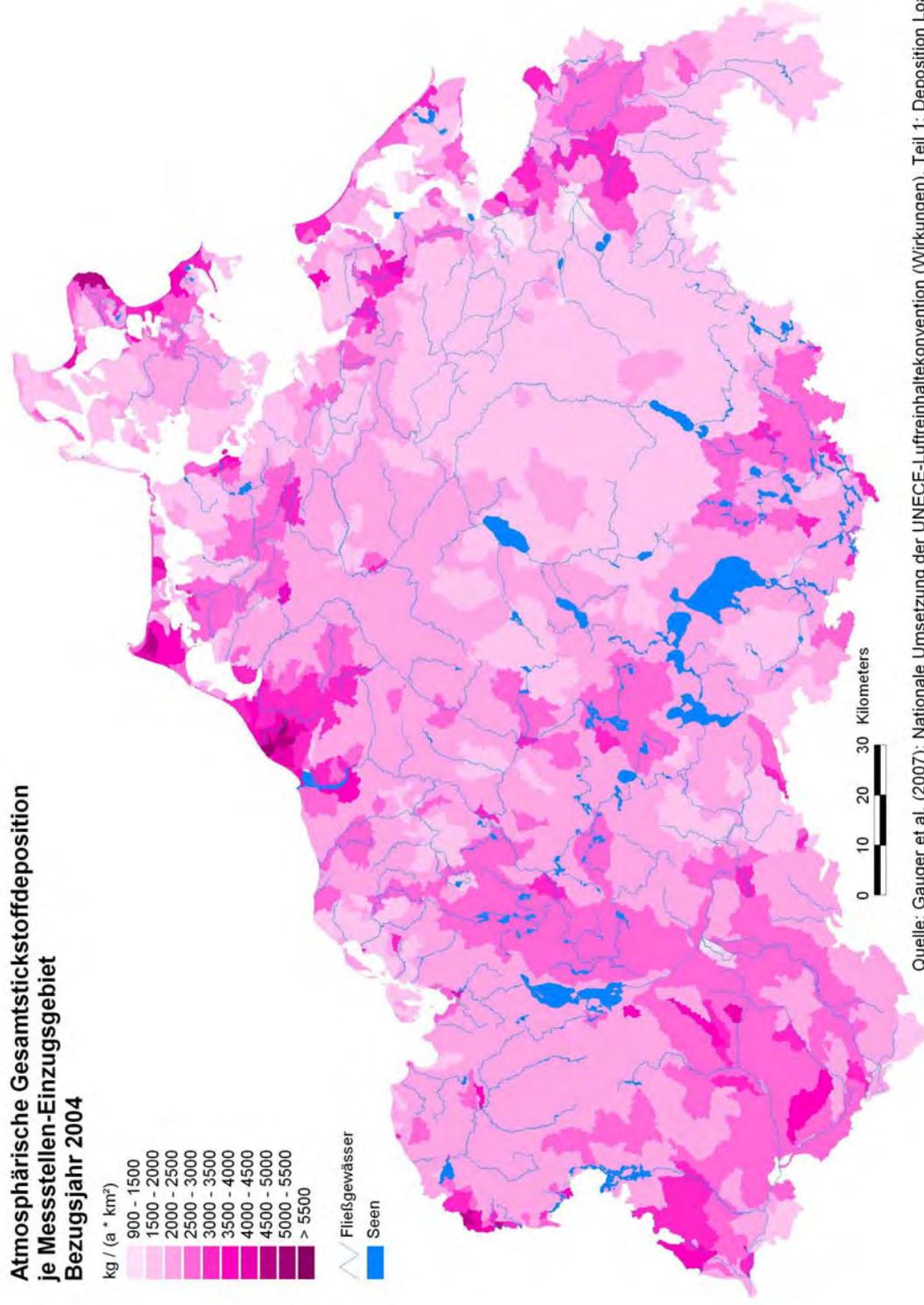


Abbildung 4-7: Mittlere atmosphärische Gesamt-N-Deposition nach der Einzugsgebietsstruktur der Nährstoffbilanzierung

### 4.3.2 Nährstoffeinträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen

Die Nährstoffeinträge von landwirtschaftlichen Nutzflächen in die Oberflächengewässer vollziehen sich überwiegend in folgenden Abflusspfaden bzw. -komponenten:

- mit dem Landoberflächenabfluss (abhängig von den standörtlichen und meteorologisch-hydrologischen Bedingungen) und häufig im Zusammenhang mit der Bodenerosion durch Wasser
- mit windbedingtem Bodeneintrag (Bodenerosion durch Wind)
- mit dem Zwischenabfluss (bodeninnerer oder hypodermischer Abfluss)
- mit dem Dränabfluss
- mit dem Sickerwasser unterhalb der effektiven Durchwurzelungszone und damit über den Grundwasserabfluss.

Wie in Kapitel 4.1 beschrieben, fehlen für wirklich realitätsnahe Analysen der einzelnen Pfade die verschiedensten Daten und Informationen. Hier können aber die Daten zu N- und P-Salden entsprechend Düngeverordnung (DüV) nach WIEBENSOHN (2008) Berücksichtigung finden, was im Ergebnis einem „Flächen-Bilanz-Modell“ wie bei EISELE et al. (2008) entspricht.

Diese Einbeziehung von Daten zu Nährstoffüberschüssen von landwirtschaftlichen Nutzflächen ist möglich, da eine Nährstoffbilanzierung für landwirtschaftliche Nutzflächen nach DüV vorgeschrieben ist und entsprechende Daten landesweit im Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem (InVeKoS) vorliegen. InVeKoS ist ein durch die Europäische Kommission seit 1992 schrittweise eingeführtes System von Verordnungen zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedsstaaten und gilt als ein wesentliches Kontrollinstrument für die Agrarausgaben der EU. Es unterliegt dabei einer ständigen Weiterentwicklung. Derzeit besteht es aus folgenden Bestandteilen:

- einem System zur EU-weit genormten Tier-Kennzeichnung
- einem System zur Identifizierung landwirtschaftlich genutzter Parzellen (seit 2005 auch GIS-unterstützt)
- einem System zur Bearbeitung und Auszahlung von Beihilfeanträgen
- Verwaltungskontrollen sowie mittels Risikoanalyse ausgewählten Vor-Ort-Kontrollen (ab 2005 ergänzt um „Cross Compliance“ - Maßnahmen)

Wie in einer Reihe von Bundesländern wird in Mecklenburg-Vorpommern im InVeKoS auch die Nährstoffbilanzierung der landwirtschaftlichen Betriebe entsprechend Düngeverordnung erfasst. Diese Nährstoffbilanzierung als Gegenüberstellung von Nährstoffzu- und -abfuhr von der landwirtschaftlich genutzten Fläche liefert rückwirkend wichtige Informationen über den Nährstoffeinsatz in der Pflanzenproduktion und dessen Effektivität. Wichtige Bilanzierungsformen sind die Hoftor-, Feld-, Stall- sowie die Schlagbilanz. Die DüV vom 27.02.2007 schreibt für die Landwirte das Erstellen einer Feld-Stall- oder aggregierten Schlagbilanz vor. Als Bewertungskriterium dient der Nährstoffsaldo (Differenz zwischen Nährstoffzu- und -abfuhr).

Entsprechend InVeKoSV können die Länder als Flächenidentifizierungssystem wählen zwischen Feldblock, Schlag, Feldstück und Flurstück. In Mecklenburg-Vorpommern wurde als Flächenidentifizierungssystem des InVeKoS der Feldblock als Referenzparzelle ausgewählt. Ein Feldblock kann aus mehreren und durchaus mit unterschiedlichen Fruchtarten bestellten Parzellen bestehen, die ihrerseits sogar von verschiedenen Betriebsinhabern bewirtschaftet sein können.

Allerdings sind im Landessystem auch zahlreiche Daten nicht enthalten, da Betriebsinhaber, die ihren Sitz in anderen Bundesländern haben, ihre Daten dort melden (Betriebsitzprinzip).

Dies führt dazu, dass in die Berechnungen von WIEBENSOHN (2008) nur ca. 89% der Flächen laut Feldblockkataster 2006 eingehen konnten.

Entsprechend DüV ist bei Erfassung der Nährstoffsalden wie folgt zu verfahren:

- Betriebe mit mehr als 10 ha LF oder mehr als 1 ha Sonderkulturen haben auf Betriebsebene für Stickstoff jährlich, für Phosphat und Kali mindestens alle 3 Jahre für den zurückliegenden Zeitraum die Nährstoffzu- und -abfuhr zu vergleichen (Nährstoffsaldo).
- Ausgenommen sind Betriebe mit einem Stickstoffanfall aus der Tierhaltung von maximal 80 kg/ha und einem Einsatz von maximal 40 kg N/ha aus sonstigen N-haltigen Düngemitteln.

WIEBENSOHN (2008) hat in seinen Nährstoffsalden die atmosphärische Deposition nicht mit berücksichtigt, was bei Phosphor kaum eine Rolle spielt ( $0,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ), aber beim Stickstoff nach GAUGER et al. (2007) zu einem Aufschlag in der Größenordnung von ca. 12 bis 27  $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  je nach Region führt (vgl. Kapitel 4.2.1).

In der Arbeit von WIEBENSOHN werden nach KAPE (2008) nachfolgende methodische Schwächen offenbar, die dazu geführt haben, dass zwar mit regionalisierten N- und P-Salden gerechnet werden konnte, aber eine Veröffentlichung der Salden in Form einer Kartendarstellung nicht erfolgen sollte:

- Das Ertragsniveau des ökologischen Landbaus wird bei allen Kulturen und dem Grünland grundsätzlich auf 50 % des konventionellen Anbaus festgelegt. Insbesondere beim Anbau von Leguminosen dürften die Erträge aber mit dem konventionellen Landbau vergleichbar sein. Da die Legume N-Bindung mit dem Ertragsniveau korreliert, kommt es aufgrund der Halbierung der Erträge zu einer Reduzierung der gerade im ökologischen Landbau notwendigen N-Fixierung. Dadurch werden für den ökologischen Landbau falsche Nährstoffsalden berechnet.
- Beim Grünland sind für die Nährstoffbilanzierung mehr als zwei Nutzungs- bzw. Ertragsstufen zu definieren. Dieses ist möglich, da den einzelnen Grünlandflächen in der Antragsstellung neben der Nutzung als Wiese und Mähweide weitere Nutzungsarten zugeordnet werden und durch die Einbeziehung der naturschutzgerechten Nutzung, der Mutterkuhhaltung und dem ökologischen Landbau eine weitere Differenzierung problemlos möglich ist. Mit der weiteren Untersetzung des Grünlandes auch unter Einbeziehung der Bodenart (Moor) und einer differenzierten Legumen N-Bindung der einzelnen Nutzungstypen würde sich eine deutliche Spreizung der Salden auf dem Grünland ergeben. Diese würde dazu führen, dass u. a. extensiv genutzte Grünlandflächen nicht gleichermaßen mit hohen N-Überhängen belegt würden. Im Durchschnitt des Landes wird erwartet, dass aufgrund der unzureichenden Differenzierung des Grünlandes je ha LF ein unbegründeter N-Überhang von ca. 10 kg/ha N verursacht wurde.
- Weiterhin ist die Verteilung der Nährstoffe aus organischen Wirtschaftsdüngern nicht ausreichend nach Fruchtartengruppen (z. B. Pflanz- und Speisekartoffel, Silo- und Körnermais) und Nutzungsrichtungen (ökologisch, konventionell, naturschutzgerecht) differenziert. Dadurch werden, entgegen dem Düngungsverhalten der landwirtschaftlichen Praxis, Flächen und Kulturen mit organischen Nährstoffmengen belegt, die diese in der Realität nicht erhalten (z. B. Pflanzkartoffeln oder extensive, naturschutzgerecht bewirtschaftete Hutungen und Streuwiesen).
- Bei der Antragsstellung im InVeKoS wird eine Vielzahl von Kulturen erfasst, für die in der Statistik keine Erträge erhoben werden. Die LFB hat hier gemeinsam mit der LFA für diese Kulturen landestypische Erträge und übliche Düngemengen festgelegt bzw. zugeordnet, um diese Kulturen, die einen nicht unerheblichen Anteil der Flächennutzung ausmachen, bei der Nährstoffsaldierung zu berücksichtigen. Zur Vervollständigung der Nährstoffbilanzierung für das Land Mecklenburg-Vorpommern sind diese

Kulturen mit dem entsprechenden Ertragsniveau, den Verteilungsfaktoren für organische Dünger sowie den Düngungsfaktoren zu belegen und in die Berechnung einzubeziehen. Im Rahmen der Antragstellung werden von den Landwirtschaftsbetrieben auch Angaben zu den Haltungsformen der Tiere gemacht. Da den beiden Haltungsformen - Gülle oder Festmist - entsprechend Düngeverordnung unterschiedliche Lager- und Ausbringungsverluste zugeordnet werden, sollte die Möglichkeit genutzt werden, diesen auch aus den InVeKoS-Daten abzufragenden Parameter in die Berechnung einzubeziehen.

- Eine weitere Verbesserung bei der Berücksichtigung des Standortfaktors für die Ermittlung der diffusen Einträge könnte über die Digitalisierung der Bodenschätzungsdaten, wie sie in einigen Landkreisen bereits vorliegt bzw. in der nächsten Zeit realisiert wird, erreicht werden.

Für die weiteren Berechnungen wurden die Salden in Bezug auf die Feldblockfläche in den Einzugsgebieten berechnet (relativer Flächenwert) und anschließend aggregativ in den Einzugsgebieten bilanziert.

Generell kann aber eine weitgehend fehlerfreie Bestimmung des N- und des P-Austrags auf der Basis von Nährstoffsalden und selbst bei Hoftorbilanzen nicht ohne Kenntnis der Verteilung der Verluste über die betreffenden Flächen und der anderen Verlustpfade gelingen (VAN BEEK et al. 2003). Hier ist vor allem die hohe Variabilität von Boden und Klima (DREYHAUPT & FRANKO 2001) und die starke Abhängigkeit von Nährstoffrückhalte- und Umsetzungsprozessen zu nennen, was sich vornehmlich in der Drän- oder Sickerwassermenge und damit verbundenen Fracht nach Höhe und Dynamik zeigt (s. beispielsweise KAHLE et al. 2005).

### 4.3.3 Kleinkläranlagen

Kleinkläranlagen (KKA) sind Anlagen zur Abwasserreinigung mit einem Bemessungswert von 4 bis 50 Einwohnerwerten (EW), wobei man verschiedene technische Systeme (Filterkörper, Tropfkörper, Abwasserteiche, Pflanzenkläranlagen u.s.w.) unterscheidet, die wiederum eine erhebliche Bandbreite im Bereich der Reinigungsleistungen und Ablaufwerte aufweisen. Angesichts der im landesweiten Überblick fehlenden Daten zur Art und zur Auslastung der einzelnen Kleinkläranlagen muss daher ein mittlerer Ansatz greifen. Prinzipiell müssten jedoch auch die Analysen zum Eintragsgeschehen aus Kleinkläranlagen nach Anlagenart und Abflusspfad differenziert werden. Hierbei sind die unterschiedlichen Reinigungsleistungen und Abwasserverbringungen zu betrachten (Versickerung, Einleitung in Oberflächengewässer, abflusslose Grube).

Beim vereinfachten Ansatz sind regionsweise Daten zur Anzahl an KKA angeschlossenen Einwohnern sowie Angaben zur mittleren Fracht je Einwohner (nach Reinigung durch eine KKA) erforderlich. HACKSCHMIDT (2000) sowie das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL; <http://ktbl-alt.avenit.de/boden/kleinklaer.htm>) geben als mittlere jährliche Fracht eines an einer Kleinkläranlage angeschlossenen Einwohners (also nach Reinigung) für Stickstoff 3,56 kg (= 9,8 g/d) und für Phosphor 0,52 kg (= 1,4 g/d) an, was angesichts der üblichen Zahlen für einen Einwohnerequivalent (ohne Reinigung) in der Größenordnung zwischen 10-12 g/d Stickstoff und 1,8-2,1 g/d Phosphor zeigt, dass Nährstoffrückhaltung bzw. -umsatz bei Kleinkläranlagen im Regelfall nur in geringem Maße der Fall sind. Vorgeschrieben sind denn auch nur Mindestanforderungen im Bezug auf BSB<sub>5</sub> und CSB (DIN 4261 Teil 1 und Teil 2).

BARJENBRUCH (2003) quantifiziert nach einer Umfrage in über 40 Kommunen im ländlichen Raum Mecklenburg-Vorpommerns den mittleren spezifischen Abwasseranfall mit ca. 110 l/(E d), bei einer Bandbreite von 65 bis 245 l/(E d), und vergleicht u. a. verschiedene Angaben von Ablaufwerten aus der Prüfung von Kleinkläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern mit Literaturwerten. Bei Gesamt-P kann man danach von einer mittleren Ablaufkonzentration von 7 mg/l ausgehen, während bei Gesamt-N die Angaben unvollständig sind, so dass nicht oh-

ne weiteres auf den Austrag gefolgert werden kann. Zudem würde ein Ansatz der Werte voraussetzen, dass gebietsweise Daten zur Anzahl der Kleinkläranlagen sowie für jede Kleinkläranlage zur Anzahl der angeschlossenen Einwohner oder zu tatsächlichen Ablaufmengen vorliegen würden.

Für die an Kleinkläranlagen angeschlossenen Einwohner existiert grundsätzlich ein Datensatz aus dem digitalen WRRL-Projekt des LUNG M-V. Allerdings sind bereichsweise Datenlücken („graue Flächen“) zu verzeichnen gewesen, für die erst aus großräumigen Daten der Abwasserentsorgungskörperschaften und –unternehmen zum Anschlussgrad an zentrale Abwasserentsorgungsanlagen und mit Hilfe aktueller Angaben des Statistischen Amtes Mecklenburg-Vorpommern zu den Einwohnerzahlen der Gemeinden adäquate Daten generiert werden konnten (Abb. 4-8 und 4-9). „Höher aufgelöst“ erscheinende Gebiete sind dabei Folge der Datensituation und sind auf entsprechende Entsorgungsstrukturen rückzuführen. Für einige kleinere Randgebiete (Einzugsgebiete, die leicht über Mecklenburg-Vorpommern herausragen), für die keine Daten vorlagen, wurde dagegen der Wert eines benachbarten und von der Siedlungsstruktur vergleichbaren Gebietes GIS-technisch zugewiesen.

Mit Hilfe dieser Einwohnerzahlen und den o. g. Werten nach HACKSCHMIDT bzw. KTBL kann die Fracht aus Kleinkläranlagen gebietsweise berechnet und regionalisiert werden (Abb. 4-10 und 4-11).

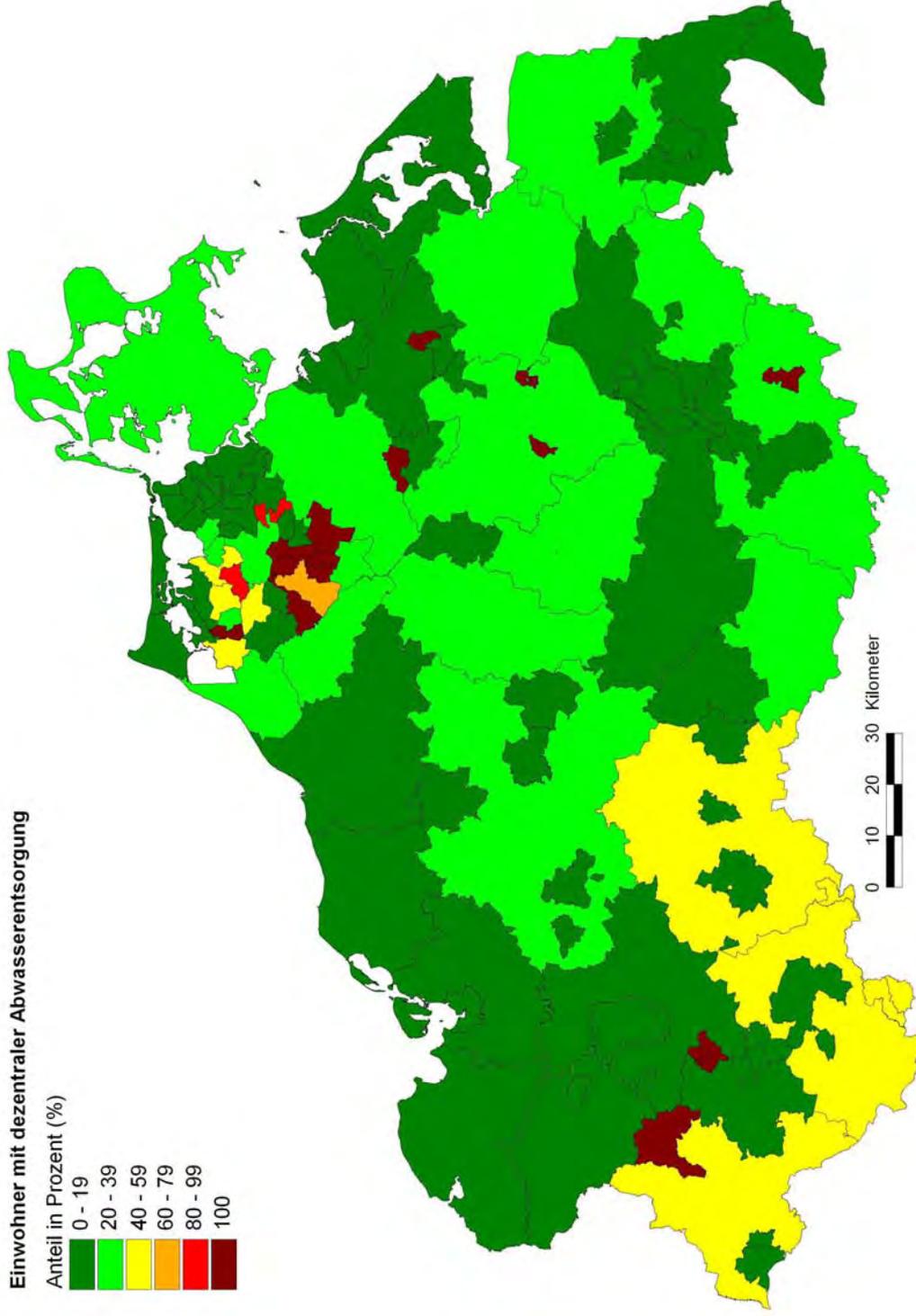


Abbildung 4-8: Anteil an Einwohnern, die ihr Abwasser über Kleinkläranlagen entsorgen, bezogen auf abwasserentsorgungspflichtige Körperschaften

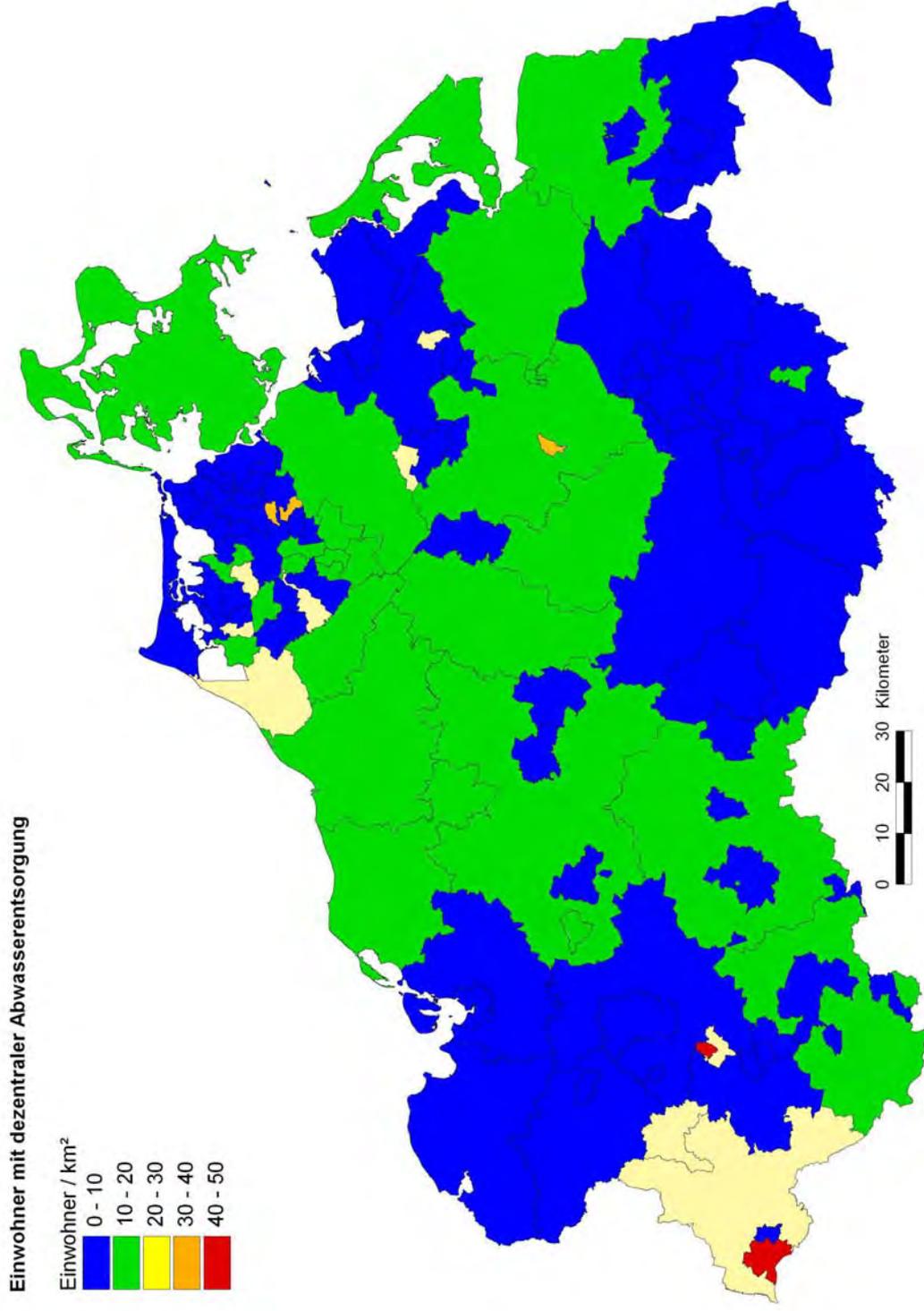


Abbildung 4-9 Einwohner je Quadratkilometer, die ihr Abwasser über Kleinkläranlagen entsorgen, bezogen auf abwasserentsorgungspflichtige Körperschaften

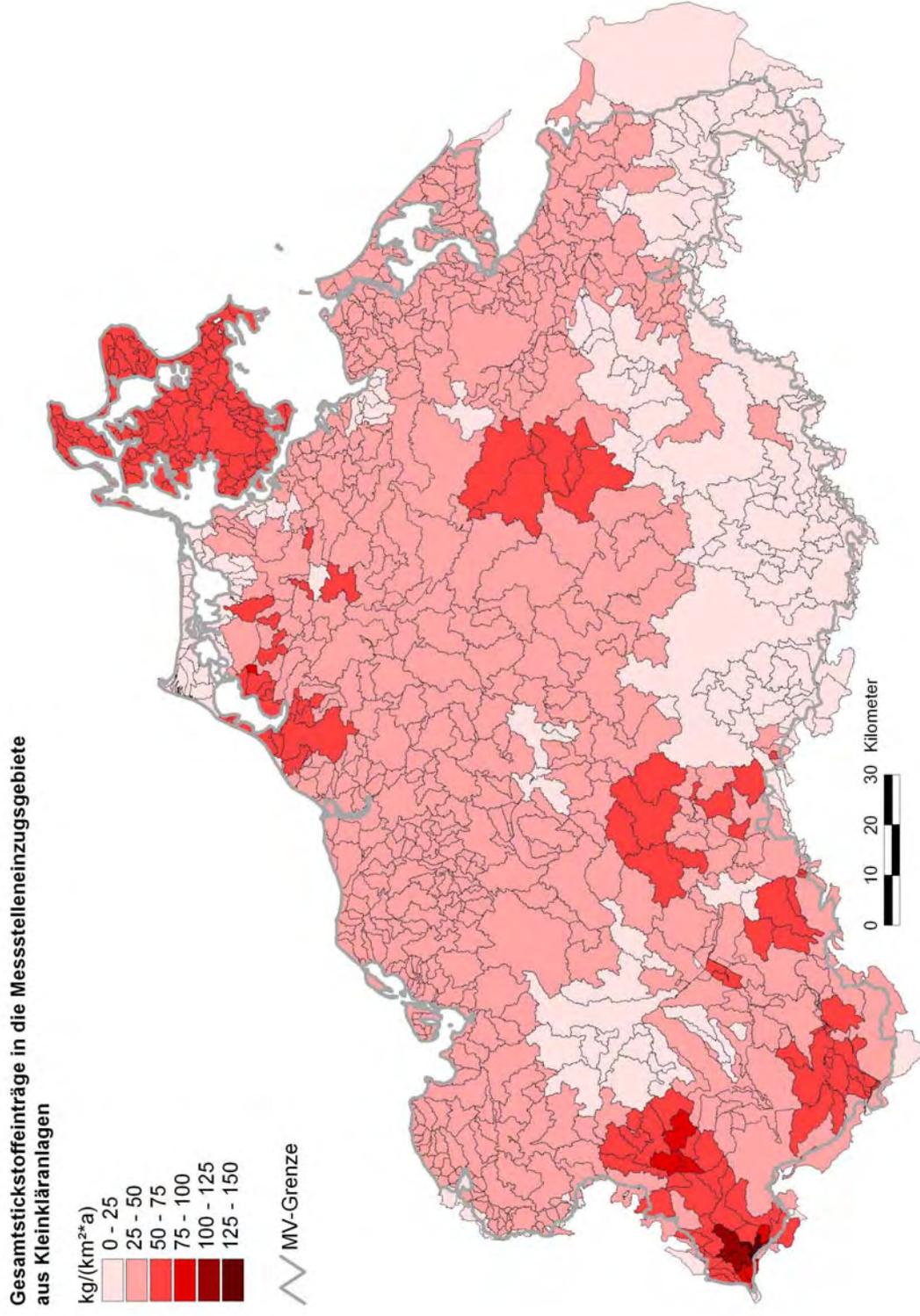


Abbildung 4-10: N-Frachten aus den Kleinkläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern

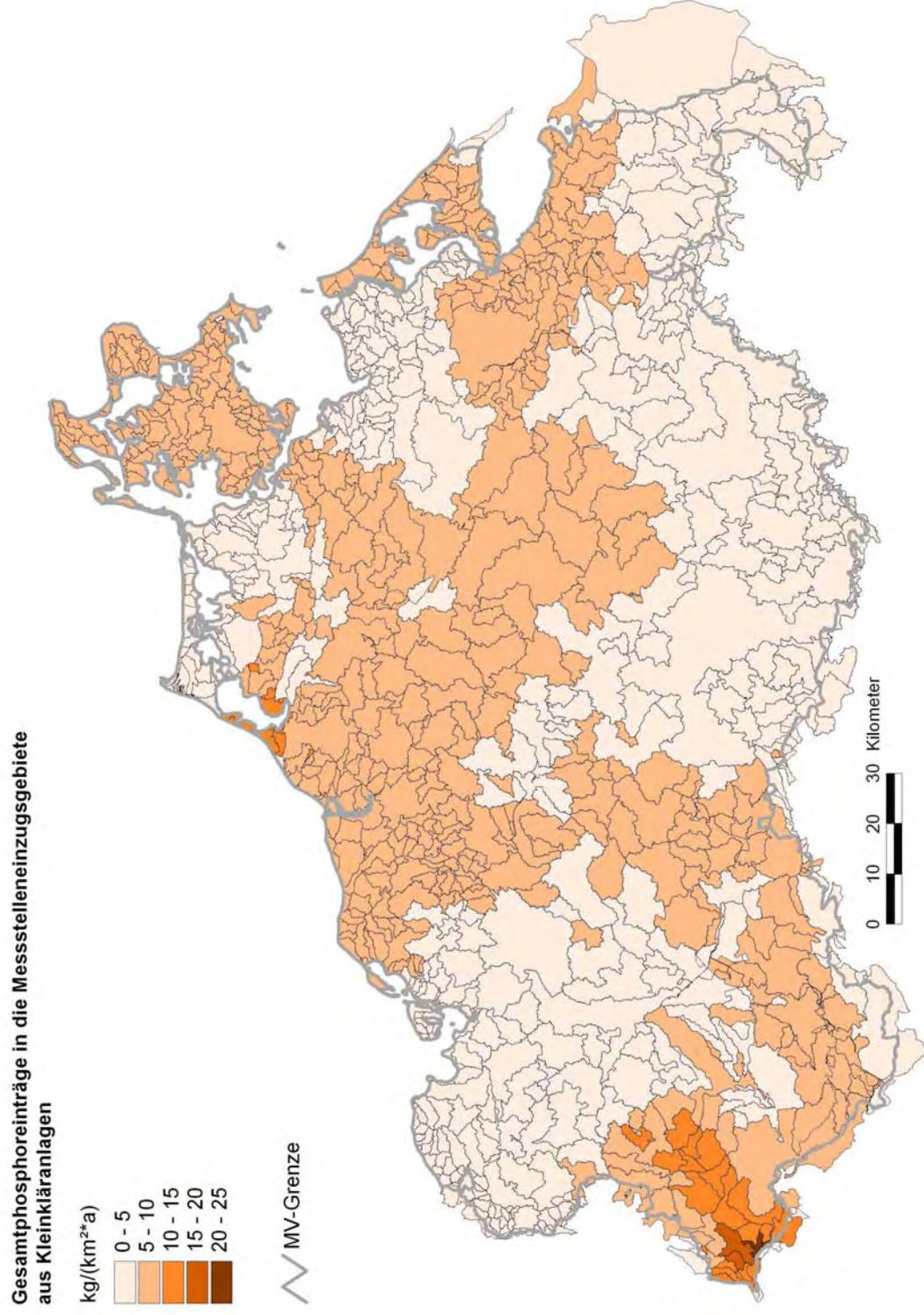


Abbildung 4-11: P-Frachten aus den Kleinkläranlagen Kläranlagen in Mecklenburg-Vorpommern

## 5 Regionalisierung der Nährstofffrachten

### 5.1 Regressionsanalysen für beobachtete Gebiete

#### 5.1.1 Grundlagen

Da die Stoffaustragsproblematik ein hochgradig an hydrologische Prozesse gekoppeltes landschaftsökologisches Phänomen ist, stellt sich eine „Regionalisierung“ aus einer Immissionsbetrachtung heraus als klassische hydrologische Aufgabe dar. „Die hohe räumliche und zeitliche Variabilität hydrologischer Prozesse ermöglicht...nur eine begrenzte Erfassung aller relevanten Zustandsgrößen, da ein „*allumfassendes Messen*“ praktisch nicht durchführbar ist und ökonomisch untragbar wäre“ (MEHL 2004). Die damit notwendige Übertragung von Kenngrößen, die aus örtlich gewonnenen hydrologischen Messgrößen ermittelt worden sind, auf ein Gebiet wird in der Hydrologie als „*Regionalisierung*“ bezeichnet (KLEEGERG et al. 1999).

Eine hydrologische Beobachtung bzw. Überwachung des Stoffhaushalts der Gewässer kann nicht überall und nicht bis in alle Größenordnungen erfolgen, so dass teilweise kleine Gebiete gänzlich unbeobachtet bleiben oder aber vielfach nur meso- und makroskalig über Messstellen erfasst werden. Um diesen Umstand zu bewältigen, wählt man bei der Gestaltung von Messnetzen neben einer großräumigen Erfassung der gewässergebundenen Stoffflüsse möglichst repräsentative Teilgebiete für die Beobachtung aus, wie das Beispiel des Pegelmessnetzes in Mecklenburg-Vorpommern zeigt: *„Die vorhandene Vielfalt an hydrographischen und hydrologischen Gegebenheiten in Mecklenburg-Vorpommern kann nicht durch ein flächendeckendes Netz von Messpunkten abgedeckt werden. Das Pegelmessnetz muss von daher diejenigen Systeme und Teilsysteme erfassen, die für eine bestimmte Ausprägung hydrographischer bzw. hydrologischer Aspekte repräsentativ sind. Hierbei sind neben den natürlichen Faktoren auch die Formen und Grade menschlicher Einflussnahme maßgebend. Räumliche Auflösung und Messtakt der Datenerfassung müssen die jeweilige Dynamik des Systems widerspiegeln. Einer sorgfältigen Erfassung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der hydrologischen Größen in repräsentativen Gebieten ist damit ggf. der Vorzug vor einer insgesamt höheren Flächenabdeckung zu geben.“* (Auszug aus den *„Leitlinien im Sinne der Anforderungen an ein zukunftsfähiges Pegelmessnetz in Mecklenburg-Vorpommern“*, aus BIOTA 2004).

Das Problem der Übertragung von hydrologischen Daten aus beobachteten Einzugsgebieten in skalengleiche unbeobachtete wird häufig über die sogenannte *„regionale Analogie“* gelöst (DYCK et al. 1980), indem man zur Übertragung hydrologisch relevante Geofaktoren nutzt. Dazu zählen die hydrometeorologischen Kennwerte sowie die für Abflussbildung und -konzentration sowie ggf. den Durchflussverlauf in den Gewässerläufen wesentlichen und parametrisierten Eigenschaften der jeweiligen hydrologischen Einzugsgebiete. Im einfachsten Fall werden bei der regionalen Analogie nur die unterschiedlichen Flächengrößen berücksichtigt (direkte Proportionalität), z. B. einfache Übertragung von Abflussspenden ( $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^2$ ) auf Gebiete mit ähnlichen hydrologischen Verhältnissen. Bewährt haben sich auch lineare Einfach- oder Mehrfachregressionen mit denjenigen Parametern als Regressoren, welche die regionale Verteilung der Geofaktoren bestmöglich widerspiegeln, und Abfluss- oder Durchflusskennwerten als Regressanden (z. B. SCHWALLER 1991, WALTHER et al. 1997, PFÜTZNER et al. 1998, MIEGEL & HAUPT 1998, HAUPT 2000).

Auch für die Bestimmung von Abflüssen und Stofffrachten werden verstärkt Regressionsmodelle herangezogen. So ermittelten z. B. SCHILLING & WOLTER (2005) für Fließgewässer und deren Nitratfracht in Iowa (USA) mittels multipler linearer Beziehungen entsprechende Erklärungsmodelle.

Ein zentrales Problem bei Mehrfachregressionen ist die sogenannte *„Multikollinearität“*. Damit ist eine gegebene Korrelation von Regressoren untereinander zu verstehen, was bei vielen flächen- und landschaftsbezogenen Daten in der Tat der Fall ist. Bei gegebener Multikollinea-

rität ist die ermittelte Regressionsbeziehung sehr instabil und damit nicht verlässlich (HIRSCH et al. 1992, zitiert in MERZ 2006).

Verfahren zur Schätzung der Regressionskoeffizienten basieren eigentlich auf der Annahme einer statistischen Normalverteilung der Daten, was aber vielfach nicht der Fall ist („Schiefe“). Es wird daher häufig empfohlen, die Daten zu transformieren, wobei gerade in der Hydrologie die logarithmische Transformation und die exponentielle Transformation üblich sind (MIEGEL & HAUPT 1998, MERZ 2006). Das Logarithmieren kann hier angesichts der teilweise negativen flächenspezifischen Frachten (Rückhalte-/Retentionsräume) nicht angewendet werden. Auch von einer exponentiellen Transformation wurde aus Vereinfachungsgründen abgesehen.

### 5.1.2 Ableitung der potenziellen Regressoren

MÜLLER-WOHLFEIL et al. (2003) haben für Dänemark Frachtbetrachtungen zur Nährstoffbelastung angestellt, wobei sie die Berechnungen der Abflüsse für 225 dänische Einzugsgebiete bis zu 300 km<sup>2</sup> mit dem Wasserhaushaltsmodell MWB-3 durchgeführt und diese Ergebnisse mit Messdaten validiert haben. Die Regionalisierung der Nährstoffbelastung haben sie anschließend mit Hilfe der Daten von zahlreichen Einzugsgebieten und multiplen Regressionsmodellen durchgeführt. Eine „Übertragung“ in unbeobachtete Gebiete erfolgt bis in eine Größenordnung von 0,7...2,602 km<sup>2</sup>. Die Regressoren mit dem höchsten Einfluss (höchste Signifikanz) bei der Regressionsberechnung waren

- die Bodeneigenschaften,
- die potenzielle Evapotranspiration,
- der Grundwasserflurabstand,
- der Anteil an feuchten Flächen/Standorten (Zehrflächen) sowie
- das Geländegefälle.

Hinsichtlich der Nährstoffrückhalte- und Umsetzungspotenziale wurde u. a. bereits die positive Korrelation zwischen Seenfläche und Nitratretention nachgewiesen (BEHRENDT & BACHOR 1998). Die Stickstoffretention (Nitrifikation und Denitrifikation) in Gewässersystemen ist vor allem abhängig von folgenden Steuergrößen (VENOHR 2006):

- Wassertemperatur (Denitrifikation nimmt mit steigender Temperatur zu)
- Verweilzeit (Denitrifikation steigt mit der Verweildauer)

Bei Phosphor, wo vor allem chemische Bindung und Akkumulation prozessbestimmende Aspekte des Nährstoffrückhalts darstellen, sind vor allem Aufenthaltszeit, Anzahl, Größe und Tiefe von Seen in einem Gewässersystem, Gefälle und Fließgeschwindigkeit, Naturnähe (Morphologie), aber auch Art und Struktur des Sediments für den Gewässerrückhalt bedeutsam.

Welche Regressoren für die gleichartige Thematik in Mecklenburg-Vorpommern letztlich die höchste Signifikanz erreichen, bleibt der Regressionsanalyse im folgenden Kapitel 5.3 vorbehalten. Tabelle 5-1 listet als Ausgangspunkt die hierfür fachlich fraglichen und entsprechend vorher regionalisierten (für die Einzugsgebiete der Gütemessstellen aufbereiteten) Parameter auf.

Tabelle 5-1: Potenzielle Regressoren multipler Regressionsbeziehungen zwischen beobachteter Fracht und Parametern im Sinne von Geo- und Anthropofaktoren

Parameter	Einheit	Erklärungspotenzial
Durchfluss	m <sup>3</sup> /s	Intensität/Höhe des landschaftlichen Transportvorganges
Einzugsgebietsgröße	km <sup>2</sup>	Höhe des landschaftlichen Rückhalte- bzw. Umsetzungspotenzials
Flächenanteil der Hauptbodenarten im Oberboden	%	Nährstoffrückhaltepotenzial, Auswaschungs- und/oder Abschwemmungsgefährdung, Winderosionspotenzial
Flächenanteil der Standgewässer	%	Höhe des gewässersysteminternen Rückhalte- bzw. Umsetzungspotenzials, aber auch Nährstoffrücklösungspotenzial
Atmosphärische N-Deposition	kg km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
N-Eintrag aus Kleinkläranlagen	kg km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
P-Eintrag aus Kleinkläranlagen	kg km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
N-Saldo auf landwirtschaftlicher Nutzfläche – Flächenbezug Feldblockfläche	kg km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
P-Saldo auf landwirtschaftlicher Nutzfläche – Flächenbezug Feldblockfläche	kg km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
N-Saldo auf landwirtschaftlicher Nutzfläche – Flächenbezug Einzugsgebietsfläche	kg km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
P-Saldo auf landwirtschaftlicher Nutzfläche – Flächenbezug Einzugsgebietsfläche	kg km <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
Flächenanteile der Niedermoore (Anteil an Feuchtgebieten)	%	Höhe des landschaftlichen Rückhalte- bzw. Umsetzungspotenzials; ggf. auch bei degradierten Mooren zusätzlicher Belastungsparameter
Flächenanteil der Hauptnutzungsarten/Landnutzungs-klassen (Acker, Grünland, Wald)	%	Räumlich differenzierter Belastungsparameter
Mittlere Hangneigung	Grad	Erosionspotenzial

Parameter	Einheit	Erklärungspotenzial
Maximale Höhendifferenz im Einzugsgebiet	m	Erosionspotenzial, Höhenkontrast

## 5.2 Regressionsanalysen

Als Berechnungsgrundlage für die Regressionsanalysen diente eine Datentabelle, in der allen beobachteten Einzugsgebieten, neben den mittleren, „gebietsbürtigen“ N- und P-Jahresfrachten, als Zielgrößen/Regressanden die im Vorfeld abgeleiteten und regionalisierten potenziellen Regressoren (vgl. Kapitel 4 und 5.1) zugewiesen wurden. Aus den gebietsbürtigen Frachten wurden vorher die Frachten der behördlich überwachten Kläranlagen „herausgerechnet“, um diese bedeutendste Punktquelle als „Störgröße“ einer Analyse des landschaftlichen Geschehens auszuklammern. Die Regressionsberechnungen wurden unter Zuhilfenahme des MS-Excel-Add-Ins WinSTAT<sup>®</sup> durchgeführt, was die Durchführung verschiedenster statistischer Analysen und Verfahren ermöglicht.

In einem ersten Schritt wurde eine Korrelationsanalyse für alle Parameter durchgeführt, um erste Zusammenhänge zu ermitteln. Dazu wurde die WinSTAT<sup>®</sup>-Funktion zur Berechnung der Pearson-Korrelation genutzt. Es ergibt sich der Korrelationskoeffizient ( $r_{xy}$ ) zwischen der Gebietsfracht und den getesteten Parametern. Dieser Koeffizient dient als Maß für den linearen Zusammenhang zwischen den Wertereihen und kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Hat er den Wert 0, sind die Daten unkorreliert, hat er den Wert 1, besteht funktionale Übereinstimmung.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalyse zeigt Tabelle 5-2. Bei Stickstoff konnten für neun Parameter signifikante ( $p < 0,05$ ) Korrelationskoeffizienten bestimmt werden, bei Phosphor für sieben. Bei beiden Nährstoffen kommen dabei besonders die Bodeneigenschaften zum Tragen (Anteil der Bodenarten im Oberboden). Beim Stickstoffaustrag spielen zusätzlich die N-Salden, beim Phosphorausstrag Parameter mit Verbindung zur Bodenerosion (Höhendifferenz im EZG, Abflusshöhe) eine Rolle. Die Korrelationskoeffizienten schwanken zwischen  $-0,32$  und  $0,34$  (Stickstoff) bzw.  $-0,11$  und  $0,12$  (Phosphor).

Für die bei der Korrelationsanalyse am besten korrelierten Parameter wurde als nächstes eine einfache Regression zur Berechnung der Gebietsfrachten durchgeführt. Hierbei wurden verschiedene Anpassungsfunktionen (linear, potentiell, exponentiell, logarithmisch) zwischen einer abhängigen und einer unabhängigen Variablen getestet. Erwartungsgemäß ergab sich jedoch keine signifikante Anpassung. Als Beispiel ist in Abbildung 5-1 der Zusammenhang zwischen den landwirtschaftlichen N-Salden und der N-Fracht dargestellt. Diese Analyse zeigt, dass jeder Parameter in der Einzelbetrachtung statistisch nicht die Gebietsfracht erklären kann.

Tabelle 5-2: Pearson-Korrelation zwischen dem Gebietsaustrag (abzüglich Kläranlagenfracht) und den potenziellen Regressoren ( $r_{xy}$ : Korrelationskoeffizient,  $p_{\text{einseitig}}$ : einseitige Signifikanz, grün markiert:  $p < 0,05$ )

Parameter		N-Gebietsaustrag ohne Kläranlagenfrachten	P-Gebietsaustrag ohne Kläranlagenfrachten
maximale Hangneigung	$r_{xy}$	-0,070284389	0,044515442
	$p_{\text{einseitig}}$	0,054704645	0,155490032
maximale Höhendifferenz im EZG	$r_{xy}$	0,046805089	0,073651321
	$p_{\text{einseitig}}$	0,14336203	0,046698349
Anteil Torfe	$r_{xy}$	-0,20776379	0,001346829
	$p_{\text{einseitig}}$	8,82675E-07	0,487778907
Anteil Lehmsande	$r_{xy}$	0,303313318	0,080081049
	$p_{\text{einseitig}}$	7,90899E-13	0,034025747
Anteil Lehmtone	$r_{xy}$	0,130385444	0,015892271
	$p_{\text{einseitig}}$	0,001446822	0,358844077
Anteil Sandlehme	$r_{xy}$	0,321633781	-0,114559479
	$p_{\text{einseitig}}$	2,79401E-14	0,004465495
Anteil Reinsande	$r_{xy}$	-0,324373084	0,086254633
	$p_{\text{einseitig}}$	1,66125E-14	0,024658553
Anteil Sandschluffe	$r_{xy}$	-0,134373947	0,055761754
	$p_{\text{einseitig}}$	0,00106757	0,102132914
Anteil Standgewässer	$r_{xy}$	-0,199967264	0,026391482
	$p_{\text{einseitig}}$	2,25275E-06	0,274482013
Atmosphärische N-Deposition	$r_{xy}$	-0,063961966	
	$p_{\text{einseitig}}$	0,072621844	
N-Saldo Bezug Feldblockfläche im EZG	$r_{xy}$	0,219908213	
	$p_{\text{einseitig}}$	2,26609E-07	
P-Saldo Bezug Feldblockfläche im EZG	$r_{xy}$		-0,005165004
	$p_{\text{einseitig}}$		0,453413154
N-Saldo Bezug Gesamtfläche des EZG	$r_{xy}$	0,346862285	
	$p_{\text{einseitig}}$	2,4626E-16	
P-Saldo Bezug Gesamtfläche des EZG	$r_{xy}$		-0,03319559
	$p_{\text{einseitig}}$		0,225893997
MQWinter	$r_{xy}$	-0,01001986	0,129674879
	$p_{\text{einseitig}}$	0,409844957	0,001526039
MQSommer	$r_{xy}$	-0,031137611	0,113156764
	$p_{\text{einseitig}}$	0,239314345	0,004904926
MQ	$r_{xy}$	-0,020403371	0,127563971
	$p_{\text{einseitig}}$	0,321253272	0,001785188

Den nächsten Schritt stellte die multiple Regression dar. Hierbei wird von einem Zusammenhang der abhängigen Variable und mehreren unabhängigen Variablen ausgegangen. Als Maß für die Genauigkeit der Anpassung einer Regressionsfunktion werden im Allgemeinen der Korrelationskoeffizient  $r$  bzw.  $R$  und das Bestimmtheitsmaß  $r^2$  ( $R^2$ ) verwendet. Je näher die Werte dabei an den Wert „1“ herankommen, um so geringer sind die Abweichungen der realen Messwerte von den mit der Regressions- bzw. Ausgleichsfunktion berechneten Werten. Die multiple Regressionsanalyse wurde in einem, in WinSTAT® implementierten, iterativen Verfahren durchgeführt. Hierbei wird für einen Variablensatz eine Regressionsfunktion ermittelt und die Anpassung (Bestimmtheitsmaß  $r^2$ ) sowie die Signifikanz ( $p$ ) der einzelnen

Koeffizienten bestimmt. Das Programm prüft bei jedem Schritt alle vorgegebenen Variablen. Indem sie probeweise in die Gleichung aufgenommen werden, findet WinSTAT diejenige mit der größten Signifikanz bzw. mit dem niedrigsten p-Wert (implizite Signifikanz) heraus. Erreichte der p-Wert  $< 0,05$ , wurde eine Variable in die Gleichung aufgenommen. Nach diesem Schritt der Variablenintegration wurden alle Variablen der Gleichung abermals untersucht. War diesmal der höchste p-Wert  $> 0,05$ , dann wurde die zugehörige Variable wieder aus der Gleichung entfernt. Das Verfahren wurde solange wiederholt, bis keine Variablen mehr aufgenommen oder entfernt werden konnten, oder bis die maximale Anzahl von Variablen (gewählte Vorgabe: maximal 6) erreicht war.

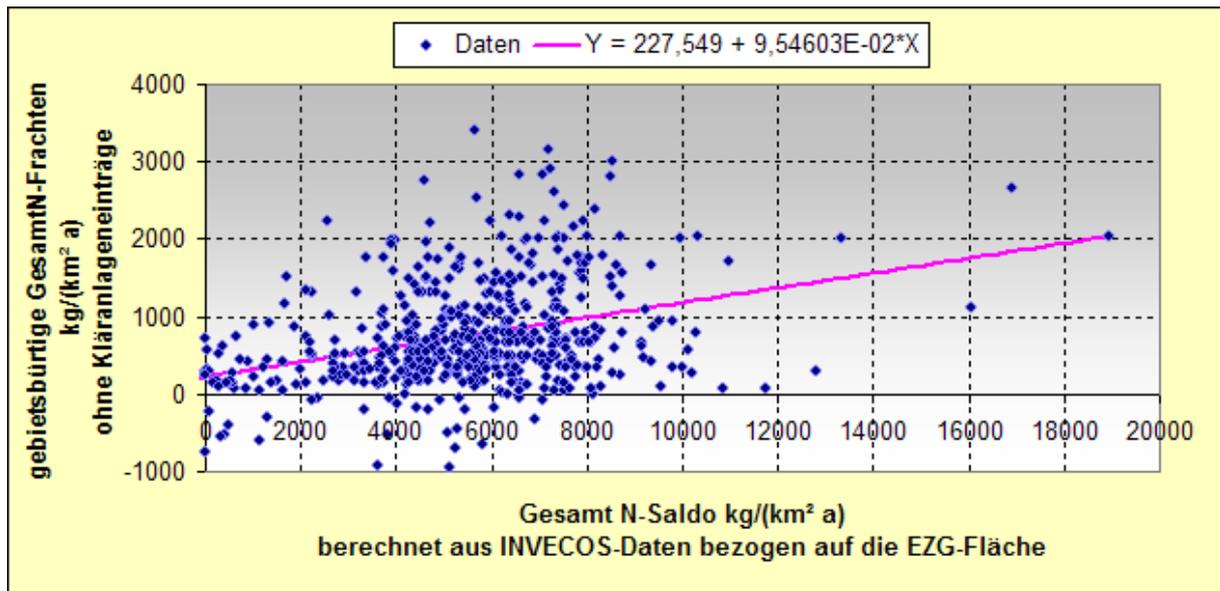


Abbildung 5-1: Abhängigkeit der N-Fracht von den landwirtschaftlichen N-Salden ( $R = 0,347$ ,  $R^2 = 0,120$ )

Durch die Verwendung der Software war es also möglich, viele verschiedene Parameterkombinationen zu testen und die mit der besten Anpassung, den plausibelsten Parametern und der höchsten Signifikanz auszuwählen.

Als erstes wurden die Analysen mit einem Datensatz für das Gesamtgebiet von Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt. Es zeigte sich jedoch, dass die Regressionsgleichungen nicht so gut angepasst waren, wie erhofft. Daher wurden die unbeobachteten Gebiete in zwei räumlich differenzierte Gruppen eingeteilt: (1) Küstengebiet Ostsee und (2) südliches Binnenland. Die Einzugsgebiete in einem 10-km-Puffer um die unbeobachteten Gebiete der beiden Gruppen bildeten dann die Datenbasis für die Regressionsanalysen. Hiermit konnte in beiden Gebieten eine vergleichsweise gute Anpassung für Stickstoff ermittelt werden. Für Phosphor ergab sich jedoch nur im Datensatz des Küstengebietes eine relativ plausible Beziehung. Aus pragmatischen Gründen wurde daher zur Berechnung der Phosphorfrachten des Binnenlandes auf die mit dem Gesamtdatensatz ermittelte Regressionsbeziehung zurückgegriffen.

### 5.3 Regressionsbeziehungen als Schätzfunktionen für unbeobachtete Gebiete

Folgende Regressionsbeziehungen wurden letztlich zur Abschätzung der N- und P-Gebietsausträge aus den unbeobachteten Gebieten Mecklenburg-Vorpommerns verwendet:

*Gebietsbürtige Gesamtstickstofffrachtspende im Ostseegebiet ( $r = 0,65$ ,  $r^2 = 0,42$ ):*

$$f_N \text{ [kg/(km}^2\text{·a)]} = 396,67 - 16,69 \cdot \text{EZG-Fläche [km}^2\text{]} - 6,96 \cdot \text{Flächenanteil Torfe im EZG [\%]} \\ + 2,896 \cdot \text{MQ}_{\text{Winter}} \text{ [l/s]} + 10,34 \cdot \text{Ackeranteil im EZG [\%]}$$

*Gebietsbürtige Gesamtphosphorfrachtspende im Ostseegebiet ( $r = 0,42$ ,  $r^2 = 0,18$ ):*

$$f_P \text{ [kg/(km}^2\text{·a)]} = 7,69 - 0,46 \cdot \text{EZG-Fläche [km}^2\text{]} - 2,71 \cdot \text{Flächenanteil Standgewässer [\%]} \\ + 0,111 \cdot \text{MQ [l/s]} + 1,1 \cdot \text{Kleinkläranlagen-P-Austrag [kg/(km}^2\text{·a)]}$$

*Gebietsbürtige Gesamtstickstofffrachtspende im Binnenland ( $r = 0,61$ ,  $r^2 = 0,37$ ):*

$$f_N \text{ [kg/(km}^2\text{·a)]} = -4,88 \cdot \text{EZG-Fläche [km}^2\text{]} + 4,05 \cdot \text{Kleinkläranlagen-N-Austrag [kg/(km}^2\text{·a)]} \\ + 0,767 \cdot \text{MQ [l/s]} + 5,03 \cdot \text{Ackeranteil im EZG [\%]}$$

*Gebietsbürtige Gesamtphosphorfrachtspende im Binnenland ( $r = 0,32$ ,  $r^2 = 0,10$ ):*

$$f_P \text{ [kg/(km}^2\text{·a)]} = 10,63 - 0,24 \cdot \text{EZG-Fläche [km}^2\text{]} + 0,10 \cdot \text{max. Höhendifferenz im EZG [m]} \\ + 0,039 \cdot \text{MQ [l/s]} + 0,99 \cdot \text{Kleinkläranlagen-P-Austrag [kg/(km}^2\text{·a)]} \\ - 0,11 \cdot \text{Flächenanteil Sandlehme im EZG [\%]}$$

Es zeigt sich, dass die Einzugsgebietsfläche (EZG) in allen Gleichungen als reduzierend wirkt. Der Einfluss von Umsetzungs- und Rückhalteprozessen in den EZG nimmt offenkundig mit steigender Einzugsgebietsgröße zu. Die Höhe der gebietsbürtigen Abflüsse (repräsentiert durch den mittleren Durchfluss MQ am Gebietsauslass) wirkt dagegen in allen Fällen positiv, also frachterhöhend. Höhere Abflüsse sind neben höheren Transportraten im Gewässer (auch mit Remobilisierung von im Sediment enthaltenen Nährstoffen) vor allem mit stärkeren niederschlagsbedingten Auswaschungs- und Abschwemmungsvorgängen, ggf. auch als Folge vorausgegangener Niederschläge, verbunden.

Auch der Anteil an Ackerfläche im Einzugsgebiet weist in den N-Beziehungen positive Regressionskoeffizienten auf, was angesichts der zum Teil recht hohen N-Salden in den EZG (vgl. Kapitel 4.3.2) plausibel erscheint. Der P-Austrag aus Kleinkläranlagen ist in beiden Regressionsbeziehungen ein relativ stark gewichteter Parameter (Koeffizient um 1). Dies ist ein Hinweis auf die offenkundig hohe Bedeutung der dezentralen Abwasserreinigung bei der Phosphorbelastung.

Die Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) der einzelnen Beziehung zeigen vor allem bei Stickstoff eine relativ gute Anpassung. Die Beziehungen beim Phosphor sind weniger gut angepasst. Offenbar können die hochkomplexen landschaftlichen Erosions-, Transport- und Rückhalteprozesse mit den vorhandenen Daten (zu mittleren Zuständen) statistisch nicht hinreichend erklärt werden. Als ein Fazit dieses Analyseteils kann gefolgert werden, dass statistische Untersuchungen auf der Zeitebene von hydrologischen Jahren oder sogar Halbjahren vermutlich die Ableitung engerer Zusammenhänge ermöglichen würden. Dies sollte bei der Weiterverfolgung der Thematik unbedingt Beachtung finden.

## 6 Zusammenfassende Fracht- und Belastungsbilanzierung

### 6.1 Nord- und Ostseegebiet

Unter Anwendung der oben abgeleiteten Schätzfunktionen für die unbeobachteten Gebiete können die Gesamtfrachten und Belastungen für die Einzugsgebietsstrukturen in Mecklenburg-Vorpommern berechnet werden. Die immissionsseitige Fracht- bzw. Belastungsbilanzierung entsprechend der Hauptwasserscheide in Mecklenburg-Vorpommern ergibt als Mittelwert der Bezugsperiode 2002-2007 folgende Werte:

- Ostsee-einzugsgebiet: 12.283 t/a Stickstoff und 295 t/a Phosphor
- Nordsee-einzugsgebiet: 2.553 t/a Stickstoff und 111 t/a Phosphor

Bezogen auf die Einzugsgebietsflächen ergeben sich danach folgende gebietspezifische mittlere (effektive) Flächenausträge:

- Ostsee-einzugsgebiet (16.828 km<sup>2</sup>): 730 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> Stickstoff und 17,5 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> Phosphor
- Nordsee-einzugsgebiet (6.210 km<sup>2</sup>): 411 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> Stickstoff und 17,9 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> Phosphor

Im Vergleich: BEHRENDT et al. (2007) geben für den Zeitraum 2002 bis 2005 folgende Mittelwerte der Flächenausträge für das Nordsee-einzugsgebiet von Mecklenburg-Vorpommern an: 1.460 t/a Stickstoff und 65 t/a Phosphor. Damit liegen die hier ermittelten Gewässerfrachten bzw. „effektiven“ Flächenausträge fast doppelt so hoch wie die Werte nach BEHRENDT et al. mit dem Modell MONERIS. Zur Erklärung der deutlichen Abweichungen sei insbesondere auf folgende Ursachen verwiesen (vgl. auch Kapitel 4.1 und 7.4):

- 1) Die hier vorgenommene Nährstoffbilanzierung orientiert sich streng an den amtlichen chemischen und hydrologischen Messwerten (empirischer Ansatz) und enthält bis auf methodische Lösungen für eine möglichst realistische Widerspiegelung der Abflusssituation keine Modellteilkonzeptionen mit „abschätzendem“ Charakter, die angesichts der schwierigen Datenverhältnisse zu Fehlergebnissen führen (müssen).
- 2) Die gravierenden Abweichungen erklären sich insbesondere durch die unterschiedliche Handhabung der hydrologischen Grundlagen. So verwenden BEHRENDT et al. (2007) für die Bezugsperiode 2000-2005 unter anderem Abfluss- und Niederschlagsdaten der Teilgebiete für den Zeitraum 1998-2000 und weitere Daten, die sich genau genommen auf andere Zeiträume beziehen. Hier wurde dagegen auf eine realitätsnahe Einbeziehung der hydrologischen Grundlagen hoher Wert gelegt.

Die Abbildungen 6-1 und 6-2 zeigen im Vergleich zu den o. g. Fracht- bzw. Immissionsdaten die Emissionsanalyse zu den Quellen (ohne Berücksichtigung von Rückhalte- und Umsetzungsverlusten). Zu beachten ist, dass damit zwar Hauptbelastungen abgedeckt sind, aber die Belastungsanalyse nicht vollständig ist (vgl. Kapitel 4.1). Aus der „Perspektive“ der Gewässersysteme fehlen hier folgende Emissionsquellen:

- Belastungen durch Direktabfluss von urbanen Flächen (Regenwassereinleitungen)
- Einträge aus Misch- und Betriebswasser
- Belastungen aus der Erosion von Boden durch Wasser
- Natürlicher geo- und biogener Background
- Einträge aus der Erosion von Boden durch Wind

Gleichfalls lassen sich die gewässerinternen Nährstoffrücklösungen sowie die Nährstoffrückhalte-/umsetzungsprozesse in allen beteiligten Subsystemen (Boden, Untergrund, Grundwasser, Gewässer, Sedimente) mit den vorhandenen Daten nicht hinreichend quantifizieren.

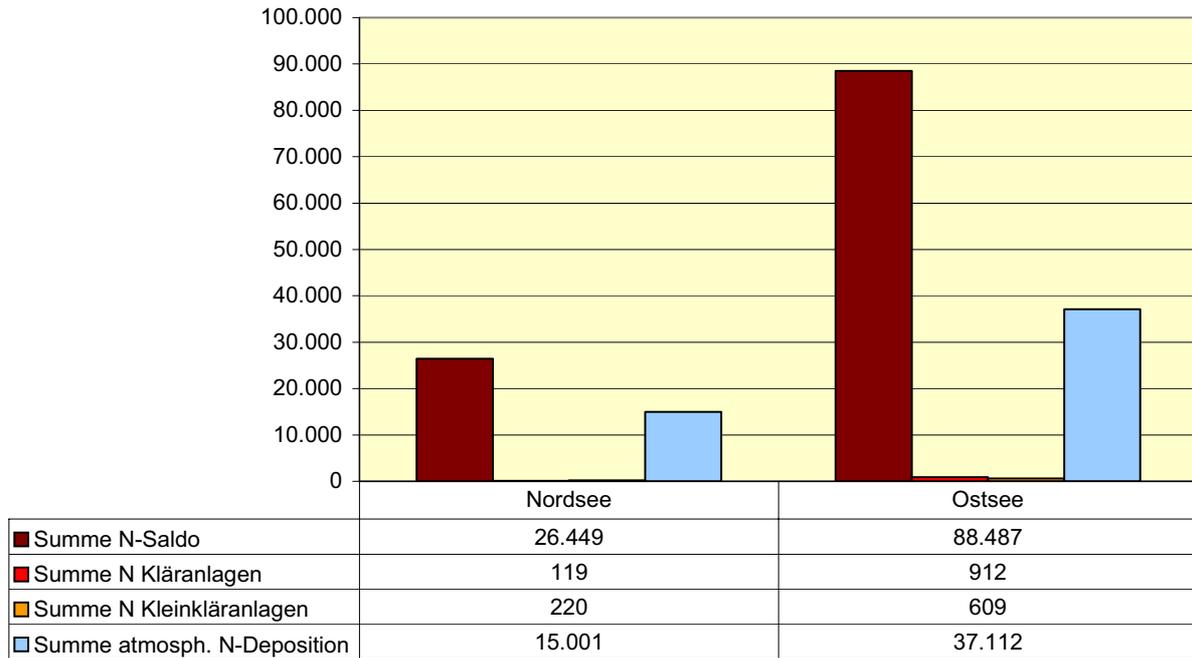


Abbildung 6-1: Belastungsanalyse der betrachteten Emissionsgrößen für den Stickstoff (t/a, Mittelwert der Bezugsreihe 2002-2007)

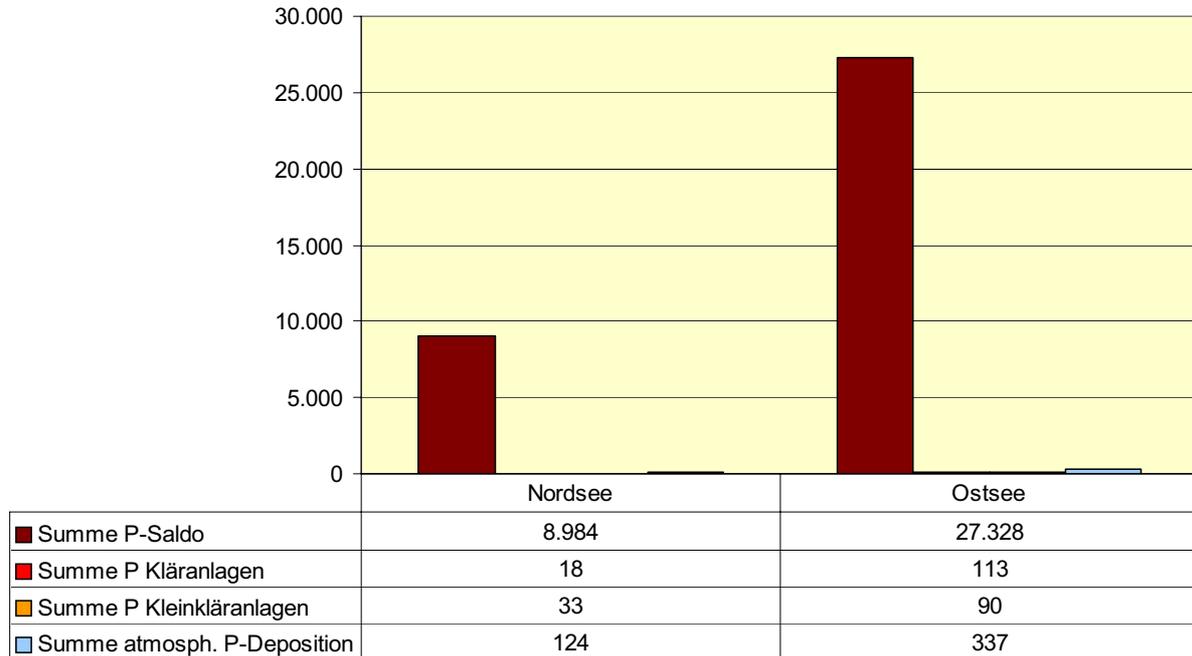


Abbildung 6-2: Belastungsanalyse der betrachteten Emissionsgrößen für den Phosphor (t/a, Mittelwert der Bezugsreihe 2002-2007)

## 6.2 WRRL-Bearbeitungsgebiete

Eine weitere räumliche Differenzierung der Fracht- und Belastungsbilanzierung erfolgt auf der Ebene der WRRL-Flussgebietseinheiten bzw. ihrer Teil- bzw. Bearbeitungsgebiete. Bezogen auf die Einzugsgebietsflächen ergeben sich danach (immissionsseitige) gebietsspezifische und –bürtige Frachten, die in den Abbildungen 6-3 bis 6-6 sowie in der Tabelle 6-1 dargestellt sind. Tabelle 6-2 zeigt die Emissionsanalyse der Belastungen. Wiederum ist zu beachten, dass damit zwar Hauptbelastungen abgedeckt sind, aber die Belastungsanalyse nicht vollständig ist (vgl. Kapitel 4.1).

Tabelle 6-1: Stickstoff- und Phosphorausträge aus den Flussgebietseinheiten bzw. deren Bearbeitungsgebieten in Mecklenburg-Vorpommern (t/a, Mittelwert der Bezugsreihe 2002-2007)

Flussgebietseinheiten/Bearbeitungsgebiete	Gesamt-N-Austrag	Gesamt-P-Austrag
ELB Elde/Müritz	1.103	58
ELB Obere Havel	103	7
ELB Sude	1.346	45
ODR Oder	20	0
ODR Uecker/Zarow	1.014	33
S/T Stepenitz	1.234	22
W/P KG Ost	3.376	93
W/P KG West	1.549	26
W/P Peene	2.732	59
W/P Warnow	2.358	62

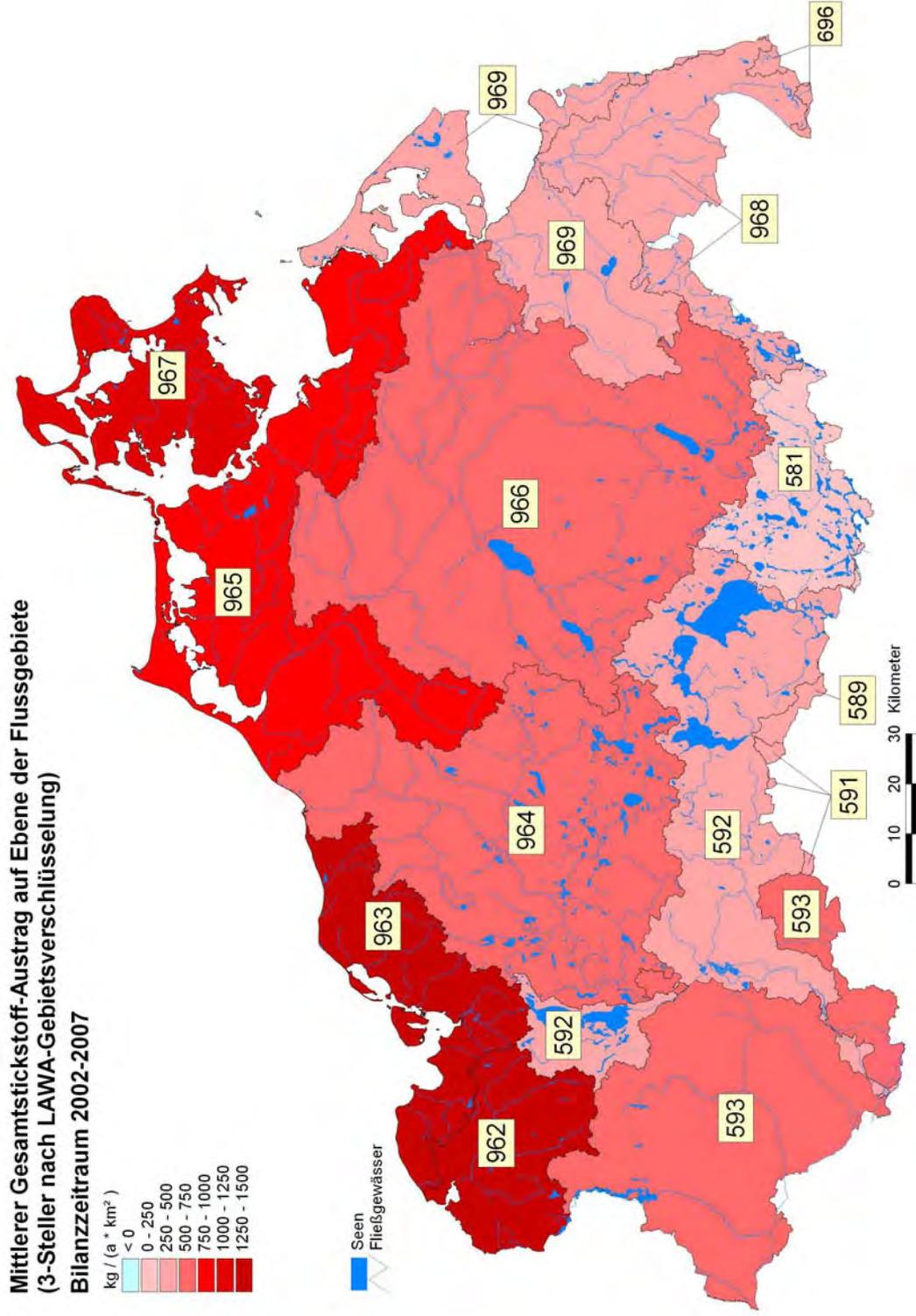


Abbildung 6-3: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007)

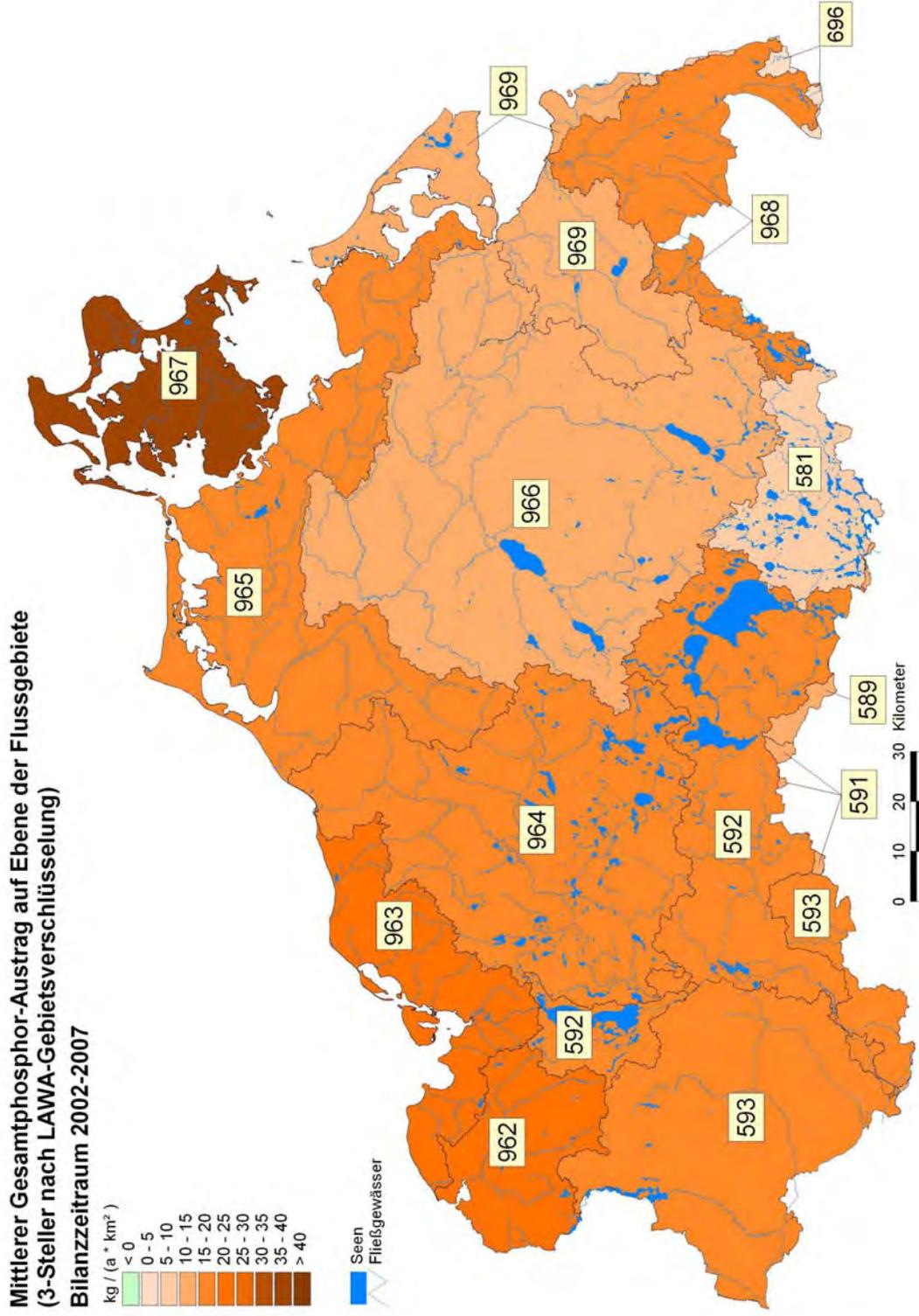


Abbildung 6-4: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007)

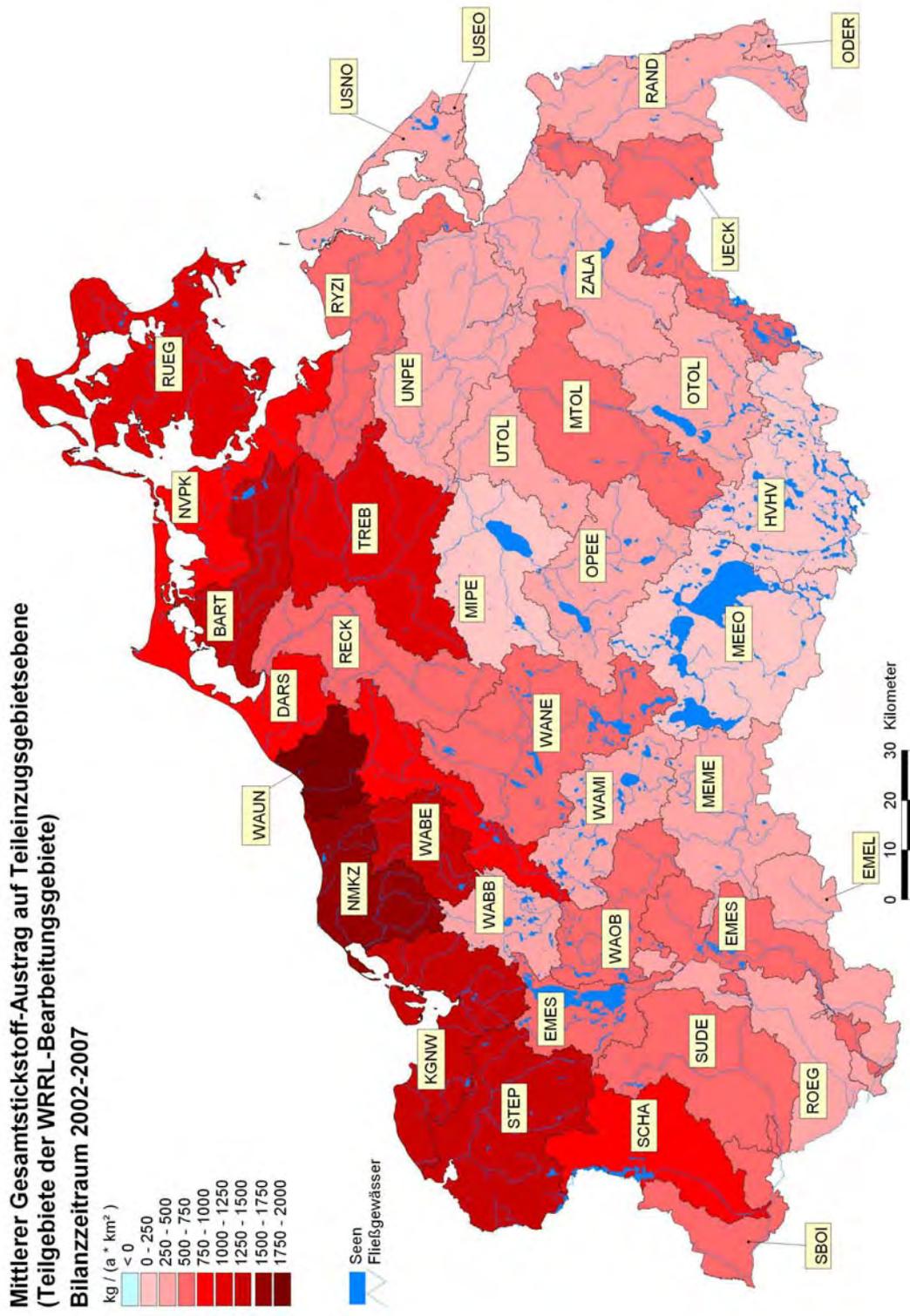


Abbildung 6-5: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007)

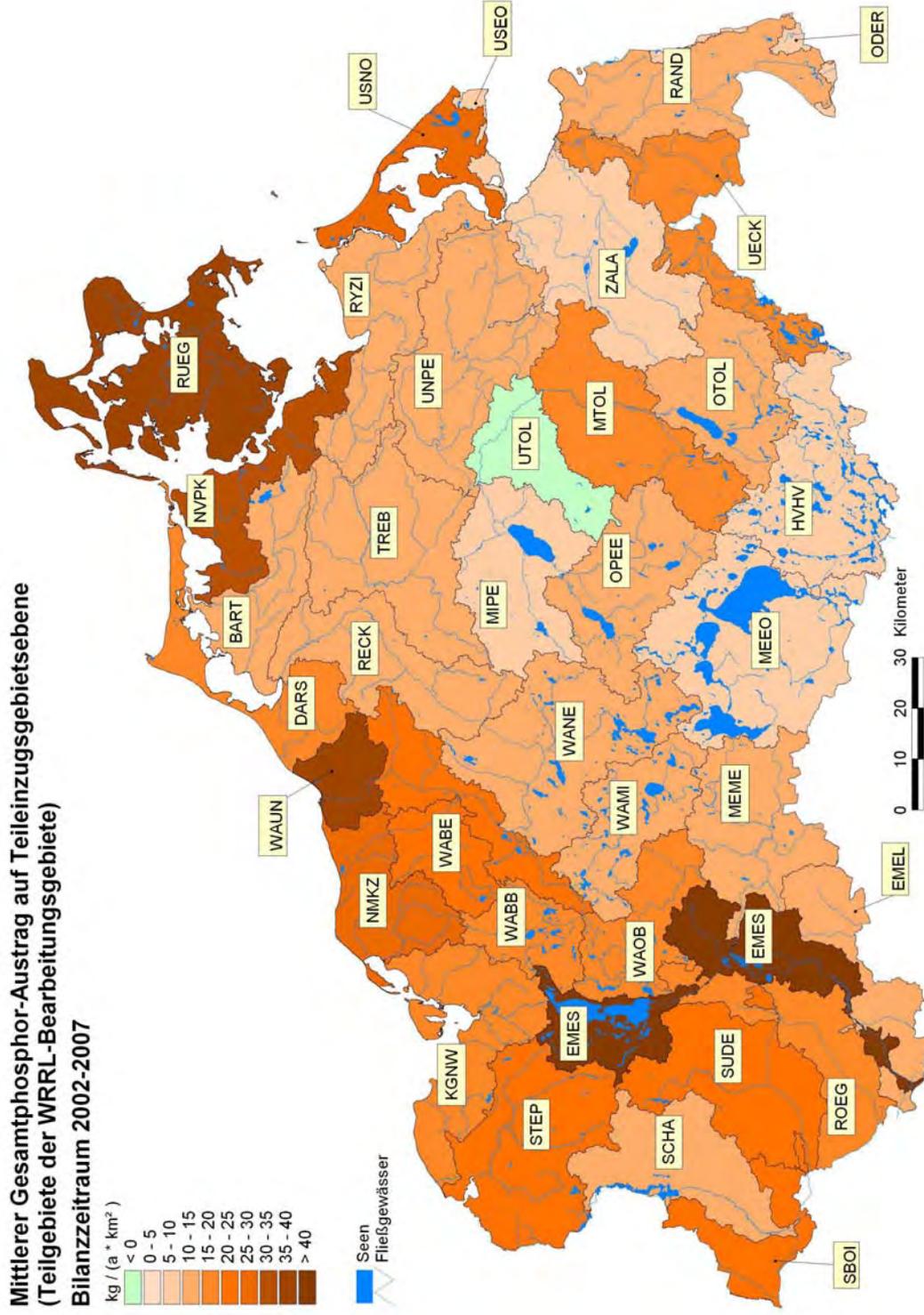


Abbildung 6-6: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007)

Tabelle 6-2: Belastungsanalyse der betrachteten Emissionsgrößen für Stickstoff und Phosphor (t/a, Mittelwert der Bezugsreihe 2002-2007) für die Flussgebietseinheiten bzw. deren Bearbeitungsgebiete in Mecklenburg-Vorpommern

Flussgebietseinheiten/ Bearbeitungsgebiete	Summe N-Saldo	Summe P-Saldo	Summe N Kläranlagen	Summe P Kläranlagen	Summe N Kleinkläranlagen	Summe P Kleinkläranlagen	Summe atmosph. N-Deposition	Summe atmosph. P-Deposition
ELB Elde/Müritz	14.030	4.467	46	10	94	14	6.939	62
ELB Obere Havel	695	315	4	1	17	3	2.076	17
ELB Sude	11.724	4.202	69	7	109	16	5.986	45
ODR Oder	161	42	0	0	0	0	83	1
ODR Uecker/Zarow	9.380	3.374	64	12	68	10	4.881	47
S/T Stepenitz	6.196	1.907	29	4	26	4	2.043	17
W/P KG Ost	19.141	5.466	359	53	161	24	9.420	80
W/P KG West	7.778	2.326	78	6	39	6	2.557	23
W/P Peene	28.907	8.868	166	23	192	28	10.194	103
W/P Warnow	16.923	5.345	216	14	123	18	7.935	66

### 6.3 WRRL-Küstenwasserkörper

Auch für die WRRL-Küsten-Wasserkörper erfolgte eine (immissionsseitige) Frachtbilanzierung aus Zuflüssen für die mittlere Bezugsperiode (Tab. 6-3 und Abb. 6-7). Zugleich wurden die bilanzierbaren (aber unvollständigen, s.o.) Emissionen entsprechend zugeordnet (Tab. 6-4).

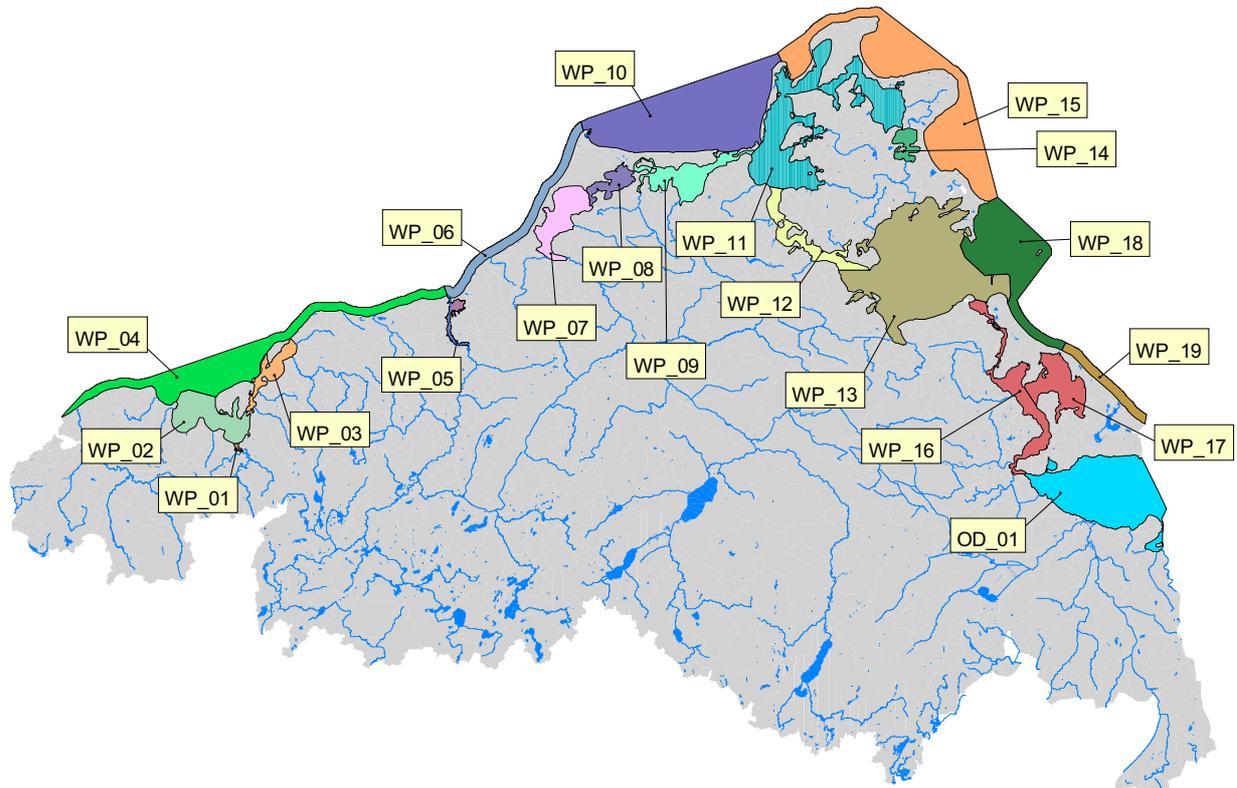


Abbildung 6-7: Küstenwasserkörper in Mecklenburg-Vorpommern

Tabelle 6-3: Stickstoff- und Phosphoreinträge der Küsten-Wasserkörper in Mecklenburg-Vorpommern aus Zuflüssen des Küstenraumes (t/a, Mittelwert der Bezugsreihe 2002-2007)

Küsten-Wasserkörper-Nr.	Bezeichnung des Küsten-Wasserkörpers	Gesamt-N-Eintrag	Gesamt-P-Eintrag
OD_01	Kleines Haff	972	32
WP_01	Wismarbuch, Südteil	103	3
WP_02	Wismarbuch, Nordteil	293	4
WP_03	Wismarbuch, Salzhaff	596	10
WP_04	Südliche Mecklenburger Bucht/Travemünde bis Warnemünde	549	9
WP_05	Unterwarnow	2.358	62
WP_06	Südliche Mecklenburger Bucht/Warnemünde bis Darss	25	1
WP_07	Ribnitzer See/Saaler Bodden	814	17
WP_08	Koppelstrom/Bodstedter Bodden	19	1
WP_09	Barther Bodden, Grabow	526	8

Küsten-Wasser-körper-Nr.	Bezeichnung des Küsten-Wasserkörpers	Gesamt-N-Eintrag	Gesamt-P-Eintrag
WP_10	Prerowbucht/ Darsser Ort bis Dornbusch	3	0
WP_11	Nord- und Westrügenschke Bodden	705	19
WP_12	Strelasund	307	12
WP_13	Greifwalder Bodden	538	18
WP_14	Kleiner Jasmunder Bodden	102	3
WP_15	Nord- und Ostrügenschke Gewässer	82	4
WP_16	Peenestrom, Achterwasser	2.962	64
WP_17	Peenestrom, Achterwasser	57	5
WP_18	Pommersche Bucht, Nordteil	0	0
WP_19	Pommersche Bucht, Südteil	16	1

Tabelle 6-4: Belastungsanalyse der betrachteten Emissionsgrößen für Stickstoff und Phosphor (t/a, Mittelwert der Bezugsreihe 2002-2007) für die Küsten-Wasserkörper

Küsten-Wasser-körper-Nr.	Summe N-Saldo	Summe P-Saldo	Summe N Kläranlagen	Summe P Kläranlagen	Summe N Kleinkläranlagen	Summe P Kleinkläranlagen	Summe atmosph. N-Deposition	Summe atmosph. P-Deposition
OD_01	8.978	3.224	64	12	66	10	4.813	46
WP_01	1.580	490	4	1	6	1	438	4
WP_02	1.124	304	43	2	6	1	389	4
WP_03	2.937	882	9	2	15	2	888	8
WP_04	2.103	643	22	2	13	2	829	7
WP_05	16.923	5.345	216	14	123	18	7.935	66
WP_06	28	8	0	0	2	0	254	1
WP_07	5.067	1.528	37	7	46	7	2.527	20
WP_08	104	23	4	1	0	0	248	2
WP_09	2.997	879	11	3	17	2	1.336	11
WP_10	0	0	0	0	0	0	42	0
WP_11	3.700	1.015	51	11	31	5	1.256	13
WP_12	1.065	268	99	10	8	1	429	4
WP_13	3.395	893	78	11	25	4	1.500	13
WP_14	359	95	19	1	5	1	256	2
WP_15	213	49	14	2	5	1	279	2
WP_16	31.141	9.603	191	27	209	31	11.166	112
WP_17	268	83	21	4	5	1	262	2
WP_18	0	0	0	0	0	0		0
WP_19	147	47	0	0	3	0	140	1

## 6.4 Differenzierte Teilgebiete

Für die differenzierten Teilgebiete erfolgt hier nur die Darstellung der gebietsspezifischen Nährstoffausträge in den Abbildungen 6-8 und 6-9. Die Einzelwerte zu den Belastungen (Emissionen) und andere Angaben können den im Vorhaben erstellten ArcView-GIS-Daten entnommen werden.

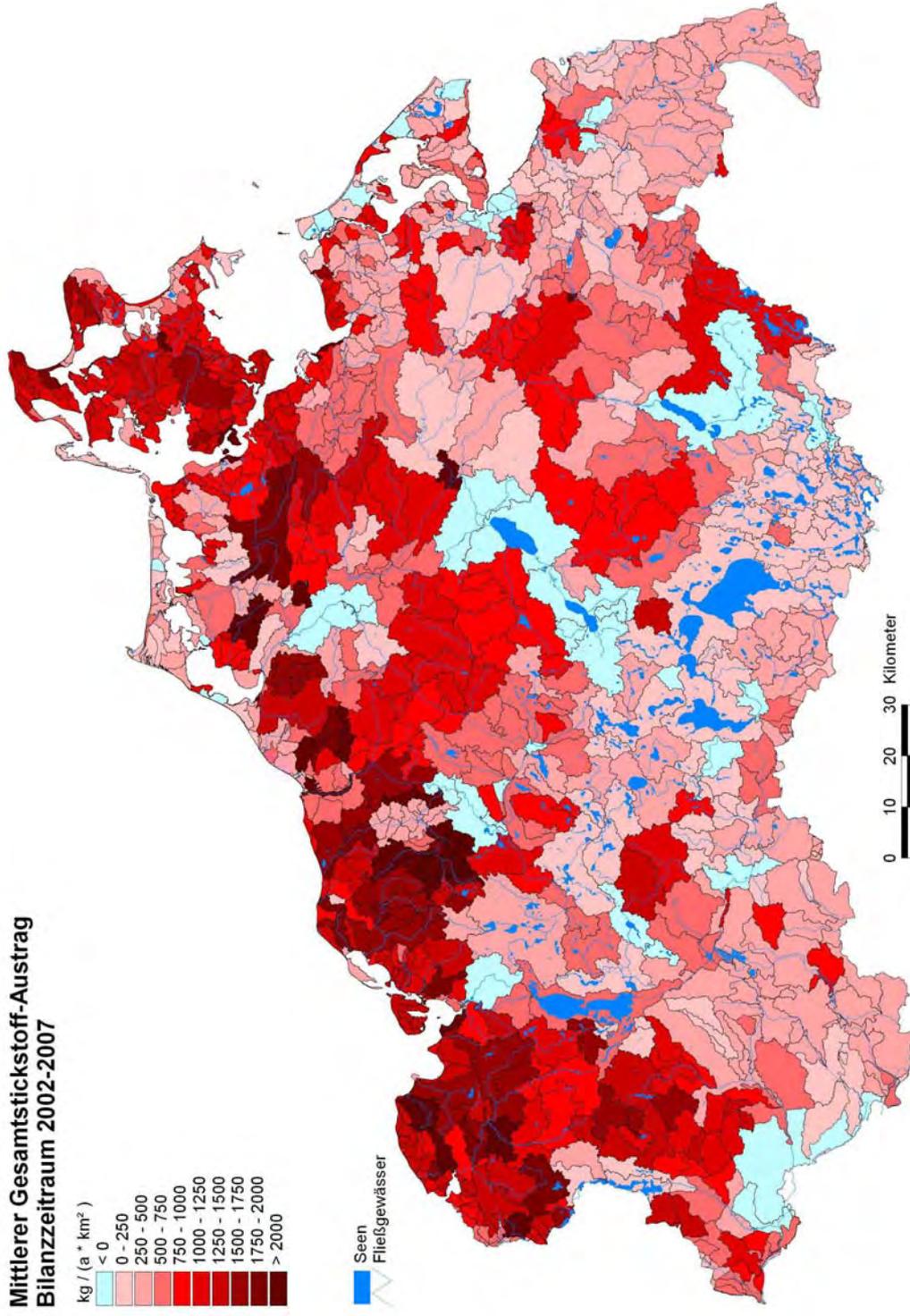


Abbildung 6-8: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007)

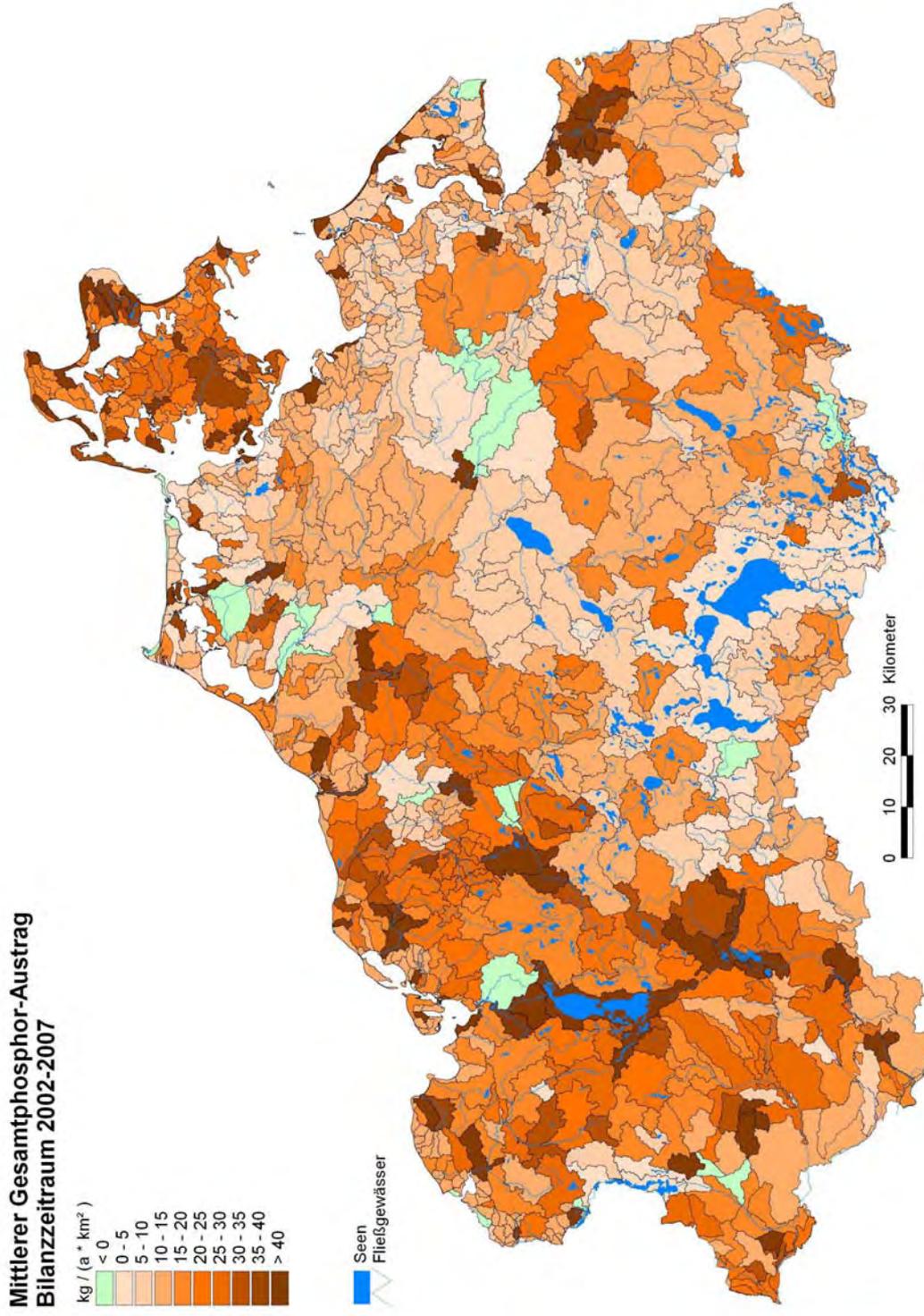


Abbildung 6-9: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007)

## 6.5 Kurzbewertung

Die Fracht- und Belastungsbilanzierung für Mecklenburg-Vorpommern lässt folgende kurze Schlussfolgerungen zu:

- Die N- und die P-Belastung ist ein Schwerpunktproblem des Gewässerschutzes in Mecklenburg-Vorpommern
- N-Belastungsschwerpunkte sind Einzugsgebiete folgender Eigenschaften: hoher Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche, hoher Anteil „guter“ (bindiger, schwerer) Böden, hoher Anteil an Dränfläche, hoher Anteil verrohrter und naturferner Gewässer
- Kläranlagen spielen bei der N-Belastung nur eine untergeordnete Rolle
- Die relative N-Belastung im Ostsee-Einzugsgebiet viel höher als im Nordsee-Einzugsgebiet, was an den mehrheitlich unterschiedlichen Gebietseigenschaften liegt (hohe Bedeutung der landschaftlichen und damit geologisch-bodenkundlichen sowie hydrologischen Verhältnisse in Folge der glazialen Serie)
- P-Belastungsschwerpunkte sind (vermutlich) Einzugsgebiete folgender Eigenschaften: hoher Anteil lw. Nutzfläche, hoher Anteil „magerer“ (leichter, sandiger) grundwassernaher Böden, relativ bedeutsame kommunale Kläranlagen oder von Industriekläranlagen
- Die relative P-Belastung im Ostsee-Einzugsgebiet entspricht der im Nordsee-Einzugsgebiet
- Die N- und P-Senkenfunktion von Seen, Mooren, Wäldern und naturnahen Fließgewässern (in entsprechenden Einzugsgebieten) ist augenfällig

## 7 Maßnahmenkonzept zur Belastungsminderung

### 7.1 Ausgewählte Förderkonzepte und –programme in anderen Bundesländern bzw. Ländern

#### 7.1.1 Bundesland Thüringen

Für das Land Thüringen lassen sich die Förderkonzepte zur Belastungsreduzierung durch Nährstoffeinträge auf der Homepage des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt abrufen (<http://www.thueringen-online.de/de/tmlnu/themen/wasser/flussgebiete/vorgehensweise/landwirtschaft/content.html>).

Danach wurden bereits im Ergebnis der Bestandsaufnahme nach WRRL insbesondere hohe Stickstoffüberschüsse aus der landwirtschaftlichen Produktion als maßgebliche diffuse Belastung identifiziert und bewertet. Für das Nitrat fordert die WRRL sowie die Tochterraichtlinie Grundwasser die Einhaltung des bereits seit vielen Jahren bestehenden Grenzwertes von 50 mg/l im Grundwasser und in den Oberflächengewässern. Gleichzeitig wird im Land Thüringen eine Zielverfehlung bei Grundwasserkonzentrationen von > 37,5 mg/l Nitrat mit steigendem Trend angenommen.

Neben der Einhaltung der Grenzwerte wird bei der Einstufung des Zustandes der Oberflächengewässer vor allem das Vorkommen der für die jeweiligen Gewässer typischen Tiere und Pflanzen (z. B. Fische, wirbellose Organismen und Algen) beurteilt, da deren Vorkommen unmittelbar die langfristigen Auswirkungen der Gewässerbelastungen anzeigt. Der Eintrag von Phosphor und Feinsedimenten durch Erosion in die Oberflächengewässer hat deutliche Auswirkungen auf die Gewässerbesiedlung (Verschlammung der Gewässersohle) und das Algenwachstum, was ebenfalls zur Verfehlung des guten Zustands der Gewässer führen kann.

Von 2004 bis 2007 wurden zur Erprobung geeigneter Maßnahmen zur Erreichung der Zielstellungen der WRRL in Thüringen 9 Modellvorhaben durchgeführt. In zwei Vorhaben wurden konkrete Lösungsansätze des Gewässerschutzes im Zusammenhang mit landwirtschaftlichen Flächennutzungen erprobt:

- 1) Verminderung von Stoffausträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen (VERSTOLA), ein landesweit in Pilotbetrieben durchgeführtes Vorhaben, Projektträger: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- 2) Reduzierung des diffusen Stickstoffaustrages aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Einzugsgebiet der Weida, Projektträger: Thüringer Fernwasserversorgung, Staatliches Umweltamt Gera

Im Rahmen der Modellbewirtschaftung nach WRRL wurde die Aufstellung der Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme in vier ausgewählten Gebieten in Thüringen modellhaft durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen in zwei der vier betrachteten Gebiete, dass es für eine Erreichung der Zielstellungen der WRRL erforderlich sein wird, Maßnahmen zur Senkung der Nährstoffausträge im landwirtschaftlichen Bereich durchzuführen.

Durch Auswahl und Durchführung geeigneter Maßnahmen sind nunmehr die notwendigen Schritte zur Erreichung der angestrebten Zielstellungen nach WRRL zu gewährleisten. Dazu laufen im Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt seit 2005 intensive Abstimmungen zwischen den Fachabteilungen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft.

Im Rahmen der Neustrukturierung der EU-Förderung für den landwirtschaftlichen Bereich (Förderperiode 2007-2013) ist es vorgesehen, bewährte sowie innovative Gewässerschutzmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Produktion zu etablieren. Im Programmteil W - Maßnahmen des Gewässerschutzes - des „Programms zur Förderung von umweltgerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege in Thü-

ringen (KULAP Thüringen 2007, MLNU Thüringen 2007)“ sind folgende Maßnahmen geplant:

- W 1: Reduzierung des Stickstoffaustrages (Gefördert werden soll die Erreichung oder Beibehaltung eines erklärten Stickstoffsaldos auf der Ackerfläche des Betriebes), Förderhöhe: Zielsaldo 1 - N-Saldo von < 50 kg N/ha, Prämie 45 €/ha, Zielsaldo 2 - N-Saldo von < 30 kg N/ha, Prämie 70 €/ha
- W 21: Anbau von Zwischenfrüchten/Untersaaten; folgende Beihilfehöhen sind vorgesehen: 70 €/ha Zwischenfrucht-/Untersaatfläche bzw. 45 €/ha Zwischenfrucht-/Untersaatfläche bei einer gleichzeitigen Förderung Ökologischer Anbauverfahren.
- W 22: Anwendung von Mulch- oder Direktsaat oder Mulchpflanzverfahren im Ackerbau; folgende Beihilfehöhe ist vorgesehen: 54 €/ha Mulch- oder Direktsaat oder Mulchpflanzverfahren
- W 3: Uferrandstreifen (Gefördert werden soll die Anlage von Blühstreifen auf Ackerflächen des Betriebes, die an Oberflächengewässer angrenzen); Folgende Beihilfehöhen sind vorgesehen: Blühstreifen mit jährlicher Nachsaat 540 €/ha, Blühstreifen mit einmaliger Ansaat 372 €/ha

Die Teilnahme an diesen Förderprogrammen ist freiwillig. Um die zur Verfügung stehenden Mittel möglichst effizient im Sinne der Gewässerschutzzielsetzungen einsetzen zu können, werden dazu als Förderkulissen so genannte Nährstoffüberschussgebiete auf der Basis der Feld-Stall- oder aggregierten Schlagbilanzen entsprechend DüV abgeleitet. Diese setzen sich aus den Wasserkörpern zusammen, bei denen der gute Zustand nicht erreicht wird bzw. ein signifikanter Beitrag zur Zielverfehlung in den Küstengewässern zu konstatieren ist. Hierbei wird je nach Ursache für die Zielverfehlung nach Phosphor- und Stickstoffnährstoffüberschussgebieten differenziert. Folgende Zuordnung der KULAP- Maßnahmen ist vorgesehen:

- W1, W21: Stickstoffnährstoffüberschussgebiet
- W21, W22, W3: Phosphornährstoffüberschussgebiet

In diesen Kulissen soll die Förderung wegen der hier gegebenen besonderen Nährstoffaustragsgefährdung auf die Ackerfeldblöcke beschränkt bleiben. Für die Phosphormaßnahmen ist zudem eine Beschränkung auf Ackerfeldblöcke mit potenzieller Erosionsgefährdung, definierter mittlerer Hangneigung und Anschluss zu Oberflächengewässern vorgesehen.

Die WRRL verlangt weiter, dass im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung, die vorgesehenen Maßnahmen zur Zielerreichung einer Wirkungsabschätzung unterzogen werden. Die KULAP- Maßnahmen werden dabei in ihrer Wirkung auf die Reduzierung der Nährstoffeinträge und damit den Zustand der Gewässer untersucht. Im Ergebnis ist eine Aussage zu treffen, ob die vorgesehenen Maßnahmen ausreichen werden, um den angestrebten guten Zustand der Gewässer bereits 2015 erreichen zu können.

Zudem sind für die Wasserkörper, die prognostisch auch bei erfolgreicher Realisierung der KULAP- Maßnahmen und bei Berücksichtigung künftiger Maßnahmen im Bereich Kommunalabwasser den guten Zustand nicht erreichen werden, ergänzende Maßnahmen in die Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme aufzunehmen. Es ist zunächst vorgesehen, den Beratungsansatz in Form von Fortbildungen des landwirtschaftlichen Berufsstandes weiter zu entwickeln und dabei den Schwerpunkt auf die Verbesserung des Düngungs- und Erosionsschutzmanagements der landwirtschaftlichen Betriebe zu legen.

Die Zusammenarbeit zwischen regionalen Landwirtschafts- und Wasserwirtschaftsbehörden soll weiter ausgebaut werden und letztlich in Kooperationen mit landwirtschaftlichen Betrieben in Gebieten mit Nährstoffproblemen münden. So sollen in jährlichen Winterschulungsveranstaltungen mit Landwirtschaftsbetrieben in diesen Gebieten die aktuelle Situation ausgewertet und mögliche Verbesserungsmaßnahmen diskutiert werden.

Im Einzugsgebiet der Trinkwassertalsperren Weida/Zeulenroda/Lössau gibt es hinsichtlich der o. g. Kooperationen gute Traditionen und Erfahrungen, die für ganz Thüringen beispielgebend sein können.

### 7.1.2 Bundesland Sachsen

Im Freistaat Sachsen wurde der Nährstoffatlas Sachsen erarbeitet. Mit diesem „Atlas der diffusen Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer“ wurde unter Nutzung des Emissionsmodells STOFFBILANZ das gegenwärtige Eintragungsgeschehen für Stickstoff-, Phosphor- und Sedimentfrachten von der Fläche in die Gewässersysteme aufgezeigt und eintragungspfadbezogen bilanziert. Insbesondere wurden durch die Nährstoffmodellierung Schwerpunktbela-stungsflächen mit besonderem Handlungsbedarf in den sächsischen Flussteileinzugsgebieten von Elbe und Oder lokalisiert. Genaue Beschreibungen des Ansatzes sowie der Modellstruktur können u. a. unter [www.stoffbilanz.de](http://www.stoffbilanz.de) sowie in GRUNEWALD et al. (2008) entnommen werden.

Modellierungsergebnisse für Sachsen als Durchschnitt der Jahre 2001 bis 2005 sind wie folgt zu konstatieren (GRUNEWALD et al. 2008):

- Stickstoffeintrag in die Gewässer: ca. 52.000 t N pro Jahr, dabei 7% aus punktuellen Quellen und 93% aus diffusen Quellen
- Phosphoreintrag in die Gewässer: ca. 1.200 t P pro Jahr, dabei 28% aus punktuellen Quellen und 72% aus diffusen Quellen

In Sachsen existiert als landwirtschaftliches Maßnahmenprogramm, auch zur Umsetzung der WRRL-Bewirtschaftungsziele, aktuell das Förderprogramm "Umweltgerechte Landwirtschaft im Freistaat Sachsen (UL)". Dabei wurde bereits im Jahr 2006 eine Gebietskulisse „Wasser-rahmenrichtlinie/Hochwasserschutz“ erarbeitet. Die entsprechende Anleitung zur Nutzung des Förderprogramms befindet sich auf den Seiten des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (<http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft>).

Ziele des Förderprogramms „Umweltgerechte Landwirtschaft“ sind

- die landwirtschaftliche und gartenbauliche Erzeugung durch geeignete, kontrollierbare Produktionsverfahren so zu gestalten, dass die Bodenfunktionen erhalten und das Grund- und Oberflächenwasser nicht belastet werden,
- eine spürbare Marktentlastung bei Überschussprodukten durch Anpassung der landwirtschaftlichen Produktion an die veränderten Marktbedingungen zu erreichen,
- ein angemessenes Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe zu sichern,
- dem Verlangen der Verbraucher nach qualitativ hochwertigen, umweltschonend erzeugten Produkten nachzukommen,
- die Kulturlandschaft zu pflegen, naturnah zu gestalten und in ihrem Erlebnis- und Erholungswert zu bereichern,
- die Erhaltung und Entwicklung von Lebensräumen freilebender Tiere und Pflanzenarten sowie
- Landwirte für Umweltprobleme zu sensibilisieren, Initiativen zu wecken und Aktivitäten zur Förderung umweltgerechter Bewirtschaftungsverfahren zu entwickeln.

Das Förderprogramm soll den Landwirten als Anreiz dienen, umweltschonende Methoden im Acker-, Obst- und Weinbau sowie in der Grünlandwirtschaft einzuführen bzw. diese beizubehalten. Bei der Ermittlung der Zuwendungshöhen wurden als wichtige Kriterien

- (1) Ertragsrückgang,
- (2) erhöhter Aufwand und

(3) ökologische Leistungen

berücksichtigt. Im Hinblick auf die Nährstoffreduktion sind insbesondere folgende Programme bzw. Förderhöhen von Belang:

1. Umweltgerechter Ackerbau

- Integrierter Ackerbau
- Bodenschonende Maßnahmen
  - Ansaat von Zwischenfrüchten 66 EUR/ha
  - Untersaaten 51 EUR/ha
  - Mulchsaat im Herbst 42 EUR/ha
  - Mulchsaat im Frühjahr 42 EUR/ha
- Ökologischer Ackerbau
  - ökologisch wirtschaftende Betriebe 230 EUR/ha
  - Betrieb in Umstellung (max. 2 Jahre) 337 EUR/ha

2. Extensive Grünlandwirtschaft (KULAP)

- Umweltgerechte Grünlandbewirtschaftung
  - Reduzierter Mitteleinsatz (Grundförderung) 51 EUR/ha
- Zusatzförderung
  - Verzicht auf den Einsatz chemisch-synthetischer N-Düngemittel 51 EUR/ha
  - extensive Weide 102 EUR/ha
  - extensive Wiese 102 EUR/ha
- Ökologische Grünlandwirtschaft 244 EUR/ha

Sehr hoher Stellenwert zur Reduzierung der Nährstoffeinträge aus wasserwirtschaftlicher und landwirtschaftlicher Sicht wird in Sachsen den Gewässerrandstreifen beigemessen. Entsprechend § 50 SächsWG sind die zwischen Uferlinie und Böschungsoberkante liegenden Flächen sowie die sich landseitig hieran angrenzenden Flächen in einer Breite von zehn Metern in der freien Landschaft bzw. von fünf Metern innerhalb im Zusammenhang bebauter Ortsteile grundsätzlich als Gewässerrandstreifen zu berücksichtigen. Diese Flächen sind vom Eigentümer oder Besitzer standortgerecht im Hinblick auf ihre ökologischen und hydrologischen Funktionen zu bewirtschaften oder zu pflegen, womit eine ackerbauliche Nutzung auf jeden Fall ausscheidet. Eine solche Bewirtschaftung von Gewässerrandstreifen wird in Sachsen als ein wesentlicher Bestandteil der „guten fachlichen Praxis“ in der Landwirtschaft und als grundlegende Maßnahmenumsetzung im Sinne der WRRL betrachtet.

### **7.1.3 Bundesland Schleswig-Holstein**

Im Rahmen der Agrarumweltmaßnahmen in Schleswig-Holstein werden auch Maßnahmen zur Reduzierung von Stoffeinträgen in Gewässer gefördert. Detaillierte Informationen finden sich auf den Seiten des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume ([http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/LandFischRaum/11\\_\\_ZPLR/-Schwerpunkt2/pdf/reduzierungStoffeintraegeGewaesser\\_\\_214\\_\\_3,templateId=raw,property=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/LandFischRaum/11__ZPLR/-Schwerpunkt2/pdf/reduzierungStoffeintraegeGewaesser__214__3,templateId=raw,property=publicationFile.pdf)).

Ziel der geförderten Maßnahmen ist es, für Grundwasser und Oberflächengewässer einen chemisch und ökologisch guten Zustand gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. In Schleswig-Holstein müssen hierfür insbesondere die hohen Stickstoffeinträge aus der Land-

wirtschaft in Gewässer verringert werden. Dazu werden die in Tabelle 7-1 aufgeführten Maßnahmen gefördert: Damit sollen die diffusen Stoffausträge aus der Landwirtschaft und folglich die Belastungen der Gewässer mit Nährstoffen und Rückständen von Pflanzenschutzmitteln besonders im Gebiet der gefährdeten Grundwasserkörper verringert werden. Die Ausgestaltung der drei Maßnahmen ist auf die speziellen Standortgegebenheiten dieses Raumes ausgerichtet.

Tabelle 7-1: Maßnahmen zur Reduzierung von Stoffeinträgen in Schleswig-Holstein

<b>Maßnahme</b>	<b>Höhe der Förderung</b>
Winterbegrünung von Flächen durch Untersaat und Zwischenfruchtanbau in der Kulisserie "Gefährdete Grundwasserkörper WRRL"	70,00 €/ha für konventionelle Betriebe 45,00 €/ha für ökologisch wirtschaftende Betriebe
Anlage von Schonstreifen entlang von Gewässern sowie	372,00 €/ha
Verbesserte Stickstoffausnutzung aus flüssigen Wirtschaftsdüngern durch besonders umweltfreundliche Ausbringungsverfahren.	bis 30,00 €/ha Bezugsfläche

Nährstofffixierung und –konservierung stehen bei der Winterbegrünung im Vordergrund (der nach der Ernte noch vorhandene Nährstoffvorrat im Boden wird in der Zwischenfrucht bzw. Untersaat gespeichert und nicht ins Grundwasser ausgewaschen und steht damit der Nachfolgekultur im Frühjahr zur Verfügung). Beim Anlegen von Schonstreifen ist zu beachten, dass diese künftig entlang von Gewässern liegen müssen und während des Verpflichtungszeitraums nicht gewechselt werden dürfen (aufgrund des Verbots der Düngung und von Pflanzenschutzmitteln findet eine Minderung des Stoffeintrags ins Gewässer statt). Die N-Ausnutzung von flüssigem Wirtschaftsdünger spricht insbesondere viehstarke Betriebe an, es wird daher eine Konzentration in den vorgenannten Problemgebieten erwartet.

Ein weiteres Instrument zur Erreichung des guten ökologischen Zustands nach EU-WRRL legt das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume mit den Hinweisen zum Flächenbedarf und zum Umgang mit Flächen bei der Entwicklung von Fließgewässern und Seen vor (MLUR S-H 2005). Es sollen damit den Mitgliedern der für die Einstufung erheblich veränderten und künstlicher Gewässer verantwortlichen Arbeitsgruppen Entscheidungshilfen geschaffen werden, mit denen der voraussichtliche Flächenbedarf für eine Gewässerentwicklung, für die Reduzierung diffuser Nähr- und Schadstoffeinträge oder die Vermeidung erhöhter Sedimenteinträge von angrenzenden Hängen durch Bodenerosion ermittelt werden kann. Mit enthalten sind auch Hinweise zu Nutzungsmöglichkeiten auf extensivierten Flächen und zur Gestaltung und Pflege von Uferrandstreifen.

In Tabelle 7-2 wird die erwartete Wirkung unterschiedlicher Entwicklungsmaßnahmen auf das Gewässer bewertet. Es ist zu erkennen, dass alle vorgeschlagenen Maßnahmen mindestens eine bedingt positive, meist aber sogar eine positive oder sogar optimale Wirkung auf die Reduzierung von Nährstoff- und Schadstoffeinträgen haben.

Tabelle 7-2: Wirkung unterschiedlicher Entwicklungsmaßnahmen auf das Gewässer (aus MLUR S-H 2005)

Entwicklungsmaßnahme	Wirkung auf das Gewässer						
	Reduzierung Nähr- und Schadstoffeintrag	Reduzierung Sedimenteintrag	Wasserrückhalt	Strukturverbesserung	Beschattung	Gewässerentwicklung	eigendynamische Entwicklung
Stilllegungsfläche am Gewässer	(+)	(+)					
Uferrandstreifen	einseitig	+	+		+	+*	+
	wechselseitig	+	+		+	+*	+
	beidseitig	++	++		++	++*	++
Zulassung und Initiierung der eigendynamischen Entwicklung im Talraum	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung im Entwicklungsraum/ auf Hangflächen	++	++					
Wiedervernässung von Niedermooren	+++		+				

\* sofern sie Gehölz bestanden sind

(+) bedingt positive Wirkung, + gewisse positive Wirkung, ++ positive Wirkung, +++ optimale Wirkung

### **7.1.4 Bundesland Sachsen-Anhalt**

Im Bundesland Sachsen-Anhalt existieren im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie keine spezifischen Programme zur Senkung der diffusen Nährstoffeinträge. Es wurden aber im Rahmen der Agrarumweltmaßnahmen vier landwirtschaftliche Förderprogramme aufgelegt, die mit ihren Bedingungen einen großen Beitrag zur Senkung der Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft leisten können. Sie sind auf dem Portal des Landes Sachsen-Anhalt detailliert nachzulesen und sollen an dieser Stelle kurz dargestellt werden. (<http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/index.php?&cmd=list&typ=1&open=38&open2=0&&f63=Y&f43=Y&f44=Y&f134=Y&f45=Y&x=1&id=10137>):

#### 1. Förderung einer markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung (MLU 17)

Im Rahmen dieses Programms werden Landwirte, die strukturell bedeutsame Leistungen für eine umweltfreundliche Landbewirtschaftung erbringen, unterstützt. Die Förderung erstreckt sich auf die Teilmaßnahmen

- A. Förderung extensiver Verfahren bei Acker- oder Dauerkulturen
- B. Förderung extensiver Grünlandnutzung
- C. Förderung ökologischer Anbauverfahren

Gefördert wird u. a. der Verzicht auf die Anwendung von Herbiziden, die Anwendung biologisch-biotechnischer Pflanzenschutzmaßnahmen, eine reduzierte Düngung und ein begrenzter Viehbesatz zur nachhaltigen Verbesserung der natürlichen und wirtschaftlichen Produktionsbedingungen, die mit den Belangen des Schutzes der Umwelt und der Erhaltung des natürlichen Lebensraumes vereinbar sind und zum Gleichgewicht auf den Märkten beitragen.

Die monetäre Förderung beträgt:

- 112 EUR/ha für Einhaltung einer extensiven Bewirtschaftung des gesamten Dauergrünlandes eines Betriebes mit höchstens 1,4 rauhfuttermittelverzehrenden Großvieheinheiten (RGV) je Hektar Hauptfutterfläche,
- 130 EUR/ha für extensive Bewirtschaftung von bestimmten Grünlandflächen,
- 429 EUR/ha umgewandelte Ackerfläche.

#### 2. Förderung des umweltschonenden Anbaus (MLU 29)

Das Förderprogramm unterstützt landwirtschaftliche und gärtnerische Unternehmen sowie Winzer, die umweltschonende Produktionsverfahren beim Anbau von Gemüse, Heil- und Gewürzpflanzen, Kern- und Steinobst sowie von Wein und Hopfen anwenden. Die Produktionsverfahren erfüllen Kriterien des Umweltschutzes. Sie helfen mit, dass natürliche Ressourcen wie Boden, Oberflächen- und Grundwasser geschützt werden. Erreicht wird dies durch:

- Reduzierung bzw. Begrenzung des Düngemittelleinsatzes,
- Verringerung des Einsatzes an Pflanzenschutzmitteln bzw.
- Einsatz nützlingsschonender Präparate.

Die Betriebe sollen mit Hilfe der Förderung von erhöhten Aufwendungen oder Mindererträgen in die Lage versetzt werden, den Anforderungen an umweltschonende Produktionsverfahren besser nachkommen zu können.

3. Richtlinien zur Förderung einer markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung, A. Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung extensiver Produktionsverfahren bei Ackerkulturen oder bei Dauerkulturen (MLU 16)

Es sollen extensive Produktionsverfahren bei Ackerkulturen oder bei Dauerkulturen zur nachhaltigen Verbesserung der natürlichen und wirtschaftlichen Produktionsbedingungen gefördert werden. Das impliziert also

- Verzicht auf die Anwendung von Herbiziden im Betriebszweig Dauerkulturen, zusätzlich auf den förderfähigen Flächen eine gezielte Begrünung,
- Fruchtartendiversifizierung und
- Anwendung von Mulch- oder Direktsaat.

Insbesondere die Anwendung von Mulch- und Direktsaat beugt der Erosion und somit dem Austrag von Phosphor als gewässerbelastendem Nährstoff vor.

Die Förderung der einzelnen Maßnahmen unterscheiden sich in flächenbezogene Zuwendungen (92-215 €/ha) und in Zuwendungen für Modulationsmaßnahmen (42-49 €/ha)

4. Richtlinien zur Förderung einer markt- und standortangepassten Landbewirtschaftung, C. Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung ökologischer Anbauverfahren (MLU16)

Mit der Richtlinie MLU 16 soll die Einführung bzw. die Beibehaltung eines ökologischen Anbauverfahrens für mindestens 5 Jahre gefördert werden.

### **7.1.5 Bundesland Niedersachsen**

Im Bundesland Niedersachsen existieren zwei durch die EU geförderte Programme, die der Reduktion der Nährstoffbelastung in Fließgewässern und im Grundwasser dienen.

Das Programm PROFIL "PROFIL - Programm zur Förderung im ländlichen Raum Niedersachsen und Bremen 2007 bis 2013" dient der Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums und setzt das 2006 ausgelaufene PROLAND-Projekt fort. Die Federführung des Programms liegt beim Niedersächsischen Ministerium für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Der Schwerpunkt 2 des insgesamt 4 Schwerpunkte umfassenden Förderprogramms umfasst die Verbesserung der Umwelt und der Landschaft. Darunter fällt auch der Punkt „Grundwasser schonende Landbewirtschaftung“ für Vorhaben innerhalb der niedersächsischen Zielkulisse für den Gewässerschutz. Fördergegenstand sind:

- a) Umwandlung von Ackerflächen in extensiv bewirtschaftetes Grünland außerhalb der Nationalen Rahmenregelung (NRR)
- b) Grundwasser schonende Bewirtschaftung von stillgelegten Ackerflächen, die über die Auflagen des Art. 6 (2) der VO (EG) 1251/1999 hinausgeht außerhalb der NRR
- c) Maßnahmen zur Gewässer schonenden ökologischen Bewirtschaftung, die über die Bewirtschaftungsauflagen gemäß VO (EWG) Nr. 2092/1991 hinausgehen außerhalb der NRR

Mit den aufgeführten Maßnahmen sollen vor allem Einträge in das Grundwasser gezielt vermindert werden. Die Förderung erfolgt in Form einer Festbetragsfinanzierung als Zuschuss bzw. als jährlicher Ausgleichsbetrag zu a) von 219,39 €/ha, zu b) von 241,23 €/ha und zu c) 146,47 €/ha. Die freiwillige Teilnahme bringt eine Verpflichtungsdauer von 5 Jahren, sowie die Einhaltung der Cross-Compliance-Anforderungen und der Grundanforderungen für die Anwendung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln mit sich.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Maßnahmen findet sich in "PROFIL - Programm zur Förderung im ländlichen Raum Niedersachsen und Bremen 2007 bis 2013", Teil 2, welches auf dem Internetportal des Niedersächsischen Ministeriums für ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz abrufbar ist ([http://www.ml.niedersachsen.de/master/C20359226\\_N20358583\\_L20\\_D0\\_I655.html](http://www.ml.niedersachsen.de/master/C20359226_N20358583_L20_D0_I655.html)).

Ein weiteres Programm ist WagriCo (Water Resources Management in Cooperation with Agriculture = Wasserressourcenmanagement in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaft). Um das Ziel eines guten Zustandes der Fließgewässer und des Grundwassers bis 2015 erreichen zu können, werden vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz in Kooperation mit vier deutschen und fünf britischen Partnern im Rahmen dieses Pilotprojektes (Oktober 2005 bis September 2008) Wege zur Reduktion der Nährstoffbelastung aus der Landwirtschaft entwickelt. Durch Einbeziehung von Landwirten soll vor allem die Praxistauglichkeit, sowie die Wirtschaftlichkeit und Effektivität der vorgeschlagenen Maßnahmen untersucht werden. An diesem durch das EU-Life-Programm geförderten Projekt sind exemplarische Pilotgebiete in beiden Staaten mit insgesamt 50 Modellbetrieben beteiligt. Die erprobten Methoden sollen dann in Niedersachsen landesweit ab 2009 als weitergehende Maßnahmen zum Gewässerschutz umgesetzt werden.

Insgesamt wurde auf Grundlage bewährter Trinkwasserschutzmaßnahmen ein Katalog mit insgesamt 13 handlungsorientierten Herbst- und Frühlingsmaßnahmen bzw. einer ergebnisorientierten Maßnahme erarbeitet (Tab. 7-3). Im Fokus stehen insbesondere Zielstellungen zur Reduzierung der Stickstoffauswaschung. Deren Teilziele sind

- niedrige Nitratgehalte im Boden zur Erntezeit, insbesondere im Herbst,
- niedrige Stickstoffmineralisierung in der vegetationsfreien Zeit sowie
- niedrige Nitratbevorratung des Bodens in der Vegetationsperiode bei flach wurzelnden Kulturen bzw. wenig speicherfähigen Böden.

Tabelle 7-3: Maßnahmenübersicht zur Reduzierung der Nährstoffeinträge im Rahmen des Pilotprojektes WagriCo in Niedersachsen (Stand 2007)

Maßnahme	Bewirtschaftungsbedingungen	Entgelt 2007/2008
<b>Handlungsorientierte Herbst-Maßnahmen</b>		
Zwischenfruchtanbau (winterhart, später Umbruch)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anbau einer leguminosenfreien Zwischenfrucht (ZF) nach der Hauptfruchternte bis zum 05.09.</li> <li>- mind. 30 % des ZF-Bestandes aus einer winterharten ZF (Raps, Stoppelrüben, Gras etc.)</li> <li>- bei anderen Vorfrüchten maximal 40 kg anrechenbaren N/ha bzw. bei Abfuhr des ZF-Aufwuchses (zur Futternutzung) mit maximal 80 kg anrechenbaren N/ha</li> <li>- Einbeziehung der Stickstoffdüngung in die Düngeplanung der anschließenden Fruchtfolge zwingend notwendig, sofern Aufwuchs nicht abgefahren wird</li> <li>- Beweidung nicht zulässig</li> <li>- Umbruch der Zwischenfrucht frühestens ab 15.03. des Folgejahres</li> </ul>	120 €/ha
Zwischenfruchtanbau (Standard)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anbau einer leguminosenfreien Zwischenfrucht nach der Hauptfruchternte bis zum 05.09.</li> <li>- nach Kartoffeln, Mais und Raps als Vorfrucht keine Stickstoffdüngung der ZF</li> <li>- bei anderen Vorfrüchten maximal 40 kg anrechenbaren N/ha bzw. bei Abfuhr des ZF-</li> </ul>	80 €/ha

Maßnahme	Bewirtschaftungsbedingungen	Entgelt 2007/2008
	<p>Aufwuchses (zur Futternutzung) mit maximal 80 kg anrechenbaren N/ha</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbeziehung der Stickstoffdüngung in die Düngeplanung der anschließenden Fruchtfolge zwingend notwendig, sofern Aufwuchs nicht abgefahren wird</li> <li>- Beweidung nicht zulässig</li> <li>- Umbruch der Zwischenfrucht frühestens ab 1.02. des Folgejahres</li> </ul>	
Dreijährige Brache mit aktiver Begrünung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsaat winterharter Gräser in Reinsaat bis zum 05.09. auf neuer Stilllegungs-/Brachefläche in den Jahren 2007 und 2008-08-11 keine Stickstoffdüngung</li> <li>- Beweidung nicht zulässig</li> <li>- Umbruch der Zwischenfrucht frühestens ab 01.02.2009</li> </ul>	120 €/ha/a
Ausfallroggen und -triticale vor Sommerungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unmittelbar nach der Ernte einmalige flache Bodenbearbeitung</li> <li>- Stehenlassen des Ausfallroggens/ der Ausfalltriticale</li> <li>- keine Stickstoffdüngung</li> <li>- Einbeziehung der Nährstoffe des Ausfallgetreides in die Düngeplanung der anschließenden Fruchtfolge</li> <li>- Beweidung nicht zulässig</li> <li>- Umbruch der Zwischenfrucht frühestens ab 01.02. des Folgejahres</li> </ul>	30 €/ha
Verzicht auf Bodenbearbeitung nach Mais oder Zuckerrüben bei nachfolgendem Anbau einer Sommerung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- keine Bodenbearbeitung nach Mais- oder Zuckerrübenernte bis zum 15.03. des Folgejahres</li> <li>- keine Stallausmistausbringung von der Ernte bis zum 01.03. des Folgejahres</li> <li>- Einsatz eines Totalherbizids im Frühjahr ist zulässig</li> </ul>	25 €/ha
Zeitliche Beschränkung der Gülle-Jauche-Geflügelkot- und Sekundärrohstoffdüngerausbringung im Herbst	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nur für Betriebe mit mehr als 100 kg N aus den links genannten betriebseigenen Düngern und für Abnahmeverträge</li> <li>- gilt für die vorab aufgeführten Flächen</li> <li>- Ausbringung von Gülle, Jauche, Geflügelkot und Gärsubstraten nach der Ernte der Hauptfrucht nur zu Zwischenfrüchten und Raps bis zum 15.09. und zu Grünland bis zum 30.09.</li> </ul>	15 €/ha
Winterrüben vor Wintergetreide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aussaat bis zum 15.08.</li> <li>- Aussaatmenge 10-12 kg</li> <li>- keine Stickstoffdüngung zu Winterrüben oder zu folgenden Wintergetreide</li> <li>- Umbruch ab dem 10.10.</li> </ul>	60 €/ha
Ausfallraps	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nach der Ernte keine Bodenbearbeitung oder eine einmalige sehr flache Bodenbearbeitung</li> <li>- Stehenlassen des Ausfallrapses</li> <li>- keine Stickstoffdüngung</li> <li>- Einbeziehung der Nährstoffe des Ausfallrapses in die Düngeplanung der anschließenden Fruchtfolge</li> <li>- Beweidung nicht zulässig</li> <li>- bei nachfolgendem Anbau einer Sommerung Umbruch ab dem 15.03. des Folgejahres</li> </ul>	

Maßnahme	Bewirtschaftungsbedingungen	Entgelt 2007/2008
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei nachfolgendem Anbau einer Winterung Umbruch ab dem 01.10.</li> <li>- Vor Winterung Einsatz eines Totalherbizids ab dem 10.09. möglich</li> </ul>	
<b>Handlungsorientierte Frühjahrsmaßnahmen</b>		
Gülleausbringung mit Schleppschlauch, Schleppschuh oder Schlitztechnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausbringung von Gülle und Gärsubstraten vom 01.02. bis 15.07. mit links genannter Technik in wachsende Wintergetreide- und Winterrapsbestände und auf Grünland/Ackergras</li> <li>- bei Fremdausbringung sind entsprechende Belege vorzulegen</li> <li>- bei Eigenmechanisierung ist Selbsterklärung über Ausbringmenge und -fläche vorzulegen (Vorhandensein einer entspr. Technik wird vorausgesetzt)</li> </ul>	25 €/ha Schleppschlauch technik, 35 €/ha Schleppschuh- und Schlitztechnik
Maisensaat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maisaussaat mit verringertem Reihenabstand (max. 45 cm)</li> <li>- empfohlene N-Düngung max. 140 kg anrechenbarer N/ha</li> <li>- eine Fläche pro Betrieb mit Unterteilung Normal Saat- (max. 2 ha) und Engsaatfläche</li> <li>- keine N-Düngung nach der Maisernte bis zum 01.03. des Folgejahres</li> </ul>	40€/ha (incl. Teilfläche Normal Saat)
Einsatz einer Flüssigdüngerinjektionsradmaschine zur ammoniumbetonten Düngung (Cultant-Verfahren) in Getreide	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Einsatz des Injektionsrades mit Flüssigdüngertlösung vor Schossen des Getreides (1-2 Gaben)</li> <li>- ausschließlicher N-Düngereinsatz in Cultant-Technik bis zum 15.05.</li> <li>- Grundnährstoffdüngung herkömmlich möglich</li> <li>- kein Einsatz org. Dünger von Aussaat bis Ernte der Frucht</li> </ul>	35 €/ha
Einsatz stickstoffstabilisierter Mineraldünger im Frühjahr bei Wintergetreide und Kartoffeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verwendung von stabilisierten N-Mineraldüngern, bei Kartoffeln in Form von Ammonium-Düngemitteln</li> <li>- ausschließlicher Einsatz der stabilisierten Dünger bis zum 15.05.</li> <li>- kein Einsatz organischer N-Dünger von Aussaat bis Ernte der Frucht</li> </ul>	25 €/ha
Untersaaten im Silomais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aussaat von Gras/leguminosefreien Gräsermischungen</li> <li>- keine Stickstoffdüngung nach der Maisernte bis zum 01.02.</li> <li>- Beweidung nicht zulässig</li> <li>- Umbruch der Untersaat ab 01.02. des Folgejahres</li> </ul>	125 €/ha
<b>Ergebnisorientierte Maßnahme</b>		
Honorierung einer Verbesserung der Stickstoffausnutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aktive Verbesserung der Stickstoffausnutzung im Vergleich zu den drei zurückliegenden Jahren („Referenz“)</li> </ul>	1,20 €/kg honorierbare N-Reduktion. Der Höchstbetrag beträgt 40 €/ha landwirtschaftlich genutzte Fläche.

Neben den speziellen Fördermaßnahmen zur Nährstoffreduzierung können auch über die Agrar-Umweltprogramme (NAU) des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Landesentwicklung Beiträge zu einer Verringerung der landwirtschaftlichen Nährstofffrachten geleistet werden ([http://www.ml.niedersachsen.de/master/C24988087\\_N24780853\\_L20\\_D0\\_I655.html](http://www.ml.niedersachsen.de/master/C24988087_N24780853_L20_D0_I655.html)).

Zudem werden extensive Produktionsverfahren im Ackerbau oder bei Obstkulturen, extensive Grünlandnutzung, ökologische Anbauverfahren und die zehnjährige Stilllegung gefördert. Einige der konkreten Einzelmaßnahmen sind in Tabelle 7-4 mit der Höhe der Zuwendung pro Flächeneinheit aufgeführt.

Tabelle 7-4: Ausgewählte Fördermaßnahmen der Niedersächsischen Agrar-Umweltprogramme NAU und Höhe der Zuwendung

Gegenstand der Förderung	Höhe der Zuwendung
Anwendung von Mulch- oder Direktsaat oder Mulchpflanzverfahren	72 €/ha
Ausbringen von flüssigem Wirtschaftsdünger auf Acker- und Grünland mit besonders umweltfreundlichen Ausbringungsverfahren	15 € je nachweislich umweltfreundlich ausgebrachter Wirtschaftsdüngermenge (näheres regelt die Richtlinie über die Gewährung von Zuwendung für Niedersächsische Agrar-Umweltprogramme (NAU) 2004
Anlage von Blühstreifen auf Ackerflächen des Betriebes	600 €/ha
Anlage von Schonstreifen auf Ackerflächen des Betriebes	500 €/ha
Anbau von Zwischenfrüchten oder Untersaaten auf Ackerflächen des Betriebes	90 €/ha
Einführung oder Beibehaltung extensiver, ressourcenschonender und besonders umweltverträglicher Grünlandbewirtschaftungsverfahren	differiert stark
Förderung einer zehnjährigen Stilllegung	differiert stark

### 7.1.6 Bundesland Bayern

Auch im Freistaat Bayern existieren sogenannte Agrarumweltmaßnahmen, darunter das bayerische Kulturlandschaftsprogramm KULAP-A, welches extensive Bewirtschaftungsweisen fördert und landschaftspflegerische Leistungen zu Sanierung, Erhaltung, Pflege und Gestaltung der Kulturlandschaft honoriert. Die Rahmenkompetenz für das Programm liegt beim Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten. Weitere Beschreibungen finden sich auf dem Internetportal des Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (<http://www.stmlf.bayern.de/>). Es werden fünf Maßnahmenzweige unterschieden, denen folgende Einzelmaßnahmen zugeordnet werden:

1. Gesamtbetriebliche Maßnahme
2. Grünland
3. Acker

4. Spezielle Bewirtschaftungsformen zum Erhalt der Kulturlandschaft
5. Investive Maßnahmen zur Pflege von Hecken

Die vorgesehenen Fördermaßnahmen (Tab. 7-5) werden auch als hilfreich im Sinne der Nährstoffreduktion für Fließgewässern und das Grundwasser betrachtet.

Tabelle 7-5: Auszug aus der Maßnahmenübersicht des bayerischen Kulturlandschaftsprogramms Teil A (KULAP-A) – Verpflichtungszeitraum 2008-2012 (geändert nach <http://www.stmlf.bayern.de/agrarpolitik/programme/foerderwegweiser/11028/>)

<b>Maßnahme</b>	<b>Honorierung</b>
ökologischer Landbau im Gesamtbetrieb	
- Ackerland/Grünland	190 €/ha
- gärtnerisch genutzte Flächen und landwirtschaftliche Dauerkulturen	380 €/ha
Umweltorientierte Dauergrünlandnutzung	
- Nutzung von mind. 5 % der Dauergrünlandfläche erst ab dem 15. Juni	
- generelles Umbruchverbot	
- Verzicht auf chem. Pflanzenschutz	
- Aufzeichnungspflicht für Gülleausbringung	50 €/ha
Grünlandextensivierung durch Mineraldüngerverzicht	
- Verzicht auf mineralische Düngung und flächendeckenden chem. Pflanzenschutz	
- generelles Umbruchverbot	
max. 1,76 Großvieheinheiten/ha Hauptfutterfläche	100 €/ha
max. 1,4 Großvieheinheiten/ha Hauptfutterfläche	150 €/ha
Extensive Grünlandnutzung entlang von Gewässern und sonstigen sensiblen Gebieten	
- mit Verzicht auf jegliche Düngung und chemische Pflanzenschutzmittel	280 €/ha
Winterbegrünung	60 €/ha
- bei Kombination mit ökol. Landbau	30 €/ha
Mulchsaatverfahren	80 €/ha
- bei Kombination mit ökol. Landbau	40 €/ha
Umwandlung von Ackerland in Grünland entlang von Gewässern und sonstigen sensiblen Gebieten	250 €/ha
Grünstreifen zum Gewässer- und Bodenschutz (Einsaat von 10 bis 30 m breiten Grünstreifen auf Ackerflächen)	7 €/ar Grünstreifen
Agrarökologische Ackernutzung und Blühflächen	12 – 60 €/ha

Des weiteren wurde im Freistaat Bayern durch das Institut für Agrarökonomie an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), den Lehrstuhl für Grünlandlehre an der TU Weihenstephan und das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft eine erste Analyse der Gewässerbelastung durch diffuse Quellen für landwirtschaftlich genutzte Flächen durchgeführt (<http://www.lfl.bayern.de/ilb/agrarstrukturentwicklung/10645>). Auf Grundlage des amtlich topografisch-kartographischen Informationssystems (Atkis) wurden dabei unter Nutzung der

Landnutzungsdaten Stickstoffüberschüsse und der Phosphoreintrag in die Gewässer von 234 Betrachtungsräumen ermittelt. Die Saldenberechnungen für bestimmte Bedingungen ergaben bei Stickstoff vermeidbare Verluste von 0-40 kg N/ha Landnutzungsfläche.

Um die diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft zu senken, hat das Landesamt für Landwirtschaft (LfL) in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Umwelt daraufhin eine Liste grundlegender Maßnahmen zur Reduzierung diffuser Nährstoff- sowie Bodeneinträge erstellt. Dieser Maßnahmenkatalog „Gewässerschonende Landbewirtschaftung“ (Zusendung durch Dr. Wendland vom LfL) enthält Vorschläge zu Bewirtschaftungsmaßnahmen, Düngung, Fütterung, Technik sowie Beratung und eine Beurteilung ihrer potentiellen Verbesserungsmöglichkeiten der Belastungssituation der Gewässer bezüglich Stickstoff und Phosphor.

Nachfolgend sind einige der Maßnahmen mit großem und sehr großem Verbesserungspotential bezüglich der Reduzierung von Stickstoff (N)- bzw. Phosphorausträgen aufgeführt (P):

- Umwandlung von Ackerland in Grünland (N, P)
- Verzicht auf Grünlandumbruch (N, P)
- Hanglängen verkürzen (P)
- Anlage von begrünten Abflusswegen in Geländemulden (P)
- Begrenzung der Gülleausbringung (N, P)
- Ausbringungszeit von N-Dünger auf bestimmte Wuchsstadien beschränken (N)
- Ausreichender Abstand zu Gewässern (P)
- Ausreichend Güllelagerraum (N, P)
- Einzelbetriebliche Beratung (N,P)

Die LfL nimmt des weiteren eine Einschätzung vor, inwieweit grundlegende Maßnahmen wie die geänderte Düngeverordnung und Cross-Compliance-Maßnahmen zusammen mit strukturellen Änderungen in der Landwirtschaft eine Auswirkung auf die Reduktion von Nährstoff- und Bodeneinträgen haben.

### **7.1.7 Die Nitratstrategie der Schweiz**

Ausgearbeitet von der Arbeitsgruppe „Nitratstrategie Bund“ hat die Schweiz ein spezielles Agrarförderprogramm zur Verminderung der Nitratbelastungen aus der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung aufgelegt, um die Auswaschung von Nitrat aus offenem Ackerland ins Grundwasser in hinreichendem Maße zu reduzieren. Die Erfahrung der letzten Jahre hat in der Schweiz demnach gezeigt, dass kurzfristig die Nitratproblematik allein mit den bestehenden polizeirechtlichen Methoden (Verbote und Gebote) und den vom Bund geförderten freiwilligen Maßnahmen der Landwirtschaft (z. B. Extensivierung) nicht bewältigt werden kann. Auch Versuche mit differenzierter Nutzung und Anbauvorschriften ohne Abgeltung konnten in Anbetracht der heutigen Lage im agrarpolitischen Umfeld nicht zum Ziel führen. Zu wichtig sind die Ackerkulturen auch in der Schweiz für die Einkommenssicherung, und zu groß sind die potenziellen Einbußen für die einzelnen Bewirtschafteter.

Das „Konzept zur Verminderung der Nitratbelastungen aus der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung“ (NITRATSTRATEGIE SCHWEIZ 2003) sieht deshalb Gesetzesänderungen im Wasserrecht sowie eine überwiegende Bundesförderung unter Beteiligung der Kantone vor, um unter Beachtung der klimatischen, pedologischen und betrieblichen Verhältnisse in den Problemgebieten eine optimale und verlustausgleichende Förderung für Landwirtschaftsbetriebe in Grundwasserschutzgebieten zu realisieren. Prioritäten richten sich zudem nach der festgestellten Schwere der Nitratbelastung.

So sind unter anderem folgende Maßnahmen bzw. Anreizprogramme vorgesehen (Hinweis: 1 Schweizer Franken – Fr. - entspricht aktuell rund 0,62 Euro):

### 1. Maßnahmenpaket auf offener Ackerfläche

- Fr. 400,- pro ha und Jahr für ein vom Kanton festzulegendes Paket von produktionstechnischen Maßnahmen, davon Anteil Bund 50% (Fr. 200,-/ha).
- Fr. 400,- pro ha und Jahr für produktionstechnische Maßnahmen wie Übersaat, Untersaat, Direktsaat, Gründüngung oder Zwischenfutter, davon Anteil Bund 50% (Fr. 200,-/ha).

### 2. Wiesen im Projektgebiet

Diese Beiträge sollen den Anreiz geben, den Anteil der Wiesen im Projektgebiet mindestens gleich hoch zu halten oder zu erhöhen. Dazu werden alle Wiesen im Projektgebiet vergütet, das heißt bereits bestehende Wiesen, Wiesen, die ins Projektgebiet verlegt werden und neu angelegte Wiesen. Abgeltungsberechtigt sind ebenfalls mehrjährige Kunstwiesen, wenn sie zu den erforderlichen Maßnahmen gehören, um das belastete Grundwasser zu sanieren.

- Fr. 800,- pro ha und Jahr für Wiesen im Projektgebiet, davon Beitrag Bund: 80% (Fr. 640,-/ha).
- Fr. 1300,- pro ha und Jahr für Wiesen in empfindlichen Gebieten, davon Beitrag Bund 80% (Fr. 1.040,-/ha).

Ergänzende Finanzmittel für Strukturanpassungen der landwirtschaftlichen Betriebe können u. a. noch bis zu einem Zeitraum von 2 Jahren nach dem Förderbeginn beantragt werden, wenn unvorhergesehene finanzielle Belastungen entstehen, die zunächst nicht abschätzbar waren.

Allerdings scheint in der Schweiz im Moment noch kein flächendeckender Ansatz zu greifen, vielmehr sind eine Reihe von Pilotprojekten bewilligt, die teilweise bereits positive Ergebnisse zeitigen (vgl. z. B. <http://www.uvek.admin.ch>, <http://www.zambolandia.com>).

### 7.1.8 Schlussfolgerungen

Bei der Zusammenschau ausgewählter Förderansätze verschiedener Bundesländer sowie der Schweiz zeigen sich zwei grundsätzliche Ansätze für spezielle Agrarförderprogramme:

- (1) Es werden alle Maßnahmen gefördert, die nach Stand des Wissens positive Auswirkungen auf das Eintragungsgeschehen haben, d.h. zur Verminderung der Stoffeinträge beitragen. Dabei kann häufig von einer fachlichen Kongruenz zu naturschutzfachlichen Zielen ausgegangen werden, z. B. Gewässer- und Ackerrandstreifen, extensive Grünlandwirtschaft etc. (in Niedersachsen auch als „handlungsorientierte Maßnahmen“ bezeichnet).
- (2) Es werden Ansätze verfolgt, die sich an N-Salden orientieren, d.h. die Förderung von der konkreten Überprüfbarkeit landwirtschaftlicher Daten abhängig machen (in Niedersachsen auch als „ergebnisorientierte Maßnahmen“ bezeichnet).

Eine gute Kombination von Planungs- und Entscheidungsprozess mit dem Umsetzungs- und Vollzugsprozess und Erfolgskontrollen kann bei der Nitratstrategie der Schweiz unterstellt werden. Hier findet zudem eine Verbindung von wirksamen Rechtsänderungen (verpflichtende Rechtstatbestände) mit dem Ausgleich von Einkommenseinbußen bzw. Mindereinnahmen der Landwirtschaftsbetriebe statt – demnach das ergänzende Prinzip von Zwang und Belohnung.

## 7.2 Kulisse der Hauptbelastungsgebiete (hot spots)

Zur Definition bzw. Ableitung der Hauptbelastungsgebiete in Mecklenburg-Vorpommern erscheint es fachlich am nachvollziehbarsten, sich an Schwellenwerten der Belastung, ausgehend von den regionalen Differenzierungen in Kapitel 6.4, zu orientieren. Aus einer aktuellen Perspektive des Meeresschutzes ist dabei der in Kapitel 6 berechnete effektive Gebietsaustrag (flächennormierte Fracht) von hohem Belang, da er bereits die in dem jeweiligen Teilgebiet relevanten Prozesse von Nährstoffrückhalt bzw. –umsetzung integriert.

Mithin wäre für Schwellenwerte als flächenhafte Austragswerte zunächst eine auf den Meeresschutz ausgerichtete Betrachtung sachgerecht. Der "HELCOM Baltic Sea Action Plan - BSAP" (HELCOM 2007) gibt konkrete Reduktionsziele für Stickstoff und Phosphor aus dem Einzugsgebiet vor. Für flächenkonkrete Werte sind aber vor allem die Angaben zu maximalen noch verträglichen Immissionen (Ziel: guter ökologischer Status der Ostsee) eine gute Grundlage: ca. 21.000 t Phosphor und 600.000 t Stickstoff je Jahr aus Zuflüssen (im Wesentlichen Flussfrachten). Rechnet man diese Einträge zurück, indem man die Fläche des Ostsee-einzugsgebietes (1.720.270 km<sup>2</sup>) zugrunde legt, so erhält man folgende mittlere flächenhafte Austräge als Schwellenwert eines guten Zustands der Ostsee:

- bei P: ca. 12 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>
- bei N: ca. 350 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>

Fast auf gleiche Werte kommt man, wenn man die Anforderungen des BSAP für den Ostseebereich, zu dem die Flussgebiete Mecklenburg-Vorpommerns gehören (hier: Baltic Proper), rückrechnet: für P ca. 12 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, für N ca. 406 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. Angesichts dieser internationalen Meeresschutzanforderungen müssten (im Ostsee-einzugsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern) eigentlich alle Gebiete mit Austrägen oberhalb der genannten Flächenwerte als „Belastungsgebiete“ eingestuft werden. In den Abbildungen 7-1 und 7-2 wird dieser Bewertungsmaßstab im Ostsee-einzugsgebiet Mecklenburg-Vorpommerns angewandt.

Da für kurzfristige Maßnahmen und mit dem Hintergrund begrenzter finanzieller, personeller und organisatorischer Ressourcen ein nahezu flächendeckender Ansatz von Reduktionsmaßnahmen wohl kaum greifen kann, werden hier die Schwellenwerte, auch im Sinne von „Hauptbelastungsgebieten“, wesentlich höher angesetzt. Angesichts der Höhe der Austräge in den Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns und der augenfälligen regionalen Differenzierung erscheinen folgende Werte für Hauptbelastungsgebiete als sinnvolle Schwellen:

- ➔ für Stickstoff-Hauptbelastungsgebiete (N-hot-spots): 1.500 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> als Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007 oder Überschreitung von 2.000 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> in einem Einzeljahr des Bezugszeitraumes 2002-2007 (Festlegung auf Grund folgender Abschätzung: 60 kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> als DÜV-Zielvorgabe = 6.000 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>; davon ca. 50% Umsetzung/Rückhalt im Prozess Boden-Gewässer und ca. 50% Gebietsrückhalt/Umsetzung im Gewässersystem)
- ➔ für Phosphor-Hauptbelastungsgebiete (P-hot-spots): 25 kg km<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> als Mittel des Bezugszeitraumes 2002-2007 (einfache, schwellenwertbezogene Festlegung)

Angewandt auf die räumliche Kulisse in Mecklenburg-Vorpommern lassen sich damit die in den Abbildungen 7-3 und 7-4 dargestellten Hauptbelastungsgebiete identifizieren. Dabei umfassen die N-hot-spot-Flächen insgesamt 5.214,24 km<sup>2</sup> und die P-hot-spot-Flächen insgesamt 4.258,49 km<sup>2</sup>.

Im Rahmen der Regionalisierung der diffusen Grundwasserbelastungen in den Grundwasserkörpern wurden nitratspezifische Belastungsflächen mit einer Gesamtgröße von 2.100 km<sup>2</sup> (ca. 9% der Landesfläche) ausgewiesen (HYDOR 2005 bzw. KOLLATSCH et al. 2006). Diese Gebiete wurden nachfolgend noch einmal verifiziert (Abb. 7-5). Punktuell werden sehr deutliche Überschreitungen der natürlichen Werte, aber auch des gesetzlichen Grenzwertes

in Höhe von 50 mg NO<sub>3</sub>/l (= 11 mg N/l) festgestellt (gleichlautend in (EG-) Nitrat-Richtlinie, (EG-) Grundwasserrichtlinie und deutscher Trinkwasserverordnung). Diese Grundwasser-Belastungsgebiete können räumlich mit den Oberflächengewässer-Belastungsgebieten Stickstoff der Abbildung 50 überlagert („verschnitten“) werden, um so zu übergreifenden Stickstoff-Hauptbelastungsgebieten der Oberflächengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern zu gelangen (Abb. 7-6). Allerdings sollten sich an Belastungsgebiete gekoppelte Maßnahmen (s. im Folgenden) streng an den differenzierten Belastungsklassen orientieren, da die Kausalität und der unterschiedliche Prozesscharakter dezidierte Maßnahmen erfordern.

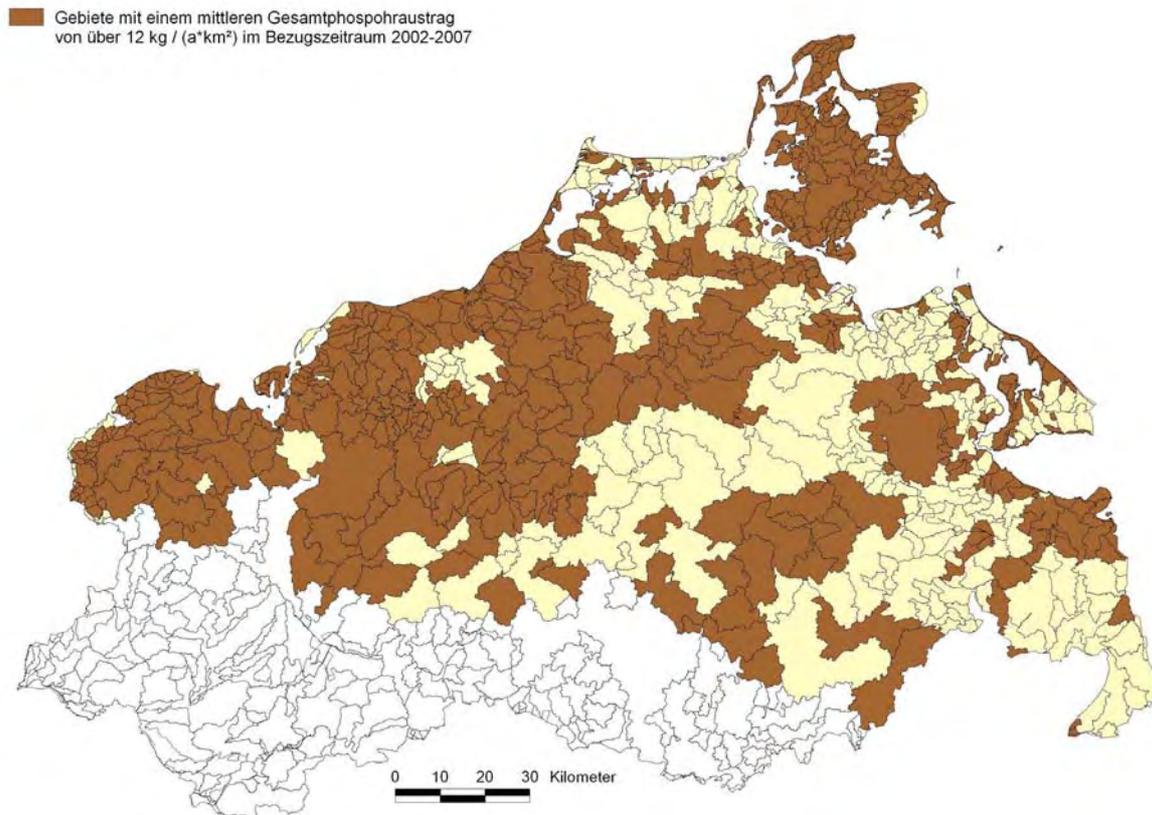


Abbildung 7-1: Bewertung der mittleren teilgebietsbezogenen Phosphorausträge des Bezugszeitraumes 2002 bis 2007 aus dem Ostsee Einzugsgebiet Mecklenburg-Vorpommerns im Hinblick auf die Anforderungen des HELCOM Baltic Sea Action Plans (HELCOM 2007)

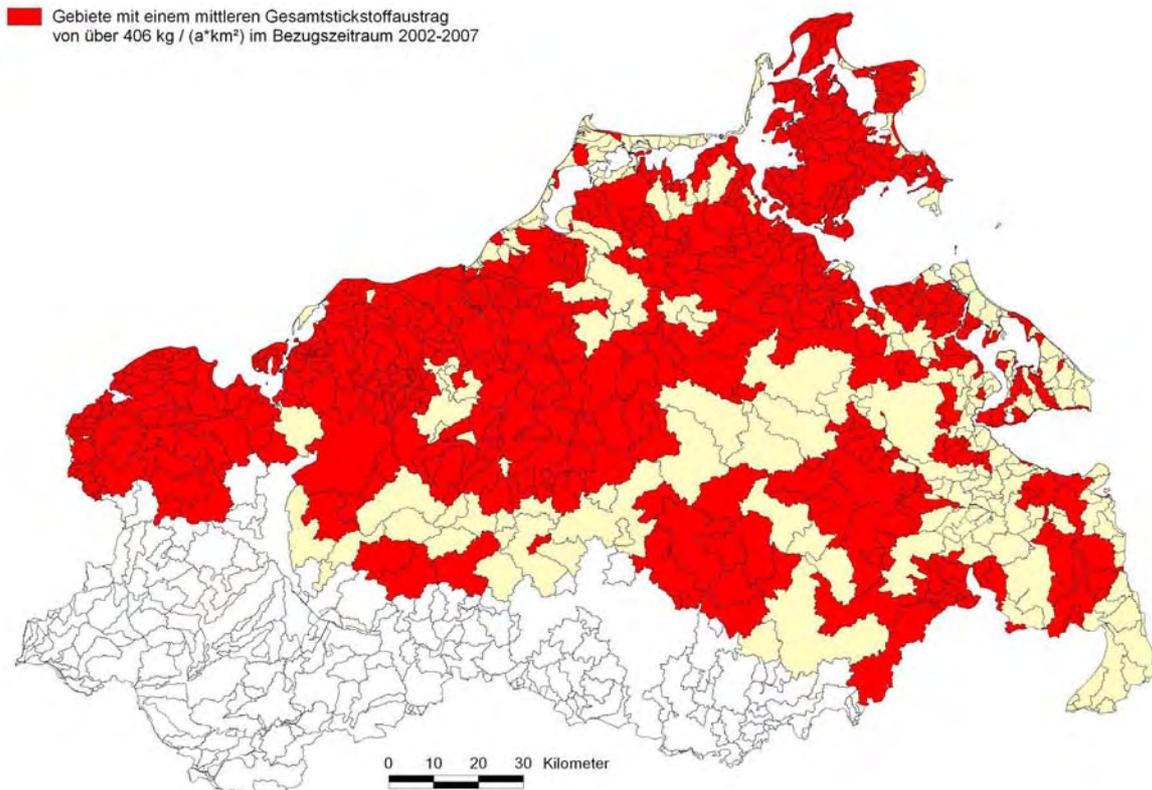


Abbildung 7-2: Bewertung der mittleren teilgebietsbezogenen Stickstoffausträge des Bezugszeitraumes 2002 bis 2007 aus dem Ostsee-einzugsgebiet Mecklenburg-Vorpommerns im Hinblick auf die Anforderungen des HELCOM Baltic Sea Action Plans (HELCOM 2007)

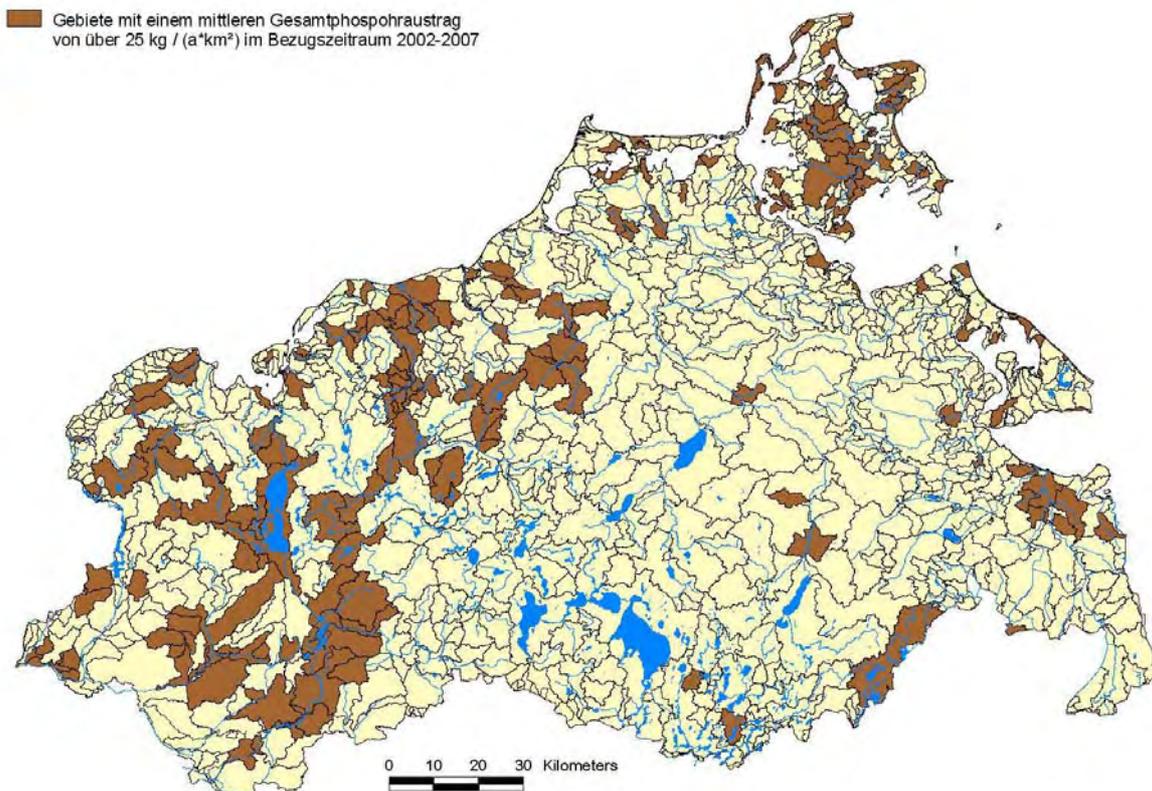


Abbildung 7-3: Phosphor-Hauptbelastungsgebiete der Oberflächengewässer in Mecklenburg-Vorpommern

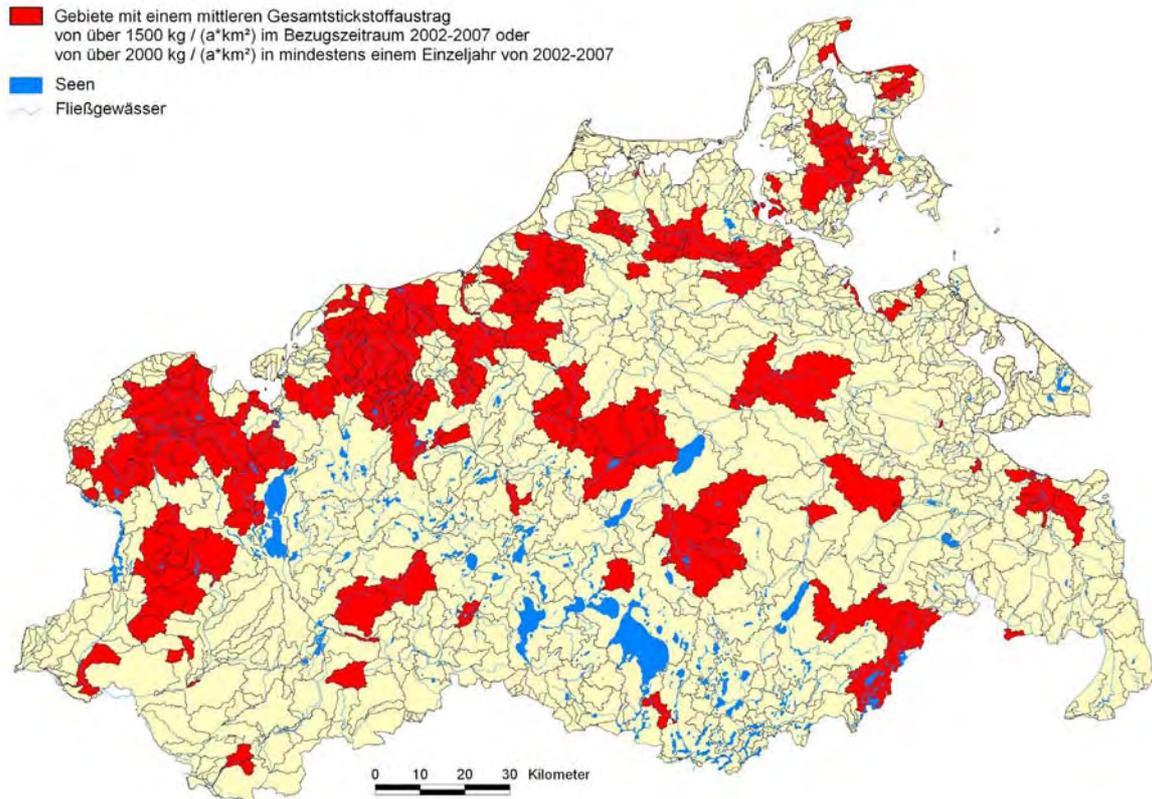


Abbildung 7-4: Stickstoff-Hauptbelastungsgebiete der Oberflächengewässer in Mecklenburg-Vorpommern

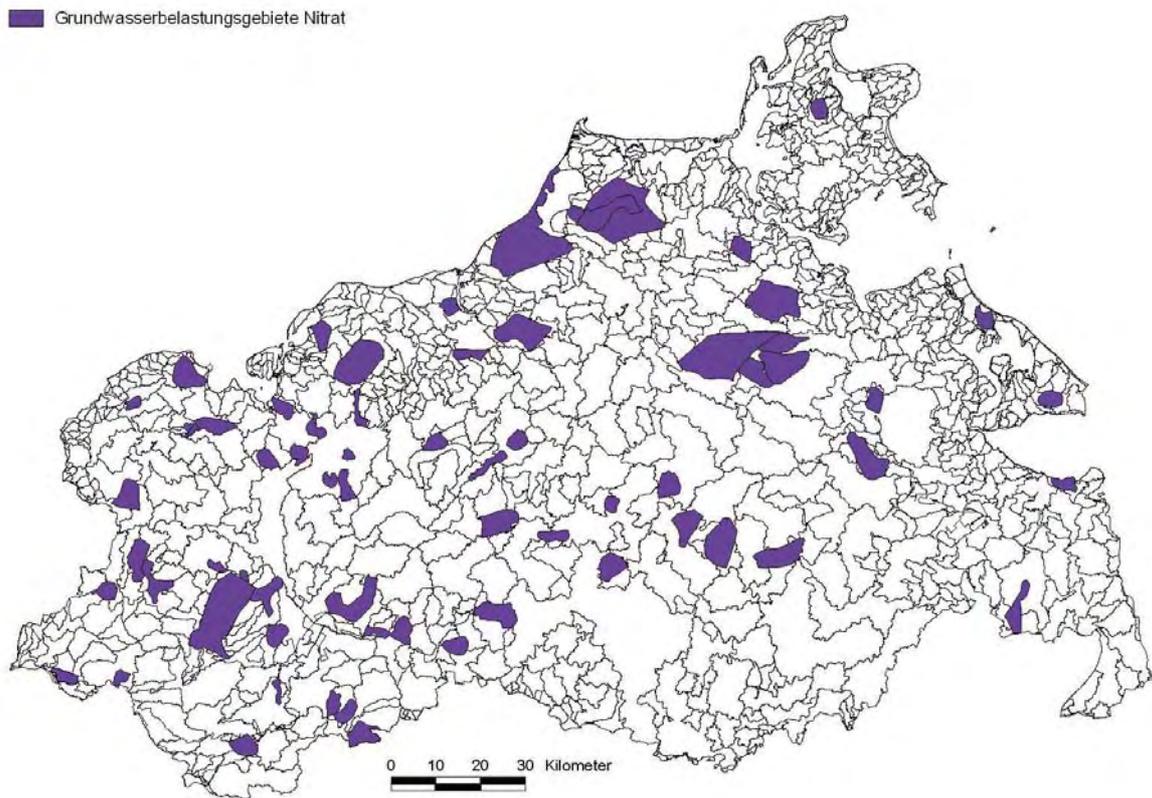


Abbildung 7-5: Grundwasser-Hauptbelastungsgebiete (Nitrat) in Mecklenburg-Vorpommern

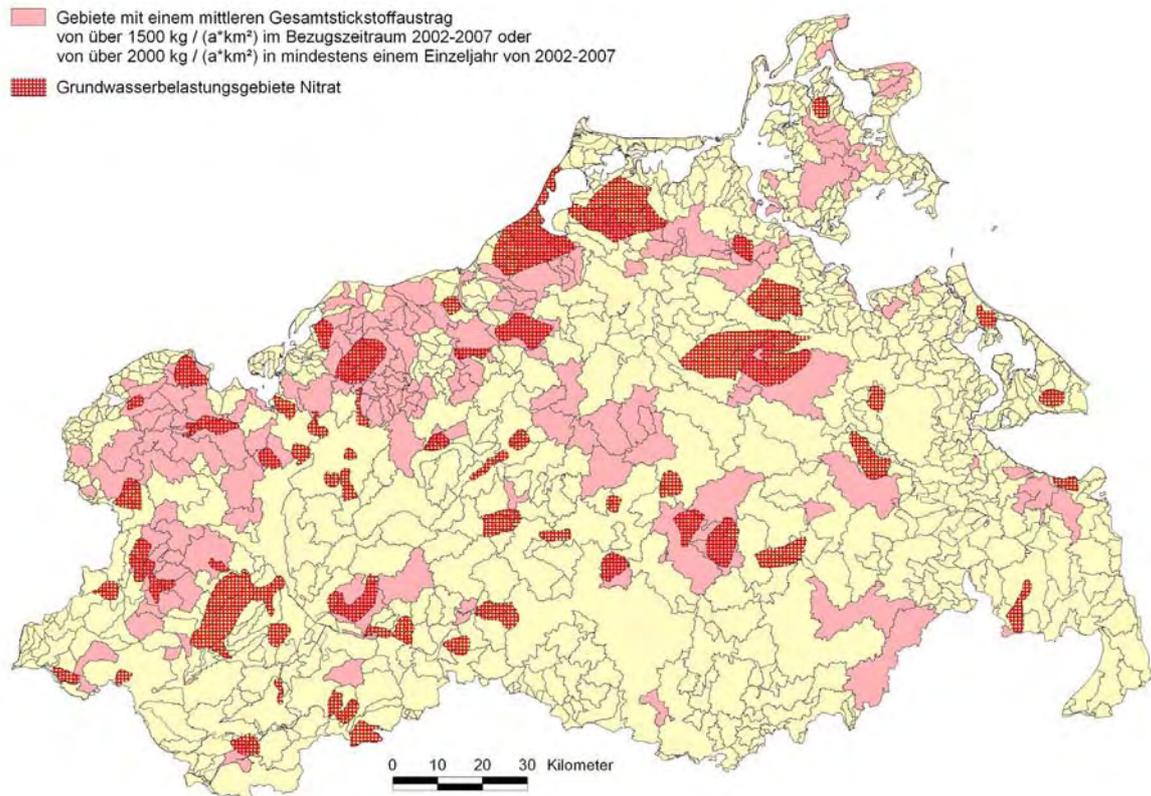


Abbildung 7-6: Stickstoff-Hauptbelastungsgebiete der Oberflächengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern

## 7.3 Auswahl, Quantifizierung und Priorisierung geeigneter Maßnahmen

### 7.3.1 Grundlagen

Eine Maßnahmenableitung zur Verminderung der Nährstoffbelastung sollte vom Grundsatz getragen sein, dass ressourcen- und umweltschonendes Handeln im Sinne eines Nachhaltigkeitsansatzes verbunden wird mit gleichzeitiger Absicherung der ökonomischen Tragfähigkeit. Dabei kann und sollte ein Ausgleich für ökonomische Nachteile aber nur dann erfolgen, wenn Anforderungen und Maßnahmen über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen (WHG und LWaG, DüV etc.).

Eine Verringerung der atmosphärischen Depositionsraten wäre im Interesse vieler Ökosysteme, lässt sich aber nicht oder in nur sehr geringem Umfang durch Maßnahmen in der Verantwortung eines Bundeslandes erreichen. Von daher wird dieser Aspekt hier ausgelammert.

Bei den Punktquellen kann davon ausgegangen werden, dass bei den behördlich überwachten Kläranlagen der Stand der Technik grundsätzlich allerorten gegeben ist. Entsprechend KABwVO M-V wurden die Küstengewässer der Ostsee und die Einzugsgebiete der oberirdischen Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern als empfindliche Gebiete im Sinne von Artikel 5 und Anhang II der Kommunalabwasserrichtlinie eingestuft, so dass verpflichtende Gebote zum Anschluss an zentrale Abwasserkanalisationen und erhöhte Qualitätsanforderungen an einzuleitendes Abwasser und damit die Abwassertechnik seit Jahren bestehen. Die Umsetzung der Kommunalabwasserrichtlinie kann für Verdichtungsgebiete mit 2.000 Einwohnerwerten und mehr als anlagenkonkret und vorfristig erfolgt angesehen werden (LUNG M-V 2007a). Ergebnisse zum Nährstoffabbaugrad der Kläranlagen im Jahr 2007 im DWA-

Landesverband Nord-Ost zeigen BARJENBRUCH & SCHÜLER (2007): im einwohnergewichteten Mittel 88% Abbaugrad bei Stickstoff sowie im einwohnergewichteten Mittel 97% Abbaugrad bei Phosphor. Dies zeigt den hohen technischen Stand der zentralen Abwasserentsorgung.

Problematischer erscheint dagegen die Situation bei den Kleinkläranlagen, vornehmlich im ländlichen Raum. Die noch betriebenen Mehrkammergruben erfüllen die heutigen gesetzlichen Anforderungen nicht mehr und müssen deshalb innerhalb angemessener Fristen nachgerüstet werden. Seit Änderung der Abwasserverordnung im Jahr 2002 unterliegen auch Kleinkläranlagen den Anforderungen der Größenklasse 1 des Anhang 1 (CSB < 150 mg/l, BSB<sub>5</sub> < 40 mg/l). Die technischen Grundlagen und Hinweise für Bemessung, Bau und Betrieb von Kleinkläranlagen sind neben den bekannten Arbeitsblättern des DWA vor allem in der neuen DIN EN - Normenreihe 12566 dargestellt. Ferner sollte bei wasserrechtlichen Einleitgenehmigungen bei Kleinkläranlagen künftig, insbesondere bei entsprechender regionaler Bedeutung, stärker der Immissionsansatz greifen, um den ökologischen Belangen der Gewässer bzw. dem Grundwasserschutz entsprechend gerecht zu werden, vgl. SEYLER (2008). Diese müsse neue Anforderungen an Kleinkläranlagen in Abhängigkeit der Einleitungsart (Grundwasser oder Oberflächengewässer) ebenso wie entsprechende technische Konzepte, Lösungen bezüglich Denitrifikation und/oder Phosphoreliminierung beinhalten. Mithin sollten hierzu verbindliche Regelungen erarbeitet und eingeführt werden.

Gewisse Reserven für eine Eintragsminderung bestehen regional und örtlich noch bei der technischen Gestaltung von Kanalnetzen, insbesondere im Hinblick auf Mischwasserüberläufe. Hier sollte auf der regionalen Ebene der Abwasserentsorgungspflichtigen nach Lösungsmöglichkeiten gesucht werden.

Insgesamt sind vor allem Maßnahmen in der freien Landschaft sowie bei der Landbewirtschaftung von hohem Belang. Dies gilt vordergründig beim Stickstoff, wo die Gewässerschutzdefizite als besonders hoch einzuschätzen sind.

Im Bereich der Landwirtschaft liegt mit der DüV-Novelle aus 2007 erstmalig ein Aktionsprogramm vor, das den Anspruch erhebt, die Vorgaben der EU-Nitratrichtlinie vollständig umzusetzen. Die Neuerungen enthalten auf jeden Fall erhebliche Fortschritte gegenüber der bisherigen Regelung (OSTERBURG & RUNGE (2007):

- Die Ausbringungsobergrenzen für Stickstoff aus tierischen Ausscheidungen wurden generell auf 170 kg/ha festgelegt. Auf Grünland galten bisher pauschal 210 kg. Die Ausnahmeregelung für höhere Ausbringungsmengen ist an strenge Auflagen geknüpft.
- Erstmals wurde eine Mindestlagerdauer für Gülle von 6 Monaten festgelegt.
- Für die Berechnung von Stickstoff aus tierischen Ausscheidungen wird die bisherige Vielfalt unterschiedlicher Ausscheidungswerte durch einen bundesweit einheitlichen Wertekatalog abgelöst.
- Die Regelannahme der Einhaltung der Guten fachlichen Praxis bei der Düngung gilt künftig nur, wenn die N- und P-Salden unterhalb der Schwellenwerte nach § 6 (2) DüV liegen:

„(2) Soweit der betriebliche Nährstoffvergleich nach § 5 Abs. 1

1. für Stickstoff einen betrieblichen Nährstoffüberschuss nach Anlage 8 Zeile 10 im Durchschnitt der drei letzten Düngejahre
  - a) in den 2006, 2007 und 2008 begonnenen Düngejahren von über 90 Kilogramm Stickstoff je Hektar und Jahr,
  - b) in den 2007, 2008 und 2009 begonnenen Düngejahren von über 80 Kilogramm Stickstoff je Hektar und Jahr,
  - c) in den 2008, 2009 und 2010 begonnenen Düngejahren von über 70 Kilogramm Stickstoff je Hektar und Jahr oder

d) in den 2009, 2010 und 2011 und später begonnenen Düngejahren von über 60 Kilogramm Stickstoff je Hektar und Jahr

oder

2. für Phosphat ( $P_2O_5$ ) einen betrieblichen Nährstoffüberschuss nach Anlage 8 Zeile 10 im Durchschnitt der sechs letzten Düngejahre von über 20 Kilogramm je Hektar und Jahr nicht überschreitet (Anm.: entspricht ca. 8,7 Kilogramm Phosphor je Hektar und Jahr), wird vermutet, dass die Anforderungen des § 3 Abs. 4 (Anm.: Regelannahme der Einhaltung der „guten fachlichen Praxis“ bei der Düngung) erfüllt sind.“

Damit ist eine Absenkung der Nährstoffüberschüsse in Mecklenburg-Vorpommern, verstärkt in Teilräumen mit aktuell höheren Salden (s. Kapitel 4.3.2), mittelfristig zu erwarten. Generell übertreffen für das Bezugsjahr 2006 die Salden für Phosphor und für Stickstoff landesweit und bis auf wenige Ausnahmen die DüV-Vorgaben. Offensichtlich bildet aber nach § 10 (7) DüV (Ordnungswidrigkeiten) nur die Nichtvorlage eines Nährstoffvergleiches, aber nicht die Nichterfüllung desselben eine Ordnungswidrigkeit, was die rechtliche Handhabung der DüV in diesem Punkt als wenig wirkungsvoll erscheinen lässt und Zweifel an der praktischen Wirkung rechtfertigt. Zudem sind weitere Aspekte zu bedenken:

*„Werden bei der Bewertung der N-Bilanzen die Selbsteinschätzung der Betriebsleiter nicht überprüft oder pauschale Werte z. B. für Grünland- und Maiseerträge sowie andere pflanzliche Erträge in Ansatz gebracht, können hohe Annahmen zur N-Abfuhr den rechnerischen N-Saldo deutlich senken. Dadurch würden die Vorgaben der DüV zu maximalen Bilanzüberschüssen an Wirkung verlieren. Hintergrund für diese potentielle Schwäche des DüV-Ansatzes ist die Vorgabe, der Bewertung Flächen-/Stall- oder summierte Schlagbilanzen zugrunde zu legen und keine Hoftorbilanzen. Letztere werden aus Sicht des Wasserschutzes als deutlich aussagekräftiger und weniger manipulierbar eingestuft. Da keine Hoftorbilanzen zur Bewertung nach DüV genutzt werden, sollten die Flächen-/ Stall-Bilanzen bzw. Schlagbilanzen einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden. Ohne eine solche Plausibilitätsprüfung dürfte die DüV als „grundlegende Maßnahme“ weitgehend wirkungslos bleiben, und die Vorgaben würden dann lediglich bürokratische Lasten verursachen. Überschätzungen der pflanzlichen N-Abfuhr über Verkaufsprodukte mit weit überdurchschnittlichen Erträgen oder innerbetrieblich erzeugte Futtermengen und entsprechend hohe N-Entzüge, denen keine entsprechenden Tierbestände gegenüber stehen, können jedoch auf relativ einfache Weise und ohne hohe bürokratische Zusatzkosten begrenzt werden.“*

*Im Hinblick auf die DüV als grundlegende Maßnahme ist zu berücksichtigen, dass der ergebnisorientierte Ansatz nach § 6 zur nach „guter fachlicher Praxis“ maximal zulässigen Höhe der Netto-N-Salden ein systematisches Problem für die künftige Agrarumweltförderung aufwirft. Letztere erfolgt bisher weitgehend handlungsbezogen, also unter Vorgabe bestimmter technischer Auflagen, die Maßnahmen können aber in ihrer Wirkung zur Erreichung des N-Bilanzziels gemäß DüV beitragen. Zur Erreichung der Zielvorgaben der DüV müssen landwirtschaftliche Betriebe künftig auf eigene Kosten technischorganisatorische Maßnahmen ergreifen, wie sie in den Maßnahmenblättern beschrieben sind, wenn sie die DüV-Vorgaben auf andere Weise nicht einhalten können.*

*Eine klare Abgrenzung, was ergebnisorientiert über die DüV als Ordnungsrecht ohne Kompensation von landwirtschaftlichen Betrieben verlangt wird und wofür sie darüber hinaus im Rahmen der Freiwilligkeit gefördert werden können, wird künftig aufgrund der Vermischung von Ergebnis- und Handlungsorientierung problematisch werden. Eigentlich müsste zunächst geprüft werden, ob ein Betrieb auch ohne Förderung die DüV-Ziele erreicht, bevor eine Fördermaßnahme bewilligt wird. Da viele Betriebe fortlaufend in mehrjährigen Fördermaßnahmen eingebunden sind, gibt es aber oftmals keine klare Referenz für eine solche Überprüfung. Zur Schaffung von Rechtssicherheit*

*und zur Stärkung der freiwilligen Förderansätze ist hier ein pragmatisches Vorgehen erforderlich, auch um die Akzeptanz freiwilliger Ansätze nicht zu schwächen. Das Vorgehen muss jedoch auch gegenüber der EU-Kommission gerechtfertigt werden können, die darüber wacht, dass mit der EU-kofinanzierten Agrarumweltförderung keine ordnungsrechtlichen Vorgaben auf Grundlage der EU-Nitratrichtlinie kompensiert werden.“*

(OSTERBURG & RUNGE 2007, S. 118-119)

Eine gute praktische Grundlage für die DüV-Umsetzung durch die Agrarbetriebe bildet die gemeinsame Beratungsempfehlung der Länder Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern (KAPE et al. 2007). Modellgestützte Düngerempfehlungen können zudem, zunächst vorzugsweise in Hauptbelastungsgebieten, beitragen, Düngerhöhe und –zeitpunkt optimal zu bestimmen. So ist z. B. die aktuelle Praxis der Stickstoffbedarfsanalyse (SBA) dagegen weitgehend statisch, da die Dynamik des komplexen Bodenstickstoffhaushalts in der Vegetationsperiode keine Berücksichtigung erfährt. Hingegen müssen als Grundlage einer optimalen Düngungsberatung Informationen zum witterungsabhängigen Bodenwasserhaushalt mit vorliegen und bewertet werden (MIEGEL & ZACHOW 2006). Stickstoffhaushaltsmodelle, wie das an der Universität Rostock eingesetzte Modell MINERVA, ermöglichen die Ermittlung betriebsfallbezogener, optimaler Düngergaben und können ausweislich entsprechender Ergebnisse entscheidend dazu beitragen, dass trotz verminderter (aber zeitlich optimierter) Düngergaben gleichbleibende Erträge bei gleichzeitig geringeren N-Bilanzüberschüssen zu verzeichnen sind. MIEGEL & ZACHOW (2006) konnten bei solchen MINERVA-Untersuchungen Einsparungen beim Düngeraufwand nachweisen, die bei 74% der Kombinationen aus Standortbedingungen und Fruchtart zwischen 20 und 55 kg N ha<sup>-1</sup> lagen.

Von der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Landbauforschung Völkenrode (jetzt Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei) wurde im Ergebnis von Sonderforschungsprojekten (teilweise im Auftrag der LAWA) eine umfangreiche Schrift „Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie“ veröffentlicht (OSTERBURG & RUNGE 2007). Enthalten in diesem Sonderheft sind folgende Beiträge:

- I. Kosteneffiziente Maßnahmenkombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft
- II. Bewertung der ökologischen Wirksamkeit und Eignung von technisch-organisatorischen Wasserschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft
- III. Wasserschutzwirkung von Agrarumweltmaßnahmen – Statistische Auswertung von Herbst-N<sub>min</sub>-Werten aus niedersächsischen Wassergewinnungsgebieten
- IV. Analysen zur Wirksamkeit der Agrarumweltförderung auf die Senkung von N-Salden
- V. Analysen zur Düngeverordnung-Novelle vom Januar 2006

Der Schwerpunkt der Veröffentlichung bilden solche technisch-organisatorischen Wasserschutzmaßnahmen in der Landwirtschaft, die eine Reduktion der Stickstoffemissionen zum Ziel haben. Ein Hauptaugenmerk der Betrachtungen liegt dabei auf einer möglichst günstigen Kostenwirksamkeit der einzelnen Maßnahmen und Maßnahmengruppen. Diese Ausarbeitungen können aufgegriffen werden. Zudem liegt aktuell vom Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern ein Maßnahmenkatalog zur Verringerung diffuser Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern vor (LUNG M-V 2007c, Stand: 31.12.2007), auf den im Folgenden explizit eingegangen wird. Dabei war der für Mecklenburg-Vorpommern spezifisch hohe Anteil der diffusen Quellen an der Gesamt-N-Fracht in die Gewässer Veranlassung, einen landesspezifischen Maßnahmenkatalog zur Verringerung diffuser Nährstoffeinträge im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion zu erarbeiten. Der vorliegende Katalog ist in Zusammenarbeit

von Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Landwirtschaftlicher Fachbehörde Mecklenburg-Vorpommern und Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern entstanden. Eine Untergliederung der Maßnahmekomplexe erfolgt dabei in

- (1) allgemeine Maßnahmen, Maßnahmegruppe Landwirtschaft,
- (2) allgemeine Maßnahmen, Maßnahmegruppe Wasserbau (-wirtschaft) und
- (3) fruchtartenspezifische Maßnahmen.

Die grundsätzliche Vorgehensweise ist u. a. angelehnt an den o. g. Bericht „Kosteneffiziente Maßnahmekombinationen nach Wasserrahmenrichtlinie zur Nitratreduktion in der Landwirtschaft“ (OSTERBURG & RUNGE 2007). Aufgrund des Phosphor-Status im Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen wurden P-relevante Maßnahmen nicht in den Katalog aufgenommen.

Im Komplex „Fruchtartenspezifische Maßnahmen“ liegt der Schwerpunkt bei den Hauptkulturen Getreide (Winterformen), Raps, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Feldgras (Ackerfuttergras) und Feldgemüse. Die Maßnahmen sind bei diesen Arten bzw. Artengruppen differenziert in Abhängigkeit von der Bodengüte „leicht, mittel und schwer“ im Katalog enthalten und als Maßnahmen „vor, während und nach dem Anbau“ beschrieben.

Angaben zu den Maßnahmen beziehen sich auf

- die Effekte (N-Verlustminderung und Kosten der Minderung im Produktionsprozess),
- die Notwendigkeit ergänzender Maßnahmen bei der Umsetzung (Vergleich zu guter fachlicher Praxis wird vorgenommen), Handlungsbedarf auf Landesebene,
- das N-Minderungspotenzial der Landwirtschaft.

Grundsätzlich sind Maßnahmen auf der Immissionsseite (Maßnahmegruppe Wasserbau/-wirtschaft) im Allgemeinen hoch kohärent zu Umsetzungsmaßnahmen von WRRL- und FFH-Richtlinie, so dass sich hier erhebliche und kostenmindernde Synergien ergeben (insbesondere Maßnahmenfinanzierung über die FöRiGeF).

### **7.3.2 Maßnahmen auf der Emissionsseite**

#### **7.3.2.1 Gebietskulisse für landwirtschaftliche Förderprogramme bzw. förderpolitische Instrumente**

Die Gebietskulisse für landwirtschaftliche Förderprogramme kann insbesondere ausgehend von den hot-spot-Gebieten (Kap. 7.2) abgeleitet werden. Hierzu zählen die Hautbelastungsgebiete für die Oberflächengewässer sowie die Stickstoff-Hauptbelastungsgebiete des oberflächennahen Grundwassers.

Dabei wird vorgeschlagen, „allgemeine belastungsmindernde landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen“ (Tab. 7-6 in Kapitel 7.3.2.2) und „fruchtartenspezifische belastungsmindernde landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen“ (Tab. 7-7 in Kapitel 7.3.2.3) für die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in Mecklenburg-Vorpommern und in den Hauptbelastungsgebieten zusätzlich „zielwertbestimmte landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen“ (Kapitel 7.2.2.4) im Rahmen von Agrarfördermaßnahmen vorzuhalten. Dieser Kombinationsansatz wird vom Grundgedanken getragen, dass generelle („allgemeine“) Maßnahmen zur Verminderung der Grundwasser- und Gewässerbelastung allerorten greifen sollten, wohingegen in den identifizierten Hauptbelastungsgebieten darüber hinaus gehende und an Indikatoren überprüfbare Maßnahmen durchgeführt werden sollten. Die konkrete Ausgestaltung einer Förderung, insbesondere die Höhe von Ausgleichszahlungen, sollte sich an den ökonomischen Auswirkungen für die Agrarbetriebe orientieren. Zahlungsansprüche sollten auf jeden Fall erst einsetzen dürfen, wenn Regelungen über die „gute fachliche Praxis“ hinausgehen.

7.3.2.2 Allgemeine belastungsmindernde landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen

Tabelle 7-6: Allgemeine Maßnahmen, Maßnahmegruppe Landwirtschaft (ergänzt nach LUNG M-V 2007c)

Landwirtschaftliche Tätigkeit/ Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Einschätzung der Betroffenheit für MV ha	Effekt / Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	Grundlegende oder ergänzende Maßnahme?		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich	Handlungsbedarf auf Landesebene
						gute fachliche Praxis	über gute fachliche Praxis hinaus				
Zwischenfruchtanbau	Zwischenfruchtanbau (leguminosiefrei), Umbruch frühestens ab 15.02. oder 01.03., keine Beweidung	Flächen mit hohem spezifischem Nitrataustrag und N-Bilanz-Überschuss $\geq 50$ kg/ha; erosionsgefährdete Flächen		Förderung der Rest-N Aufnahme	10-50	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	
Untersaaten	Graseinsaat in bestehende Deckfrucht, keine Düngung nach Ernte der Hauptfrucht, frühester Umbruch ab 15.02., keine Beweidung	Flächen mit hohem spezifischem Nitrataustrag und N-Bilanz-Überschuss $\geq 50$ kg/ha; erosionsgefährdete Flächen		Förderung der Rest-N Aufnahme Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	5-20	ja	ja	80	Graseinsaat	ja	
Flächenbegrünung	Zeiträume ohne Pflanzenbestand bzw. unbestellt nicht länger als 14 Tage von September - Oktober und März - Mai	Flächen mit Hangneigung		Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	5-20	ja	ja	80	Begrünung	ja	
N-Mineraldüngungsverfahren	Verbesserte N-Mineraldüngerausbringungstechnik (Exaktstreuer)	alle landwirtschaftlichen Flächen		Verbesserung der N-Verteilung auf der Fläche	0-10	ja	ja		Förderung der Einsatzflächen der speziellen Düngetechnik	ja	
N-Mineraldüngungsverfahren	Anwendung der Injektionsdüngung	Trockengebieten mit unsicherer Wirkung geteilter N-Gaben erosionsgefährdete Flächen		Verringerung von N-Überhängen Vermeidung von N-Aus- und Abträgen Verbesserung der N-Verteilung auf der Fläche	10-20	nein		25-50	Förderung der Einsatzflächen der speziellen Düngetechnik	ja	
N-Mineraldüngungsverfahren	Teillächenspezifische Düngung,	auf heterogenen Flächen		Verringerung des N-Überhangs Verbesserung der N-Effizienz	0-10		ja	10-250	Förderung des zusätzlichen Aufwandes	ja	Anwenderseminare
N-Mineraldüngungsverfahren	Ammoniumbetonte N-Düngung mit speziellen Düngemitteln (stabilisierte oder ATS-haltige)	Trockengebieten mit unsicherer Wirkung geteilter N-Gaben		Verringerung von N-Überhängen Vermeidung von N-Aus-	10-20	ja				nein	

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/ Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Einschätzung der Betroffenheit für MV ha	Effekt / Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	Grundlegende oder ergänzende Maßnahmen?		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/ Förderung erforderlich	Handlungsbedarf auf Landesebene
						gute fachliche Praxis	über gute fachliche Praxis hinaus				
				und Abträgen							
Wirtschaftsdüngereinsatz	Wirtschaftsdüngermanagement im Betrieb (Stall, Lagerung): Abdeckung des Güllelagers, befestigte Laufflächen rund um den Stall, Schaffung von Lagerkapazität für Gülle > 6 Monate	alle viehhaltenden Betriebe		Reduzierung der NH <sub>3</sub> -Emissionen Optimierung der zeitlichen N-Bereitstellung Verbesserung der N-Effizienz	0-10	ja	ja		Erhöhung der Lagerkapazität	ja	Schaffung von Lagerkapazitäten
Wirtschaftsdüngereinsatz	Einsatz von gewässerschonender Ausbringungstechnik Schleppschlauch, Schleppschuh (AL und GL), Schlitztechnik (AL)	alle landwirtschaftlichen Flächen		Ersatz von mineralischem N-Dünger durch Verbesserung der N-Ausnutzung aus Wirtschaftsdüngern	0-20	ja	ja	15-35	Förderung der Anwendungsfäche	ja	Förderung der Anwendungsfläche
Wirtschaftsdüngereinsatz	Einsatz einer Exaktstreutechnik für Festmist	alle landwirtschaftlichen Flächen im Falle von N-Bilanzüberschüssen ≥50 kg/ha		Ersatz von mineralischem N-Dünger durch Verbesserung der N-Ausnutzung aus Wirtschaftsdüngern	5-10	ja	ja	35	Förderung der Anwendungsfäche	ja	Förderung der Anwendungsfläche
Wirtschaftsdüngereinsatz	mengenmäßige und zeitliche Begrenzung des Einsatzes von Festmit (200 dt/ha/a) (keine Ausbringung 01.10. -31.12.)	alle landwirtschaftlichen Flächen		Ersatz von mineralischem N-Dünger durch Verbesserung der N-Ausnutzung aus Wirtschaftsdüngern	5-10	ja	ja	35	Erhöhung der Lagerkapazität	ja	Schaffung von Lagerkapazitäten
Wirtschaftsdüngereinsatz	zeitliche Begrenzung des Einsatzes von flüssigen Wirtschaftsdüngern, Geflügelkot und Gärresten nach der Ernte der Hauptfrucht, Raps und Zwischenfrüchte bis 15.09., Grünland bis 31.09., Stroh-düngung bis 15.09.	alle landwirtschaftlichen Flächen		Vermeidung hoher Herbst-Nmin-Werte	5-30	ja	ja	10-30	Erhöhung der Lagerkapazität	ja	Schaffung von Lagerkapazitäten
Wirtschaftsdüngereinsatz	Nährstoffanalysen in Wirtschaftsdüngern zur Unterstützung der Düngeplanung	alle viehhaltenden Betriebe		Ersatz von mineralischem N-Dünger durch Verbesserung der N-Ausnutzung aus Wirtschaftsdüngern	10	ja	ja	200 € je Betrieb		ja	Gülleanalyseprogramm
Wirtschaftsdüngereinsatz	N-reduzierte Fütterung bei Schweinen und Geflügel	alle viehhaltenden Betriebe		Verminderung der N-Ausscheidungen	<5	ja	ja		Verstärkung der Beratung	ja	Beratungskosten

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/ Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Einschätzung der Betroffenheit für MV ha	Effekt / Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	Grundlegende oder ergänzende Maßnahmen?		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich	Handlungsbedarf auf Landesebene
						gute fachliche Praxis	über gute fachliche Praxis hinaus				
Landnutzungsänderung	mehnjährige Feldgrasbewirtschaftung >4 Jahre Vertragsdauer 4,5 Jahre, mindestens 1 Schnitt pro Jahr mit Abfuhr, keine Beweidung, max. N-Düngung 140 kg/ha	Regionen mit vorwiegend Ackerbau und vermehrten Grünlandumbrüchen und hohem spezifischen Nitrat-Auswaschungspotenzials		Minderung des N-Verlustpotenzials durch mehrjährigen Pflanzenbewuchs	40 kg/ha* <sup>a</sup> auf Sandboden	ja	ja	400		ja	
Landnutzungsänderung	Umwandlung von Ackerland in Grünland, dauerhaft	Niedermoor- und Anmoorstandorte		Minderung des N-Verlustpotenzials durch mehrjährigen Pflanzenbewuchs	40	ja	ja	400	Grünlandansaat	ja	
Landnutzungsänderung	Extensivierung der Grünlandbewirtschaftung	Grünlandflächen mit hohem Grundwasserstand, Niedermoor- und Anmoorstandorte		Vermeidung von N-Überhängen	40	ja	ja	200	Verlustrausgleich	ja	
Landnutzungsänderung	Umwandlung von Ackerland in Grünland an Gewässern, extensive Nutzung, Breite mindestens 10-20 m, keine Beweidung, Abfuhr des Mähgutes	Einzugsgebiet belasteter und gefährdeter Fließgewässer		Nutzung der Pufferwirkung von Randstreifen zur Vermeidung/Verringerung direkter Nährstoffeinträge in Oberflächengewässer	10 - 15	ja	ja	100	Aufwandsentschädigung, Verlustrausgleich	ja	
Landnutzungsänderung	Anlage von Gewässerrandstreifen mit Feldgehölzen auf Acker- und Grünland, Mindestbreite 10 m, Umtriebszeit 2 bis max. 20 Jahre, Nährstoffabfuhr durch energetische Nutzung	erosionsgefährdete Flächen		Vermeidung oberflächigen N-Abtrages Nutzung der Filterwirkung des Baumbestandes durch den mehrjährigen Pflanzenbewuchs und seine hohe Transpirationsleistung zur Verringerung der N-Auswaschung	<10 kg/ha	ja	ja	25	Vermarktungswege schaffen	ja	Förderprogramm
Flumeuordnung	Bei der Neuordnung von Flurstücken mit Oberflächen- bzw. Fließgewässern muss die Möglichkeit der Anlage von Gewässerrandstreifen grundsätzlich erhalten bleiben	Gefährdete Fließgewässer				ja					Landesprogramm

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/ Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Einschätzung der Betroffenheit für MV ha	Effekt / Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	Grundlegende oder ergänzende Maßnahmen?		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich	Handlungsbedarf auf Landesebene
						gute fachliche Praxis	über gute fachliche Praxis hinaus				
Betriebs-/ Produktionssystem und -management	Ausdehnung des ökologischer Landbaus	alle landwirtschaftlichen Flächen		Verminderung von N-Überhängen	20			170	Umstellungsaufwand fördern	ja	
Betriebs-/ Produktionssystem und -management	Schlagkarteiführung zur Dokumentation aller acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen	alle landwirtschaftlichen Flächen im Einzugsgebiet belasteter oder gefährdeter Fließgewässer und sensibler Grundwasserkörper		Ermittlung von N-Überhängen Verminderung von N-Überhängen	20	ja im Falle N	ja alle außer N	400 € je Betrieb	EDV-Programm zur Führung der Schlagkartei bereitstellen	ja	Programmentwicklung
Düngemanagement	Düngeplanung und Nährstoffbilanzierung mit anerkannten Planungsmodellen und Richtwerten, schlagbezogen für N, P, K und die Kalkung.	alle landwirtschaftlichen Flächen		Anrechnung verfügbarer der Nmin-Bodengehalte, Reduzierung der N- Düngermenge	10	ja		0,5	betriebliche Testflächen	nein	Testflächennetz
Düngemanagement	Frühjahrs-Nmin-Untersuchung zur Unterstützung der Düngeplanung	insbesondere Flächen mit Wintergetreide und Wintergras und Flächen für Sommerungen mit org. Düngung	350.000-400.000 ha	Optimierung der Düngemengebedarfsermittlung Anpassung der N-Düngung an den Pflanzenbedarf Verringerung von N-Überhängen	10	ja		0,5	betriebliche Testflächen	nein	Testflächennetz
Düngemanagement	Pflanzenanalysen zur Unterstützung der vegetationsbegleitenden Düngeplanung (Analytik, Sensortechnik)	alle Flächen, mit vorgesehener Ausgleichsdüngung		Vermeidung von N-Überhängen Verringerung der Herbst-Nmin-Werte	10	ja					
Beratung	Strohdüngung ohne ergänzende Stickstoffdüngung oder Nachweis des Bedarfes  Ausbau des Nmin-Testflächennetzes zur Prognose der N-Dynamik im Zeitraum Oktober-März und Ableitung pflanzenverfügbaren Nmin-Gehalten im Boden	alle Ackerflächen		Optimierung der Düngemengebedarfsermittlung Anpassung der N-Düngung an den Pflanzenbedarf Verringerung von N-Überhängen	20	ja			Landestestflächen		Testflächennetz

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/ Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Einschätzung der Betroffenheit für MV ha	Effekt / Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	Grundlegende oder ergänzende Maßnahme?		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/ Förderung erforderlich	Handlungsbedarf auf Landesebene
						gute fachliche Praxis	über gute fachliche Praxis hinaus				
Beratung	Nutzung von Modellen zur Prognose des Düngerbedarfs	alle Ackerflächen		Optimierung der Düngemengebedarfsermittlung Anpassung der N-Düngung an den Pflanzenbedarf Verringerung von N-Überhängen	20	ja	ja	5		ja	Prüfung u. Einführung geeigneter Modelle in die Praxis, Demonstration der Anwendung

### 7.3.2.3 Fruchtartenspezifische belastungsmindernde landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen

Tabelle 7-7: Fruchtartenbezogenen Maßnahmen, Maßnahmegruppe Landwirtschaft (ergänzt nach LUNG M-V 2007c)

Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahmen für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
					eingehalten	über-schritten			
1 Rapsanbau	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja	ja	100 - 200	verringerte N-Düngung	ja
2 Rapsanbau	Obergrenze für die organische Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	20	ja				
3 Rapsanbau	keine Herbst-Stickstoffdüngung oder Nachweis des N-Bedarfs nach Nmin	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von hohen Boden-N-Gehalten im Herbst	30	ja				
4 Rapsanbau	Zeitpunkt der 1. N-Mineraldüngergabe unmittelbar vor Anbau Vegetationsbeginn	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	10	ja				
5 Rapsanbau	Zeitpunkt der 1. organischen Düngung max. 4 Wochen vor Vegetationsbeginn	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	30	ja				
6	keine Sommerung, sondern frühe Winterung (15.09.)	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	50	ja				
7	oder Zwischenfrucht und späte Winterung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der Rest-N Aufnahme	50	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
8	oder Zwischenfrucht und keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	20	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
9	oder Zwischenfrucht und späte Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	20	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
10	Mulch- oder Direktsaat der die Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10		ja	40 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
11	kein Anbau von Qualitätsweizen	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	50		ja	50 - 100	verringerte N-Düngung	ja
12	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30		ja	100 - 200	verringerte N-Düngung	ja
13	Obergrenze für die organische Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	20	ja				
14	keine Herbst-Stickstoffdüngung	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von hohen Boden-N-Gehalten	20	ja				

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahmen für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
					eingehalten	über-schritten			
15 Weizenanbau	Zeitpunkt der 1. N-Mineraldüngergabe unmittelbar vor Vegetationsbeginn	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	10	ja				
16 Weizenanbau	Zeitpunkt der 1. organischen Düngung max. 4 Wochen vor Vegetationsbeginn	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	20	ja				
17	keine Sommer-, sondern frühe Winterung (15.09.)	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	30	ja				
18	oder Zwischenfrucht und späte Winterung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	30	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
19	oder Zwischenfrucht und keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	20	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
20	oder Zwischenfrucht und späte Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	23	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
21 Weizenanbau	angepasstes Strohanagement bei Bilanzüberhang > 40 kg/ha auf leichten Böden Strohdüngung > 50 kg/ha auf mittleren Böden Strohdüngung > 60 kg/ha auf schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Abbau von Bilanzüberhängen	15	ja	ja	???	Strohabfuhr	ja
23 Weizenanbau	Mulch- oder Direktsaat der die Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10		ja	41 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
24 sonstiger Wintergetreideanbau	keine 3. N-Gabe	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	40	ja	ja	50 - 100	verringerte N-Düngung	ja
25 sonstiger Wintergetreideanbau	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja	ja	100	verringerte N-Düngung	ja
26 sonstiger Wintergetreideanbau	Obergrenze für die organische Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja	ja			
27 sonstiger Wintergetreideanbau	keine Herbst-Stickstoffdüngung	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von hohen Boden-N-Gehalten	20	ja	ja			
28 sonstiger Wintergetreideanbau	Zeitpunkt der 1. N-Mineraldüngergabe unmittelbar vor Vegetationsbeginn	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	10	ja	ja			

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

	Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahmen für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
						eingehalten	über-schritten			
29	sonstiger Wintergetreideanbau	Zeitpunkt der 1. organischen Düngung max. 4 Wochen vor Vegetationsbeginn	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Aus- und Abträgen	20	ja				
30		keine Sommerung, sondern frühe Winterung (15.09.)	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	30	ja				
31		oder Zwischenfrucht und späte Winterung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	30		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
32		oder Zwischenfrucht und keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	20		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
33		oder Zwischenfrucht und späte Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	24		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
34	sonstiger Wintergetreideanbau	angepasstes Strohanagement bei Bilanzüberhang > 40 kg/ha auf leichten Böden Strohdüngung > 50 kg/ha auf mittleren Böden Strohdüngung > 60 kg/ha auf schweren Böden Strohdüngung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Abbau von Bilanzüberhängen	15		ja	???	Strohabfuhr	ja
36	sonstiger Wintergetreideanbau	Mulch- oder Direktsaat der die Bewirtschaftung nach dem Anbau- folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10		ja	42 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
37	Sommergetreideanbau	kein Anbau auf erosionsgefährdeten Standorten an Gewässern oder Zwischenfruchtanbau	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von Abtrag über Winter	10		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
38	Sommergetreideanbau	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	20		ja	50 - 100	verringerte N-Düngung	ja
39	Sommergetreideanbau	Obergrenze für die organische Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	20	ja				
40	Sommergetreideanbau	Zwischenfruchtanbau mit Frühjahrsumbruch auf leichten Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
41	Sommergetreideanbau	Zwischenfruchtanbau und sehr später Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
42	Sommergetreideanbau	bei Strohdüngung im Herbst kein N-Ausgleich	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahmen für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
					eingehalten	über-schritten			
43 Sommergetreideanbau	keine Sommerung, sondern frühe Winterung (15.09.)	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	30	ja				
44 Sommergetreideanbau	oder Zwischenfrucht und späte Winterung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	30	ja		40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
45 Sommergetreideanbau	oder Zwischenfrucht und keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	21	ja		40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
46 Sommergetreideanbau	oder Zwischenfrucht und späte Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme und Reduzierung der Mineralisation	25	ja		40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
47 Sommergetreideanbau	angepasstes Strohmanagement bei Bilanzüberhang > 40 kg/ha auf leichten Böden Strohdüngung > 50 kg/ha auf mittleren Böden Strohdüngung > 60 kg/ha auf schweren Böden Strohdüngung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Abbau von Bilanzüberhängen	10	ja			Strohabfuhr	ja
49 Sommergetreideanbau	Mulch- oder Direktsaat der die Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja		43 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
50 Maisanbau	kein Anbau auf erosionsgefährdeten Standorten an Gewässern oder Zwischenfruchtanbau	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von Abtrag über Winter	10	ja		40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
51 Maisanbau	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja		50	verringerte N-Düngung	ja
52 Maisanbau	Obergrenze für die organische Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				
53 Maisanbau	keine flüssige organische Düngung im Februar und März	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von Abtrag	20	ja			Erhöhung Lagerkapazität	ja
54 Maisanbau	Zwischenfruchtanbau mit Frühjahrsumbruch auf leichten Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30	ja		40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
55 Maisanbau	Zwischenfruchtanbau und sehr später Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30	ja		40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
56 Maisanbau	bei Strohdüngung im Herbst kein N-Ausgleich	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
					eingehalten	über-schritten			
57 Maisanbau	Anbau einer Winterung oder Zwischenfrucht	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme	20	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
58 Maisanbau	oder keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
59 Maisanbau	oder später Herbstumbbruch auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
60 Maisanbau	Mulch- oder Direktsaat der Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10		ja	44 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
61 Z-Rübenanbau	kein Anbau auf erosionsgefährdeten Standorten an Gewässern oder Zwischenfruchtanbau	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von Abtrag über Winter	10		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
62 Z-Rübenanbau	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30		ja	50	verringerte N-Düngung	ja
63 Z-Rübenanbau	Obergrenze für organische N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	20	ja				
64 Z-Rübenanbau	keine flüssige organische Düngung im Februar und März	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von Abtrag	20		ja	???	Erhöhung Lagerkapazität	ja
65 Z-Rübenanbau	Zwischenfruchtanbau mit Frühjahrsumbruch auf leichten Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
66 Z-Rübenanbau	Zwischenfruchtanbau und sehr später Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
67 Z-Rübenanbau	bei Strohdüngung im Herbst kein N-Ausgleich	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				
68 Z-Rübenanbau	Anbau einer Winterung oder Zwischenfrucht	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme	20		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
69 Z-Rübenanbau	oder keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
70 Z-Rübenanbau	oder spätere Herbstfurche auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
71 Z-Rübenanbau	Mulch- oder Direktsaat der Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10		ja	45 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
72 Kartoffelanbau	kein Anbau auf erosionsgefährdeten Standorten an Gewässern	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von Abtrag über Winter	10		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahmen für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
					eingehalten	über-schritten			
	oder Zwischenfruchtanbau								
73	Kartoffelanbau	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30		ja	40-120	verringerte N-Düngung	ja
74	Kartoffelanbau	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	20	ja				
75	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von Abtrag	20		ja	???	Erhöhung Lagerkapazität	ja
76	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
77	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
78	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				
79	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme	20		ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
80	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
81	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
82	Kartoffelanbau	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10		ja	46 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
83	Feldgrasanbau	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30		ja	100 - 200	Verlustausgleich	ja
84	Feldgrasanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				
85	Feldgrasanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	20	ja				
86	Feldgrasanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von hohen Nmin-Bodengehalten im Herbst	30		ja	???	Erhöhung Lagerkapazität	ja
87	Feldgrasanbau	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von Abtrag	10		ja	???	Erhöhung Lagerkapazität	ja

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahmen für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
					eingehalten	über-schritten			
88	Mulch- oder Direktsaat der die Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja	ja	47 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja
89	kurzfristiger Wiederanbau einer Winterung oder Zwischenfrucht die Bewirtschaftung nach dem Anbau Umbruch	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	N Aufnahme	30	ja	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja
90	kein Herbstumbruch auf leichten und mittleren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	20	ja				
91	Grünlandextensivierung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Reduzierung Nährstoff-überhänge	50	ja	ja	80 - 150	verringerte N-Düngung	ja
92	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja	ja	80 - 150	verringerte N-Düngung	ja
93	Obergrenze für organische N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja	ja			
94	keine organische Düngung im September, Oktober, November	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von hohen Nmin-Bodengehalten im Herbst	30	ja	ja	???	Erhöhung Lagerkapazität	ja
95	keine flüssige organische Düngung im Februar	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von Abtrag	10	ja	ja	???	Erhöhung Lagerkapazität	ja
96	zügige Wiederbestellung die Bewirtschaftung nach dem Anbau dem Umbruch	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	N Aufnahme	20	ja				
97	Umbruchlose Grünlanderneuerung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Verminderung der Mineralisierung	20	ja	ja	20 - 50	Erneuerung Grünlandfläche	ja
98	kein Herbstumbruch	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	20	ja	ja			
99	leguminosfreie Begrünung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Einträgen	50	ja	ja			
100	kein Herbstumbruch ohne Winterung	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	20	ja	ja			
101	zügige Wiederbestellung die Bewirtschaftung nach dem Anbau dem Umbruch	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	N Aufnahme	20	ja	ja			

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

	Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahmen für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
						eingehalten	über-schritten			
102	Brachebewirtschaftung	Anbau von Raps bei Herbstumbbruch	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme	30	ja				
103	Feldgemüseanbau frühes	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von N-Überhängen	50	ja	100 - 200	verringerte N-Düngung	ja	
105	Feldgemüseanbau frühes	kein Anbau auf erosionsgefährdeten Standorten an Gewässern oder Zwischenfruchtanbau	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von Abtrag über Winter	10		40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	
106	Feldgemüseanbau frühes	Zwischenfruchtanbau mit Frühjahrsumbruch auf leichten Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	
107	Feldgemüseanbau frühes	Zwischenfruchtanbau und sehr später Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	
108	Feldgemüseanbau frühes	bei Strohdüngung im Herbst kein N-Ausgleich	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				
109	Feldgemüseanbau frühes	Anbau einer Winterung oder Zwischenfrucht	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme	20	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	
110	Feldgemüseanbau frühes	oder keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
111	Feldgemüseanbau frühes	oder späte Herbstfurche auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
112	Feldgemüseanbau frühes	Mulch- oder Direktsaat der Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja	48 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja	
113	Feldgemüseanbau spätes	reduzierte Gesamt-N-Düngung	den Anbau der Fruchtart insgesamt	Vermeidung von Nährstoffüberhängen	40	ja	100	verringerte N-Düngung	ja	
115	Feldgemüseanbau spätes	Zwischenfruchtanbau mit Frühjahrsumbruch auf leichten Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	
116	Feldgemüseanbau spätes	Zwischenfruchtanbau und sehr später Herbstfurche oder Mulchen auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Erhöhung der N-Bindung und Verringerung der Mineralisation	30	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	
117	Feldgemüseanbau spätes	bei Strohdüngung im Herbst kein N-Ausgleich	die Bewirtschaftung vor dem Anbau	Vermeidung von N-Überhängen	30	ja				
118	Feldgemüseanbau spätes	Anbau einer Winterung oder Zwischenfrucht	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Förderung der N-Aufnahme	20	ja	40-120	Zwischenfruchtanbau	ja	

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

	Landwirtschaftliche Tätigkeit/Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Effekt bzw. Wirkung	Minderung des N-Austragspotenzials kg/ha	gute fachliche Praxis		Kosten €/ha	Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/Förderung erforderlich
						eingehalten	überschritten			
119	Feldgemüseanbau spätes	oder keine Herbstfurche auf leichten Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
120	Feldgemüseanbau spätes	oder späte Herbstfurche auf mittleren und schweren Böden	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10	ja				
121	Feldgemüseanbau spätes	Mulch- oder Direktsaat der die Bewirtschaftung nach dem Anbau-folgenden Kultur	die Bewirtschaftung nach dem Anbau	Reduzierung der Mineralisation	10		ja	49 - 120	Mulch- oder Direktsaat	ja

#### 7.3.2.4 Zielwertbestimmte landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen in Hauptbelastungsgebieten

Eine Zielwertbestimmung muss über Erfolgsparameter erfolgen. Grundformen von rechnerisch bestimm- oder messbaren Erfolgsparametern im Sinne von Erfolgsindikatoren sind (OSTERBURG & RUNGE 2007):

- der rechnerische N-Saldo
- der gemessene Herbst-N<sub>min</sub>-Wert
- die rechnerisch bestimmte oder gemessene Sickerwassergüte
- die errechnete N-Fracht im Sickerwasser

Aus Praktikabilitätsgründen bietet es sich an, folgende zwei Varianten für Mecklenburg-Vorpommern in Erwägung zu ziehen:

- (1) Honorierung eines herbstlichen N<sub>min</sub>-Wertes unterhalb eines standortabhängigen Zielwertes, um möglichst geringe Restnitratgehalte vor der winterlichen Auswaschung zu erreichen

und/oder

- (2) Honorierung eines Flächen-Nährstoffsaldos auf Ackerflächen über die gute fachliche Praxis nach DüV hinaus, um möglichst geringe N-Überschüsse zu erreichen (aber Plausibilitätsprüfungen der Bilanzen, zudem Absicherung des Zuganges zu Daten aus anderen Bundesländern, Stichwort: andere Betriebssitze)

In beiden Fällen könnten ggf. sogar nach dem Grad der Zielerreichung gestaffelte Prämien für die Landwirtschaftsbetriebe zum Ansatz kommen.

#### 7.3.3 Maßnahmen auf der Immissionsseite

Aktive Maßnahmen auf der Immissionsseite können in den Gewässer- und Feuchtökosystemen, insbesondere durch deren Neuanlage/Reaktivierung oder Verbesserung ihrer ökologischen Funktionsfähigkeit (Renaturierung) vorgenommen werden. Gleichfalls können ggf. künstliche Anlagen mit naturadäquaten Strukturen und Prozessen vergleichbare Wirkung entfalten – bekanntestes Beispiel dafür sind Pflanzenkläranlagen.

Die wesentlichen Prozesse, auf denen die Wirkung von Gewässern und Feuchtgebieten für Nährstoffrückhalt und –umsetzung (begrifflich teilweise auch summarisch unter „Nährstoffretention“ gefasst, z. B. VENNOHR 2006) basieren, sind im Stickstoffkreislauf die Denitrifikation und im Phosphorhaushalt die Sedimentation (TREPEL 2008). Ein dauerhafter Entzug durch biologische Inkorporierung in autotrophen und folglich auch heterotrophen Organismen ist nur dann ökologisch wirksam, wenn die Nährstoffe erst in anderen Ökosystemen wieder frei werden (z. B. Nährstoffexport durch Ernte) oder bei überwiegender dauerhafter Festlegung in Akkumulationsräumen (dies sind vor allem wachsende Moore und Sedimente tiefer Seen).

Die Denitrifikation ist in der Mikrobiologie als respiratorische bakterielle Reduktion von Nitrat oder Nitrit zu gasförmigem Stickstoffmonoxid (NO), Distickstoffmonoxid bzw. Lachgas (N<sub>2</sub>O) oder elementarem Stickstoff (N<sub>2</sub>) definiert (ONIGKEIT 2006). Höhere Temperaturen sowie pH-Werte begünstigen diesen Prozess. Eine der Grundvoraussetzungen für den Ablauf der Denitrifikation in der Landschaft ist das Vorhandensein anaerober Zonen im Boden, im Grundwasser oder in Gewässern. Diese können im Boden auftreten, wenn die Bodenporen annähernd oder vollständig wassererfüllt sind (wassergesättigter Zustand). Solche Sättigung kann infolge von Niederschlagsereignissen, bei denen die Niederschlagsintensität die Infiltrationsintensität übersteigt, als Folge hoher Grundwasserstände (hydromorphe Böden), von Überflutungen (Auen, Niederungen) oder sollte vor allem in Mooren auftreten, die dann hydrolo-

gisch intakt sind, wenn das Wasser im langfristigen Mittel nahe an, in oder über der Oberfläche steht (EDOM 2001).

Im Grundwasser sowie in Oberflächengewässern müssen gleichfalls anaerobe Bedingungen herrschen. In allen Systemen wirken sich stark sauerstoffzehrende Prozesse, die mit hohen Raten ablaufen, so aus, dass sie die Nachlieferungsrate von Sauerstoff übersteigen, was wiederum die Denitrifikation begünstigt.

Es ist aus einer Vielzahl von Untersuchungen bekannt, dass die Höhe des Grundwasserstandes nicht nur für die Denitrifikation bedeutsam ist, sondern auch den stärksten Einfluss auf die Spurengasfreisetzung aus Mooren und damit für den Klimaschutz hat. Große Bedeutung hat dabei auch die Bewirtschaftung von Moorgrünland. Die Emissionen hängen aber auch mit der Stärke der Degradierung des Torfsubstrates zusammen. Nach SUCCOW & JOOSTEN (2001) lässt sich das natürliche „Emissionsverhalten“ der Niedermoore durch Wiedervernässung weitgehend rekonstruieren, so dass sich die negativen Wirkungen der entwässerten Moore in sogar positive klima- und nährstoffrelevante Wirkungen wachsender Moore umkehren würden.

Häufig unterschätzt wird dagegen die autotrophe Denitrifikation im Grundwasser, aber auch in wassergesättigten Bodenhorizonten, bei der anaerobe Mikroorganismen  $\text{NO}_3^-$  als Sauerstoffquelle zur Umwandlung von Eisensulfid (Pyrit) einsetzen. Dabei findet folgende Gesamtreaktion statt:



Dabei liegen in Gesteinen und den sich aus ihnen entwickelnden Böden zahlreiche mineralische und organische Schwefelverbindungen unterschiedlicher Bindungsformen vor. Reduzierte anorganische Formen spielen für die Denitrifikation mengenmäßig die Hauptrolle, kommen aber auf Grund der notwendigen anaeroben Milieubedingungen nur in unbelüfteten Grundwasserleitern sowie in hydromorphen Böden und in hydrologisch zumindest weitgehend intakten Mooren vor. Trocknen Böden aus, werden Grundwasserleiter belüftet (z. B. in vielen kiesigen Flussauen ohne bindige Deckschicht) oder werden gar Moore entwässert, dann wird der reduzierte Schwefel durch aerobe Mikroorganismen zu Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) oxidiert (vgl. auch NESTLER & GRISCHEK 2003). Fehlt der Sauerstoff, dann nutzt vor allem die Bakterie *Thiobacillus denitrificans* das Nitrat zur Oxidation der Schwefelverbindungen.

Grundsätzliches Problem ist, dass die reduzierten Schwefelverbindungen in Grundwasser, Böden und Mooren nicht unendlich verfügbar sind, also bei Vorhandensein von viel Nitrat aufgebraucht werden (nahezu irreversibler Prozess!). So kann das langfristig in Verbindung mit dem Aufbrauch sulfidischer Bildungen zurückgehende Denitrifikationspotenzial in den Grundwasserleitern sowie im Bereich organogener Bildungen der Niederungen, d. h. in und unter Mooren, einen „Nitratdurchbruch“ nach sich ziehen (WALTHER 1999, zitiert in NESTLER & GRISCHEK 2003), was sich zunächst über oberflächennah zurückgehende Sulfatgehalte andeuten würde. Offensichtlich lassen sich solche Effekte stellenweise bereits im Rahmen von Grundwasseranalysen in Mecklenburg-Vorpommern beobachten (SCHWERDTFEGER 2008).

Eine Abschätzung des auf reduzierten Schwefelverbindungen beruhenden Denitrifikationspotenzials ist auf der Basis der bislang vorhandenen bzw. verfügbaren Daten für Mecklenburg-Vorpommern nicht möglich. Allerdings sollte diesem Effekt unbedingt mehr und entsprechende Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Insgesamt können demnach vielfältige Maßnahmen ergriffen werden, um die „Gratisleistungen“ der Natur in Anspruch zu nehmen. In der einschlägigen Fachliteratur finden sich zahlreiche Belege für entsprechende Retentions- und Transformationsprozesse natürlicher oder der Natur nachempfunderer Systeme:

- So werden in finnischen Biosphärenreservaten mit Absetzbecken, in die Dränsysteme einmünden, ca. 50% des Phosphors rückgehalten. Dabei werden die Becken alle 5 Jahre von den Landwirten geräumt und der Schlamm als Dünger wieder auf die landwirtschaftlichen Flächen verbracht (KELLOMÄKI 2005).
- Die stoffhaushaltliche, hydrochemische Bedeutung von Pufferzonen an Fließgewässern stellen VIAUD et al. (2004) dar.
- Die grundsätzliche Rolle der Auen für den Stoffrückhalt beschreiben u. a. MITSCH & GOSSELINK (2000) und GARCIA-LINARES et al. (2003). LYSIAK-PASTSZAK et al. (2004) können beispielsweise bei den Hochwassern an Weichsel und Oder im Jahr 1997, bei denen rund 90% der Auen überflutet waren, eine Reduktion der Stickstofffrachten um 18-24% nachweisen.
- Kleinskalige Lebensräume begünstigen hohe Biodiversitäten (BALLA 2008) sowie hohe Biodichten. Dabei verbessert eine Renaturierung von Fließgewässern den Stoffumsatz durch Vergrößerung der biowirksamen Oberflächen – „Biofilm“ (Kontaktzonen Wasser-Land bzw. Wasser-Substrat). Eine große Bedeutung kommt der hyporheischen Zone (Interstitial) zu (Anm: der Raum unterhalb der Oberflächensedimente der Flussbetten, der sich teilweise auch noch über das Ufer hinaus fortsetzen kann, wird als hyporheisches Interstitial oder Hyporheal bezeichnet, vgl. SCHWOERBEL 1964, 1967; so leben in vielen Fließgewässern nur etwa 20% der benthischen Invertebraten an der Oberfläche der Gewässersohle, während man die höchsten Dichten in 10-40 cm Tiefe findet (SCHÖNBORN 1992)).
- Die Senkenfunktion der Moore ist unbestritten (SUCCOW & JOOSTEN 2001). TREPEL (2004) gibt konkrete Empfehlungen für ein ökohydrologisches Niederungsmanagement. Bei TREPEL (2008) erfolgt eine Darstellung zur Intensität von Retentions- und Transformationsprozessen in unterschiedlichen Ökosystemen (Tab. 7-8).
- TREPEL (2008) empfiehlt für Schleswig-Holstein bei der Planung von Maßnahmen folgende Faustzahlen für die Nährstoffrückhaltung zu verwenden:
  - Neuschaffung von Feuchtgebieten:  $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ Feuchtgebietsfläche a}^{-1}$
  - Neuschaffung von Überflutungsflächen:  $10 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$
  - Neuschaffung von Fließgewässerflächen:  $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ Fließgewässer-oberfläche a}^{-1}$

Auf diesen Zusammenhängen fußende Maßnahmen und Maßnahmengruppen zur Reduktion der stofflichen Belastung auf der Immissionsseite wurden bereits von LUNG M-V (2007c) aufgegriffen und dargestellt (Tab. 7-9).

Tabelle 7-8: Intensität von Retentions- und Transformationsprozessen in unterschiedlichen Ökosystemen, nach TREPEL (2008): 0 = keine, 1 = schwach, 2 = mittel, 3 = hoch (Stoffspeicherung bei Mooren: Torfbildung)

<b>Ökosystem</b>	<b>Denitrifikation</b>	<b>Sedimentation</b>	<b>Stoffspeicherung</b>
<b>Fließgewässer</b>	3	2	0
<b>Seen</b>	3	3	1-3
<b>Quellmoor</b>	3	0	2
<b>Verlandungsmoor</b>	3	3	2
<b>Versumpfungsmoor</b>	3	1	1
<b>Kesselmoor</b>	1	1	3
<b>Überflutungsmoor</b>	3	3	1
<b>Hangmoor</b>	3	0	1-2
<b>Durchströmungsmoor</b>	3	3	3
<b>Hochmoor</b>	1	0	3

Tabelle 7-9: Allgemeine Maßnahmen, Maßnahmegruppe Wasserbau (-wirtschaft) (ergänzt nach LUNG M-V 2007c)

Landwirtschaftliche Tätigkeit/ Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Effekt / Wirkung	Minderung des N-Belastungspotenzials kg/ha	Grundlegende oder ergänzende Maßnahme?		Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/ Förderung erforderlich
					gute fachliche Praxis	über gute fachl. Praxis hinaus		
Entwässerungs-/ Dränmanagement	Anstau künstlich entwässerter Flächen von November/ März, d.h. Zulassen des natürlichen Vorflutregimes, Sohlaufrhöhung extrem vertiefter Vorfluter, Wasserstandsregulierung durch Stauhaltung mit Einbau eines festen Unterterschlützes (Winterstau)	alle gedrännten Flächen mit hohem spezifischen Nitrataustrag im Einzugsgebiet besonders empfindlicher Gewässer, sofern entsprechende wasserwirtschaftliche Anlagen vorhanden	Wasser- und Nährstoffrückhalt in der austragsbestimmenden Nachternte-Zeit, Erhöhung Denitrifikationspotential, Minderung Mineralisierung	20-50	ja		Anpassung des Stauregimes, Neubau oder Umgestaltung von Wasserregulierungsanlagen, Umgestaltung von Vorflutern , ggf. Landnutzungsänderung	
Entwässerungs-/ Dränrückbau	Rückbau unrentabler Schöpfwerke, Rückbau nicht mehr benötigter Stauhaltungen / Umbau zu Sohlgleiten, Sohlschwellen usw., Rückbau bzw. Verschieben nicht mehr funktionstüchtiger oder nicht mehr benötigter Dräne	alle gedrännten Flächen mit extrem hohem spezifischem Nitrataustrag im Einzugsgebiet besonders empfindlicher Gewässer	Verschiebung des Abflusspfades von Dränabfluss auf Sickerwasser - Grundwasser unter Nutzung des Abbaus im Boden, Erhöhung Denitrifikationspotential, Minderung Mineralisierung	30-70	ja		Rückbau und Umgestaltung wasserwirtschaftlicher Anlagen, ggf. Landnutzungsänderung	ja (einmalige Investitionskosten)
Abflussverzögerung an Dräusläufen	abschnittsweise Uferaufweitung des aufnehmenden Gewässers an Sammlerläufen, Anlegen von flachen Auslaufmulden, Dränteichen, Rückhaltebecken, Feuchtgebieten, Landnutzungsänderung nur auf der Anlagenfläche erforderlich, ggf. Biomasseernte möglich	alle gedrännten Flächen mit hohem spezifischen Nitrataustrag im Einzugsgebiet besonders empfindlicher Gewässer, sofern entsprechende Geländemorphologie und Flächenverfügbarkeit gegeben	Sedimentrückhalt, Nährstoffabbau, Lebensraum	30-100	ja		Umgestaltung der Gewässerufer, Geländemodellierung, Einrichtung von wasserwirtschaftlichen Anlagen, ggf. Landnutzungsänderung	ja (einmalige Investitionskosten)
Reduzierung/Änderung der Gewässerunterhaltung	Zulassen der natürlichen Hydrodynamik durch Pflanzenwuchs im Gewässer bzw. Gehölzaufwuchs in der Uferzone	alle Fließgewässer	Sedimentrückhalt, Besiedelung und Beschattung erhöhen Selbstreinigungskraft, Nährstoffabbau, verminderte Eutrophierung	nach Vorteilsgreißgröße	ja		Reduzierung / Änderung der Unterhaltungsarbeiten	

Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns

Landwirtschaftliche Tätigkeit/ Maßnahme	Maßnahmebeschreibung	Eignung der Maßnahme für	Effekt / Wirkung	Minderung des N-Belastungspotenzials kg/ha	Grundlegende oder ergänzende Maßnahme?		Handlungsbedarf zur Erfüllung und Umsetzung der Maßnahme	Ausgleich/ Förderung erforderlich
					gute fachliche Praxis	über gute fachl. Praxis hinaus		
Baumaßnahmen zur Erhöhung der Strukturvielfalt von Gewässern	Initiierung/ Anlage von natürlichen Sohl- und Uferstrukturen, Laufentwicklung, punktuelle oder streckenweise Aufhöhung extrem eingetiefter Grabensohlen, Gerinneaufweitungen, Bau von naturnahen Sandfängen, Herstellen neuer Wasserflächen (Umgehungsgerinne, Initiierung Mäander) usw.	alle Fließ- und Standgewässer	Abflussverzögerung, Überschwemmungs- und Sedimentationsflächen erhöhen Selbstreinigungskraft, Nährstoffabbau im Fließgewässer und Uferbereich, vermindern Eutrophierung	840 kg/ha geschäufelter Wasserfläche* oder 15-50% je nach Flusssystem oder 40% pro km Fließstrecke (Schrautzer, Trepel), Meißner	ja	ja	Baumaßnahmen, ggf. Landnutzungsänderung	ja (einmalige Investitionskosten)
Anlage von Gewässerentwicklungstreifen	Herausnahme eines 20-m-Streifens aus der Acker- und intensiven Grünlandnutzung	alle Fließgewässer	Abstands-, Puffer- und Filterwirkung gegen Einträge, Erhöhung Selbstreinigungskraft, Lebensraum	30-100	ja	ja	Landnutzungsänderung	ja (einmalige Investitionskosten)
Anlage/Reaktivierung einer Aue	(streckenweise) Wiederherstellung der gesamten Funktionsbereiche des Auesystems	alle Fließgewässer	Abstands-, Puffer- und Filterwirkung gegen Einträge, Erhöhung Selbstreinigungskraft, Lebensraum	50->300	ja	ja	Landnutzungsänderung	ja (einmalige Investitionskosten)
Moorschonende Bewirtschaftung	Anpassung der künstlichen Vorflut, Festlegen eines gebietspezifischen Mindest-GWF, darüber Zulassen der natürlichen Vorflutverhältnisse unter Beibehaltung extensiver Nutzung	alle anmoorigen und moorigen Standorte (Landwirtschaft und Forst)	Nährstoffabbau, Minderung Mineralisierung	20-50	ja	ja	ggf. Baumaßnahmen, Landnutzungsänderung	ja (einmalige Investitionskosten)
Wiedervernässung von Anmooren und Mooren	Rückbau der künstlichen Vorflut, Festlegen eines gebietspezifischen Mindest-GWF, darüber Zulassen der natürlichen Vorflutverhältnisse	alle Moorstandorte (Landwirtschaft und Forst)	Nährstoffabbau, Minderung Mineralisierung	50->300	ja	ja	Baumaßnahmen, Landnutzungsänderung	ja (einmalige Investitionskosten)

### 7.3.4 Vorschläge für die Gestaltung landwirtschaftlicher Fördermaßnahmen

Die Gestaltung landwirtschaftlicher Fördermaßnahmen zur Minderung stofflicher Gewässerbelastungen muss generell sorgfältig und unter Abwägung vieler Aspekte geschehen. An dieser Stelle sollen im Ergebnis der Analyse und als Zusammenfassung der vorstehenden Ausführungen hierzu einige Vorschläge unterbreitet werden:

a) Generelle Prämissen

- ➔ Aufstellung eines speziellen und landesweiten Maßnahmenprogramms „Minderung stofflicher Gewässerbelastungen aus der Landwirtschaft“ im Sinne von Artikel 11 WRRL, mit einer räumlichen Differenzierung entsprechend der Kulisse der Hauptbelastungsgebiete
- ➔ Orientierung auf regionale Kombinationen von Umsetzungsmaßnahmen und Kombination mit weiteren Agrarumweltmaßnahmen, z. B. Verminderung des Eintrages an Pflanzenschutzmitteln; hierfür besteht Bedarf an konzeptioneller/beratender Begleitung
- ➔ Finanzielle Förderungsmaßnahmen für die Landwirtschaftsbetriebe in Höhe der voraussichtlichen Ertrags- und Einkommenseinbußen, aber Ausreichen von Fördergeldern erst bei Überschreiten der guten fachlichen Praxis („Übererfüllung“)
- ➔ Durchführung von Erfolgskontrollen (hierfür besteht Bedarf an konzeptioneller/beratender Begleitung) sowie Berücksichtigung der Ergebnisse durch ggf. anzusetzende Zu- und Abschläge bei Fördermitteln

b) Landesweite Förderung allgemeiner belastungsmindernder landwirtschaftlicher Anreizmaßnahmen

- ➔ Vorsorgende Integration von Flächenkulissen für allgemeine belastungsmindernde landwirtschaftliche Anreizmaßnahmen bei Bodenordnungsverfahren bzw. Flurbereinigungsverfahren (z. B. Gewässerrandstreifen); hierfür besteht der Bedarf an konzeptionellem bzw. planerischem Vorlauf
- ➔ Fortführung der Moorschutzbemühungen, insbesondere auch bei Grünlandnutzung (vor allem hohe Bedeutung des Grundwasserstandes für die Denitrifikationsraten unter Grünland auf Moorboden, s. SUCCOW & JOOSTEN 2001, VAN BEEK et al. 2004)

c) Förderung zielwertbestimmter landwirtschaftlicher Anreizmaßnahmen nur in Hauptbelastungsgebieten (hot spots, nährstoffsensible Gebiete), ggf. gegliedert nach Prioritäten

- ➔ Erarbeitung von Zielbewirtschaftungskonzepten in Hauptbelastungsgebieten (z. B. Maßstab: N-Salden); hierfür Bedarf an konzeptioneller/beratender Begleitung
- ➔ Bewertung des betriebs- bzw. schlagbezogenen Ist-Zustands als Grundlage von Zielbewirtschaftungskonzepten (agronomisch, pedologisch, hydrologisch), hierfür besteht Bedarf an konzeptioneller/beratender Begleitung

Wichtig bleibt die Problematik des effektiven Mitteleinsatzes, so dass Berechnungen oder Abschätzungen zu den Kosten und dem erwarteten Nutzen jedes Maßnahmentyps als wichtiges Entscheidungskriterium für die Gewässerschutzstrategien unerlässlich sind (vgl. MEWES 2004). Wie wichtig vor allem die genaue Kenntnis der Hauptbelastungsgebiete für die Effektivität von Förderungen ist, zeigt das Beispiel Brandenburg. KERSEBAUM et al (2006) haben eine modellbasierte Bewertung von Agrarumweltmaßnahmen in Brandenburg durchgeführt und dabei nachgewiesen, dass bis dato ca. 75% der Maßnahmen in Brandenburg in Gebieten mit geringem Einfluss auf die Stickstoffimmissionen in das Grundwasser sowie die Oberflächengewässer durchgeführt wurden, so dass die Effektivität folglich nur als gering anzusehen ist. Ausgehend von der hier erarbeiteten konkreten Gebietskulisse (Kapitel 7.2) können in Mecklenburg-Vorpommern aus der Sicht der Autoren und des LUNG M-V dagegen sehr zielführende Programme aufgelegt werden.

## 7.4 Ausblick

Die vorliegende Regionalisierung der Nährstoffbelastung kann und muss als wesentlicher integrativer Schritt einer landesweiten Strategie zur Verminderung der Nährstoffbelastung angesehen werden. Allerdings bleibt ein Bedarf an fachlicher Vertiefung und Fortführung. Insbesondere eine Verstetigung der thematischen Bearbeitung ist vor dem Hintergrund des internationalen und des europäischen Rechts und angesichts der umweltfachlichen Sachlage geboten.

Die hier angewandte Methodik bildet in seiner analytischen Qualität einen konzeptionellen Ansatz zur Identifizierung der Nährstoffbelastung, der grundlegend auf einer empirischen Herangehensweise fußt (vgl. MEHL & STEINHÄUSER 2003). Die klare Ausrichtung auf die Eruiierung der Abflusssituation und ihrer Kopplung mit dem Nährstofftransportverhalten in möglichst hoher räumlicher und zeitlicher Diskretisierung erlaubt eine differenzierte Herkunftsanalyse nach hydrologischen räumlichen Einheiten (oberirdischen Teileinzugsgebieten). Das Regionalisierungskonzept soll deshalb den Namen „HYFRE“ (**HY**drologisch begründete **FrachtRE**gionalisierung) erhalten. Zusammengefasste Vorteile des gewählten Vorgehens:

- Die Frachtberechnung basiert auf (amtlichen) Messwerten mit hoher Plausibilität und hoher umwelt- und gesellschaftspolitischer Akzeptanz – einem deutlichen Vorteil gegenüber konzeptionellen Modellen mit größtenteils hohen bis sehr hohen Abweichungen zwischen modellierten und gemessenen Frachten gerade in meso- und mikroskalen Einzugsgebieten (Anmerkung: Dieser Aspekt spielte beim Vergleich zwischen physikalischen, konzeptionellen und empirischen Nährstoffmodellen bei ROBRECHT et al. 2007 erstaunlicherweise keine Rolle, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass selten parallele Modellanwendungen erfolgen; selbst das sehr erprobte Modell MONERIS liefert auf der Ebene der großen Strom- und Flusseinzugsgebiete – LAWA 9-Steller – beim Vergleich der berechneten mit den beobachteten Frachten für den Gesamtzeitraum 1983 bis 2005 eine mittlere Abweichung bei N-Gesamt von 30% (!) und bei P-Gesamt von 38% (!), was in Einzeljahren und in Einzelgebieten noch deutlich übertroffen wird, vgl. VENNOHR et al. 2008)
- Universeller und räumlich übertragbarer Modellansatz, der nur durch die Datenverfügbarkeit, insbesondere Konzentrationsmessdaten, in seiner Aussage begrenzt wird
- Zeitlich konkrete Aussagen für Einzeljahre bzw. das Mittel eines Bezugszeitraumes statt Mittelwerten auf der Basis langjähriger (und häufig auch bereits modellierter Datenzeitreihen), vgl. Regionalisierungsergebnisse für die Einzeljahre in den Anhängen 1 bis 12
- Widerspiegelung der Abhängigkeit der Nährstoffausträge aus den Flussgebieten von der meteorologisch-hydrologisch Situation der Einzeljahre
- Hohe räumliche Auflösung bei gegebener hoher Datendichte, räumliche Verdichtung bzw. Differenzierung hydrologischer Daten durch Regionalisierungsansätze
- Belastungspfade können nachgelagert durch zusätzliche Emissionsberechnungs- bzw. -schätzansätze ermittelt bzw. identifiziert werden

Konzeptioneller Weiterentwicklungsbedarf:

- Aufspaltung des Gesamtabflusses in Abflusskomponenten (langsame und schnelle Komponenten) mit zugehörigen Frachten
- Berücksichtigung der Fließzeiten bei der räumlichen Abflussdifferenzierung zwischen weiter entfernt liegenden Pegeln des gleichen Gewässersystems (reale Laufzeiten liegen bei der angewandten räumlichen Diskretisierung teilweise bei ein bis zwei Tagen)

- Prüfung der möglichen Vorteile von Regressionsanalysen auf der Basis von hydrologischen Einzeljahren oder ggf. sogar hydrologischen Halbjahren (hohe Wahrscheinlichkeit einer verbesserten Widerspiegelung der hydrologischen Bedingungen und der hydrologisch bedingten Stoffausträge)
- Verbesserung der hydrologischen Regionalisierung in Teilgebieten auf der Grundlage von hydrologischen Mess- oder Modelldaten; dadurch insbesondere Findung von Belastungsgebieten innerhalb von Gebieten mit summarisch eher geringer Belastungswirkung (vor allem seen- und niederungsgeprägte Einzugsgebiete)
- Einarbeitung aktualisierter hydrologisch-hydrographischer Strukturen (Wasserscheiden/oberirdische Einzugsgebiete) auf der Grundlage neuerer Bearbeitungsstände der Gewässerlage und -systematik (z. B. Überarbeitung des DLM 25 W aus 2007/2008)
- Einbeziehung der hydrologischen und der Gütedaten benachbarter Bundesländer

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen einmal mehr, dass gerade das Stickstoffaustragsverhalten offenkundig maßgeblich hydrologisch determiniert ist, so dass in einer verbesserten hydrologischen Analyse auch der Schlüssel zum übergreifenden Prozessverständnis liegt. Anschaulich wird dies, wenn man die regionalisierten Stickstoffausträge mit vorliegenden typologischen Ergebnissen zu Abflussregimen vergleicht. MEHL (2004) hatte für 87 langjährig beobachtete Pegel in Mecklenburg-Vorpommern folgende Kennzeichen des Systemausgangs als beobachtetes Abflussregime mit einer zusammenfassenden Clusteranalyse typisiert:

1. Quantität
  - Mittlerer Abfluss
  - Extreme Abflüsse
2. (Periodische) Variabilität
  - Mittlere innerjährliche Abflussdynamik
3. (episodische) Variabilität bzw. (relative) Kausalität
  - Mittlere Signifikanz der Abflusskomponenten

Die Analyse basierte auf einem hierarchischen, agglomerativen Clusterverfahren nach WARD (1963), wobei zur Absicherung der Skaleninvarianz der insgesamt 5 Einzelmerkmale eine einheitliche Einteilung in jeweils 8 Klassen vorgenommen wurde (Tab. 7-10). Das spezielle W A R D -Verfahren basiert auf einer Minimierung des Varianzkriteriums. Bei diesem Verfahren werden nur solche Cluster bzw. Klassen fusioniert, durch deren Fusion die kleinste Zunahme der Summe der Klassenvarianzen resultiert (GAMMA 1992, KUMKE 2003).

MEHL (2004) gliederte 10 Abflussregimetypen ab, die in Abbildung 7-7 dargestellt sind. Die inhaltliche Kennzeichnung in Tabelle 7-11 zeigt, dass die Typeneinteilung auf die Abflussdynamik und die Bedeutung der Abflusskomponenten abhebt. Augenfällig ist, dass die Gebiete mit den „dynamischeren“ Abflussregimen (blaue Farben) sich auch mit den Hauptaustragsgebieten des Stickstoffes decken (vgl. Abbildungen in Kapitel 6). Die Untersuchungen von KÄSTNER (2008) unterstreichen dies, indem die Auswertung zeigt, dass der Durch- bzw. Abflussschwankungsbereich bei den dynamischeren Typen 7 und 8 nach MEHL (2004) selbstverständlich auch bei der Probennahme deutlich größer ist, als bei den Typen geringer hydrologischer Dynamik (Abb. 7-8).

Tabelle 7-10: Wertebereiche der Einzelfaktoren für die Durchführung der Clusteranalyse in 8 Klassen (Klassengrenzen entsprechend ArcView – natürliche Unterbrechungen)

	Mq (l·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )	Hq (l·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )	Nq (l·s <sup>-1</sup> ·km <sup>-2</sup> )	K <sub>m</sub> (Pardé)	Mittel der MHQ(m)/MNQ(m)
1	1,6-3,0	12,3-21,8	0,0	0,3-0,6	1,5-1,8
2	3,0-4,0	21,8-32,7	0,0-0,1	0,6-0,9	1,8-2,2
3	4,0-4,7	32,7-44,3	0,1-0,2	0,9-1,1	2,2-2,6
4	4,7-5,7	44,3-62,6	0,2-0,4	1,1-1,2	2,6-3,2
5	5,7-6,5	62,6-91,0	0,4-0,7	1,2-1,4	3,2-3,5
6	6,5-7,4	91,0-128,2	0,7-0,9	1,4-1,7	3,5-4,3
7	7,4-10,1	128,2-189,6	0,9-2,1	1,7-2,1	4,3-5,0
8	10,1-24,3	189,6-321,6	2,1-5,1	2,1-2,5	5,0-8,6

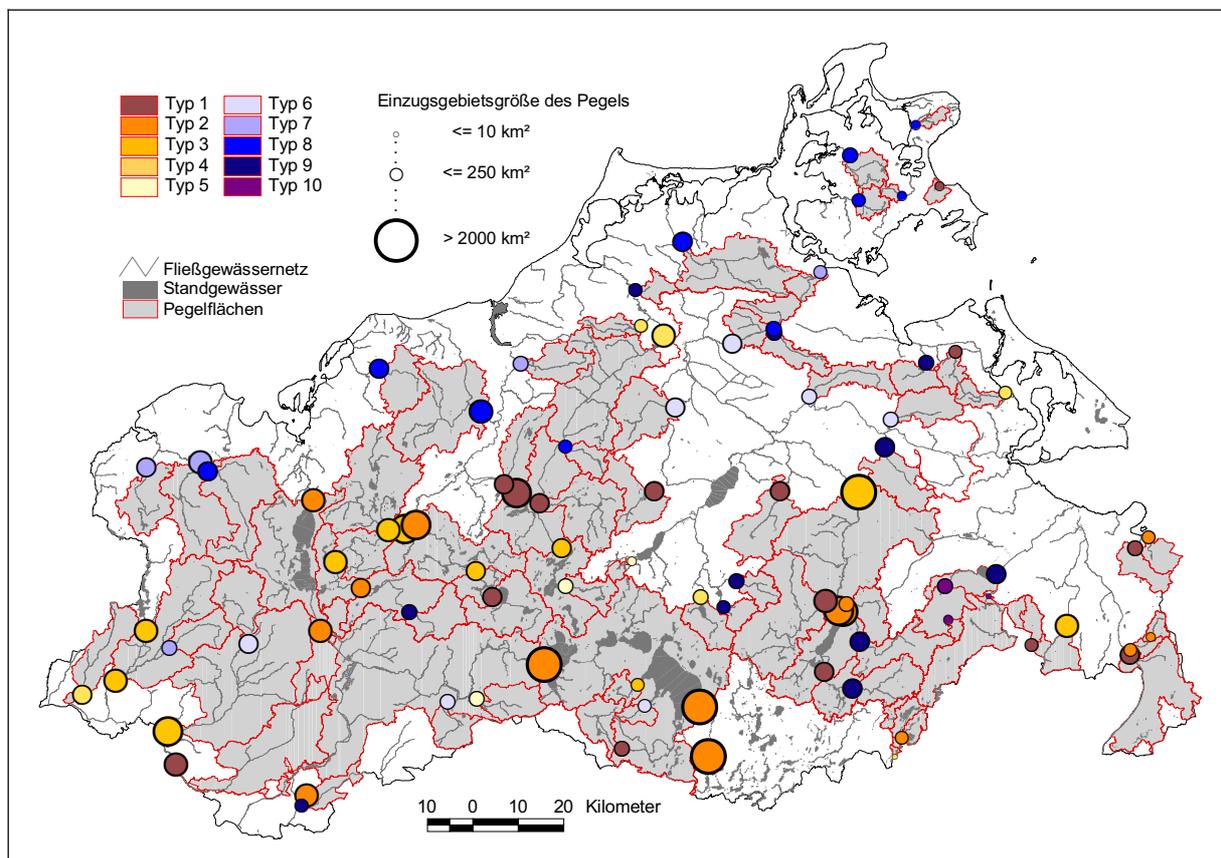


Abbildung 7-7: Komplexe Abflussregimetypen in Mecklenburg-Vorpommern im Hinblick auf fünf abflusscharakterisierende Größen und Parameter (Erläuterung siehe Tabelle 7-11), Darstellung am Pegelstandort, aus MEHL (2004)

Tabelle 7-11: Inhaltliche Kennzeichnung der Abflussregimetypen entsprechend Abbildung 7-7, aus MEHL (2004)

Typ-Nr.	Abflussregime	Kennzeichen
1	Basisabfluss-/see-retentionsbestimmt (dynamisch/ episodisch)	hohe innerjährliche Abflussdynamik und starke Neigung zum episodischen (instabilen) Abfluss, schwacher bis ausgeprägter mittlerer Abfluss, sehr geringer bis mittlerer Hochwasserabfluss, überwiegend langsame hydrologische Gebietsreaktionen
2	Basisabfluss-/see-retentionsbestimmt	sehr geringe innerjährliche Abflussdynamik und geringe Neigung zum episodischen (instabilen) Abfluss, schwacher bis ausgeprägter mittlerer Abfluss, sehr geringer bis mittlerer Hochwasserabfluss, überwiegend langsame hydrologische Gebietsreaktionen
3	Basisabfluss-/see-retentionsdominiert	geringe innerjährliche Abflussdynamik und permanenter (stabiler) Abfluss, schwacher bis deutlich ausgeprägter mittlerer Abfluss, sehr geringer bis geringer/mittlerer Hochwasserabfluss, sehr langsame und langsame hydrologische Gebietsreaktionen
4	Basisabflussdominiert	geringe innerjährliche Abflussdynamik und permanenter (stabiler) Abfluss, ausgeprägter bis sehr hoher mittlerer Abfluss, mittlerer bis hoher/sehr hoher Hochwasserabfluss, langsame bis schnelle hydrologische Gebietsreaktionen
5	Starkbasisabflussdominiert, z.T. Fremdbürtigkeit (ausgeprägte Grundwasserentlastungsgebiete)	sehr geringe innerjährliche Abflussdynamik und permanenter (sehr stabiler) Abfluss, hoher bis sehr hoher mittlerer Abfluss, mittlerer bis sehr hoher Hochwasserabfluss, überwiegend sehr langsame hydrologische Gebietsreaktionen
6	Schwachdynamisch	deutliche innerjährliche Abflussdynamik und episodischer bis permanenter (instabiler bis stabiler) Abfluss, mittlerer bis ausgeprägter mittlerer Abfluss, geringer bis mittlerer Hochwasserabfluss, überwiegend deutliche hydrologische Gebietsreaktionen
7	Dynamisch-permanent	deutliche innerjährliche Abflussdynamik und permanenter (stabiler) Abfluss, mittlerer bis sehr hoher mittlerer Abfluss, ausgeprägter bis hoher Hochwasserabfluss, schnelle bis sehr schnelle hydrologische Gebietsreaktionen
8	Starkdynamisch-episodisch	deutliche bis sehr hohe innerjährliche Abflussdynamik und starke Neigung zum episodischen (instabilen) Abfluss, mittlerer bis sehr hoher mittlerer Abfluss, mittlerer bis sehr hoher Hochwasserabfluss, schnelle bis sehr schnelle hydrologische Gebietsreaktionen
9	Stark- bis extremdynamisch	hohe bis sehr hohe innerjährliche Abflussdynamik und Neigung zum episodischen (instabilen) Abfluss, sehr geringer bis geringer mittlerer Abfluss, sehr geringer bis mittlerer Hochwasserabfluss, überwiegend schnelle bis sehr schnelle hydrologische Gebietsreaktionen
10	Extremdynamisch-episodisch	extrem hohe innerjährliche Abflussdynamik und episodischer (instabiler) Abfluss, sehr geringer bis geringer mittlerer Abfluss, hoher bis extrem hoher Hochwasserabfluss, ausschließlich sehr schnelle hydrologische Gebietsreaktionen

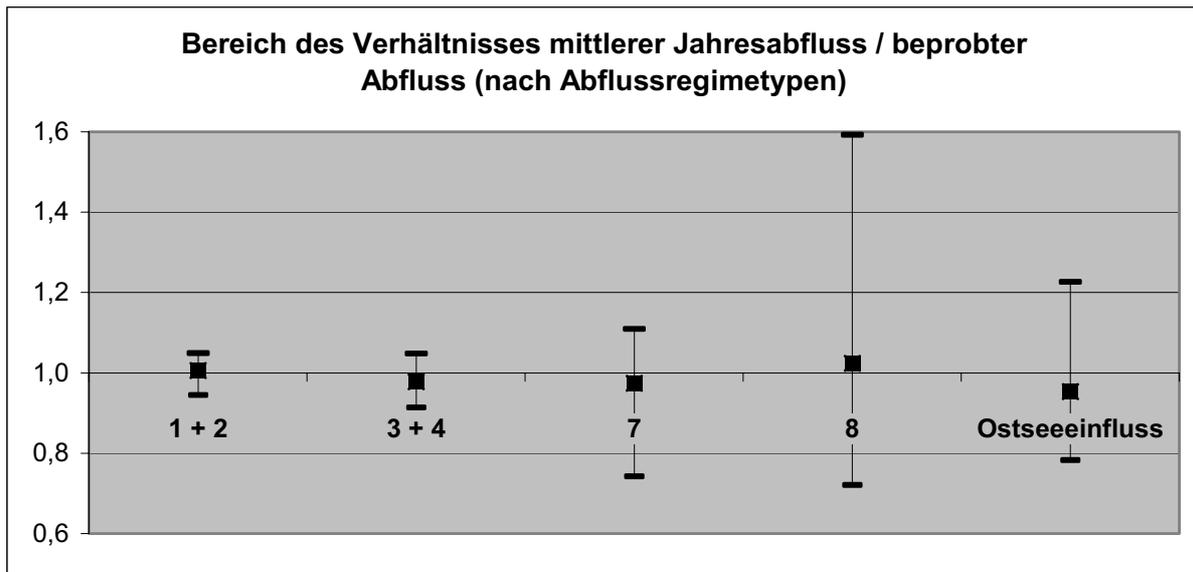


Abbildung 7-8: Quotient mittlerer Jahresabfluss/beprobter Abfluss im Vergleich der Abflussregimetypen nach MEHL (2004) (dargestellt sind Minimum, Mittelwert und Maximum), aus KÄSTNER (2008)

Sonstiger und weiterführender Untersuchungs- bzw. Optimierungsbedarf wird vor allem in folgender Hinsicht gesehen:

A) Gütemessungen/-analysen in den Gewässern

- Kritische Prüfung vereinzelt auftretender, sehr hoher Messwerte bei Stoffkonzentrationen (Konsistenzprüfung, ggf. auch Homogenitätsprüfung und „Ausreißerbehandlung“)
- Da zwischen  $PO_4\text{-P}$  und GP bzw. zwischen anorganischem N und GN sehr oft signifikante statistische Zusammenhänge existieren, könnte man auch bei GP und GN Datenlücken mittels statistischer Modelle schließen
- Verbesserung der Kenntnisstandes zu den Einträgen der kleinen Küstenzuflüsse, die mangels ausreichend dichter Gütemessungen und relativ schlechter hydrologischer Beobachtung (Pegel in kleinen Einzugsgebieten) landesweit unterrepräsentiert sind, vgl. Ergebnisse der Pegelmessnetzoptimierung in BIOTA 2004), insbesondere Ermittlung/Abschätzung des Stoffeintrages durch Starkregenereignisse; grundsätzlich sind für Gewässereinzugsgebiete raum- und zeitadäquate Areal- und Prozessstrukturanalysen erforderlich (BILLWITZ 1991); nicht prozessgerechte Messungen, z. B. Zeitreihen von 14-tägigen Messungen in kleinen Einzugsgebieten sind demnach Daten, die zu hinterfragen sind; BILLWITZ (1991) bringt entsprechende Beispiele für Kurzfristmessungen von Durchflüssen und eutrophierungsrelevanten Wasserinhaltsstoffen in vorpommerschen Gewässern und folgert, dass prozessgerechte „Abtastzeiten“ bei Einzugsgebieten der Flächengröße  $A_E = 1...50 \text{ km}^2$  in der Größenordnung von 4...6 Stunden und bei  $A_E = 50...200 \text{ km}^2$  von 12...24 Stunden notwendig sind; Analysen in einem kleinem Teileinzugsgebiet der Beke (mittleres Mecklenburg) mit einem  $A_E$  von ca.  $1 \text{ km}^2$ , mit relativ hohem Geländegefälle und einem hohem Dränflächenanteil zeigten deutliche Abflussreaktionen und Beschaffenheitsveränderungen nach Niederschlagsereignissen schon im Zeitbereich von bereits deutlich unter einer Stunde (MEHL & STEINHÄUSER 2003); allerdings ist eine Überwachung aller küstennahen Zwischengebiete, die von einer sehr großen Anzahl kleinster Bäche und Gräben entwässert werden, mit einem unvermeidbar hohen Aufwand verbunden (BACHOR 2005), so dass Methoden der stichprobenartigen Überwachung, der exemplarischen Überwa-

chung und der fachlich abgesicherten Übertragung von Daten aus beobachteten Gebieten wohl überwiegend greifen müssen

B) Einfluss der Dränung auf das Stoffaustragsverhalten

- Grundlagenforschung: Weitere Verbesserung des Kenntnisstandes zur hydrologischen und stofflichen Prozessstruktur in bzw. aus gedränten Flächen (KAHLE et al. 2005a, b, KAHLE & LENNARTZ 2005); zudem: Untersuchungen zum abflussbeschleunigenden und stoffrückhaltrückhaltmindernden Einfluss verrohrter Gewässer (MEHL et al. 2003)
- Verbesserung des Kenntnisstandes zu den Dränanlagen und –flächen; so können für größere Regionen Dränflächenkarten ggf. auch auf der Basis von Luftbildern und Geodaten abgeleitet werden (TETZLAFF et al. 2008, TETZLAFF & WENDLAND 2008), obschon eine Überlagerung mit Planungsunterlagen und den Ergebnissen von Vor-Ort-Untersuchungen aus den o. g. Gründen und gerade für relativ kleinräumige Fragestellungen für nahezu unverzichtbar gehalten wird

C) Nährstoffrückhalte- und Denitrifikationspotenzial

- Untersuchungsbedarf zum potenziellen und tatsächlichen Nährstoffrückhaltevermögen der Böden
- Grundlagenforschung: Untersuchungsbedarf zum Denitrifikationspotenzial und seiner Berechnung/Schätzung (Potenziale der Ökosystemtypen, flächenscharfe Potenzialanalyse)), das u. a. von der Anwesenheit organischer Substanzen sowie mineralischer und organischer Schwefelverbindungen abhängig ist; diese Stoffe sind im tieferen Untergrund bzw. im Grundwasser nur endlich vorhanden..., damit ist eine „Verlagerung“ der hauptsächlichen Denitrifikationsprozesse in oberflächennahe Systeme wie insbesondere Feuchtgebiete und Oberflächengewässer notwendig, wo eine Nachlieferung organischer Substanz erfolgt; dies erfordert das Ausnutzen der Retentions- und Transformationsprozesse dieser Ökosystemtypen zur allgemeinen Belastungsverminderung; die hohe Bedeutung der Feuchtgebiete wird auch durch die WRRRL-Strategien betont, vgl. u. a. WFD CIS Guidance No 12 2003; eine hohe fachliche Kongruenz ergibt sich bei der Nährstofffreisetzung aus Mooren zur Klimaproblematik (IPCC 2007), Feuchtgebietsschutz dient darüber hinaus auch naturschutzfachlichen Zielen bzw. den besonders bedeutsamen EU-rechtlichen Vorgaben (insbesondere der FFH-Richtlinie)
- Grundlagenforschung: Untersuchungsbedarf zu klimarelevanten Aspekten der Nährstoffthematik; so steigt beispielsweise der Anteil des besonders klimaschädlichen N<sub>2</sub>O als Endprodukt der Denitrifikation mit sinkender Temperatur, sinkendem pH-Wert, sinkendem Kohlenstoffangebot und erhöhtem Nitratgehalt im Boden (VON ITTER 2000)

D) Agrarfachliche Fragestellungen

- Verbesserungen/Optimierungen der Berechnungen zu Nährstoffsalden (s. Kapitel 4.3.2)
- Kosten-Nutzen-Analysen zur Thematik aus agrarökonomischem Blickwinkel, da die Nährstoffeinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer „Verlustgrößen“ darstellen, was angesichts steigender Energie- und folglich Düngerpreise betriebswirtschaftlich bedeutsam ist – insbesondere Vergleiche von betrieblichem Einsparpotenzial und betrieblichen Aufwendungen für Düngeoptimierungsmaßnahmen

E) Vorschlag für das weitere Vorgehen

- Für das weitere Vorgehen bei der Bearbeitung der Nährstoffbelastungsproblematik in Mecklenburg-Vorpommern wird eine Doppelstrategie empfohlen: Detaillierung in hotspot-Gebieten sowie landesweite Optimierung, vgl. Abb. 7-9; dabei sollte die „Detaillierung“ zur Gewinnung belastbarer Daten zeitnah erfolgen, während die landesweite „Optimierung“ zeitparallel bzw. -versetzt erfolgen sollte

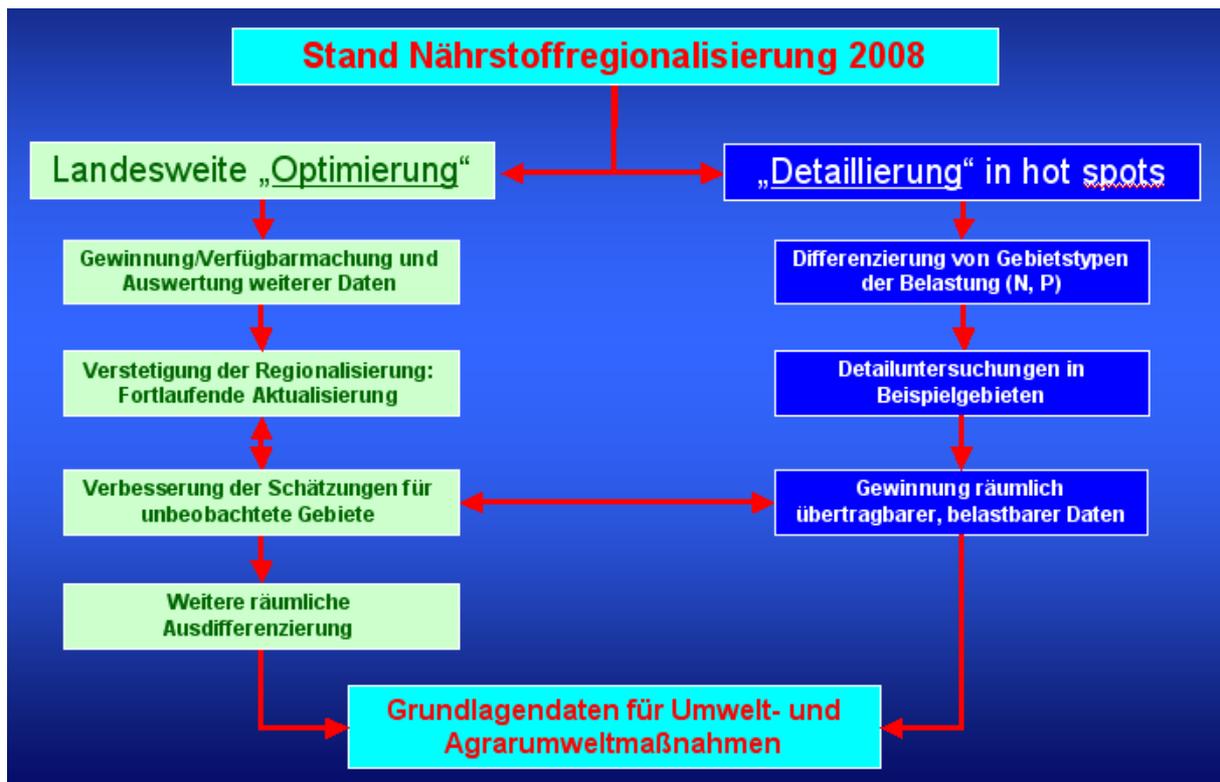


Abbildung 7-9: Schema möglicher Vorgehensweise

Bützow, den 13. Mai 2009

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl

*Im Land Mecklenburg-Vorpommern  
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Gewässerschutz*

## Quellenverzeichnis

### Schriften

- ABWASSERVERORDNUNG: Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2004 (BGBl. I S. 1108, 2625), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 19. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2461).
- BACHOR, A. & VON WEBER, M. (2006): Ergebnisse aus über 30 Jahren Monitoring – eine Analyse zur Belastung und zum Zustand der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns. – Tagungsband, 11. Gewässersymposium – zum Zustand der Küstengewässer gestern, heute und morgen am 15.06.2006, Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 4 S.
- BACHOR, A. (2004): Nährstoff- und Schwermetallbilanzen der Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns unter besonderer Berücksichtigung ihrer Sedimente. – Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, 213 S. + Anlagen.
- BACHOR, A. (2005): Nährstoffeinträge in die Küstengewässer Mecklenburg-Vorpommerns – eine Belastungsanalyse. – Rostock. Meeresbiol. Beitr. 14: 17-32.
- BALLA, D. (2008): Nährstoffumsatz in Fließgewässern am Beispiel des Spreewaldes. – NNA – Alfred-Töpfer-Akademie für Naturschutz Schneverdingen vom 06. bis 09. April 2008, 5 S.
- BARJENBRUCH, M. & SCHÜLER, R. (2007): Leistungsvergleich 2007. Kläranlagen-Nachbarschaften. – DWA-Landesverband Nord-Ost.
- BARJENBRUCH, M. (2003): Kleinkläranlagen im Vergleich. – Fachtagung WABKA 23.10.2003 in Pasewalk, 18 S.
- BEHRENDT, H. & BACHOR, A. (1998): Point and diffuse load of nutrients to the Baltic Sea by river basins of North East Germany (Mecklenburg-Vorpommern). – Wat. Sci. Tech. 38 (10): 147-155.
- BEHRENDT, H. & DANNOWSKI, R. [Hrsg.] (2005): Nutrients and heavy metals in the Odra River System – Emissions from point and diffuse sources, their loads, and scenario calculations on possible changes. – Berlin (Weißensee Verlag).
- BEHRENDT, H. (1996): Quantifizierung der Nährstoffeinträge aus Flußgebieten des Landes Mecklenburg-Vorpommern. – Materialien zur Umwelt 2/96, 78 S.
- BEHRENDT, H., HUBER, P., KORNMILCH, M., OPITZ, D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G. & UEBE, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. – UBA-Texte 75/99.
- BEHRENDT, H., OPITZ, D. & VENOHR, M. (2007): Anforderungen an die Nährstoffreduzierungen in den Koordinierungsräumen der Flussgebietseinheit Elbe. Bericht im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. – Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, 24 S.
- BILLWITZ, K. (1991): Raumordnung und Flächennutzungsplanung für Gewässereinzugsgebiete. – Z. geol. Wiss. 19 (1): 21-29.
- BIOTA (2003a): Entwicklung von Karten der mittleren Mittelwasserdurchflüsse sowie der mittleren Niedrigwasserdurchflüsse in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommern. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.

- BIOTA (2003b): Schadstoffuntersuchungen Nitrat im Einzugsgebiet der Beke. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umwelt und Natur Rostock.
- BIOTA (2004): Analyse, Bewertung und Optimierung des Landespegelmessnetzes an den Fließ- und Standgewässern in Mecklenburg-Vorpommern im Zusammenhang mit den künftigen wasserwirtschaftlichen Aufgaben, insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. – biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.
- BLMP (2007): Eutrophierung in den deutschen Küstengewässern von Nord- und Ostsee, Handlungsempfehlungen zur Reduzierung der Belastung durch Eutrophierung gemäß WRRL, OSPAR & HELCOM im Kontext einer Europäischen Wasserpolitik, Januar 2007, 31 S. + Anlagen.
- DIN 4261 Teil 1 (02/1991): Kleinkläranlagen. Anlagen ohne Abwasserbelüftung. Anwendung, Bemessung und Ausführung.
- DIN 4261 Teil 2 (06/1984): Kleinkläranlagen. Anlagen mit Abwasserbelüftung. Anwendung, Bemessung und Ausführung.
- DREYHAUPT, J. & FRANKO, U. (2001): Bedeutung der Variabilität von Boden und Klima bei der Regionalisierung von Stickstoff-Austrägen. – Tagungsband, 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. und 25. April 2001, 153-154.
- Düngemittelgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705).
- DÜV: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I S. 221).
- DüVO: Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. Juli 1997 (BGBl. I S. 1835).
- DYCK, S. et al. (1980): Angewandte Hydrologie. Teil 1. – Berlin (VEB Verlag für das Bauwesen), 2. völlig überarb. Aufl., 528 S.
- EDOM, F. (2001): Hydrologische Eigenheiten, in: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. [Hrsg.] (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Stuttgart): 92-111.
- EISELE, M., KUNKEL, R. & SCHMIDT, T. (2008) Modellierung des diffusen Nitratreintrags in das Grundwasser für Niedersachsen. – Wasser und Abfall 10/2008: 20-25.
- FETZER, K. D., DRESCHER-LARRES, K. & WEYRICH, J. (2002): Dokumentation zur Karte des Nitratrückhaltevermögens der Böden im Saarland im Maßstab 1:100.000. Bodeninformationssystem des Saarlandes (SAARBIS). – Landesamt für Umweltschutz Saarland, 11 S.
- FFH-Richtlinie: Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 206/7 vom 22.07.92 (Novellierung durch „Richtlinie 97/62/EG des Rates vom 27. Oktober 1997 zur Anpassung der Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt“, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 305/42 vom 8.11.97).

- FFG Elbe (2008): Hintergrundpapier zur Ableitung der überregionalen Bewirtschaftungsziele für die Oberflächengewässer im deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Belastungsschwerpunkt Nährstoffe. Entwurf. Stand: 07.11.2008. – Flussgebietsgemeinschaft Elbe, 22 S.
- FöRiGeF: Richtlinie zur Förderung der nachhaltigen Entwicklung von Gewässern und Feuchtlebensräumen (FöRiGeF). – Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern vom 7. Februar 2008, AmtsBl. M-V 2008 S. 116
- FRIELINGHAUS, M., DEUMLICH, D., FUNK, R., HELMING, K., THIÈRE, J., VÖLKER, L., WINNIGE, B., GELFORT, F., ROHLFS, W., SCHÄFER, H. & SPEER, R. (1998): Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Bodenerosion. - Broschüre, Geologisches Landesamt Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.].
- GADE, R. (2008): Eutrophication problems in coastal waters. – *Water and Waste* 2008: 13-16.
- GAMMA, P. (1992): Beitrag zu einer hydrologischen Gliederung der Schweiz - GIS-basierte Gewinnung von Einzugsgebietsparametern und deren multivariate Klassifikation mit TWINSPAN. – Dipl.-Arb., Universität Bern, Geographisches Institut, 150 S.
- GARCIA-LINARES, C., MATINEZ-SANTOS, MARTINEZ-BILBAO, V., SÁNCHEZ-PÉREZ, J. M. & ANTIGUEDAD, I. (2003) : Wetland restoration and nitrate reduction : the example of the peri-urban wetland of Vitoria-Gasteiz (Basque Country, North Spain). – *Hydrology and Earth System Sciences* 7 (1): 109-121.
- GAUGER, T, HAENEL, H.-D., RÖSEMANN, C., DÄMMGEN, U., BLEEKER, A., ERISMAN, J. W., VERMEULEN, A. T., SCHAAP, M., TIMMERMANN, R. M. A., BUILTJES, P. J. H. & DUYZER, J. H. (2007): Nationale Umsetzung der UNECE-Luftreinhaltekonvention (Wirkungen). Teil 1: Deposition Loads: Methoden, Modellierung und Kartierung, Trends. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 204 63 252.
- GAUGER, T. (2007): Ermittlung der Vorbelastung (ökosystemspezifische N-Gesamtdeposition 2004). - Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), 12 S.
- Gesetz vom 23. August 1994 zu Internationalen Übereinkommen über den Schutz der Meeresumwelt des Ostseegebietes und des Nordostatlantiks (BGBl. 1994 II S. 1355, 1397).
- Grundwasserrichtlinie: Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 (EU-Grundwasserrichtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung), Amtsblatt der EG Nr. L 372/19 vom 27.12.2006.
- GRUNEWALD, K. et al. (2008): Nährstoffmodellierung zur Aufstellung der Maßnahmenprogramme nach WRRL in Sachsen. – *Wasser+Abfall* 3/2008: 15-19.
- HACKSCHMIDT, A. (2000): Belastung der Oberflächengewässer durch Kleinkläranlagen im ländlichen Raum. – ATV-DVWK-Bundestagung 2000, 25. bis 27.09.2000 in Karlsruhe.
- HAUPT, R. (2000): Regionalisierung von Hochwasserkennwerten in Mecklenburg-Vorpommern. – Dissertation, Universität Rostock, Umwelt- und Agrarwissenschaftliche Fakultät.
- HELCOM (1994): Guidelines for the Third Baltic Sea Pollution Load Compilation (PLC-3). – *Baltic Sea Environment Proceedings* No. 57, 54 S.
- HELCOM (2007): HELCOM Baltic Sea Action Plan. – HELCOM Ministerial Meeting, Krakow, Poland, 15 November 2007, 101 S.

- HENNIG, H. & HILGERT, T. (2007): Dränabflüsse – Der Schlüssel zur Wasserbilanzierung im nordostdeutschen Tiefland. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 51 (6): 248-257.
- HGN (2007a): Bilanzierung diffuser Belastungen mit dem Ziel der Ableitung von Maßnahmen zur Reduzierung stofflicher Einträge in die Küstengewässer in Mecklenburg-Vorpommern. – HGN Hydrogeologie GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 51 S.
- HGN (2007b): Ermittlung der Grundwasserneubildung Mecklenburg-Vorpommerns. Stand 2007. – HGN Hydrogeologie GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 77 S. + Anhang.
- HILDEN, M. (2003): Ermittlung von Stoff-Frachten in Fließgewässern – Probenahmestrategien und Berechnungsverfahren. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [Hrsg.], Kulturbuchverlag (Hannover).
- HIRT, U. (2002): Regional differenzierte Abschätzung der Stickstoffeinträge aus punktuellen und diffusen Quellen in die Gewässer der mittleren Mulde. – Dissertation, Johann-Wolfgang Goethe – Universität Frankfurt am Main, Fachbereich Geowissenschaften/Geographie, 349 S.
- HURTIG, T. (1966): Betrachtungen über den Verlauf der Hauptwasserscheide in Mecklenburg. – Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, 15. Jahrgang, Mat.-Naturwissen. R., Heft 3/1: 581-585.
- HYDOR (2005): Regionalisierung von stofflichen Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. - HYDOR Consult GmbH im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 72 S.
- IMHOFF, K. & IMHOFF, K. (1990): Taschenbuch der Stadtentwässerung. – München, Wien (R. Oldenbourg Verlag), 422 S.
- InVeKoSV: InVeKoS-Verordnung vom 3. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3194), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 8. Mai 2008 (BGBl. I S. 801).
- IPCC (2007): 4. Sachstandsberichts (AR4) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) über Klimaänderungen. Deutsche Kurzfassung. – Bundesumweltministerium, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ipcc2007\\_kurzfassung.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/ipcc2007_kurzfassung.pdf)
- KAbwVO M-V: Verordnung über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Kommunalabwasserverordnung - KAbwVO M-V) vom 15. Dezember 1997 (GVOBl. M-V 1998, S. 25), geändert durch Verordnung vom 8. Mai 2001 (GVOBl. M-V S. 148).
- KAHLE, P. & LENNARTZ, B. (2005): Untersuchungen zum Stoffaustrag aus landwirtschaftlich genutzten Dränflächen in Nordostdeutschland. – Wasserwirtschaft 9/2005: 45-49.
- KAHLE, P., TIEMEYER, B. & LENNARTZ, B. (2005a): Skalenabhängige Stickstoffausträge aus gedränten Einzugsgebieten des Norddeutschen Tieflands. – TU Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft, Workshop: N-Umsatz in der Dränzone und im Grundwasser, S. 5.
- KAHLE, P., TIEMEYER, B. & LENNARTZ, B. (2005b): Stoffausträge aus landwirtschaftlichen Nutzflächen über Dränung. – Wasserwirtschaft 12/2005: 12-16.
- KAHLE, P., TIEMEYER, B., DEUTSCH, B. & LENNARTZ, B. (2007): Untersuchungen zum Stickstoffaustrag über Dränung in einem nordostdeutschen Tieflandeinzugsgebiet. – Wasserwirtschaft 06/2007: 25-29.
- KAPE, H.-E. (2008): Schreiben der LMS Landwirtschaftsberatung Mecklenburg-Vorpommern vom 15.10.2008 an das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern: Fachliche Hinweise zur Qualifizierung der Ergebnisse der Masterarbeit von Herrn Jens Wiebensohn „Erprobung einer neuen Methodik zur Erstellung

- regionaler Stickstoff- und Phosphorflächenbilanzen für Mecklenburg-Vorpommern auf der Basis verfügbarer Daten der Agrarstatistik“, 2 S.
- KAPE, H.-E., PÖPLAU, R., VON WULFFEN, U. & ROSCHKE, M. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung vom 27. Februar 2007 in Mecklenburg-Vorpommern. Gemeinsame Beratungsempfehlung der Länder Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern. – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.], 48 S.
- KÄSTNER, U. (2008): Methodische Beiträge zur Regionalisierung der Nährstoffbelastung in Oberflächengewässern Mecklenburg-Vorpommerns. – Diplomarbeit, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, 73 S. + Anhang.
- KELLOMÄKI, E. (2005): Mündliche Mitteilungen über effektive Reinigungsleistungen von Absetzbecken unterhalb von Dränsystemen in finnischen Biosphärenreservaten (Häme Regional Environment Centre).
- KERSEBAUM, K.-C., MATZDORF, B., KIESEL, J., PIORR, A. & STEIDL, J. (2006): Model-based evaluation of agri-environmental measures in the Federal State of Brandenburg (Germany) concerning N pollution of groundwater and surface water. – Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169 (3): 352-359.
- KLEEBERG, H.-B., MAUSER, W., PESCHKE, G., STREIT, U., DIEKKRÜGER, B., SCHWARZE, R. & SCHUMANN, A. H. [Hrsg.] (1999): Hydrologie und Regionalisierung. Ergebnisse eines Schwerpunktprogramms (1992-1998). Forschungsberichte (DFG). – Wiley-VCH (Weinheim), 477 S.
- KLITZSCH, S. & MEHL, D. (2004): Mittlere Wasserbilanzen der Bezugsperiode 1971-2000 in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommerns. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 48 (5): 181-185.
- KOLLATSCH, R.-A., KÜCHLER, A., SCHWERDTFEGER, B., STÖLKEN, B. & HANNAPPEL, S. (2006): Regionalisierung diffuser stofflicher Grundwasserbelastungen in Mecklenburg-Vorpommern. – Wasser und Abfall 3/2006: 40-45.
- KULAP Thüringen (2007): Programm zur Förderung von umweltgerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft, Naturschutz und Landschaftspflege in Thüringen. Visitenkarten der Maßnahmen. – Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt des Freistaates Thüringen [Hrsg.], 30 S.
- KUMKE, T. (2003): Multivariate Statistik in der Ökologie. – Eigenverlag, 194 S.
- KUNKEL, R., VOIGT, H.-J., WENDLAND, F. & HANNAPPEL S. (2004): Die natürliche, ubiquitär überprägte Grundwasserbeschaffenheit in Deutschland. – Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 47, 204 S.
- LAUN M-V (1996): Gebietsbezeichnung und Verschlüsselung der oberirdischen Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern - Küstengebiet Ostsee - Elbeeinzugsgebiet. - Zusammengestellt vom Landesamt für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern (LAUN M-V) in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Ämtern für Umwelt und Natur, Stand: Dezember 1996.
- LAWA (1993): Richtlinie für die Gebietsbezeichnung und die Verschlüsselung von Fließgewässern. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, ausgearbeitet vom LAWA-ad-hoc-Arbeitskreis „Verschlüsselung von Fließgewässern“.
- LAWA (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland. – Chemische Gewässergüteklassifikation. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

- LAWA (2007): Rahmenkonzeption Monitoring, Teil B: Bewertungsgrundlagen und Methodenpapier, Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalischchemische Komponenten, Stand: 7.03.2007. – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- LUNG M-V (2001): Ausgrenzung oberirdischer Einzugsgebiete in Mecklenburg-Vorpommern. – digitale Daten. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Stand: 14.12.2001.
- LUNG M-V (2003): Karte der Drän- und Gewässerausbauprojekte der ehemaligen Meliorationskombinate in Mecklenburg-Vorpommern. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.
- LUNG M-V (2007a): Kommunale Abwasserbeseitigung in Mecklenburg-Vorpommern. Lagebericht 2007. Bericht gemäß Richtlinie 91/271/EWG. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 6 S.
- LUNG M-V (2007b): Wasserrahmenrichtlinienprojekt Mecklenburg-Vorpommern, Version 3.3 (ArcView-GIS-Projekt). – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.
- LUNG M-V (2007c): Maßnahmekatalog zur Verringerung diffuser Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Flächen in Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Entwurf, Stand: 13.12.2007.
- LUNG M-V (2007d): Stellungnahme vom 22.10.2007 zum Bericht „Anforderungen an die Nährstoffreduzierungen in den Koordinierungsräumen der Flussgebietseinheit Elbe - Bericht im Auftrag der Flussgebietsgemeinschaft Elbe“ (Behrendt, Opitz, Venohr, Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin). Protokoll zur 6. Sitzung ad hoc AG Nährstoffe der FGG Elbe am 05.09.2007, TOP 4. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern.
- LUNG M-V (2008): Gewässergütebericht 2003/2004/2005/2006. Ergebnisse der Güteüberwachung der Fließ-, Stand- und Küstengewässer und des Grundwassers in Mecklenburg-Vorpommern. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern [Hrsg.], 204 S. + Anhang.
- LWaG: Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LWaG) vom 30. November 1992, GVBl. M-V S. 669, zuletzt geändert am 5. Dezember 2007, GVBl. 377.
- LYSIAK-PASTSZAK, E., DRGAS, N. & PIATKOWSKA, Z. (2004): Eutrophication in the Polish coastal zone: the past, present status and future scenarios. – Marine Pollution Bulletin 49. 186-195.
- MEHL, D. & STEINHÄUSER, A. (2003): Ergebnisse verschiedener Ansätze zur Erfassung und Kennzeichnung der Nährstoffbelastung von Fließgewässern. - Tagung gewässerkundlicher Landesdienst Mecklenburg-Vorpommern am 01./02.04.2003 in Markgrafenheide, Tagungsband, 13 S.
- MEHL, D. & THIELE, V. (1998): Fließgewässer- und Talraumtypen des Norddeutschen Tieflandes am Beispiel der Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. – Berlin (Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschaftsverlag), 261 S.
- MEHL, D. (1998): Die Fließgewässertypen der jungglazialen Naturräume Mecklenburg-Vorpommerns. Ein landschafts- und gewässerökologischer Beitrag. – Dissertation, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, 201 S.
- MEHL, D. (2004): Grundlagen hydrologischer Regionalisierung: Beitrag zur Kennzeichnung der hydrologischen Verhältnisse in den Flußgebieten Mecklenburgs und Vorpommerns. – Dissertation, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, 156 S. + Anlagen.

- MEHL, D., MARQUARDT, A., KOLLATSCH, R.-A. & NEUMANN, B. (2003): Bestandsaufnahme nach Wasserrahmenrichtlinie in Mecklenburg-Vorpommern: Zum Ausmaß der Fließgewässerverrohrung. – Die Wasserwirtschaft 09/2003: 42-46.
- MEHL, D., STEINHÄUSER, A. & KLITZSCH, S. (2004): Die Trends der mittleren Niederschlags- und Abflußverhältnisse in den Flußgebieten Mecklenburg-Vorpommerns. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 43 (4): 63-134.
- MERZ, R. (2006): Regionalisierung von statistischen Hochwasserkenngößen. – Wiener Mitteilungen Band 197 (Methoden der hydrologischen Regionalisierung): 109-130.
- MEWES, M. (2004): Nährstoffausträge in die Ostsee aus diffusen Quellen Mecklenburg-Vorpommerns und Schleswig-Holsteins. – Rostock. Meeresbiol. Beitr. 12: 89-102.
- MIEGEL, K. & HAUPT, R. (1998): Abschlußbericht zum Projekt „Regionalisierung von Hochwasserscheiteldurchflüssen HQ(T) in Mecklenburg-Vorpommern“. – Universität Rostock, Institut für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft, im Auftrag des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung Wasserwirtschaft.
- MIEGEL, K. & HAUPT, R. (1998): Abschlußbericht zum Projekt „Regionalisierung von Hochwasserscheiteldurchflüssen HQ(T) in Mecklenburg-Vorpommern“. – Universität Rostock, Institut für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft, im Auftrag des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung Wasserwirtschaft.
- MIEGEL, K. & ZACHOW, B. (2006): Abbau von Stickstoff-Bilanzüberschüssen durch modellgestützte Düngeempfehlung. – Rostock. Meeresbiol. Beitr. 15: 49-60.
- MITSCH, W. J. & GOSSELINK, J. G. (2000): The Value of Wetlands: Landscapes and Institutional Perspectives. – Ecological Economics 35: 25-33.
- MLNU THÜRINGEN (2007): Gewässerschonende Landbewirtschaftung in Thüringen, Reduzierung der Nährstoffeinträge in die Thüringer Gewässer. - Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt des Freistaates Thüringen [Hrsg.], 48 S.
- MLUR S-H (2005): Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Schleswig-Holstein. Hinweise zum Flächenbedarf und zum Umgang mit Flächen bei der Entwicklung von Fließgewässern und Seen. - Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein [Hrsg.], Stand: 30.06.2005, 15 S.
- MOHAUPT, C. (2001): Die Bedeutung der Binnenentwässerungsgebiete für die hydrologischen und ökologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet der Beke. – Dipl.-Arbeit, Universität Rostock, Agrar- und umweltwissenschaftliche Fakultät, 75 S.
- MÜLLER-WOHLFEIL, D.-I., CHONG-YU, X. & IVERSEN, H. L. (2003): Estimation of Monthly River Discharge from Danish Catchments. – Nordic Hydrology 34 (4): 295-320.
- NAGEL, H.-D., BECKER, R., EITNER, H., HÜBENER, P., KUNZE, F., SCHLUTOW, A., SCHÜTZE, G., WEIGELT-KIRCHNER, R. (2004): Critical Loads für Säure und eutrophierenden Stickstoff. – Abschlussbericht. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Förderkennzeichen 200 85 212 im Auftrag des Umweltbundesamtes, 172 S.
- NESTLER, W. & GRISCHEK [Hrsg.] (2003): Handbuch Wasserversorgung und Sulfatbelastung des Grundwassers unter land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, 347 S.
- Nitratrichtlinie: Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91/676/EWG), Amtsblatt der EG Nr. L 375 vom 31.12.1991, S. 1, geändert durch Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003, Amtsblatt der EG Nr. L 284 1 vom 31.10.2003.

- NITRATSTRATEGIE SCHWEIZ (2003): Grundlagensammlung Nitratstrategie. – Bundesamt für Landwirtschaft der Schweiz & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz [Hrsg.], 72 S.
- ONIGKEIT, J. (2006): Ein Modell für Stickstoff- und Kohlenstoffumsätze im Boden von Agrar-ökosystemen unter besonderer Berücksichtigung der Variabilität der mikrobiellen Aktivität. – Dissertation, Fakultät für Physik und Geowissenschaften der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 179 S.
- OSTERBURG, B. & RUNGE, T. [Hrsg.] (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoff-einträgen in Gewässer – eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. – Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Landbau-forschung Völkrode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 307. 1-295.
- PAGENKOPF, W. G. (2001): Aktuelle Nährstoffbilanzierung für Teilgebiete der Warnow, unver-öffentliche Studie.
- PFÜTZNER, B., LAHMER, W. & BECKER, A. (1998): Programmsystem zur GIS-gestützten hydrologischen Modellierung. – <http://www.pik-potsdam.de> bzw. [www.bah-berlin.de](http://www.bah-berlin.de)
- ROBRECHT, D., LEHMANN, R., SCHÖN, K. & KAUL, U. (2007): Vergleich von Modellen und Ver-fahren zur Abschätzung von Nährstoffeinträgen in Gewässer. – Wasserwirtschaft 11/2007: 22-26.
- SCHILLING, J. & LUTZ, D. S. (2004): Relation of nitrate concentrations to baseflow in the Ra-coon River, Iowa. – Journal of the American Water Resources Association 40(4): 889-900.
- SCHILLING, J. & WOLTER, C. F. (2005): Estimation of streamflow, base flow, and nitrate-nitrogen loads in Iowa using multiple linear regression models. – Journal of the American Water Resources Association 41(6): 1333-1346.
- SCHILLING, K. & ZHANG, Y.-K. (2004): Baseflow contribution to nitrate-nitrogen export from a large, agricultural watershed, USA. – Journal of Hydrology 295: 305-316.
- SCHMIDT, R. & DIEMANN, R. (1981): Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen Landwirt-schaftlichen Standortkartierung. - Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Eberswalde, 78 S.
- SCHÖNBORN, W. (1992): Fließgewässerbiologie. - Stuttgart (Gustav Fischer Verlag).
- SCHUMANN, D. (1968): Zur Definition, Verbreitung und Entstehung der Binnenentwässerungsgebiete. – Geograph. Ber. 46/1: 22-32.
- SCHWALLER, G. (1991): Regionalisierung von Hochwasserabflüssen ausgewählter Wieder-kehrperioden mit Kenngrößen der Einzugsgebiete – dargestellt am Beispiel des Maingebietes. – Berichte aus dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz (4), Schriftenreihe Heft 108: 89-98.
- SCHWERDTFEGER, B. (2008): Mündliche Mitteilungen.
- SCHWOERBEL, J. (1964). Die Bedeutung des Hyporheals für die benthische Lebensgemein-schaft der Fließgewässer. - Verh. Internat. Verein. Limnol. XV: 215-226.
- SCHWOERBEL, J. (1967): Das hyporheische Interstitial als Grenzbiotop zwischen oberirdi-schem und subterranem Ökosystem und seine Bedeutung für die Primär-Evolution von Kleinsthöhlenbewohnern. - Archiv für Hydrobiologie (Suppl.) 33: 1-62.
- SEYLER, F. (2008): Kleinkläranlagen. Stand, Anforderungen, technische Konzepte und Um-setzung in Bayern. – Wasser und Abfall 10 (5): 20-23.
- SONNENBURG, F. & BORCHARDT, H. (1998): Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- und Sedimentphase und angrenzender Bereiche. – Forschungsbe-reicht, Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg, Band 20/21, 199 S.

- StAUN Rostock (2008): Daten und Präsentationen im Rahmen der WRRL-Bewirtschaftungsvorplanung für die Nebel und die Warnow. – Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock, Dezernat 340.
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. [Hrsg.] (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. – Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele & Obermiller)), 2. völlig neu bearb. Aufl., 622 S.
- TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2008): Flächendifferenzierte Modellierung von mehrjährigen mittleren Phosphateinträgen in die Oberflächengewässer über Dränagen und Möglichkeiten zur Verbesserung der Gewässergüte. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52 (5): 258-269.
- TETZLAFF, B., KUHR, P. & WENDLAND, F. (2008): Ein neues Verfahren zur differenzierten Ableitung von Dränflächenkarten für den mittleren Maßstabsbereich auf der Basis von Luftbildern und Geodaten. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52 (1): 9-18.
- THIELE, V., MEHL, D. [Hrsg.] (1995): Ein ökologisch begründetes Sanierungskonzept für das Gewässereinzugsgebiet der Warnow (Mecklenburg-Vorpommern). – Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt und Natur Mecklenburg-Vorpommern 2/95, 158 S.
- THOMS, M C. (2006): Variability in riverine ecosystems. – River Res. Applic. 22: 115-121.
- THORP, J. H., THOMS, M. C. & DELONG, M. D. (2006): The riverine ecosystem synthesis: bio-complexity in river networks across space and time. – River Res. Applic. 22: 123-147.
- TREPEL, M. (2004): Zur Wirkung von Niederungen im Landschaftswasser- und -stoffhaushalt. – Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung 43 (1): 53-64.
- TREPEL, M. (2008): Nährstoffrückhaltung und Gewässerrenaturierung. – Tagungsband, Fachtagung Nährstoffrückhaltung in Fließgewässern und Feuchtgebieten möglich? – NNA – Alfred-Töpfer-Akadademie für Naturschutz Schneverdingen vom 06. bis 09. April 2008, 6 S.
- Trinkwasserverordnung: Trinkwasserverordnung (TrinkwV) vom 21. Mai 2001 (BGBl. I S. 959), geändert durch Artikel 363 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407).
- UBA (2008): Bereitstellung von Depositionsdaten Stickstoff. – Umweltbundesamt, Schreiben vom 10.04.2008.
- VAN BEEK, C. L., BROUWER, L. & OENEMA, O. (2003): The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. – Nutrient Cycling in Agroecosystems 67: 233-244.
- VAN BEEK, C. L., HUMMELINK, E. W. J., VELTHOF, G. L. & OENEMA, O. (2004): Denitrification rates in relation to groundwater level in a peat soil under Grassland. – Biol. Fertil Soils 39: 329-336.
- VANNOTE, R. L., MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W., SEDELL, J. R. & CUSHING, E. (1980): The River Continuum Concept. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 130–137.
- VENOHR, M. (2006): Modellierung der Einflüsse von Temperatur, Abfluss und Hydromorphologie auf die Stickstoffretention in Flusssystemen. – Berliner Beiträge zur Ökologie 4: 1-193.
- VENOHR, M., BEHRENDT, H., FUCHS, S., HIRT, U., HOFMANN, J., OPITZ, D., SCHERER, U. & WANDER, R. (2008): Entwicklung, Dokumentation und Anwendung eines szenariofähigen Managementtools zur Beschreibung der Einträge, Retention und Frachten in Flusssystemen. – Bericht im Rahmen des UBA-F+E-Projektes (FKZ 205 24 204) „Entwicklung eines szenariofähigen Managementtools für die Stoffeinträge in Oberflächengewässern im Rahmen der internationalen Berichtspflichten“, 120 S.

- VIAUD, V., MEROT, P. & BAUDRY, J. (2004): Hydrochemical buffer assessment in agricultural landscapes: from local to catchment scale. – *Environmental Management* 34 (4): 559-573.
- VON ITTER, A. (2000): Beziehungen zwischen dem Bodenwasserhaushalt und der Stickstoffdynamik von landwirtschaftlich genutzten Pseudogleyen. – Dissertation, Fakultät XVII Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum, 251 S.
- VV DüVO M-V: Verwaltungsvorschrift des Landes Mecklenburg-Vorpommern für den Vollzug der Düngeverordnung (Verwaltungsvorschrift Düngeverordnung M-V – VV DüVO M-V) in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. April 1997 – VI 420 (ABl. M-V 17/1997 S. 429).
- WALTHER, J., DREWLOW, J., SCHRAMM, M. & WINKLER, U. (1997): Konzepte zur Ermittlung von Bemessungs-HQ für kleine, unbeobachtete Einzugsgebiete. – Tagungsband „Modellierung in der Hydrologie“, Technische Universität Dresden: 215-224.
- WARD, J. H. (1963): Hierarchical grouping to optimize an objective function. – *Journal of the American Statistical Association* 58: 236-244.
- WFD CIS Guidance No 12 (2003): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document No 12. The role of wetlands in the Water Framework Directive. – European Communities, 61 S. sowie deutsche Übersetzung: Übergreifender Leitfaden zur Bedeutung der Feuchtgebiete im Zusammenhang mit der Wasserrahmenrichtlinie, 83 S.
- WHG: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002, BGBl. I S. 3245, zuletzt geändert am 21. Juni 2005 (BGBl. I/05, S. 1666).
- WIEBENSOHN, J. (2008): Erprobung einer neuen Methodik zur Erstellung regionaler Stickstoff- und Phosphorflächenbilanzen für Mecklenburg-Vorpommern auf der Basis verfügbarer Daten der Agrarstatistik. – Masterarbeit, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, 68 S. + Anhang.
- WOLFF, A., MEHL, D. & S. KLITZSCH (2000): Ausgrenzung und Verschlüsselung oberirdischer Einzugsgebiete: Probleme und Lösungsansätze. – *Wasser & Boden* 52 (12): 61-66.
- WRRL (Europäische Wasserrahmenrichtlinie): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, Amtsblatt der EG Nr. L 327/1 vom 22.12.2000.

## Internet, Printmedien

<http://ktbl-alt.avenit.de/boden/kleinklaer.htm>

<http://osiris.de/website/depo1/viewer.htm>

<http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft>

<http://www.stoffbilanz.de>

<http://www.thueringen-online.de/de/tmlnu/themen/wasser/flussgebiete/vorgehensweise/landwirtschaft/content.html>

<http://www.uvek.admin.ch>

<http://www.zambolandia.com>

[http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/LandFischRaum/11\\_\\_ZPLR/-Schwerpunkt2/pdf/reduzierungStoffeintraegeGewaesser\\_\\_214\\_\\_3,templateId=raw,property=publicationFile.pdf](http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/LandFischRaum/11__ZPLR/-Schwerpunkt2/pdf/reduzierungStoffeintraegeGewaesser__214__3,templateId=raw,property=publicationFile.pdf)

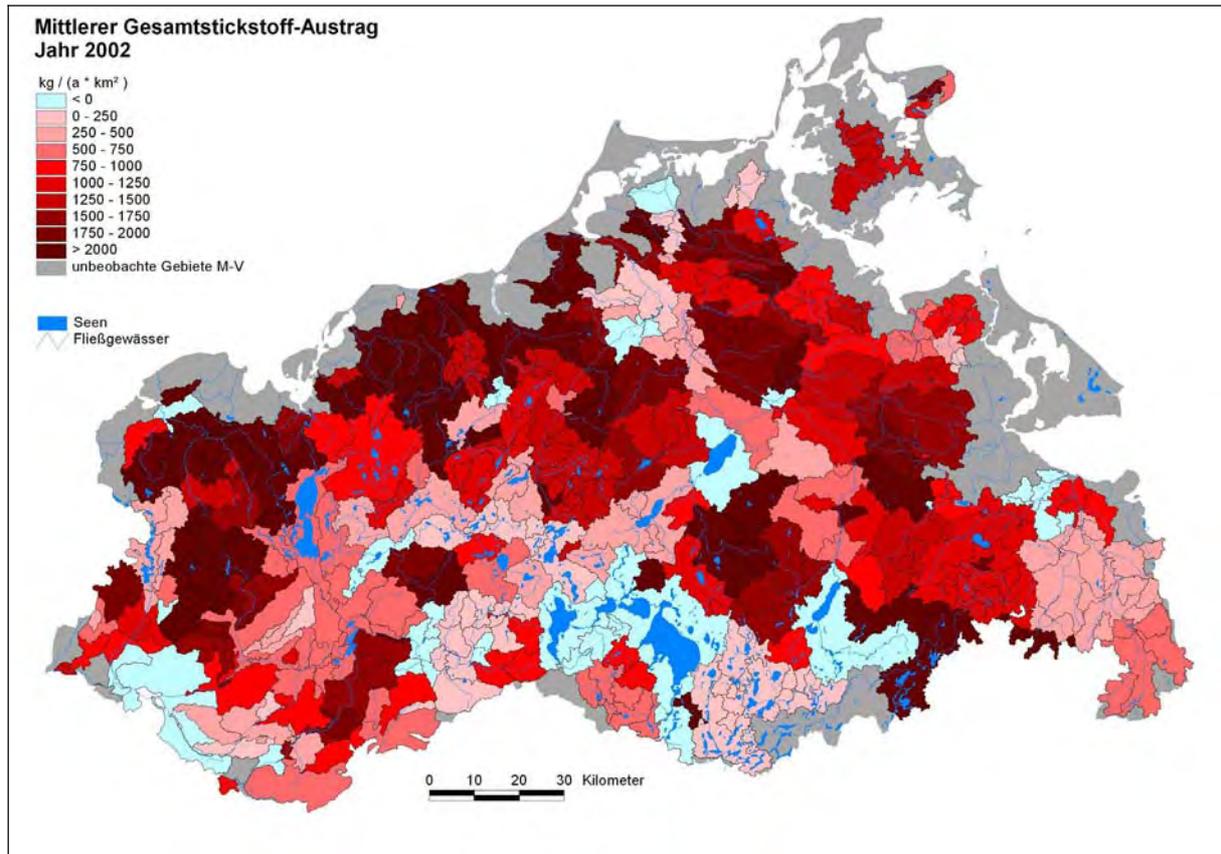
<http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/index.php?&cmd=list&typ=1&open=38&open2=40&&f63=Y&f43=Y&f44=Y&f134=Y&f45=Y&x=1&id=10137>

<http://www.lfl.bayern.de/ilb/agrarstrukturentwicklung/10645>

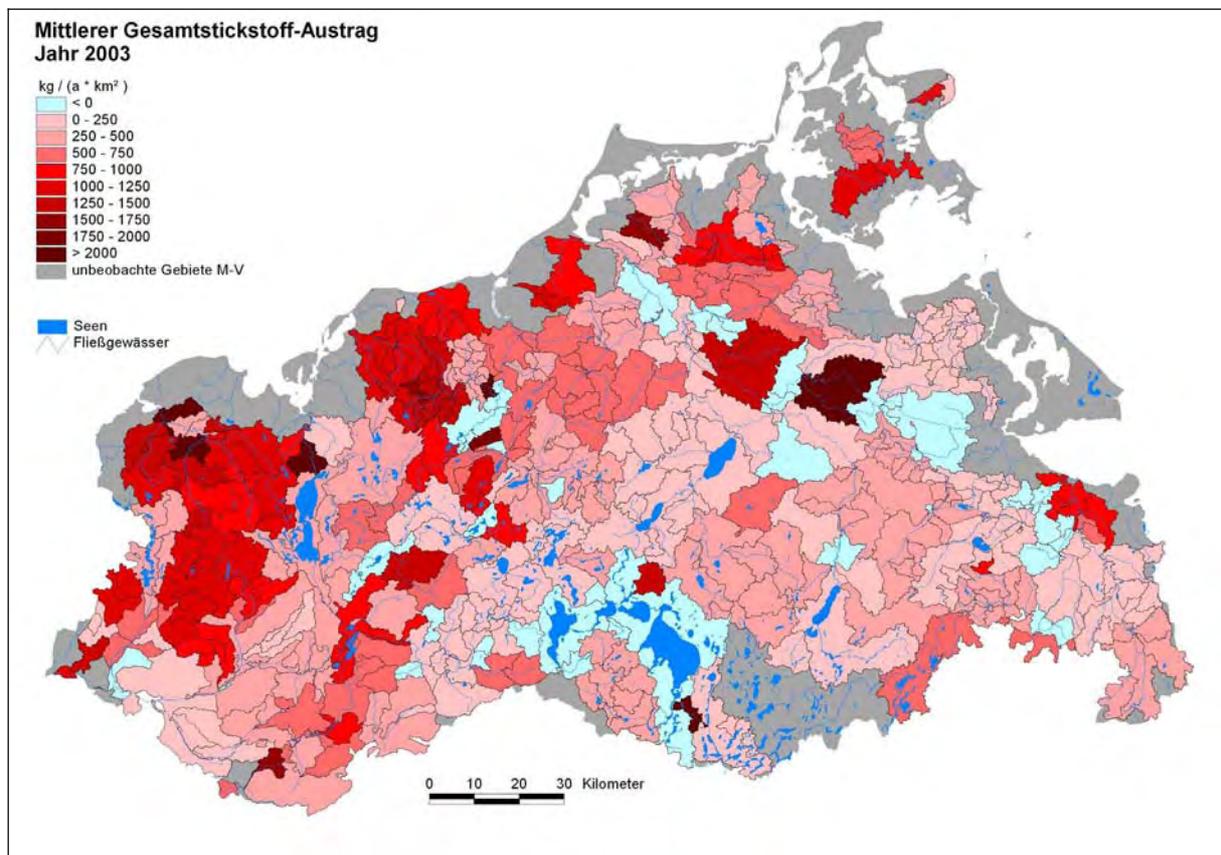
<http://www.stmlf.bayern.de>

## Anhang

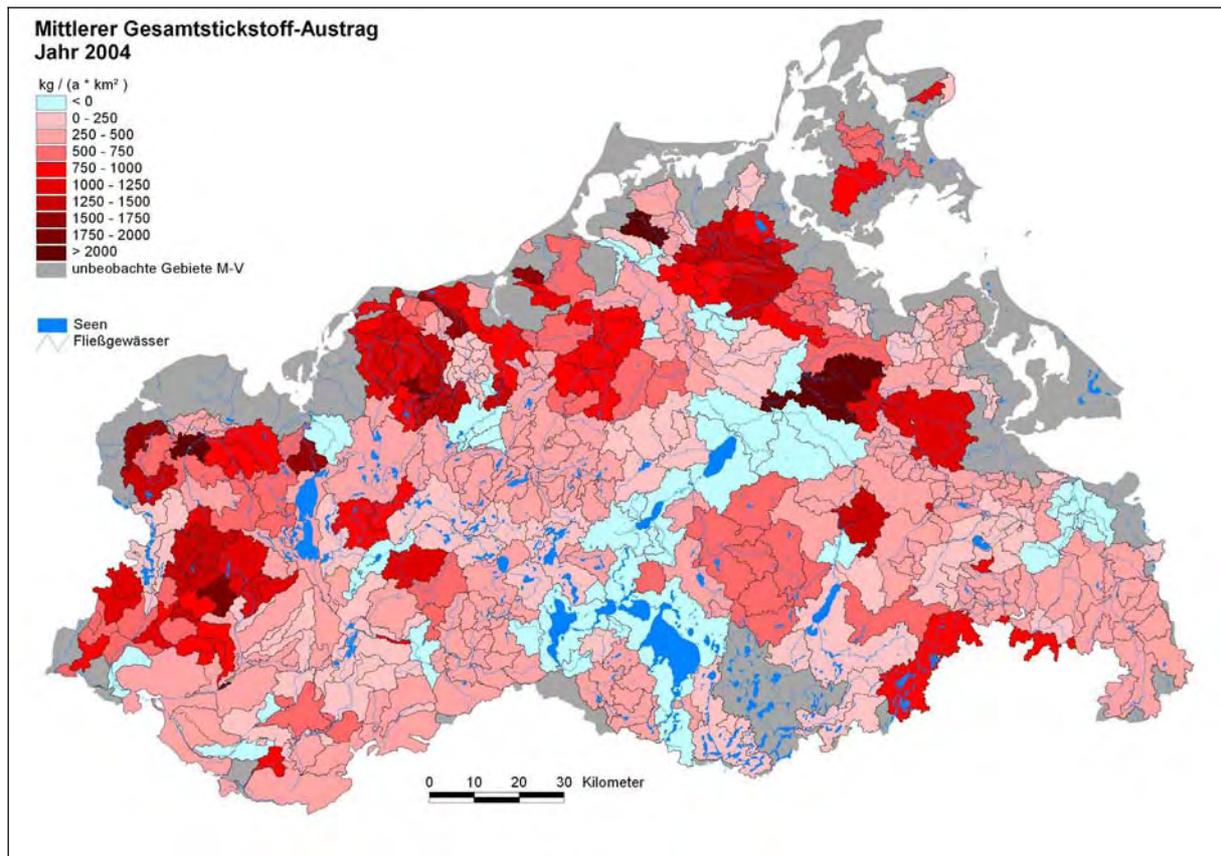
- Anhang 1: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2002)
- Anhang 2: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2003)
- Anhang 3: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2004)
- Anhang 4: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2005)
- Anhang 5: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2006)
- Anhang 6: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2007)
- Anhang 7: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2002)
- Anhang 8: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2003)
- Anhang 9: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2004)
- Anhang 10: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2005)
- Anhang 11: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2006)
- Anhang 12: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2007)



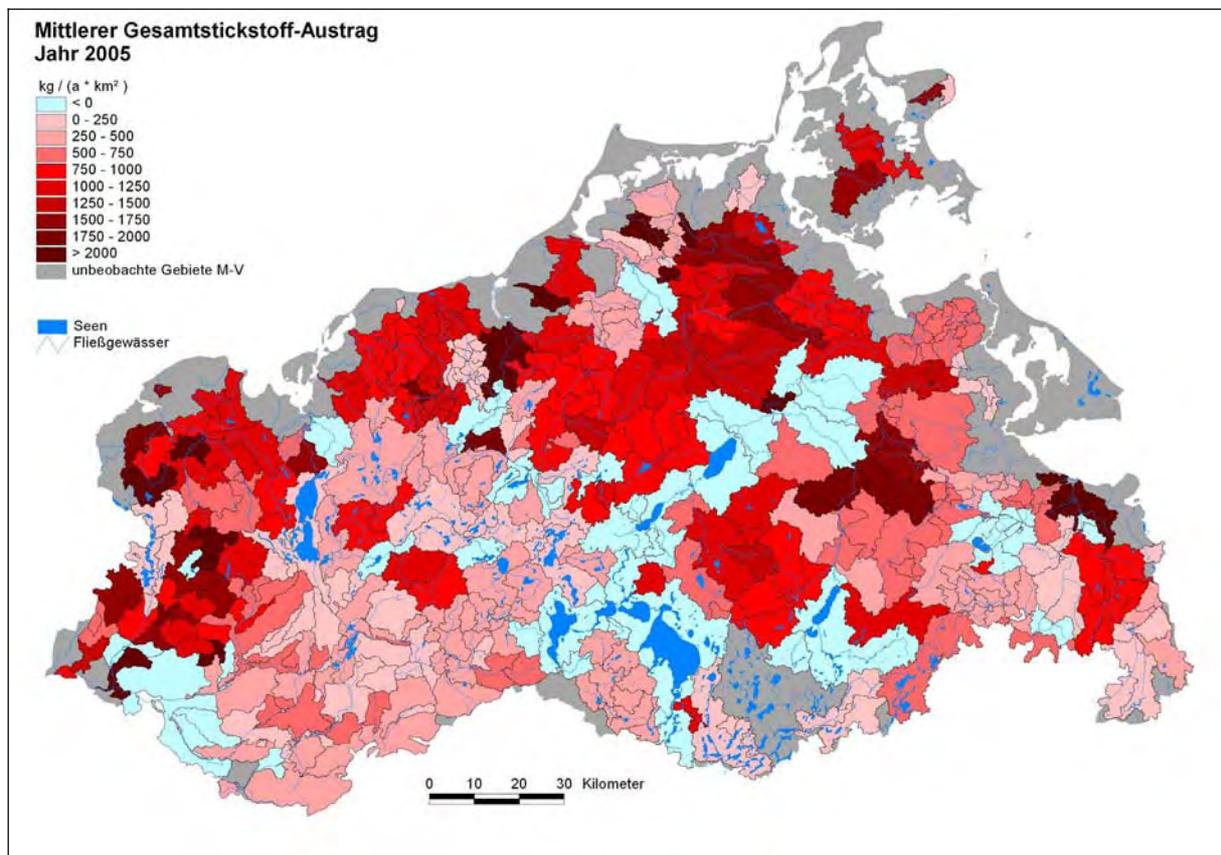
Anhang 1: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2002)



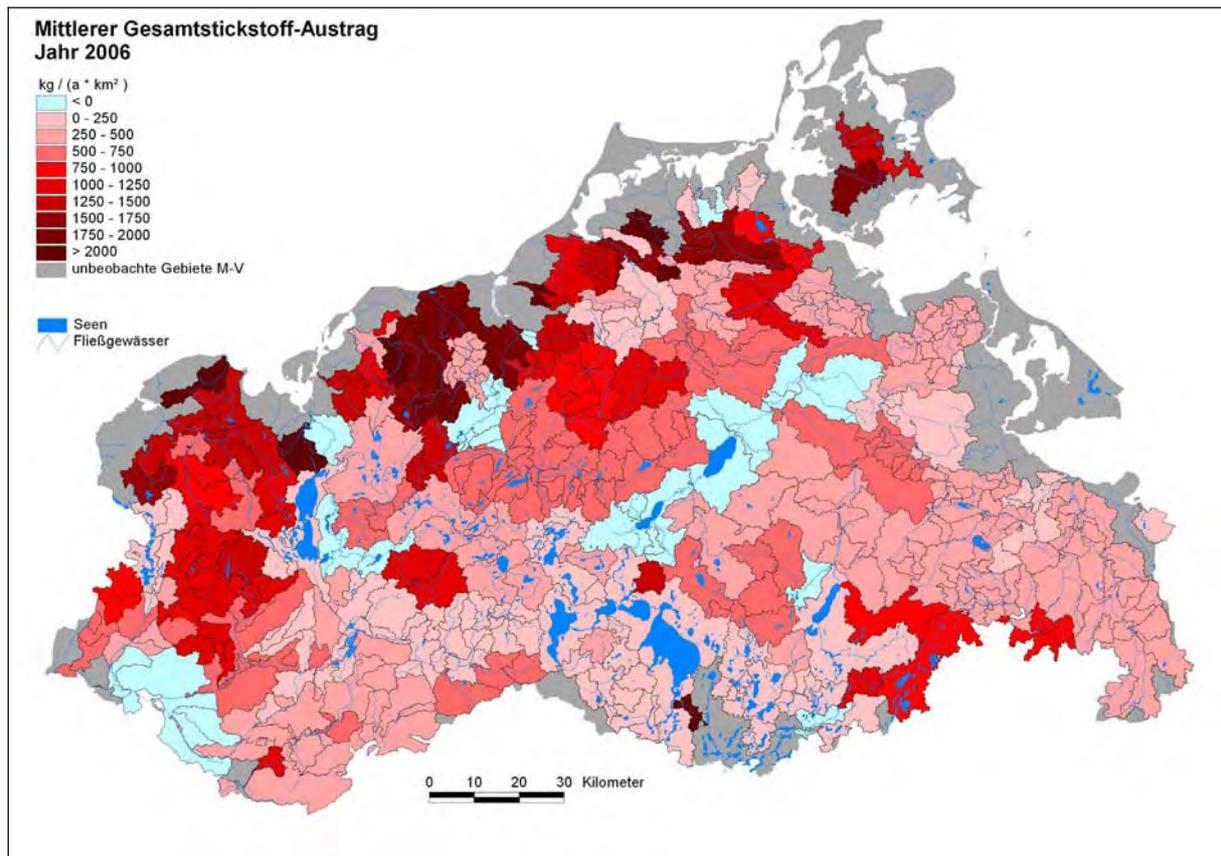
Anhang 2: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2003)



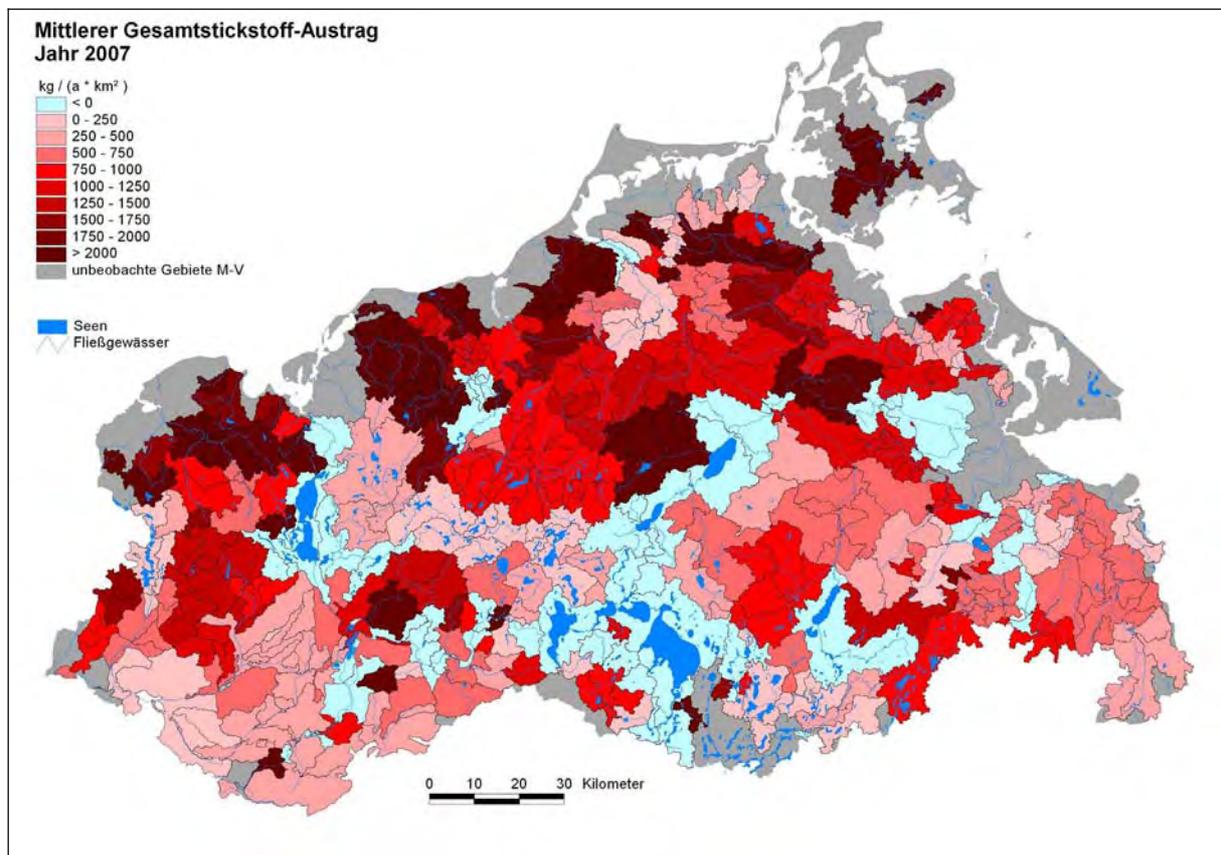
Anhang 3: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2004)



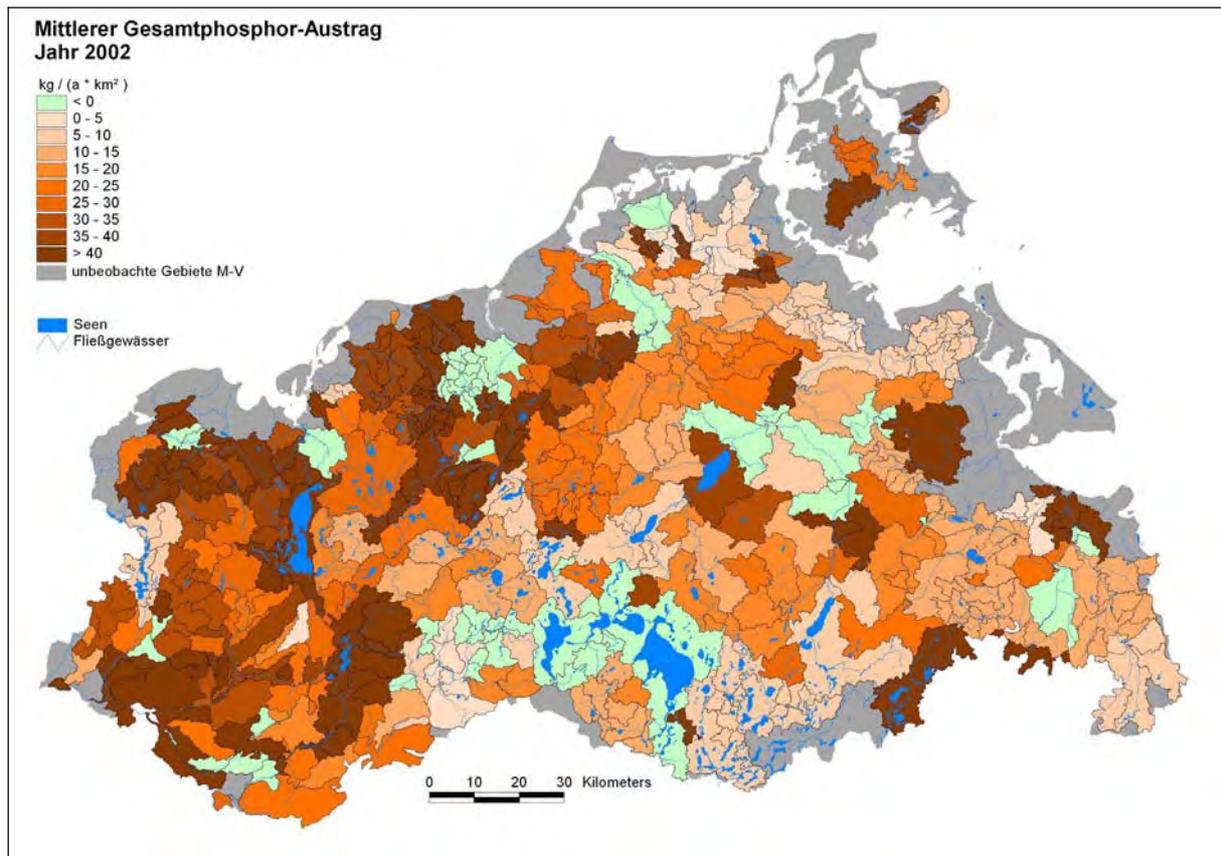
Anhang 4: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2005)



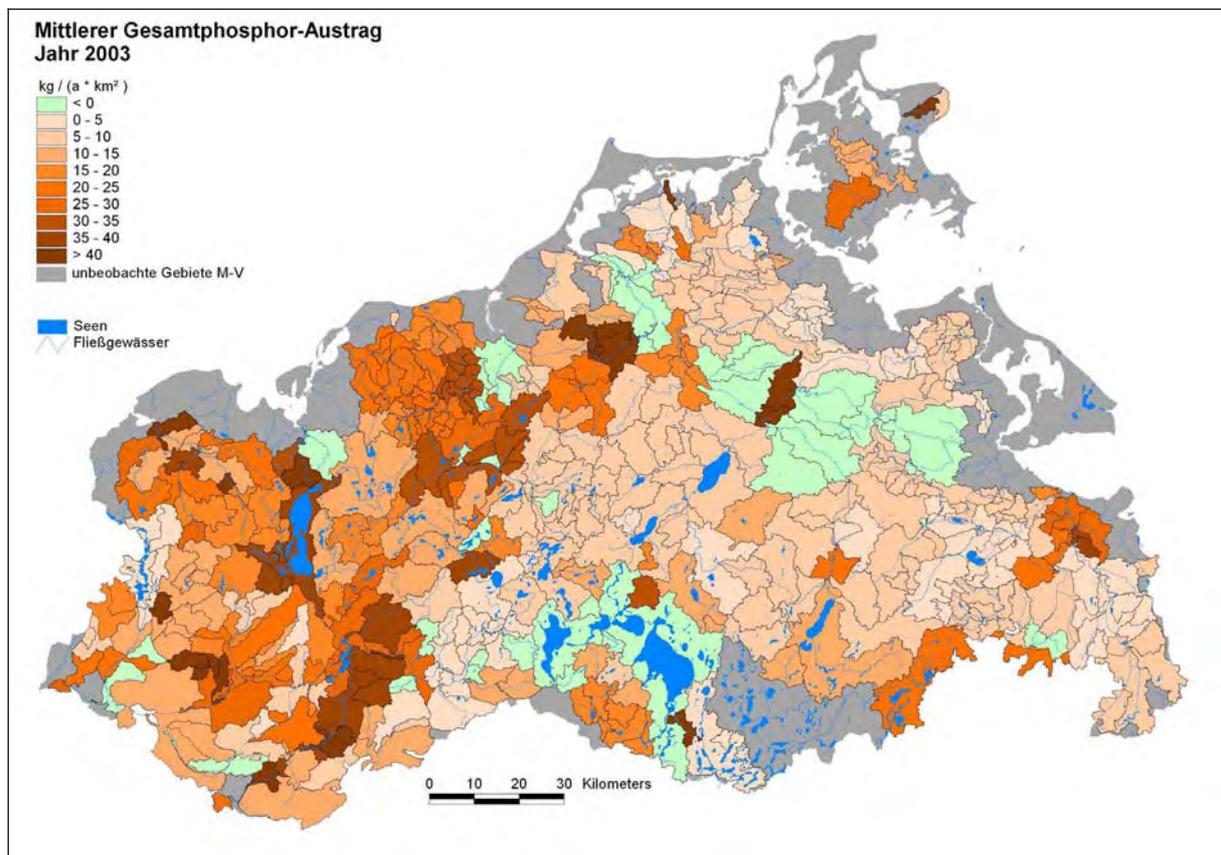
Anhang 5: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2006)



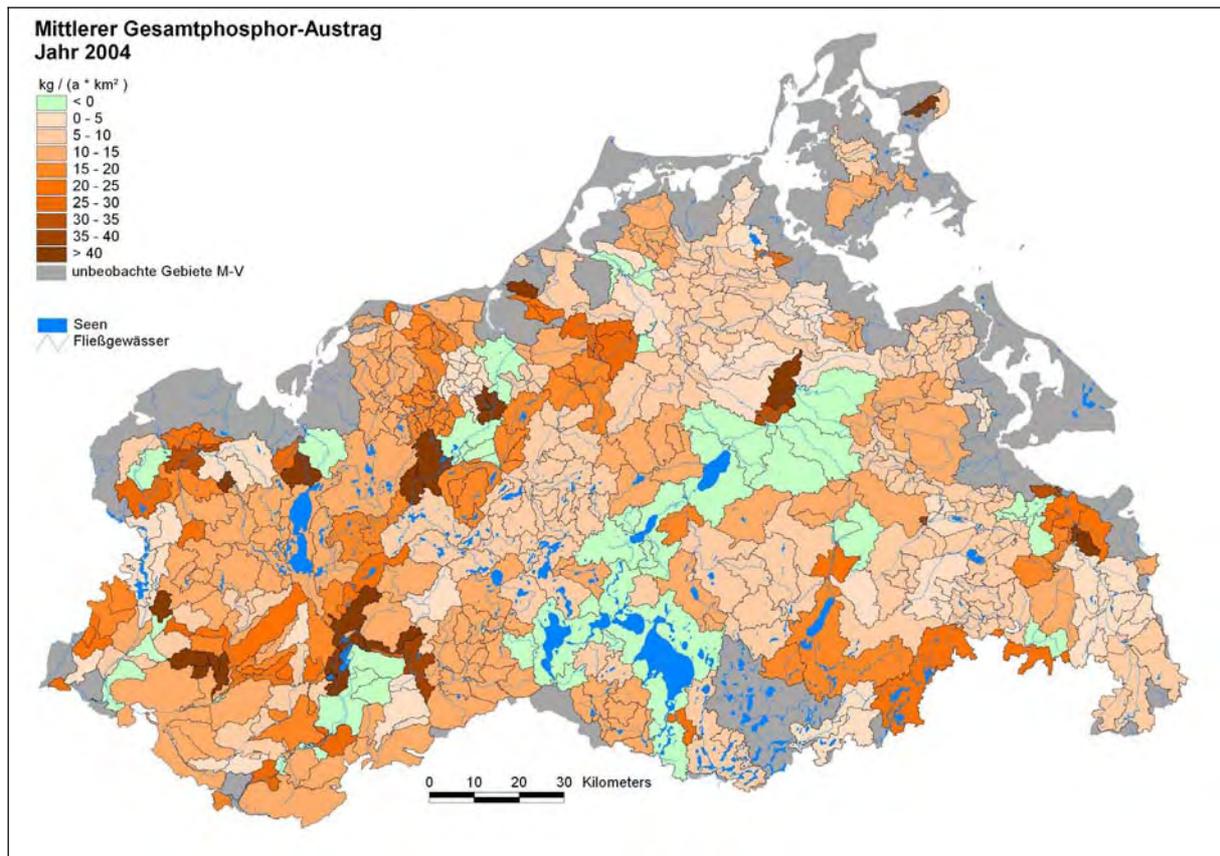
Anhang 6: Mittlere Stickstofffracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2007)



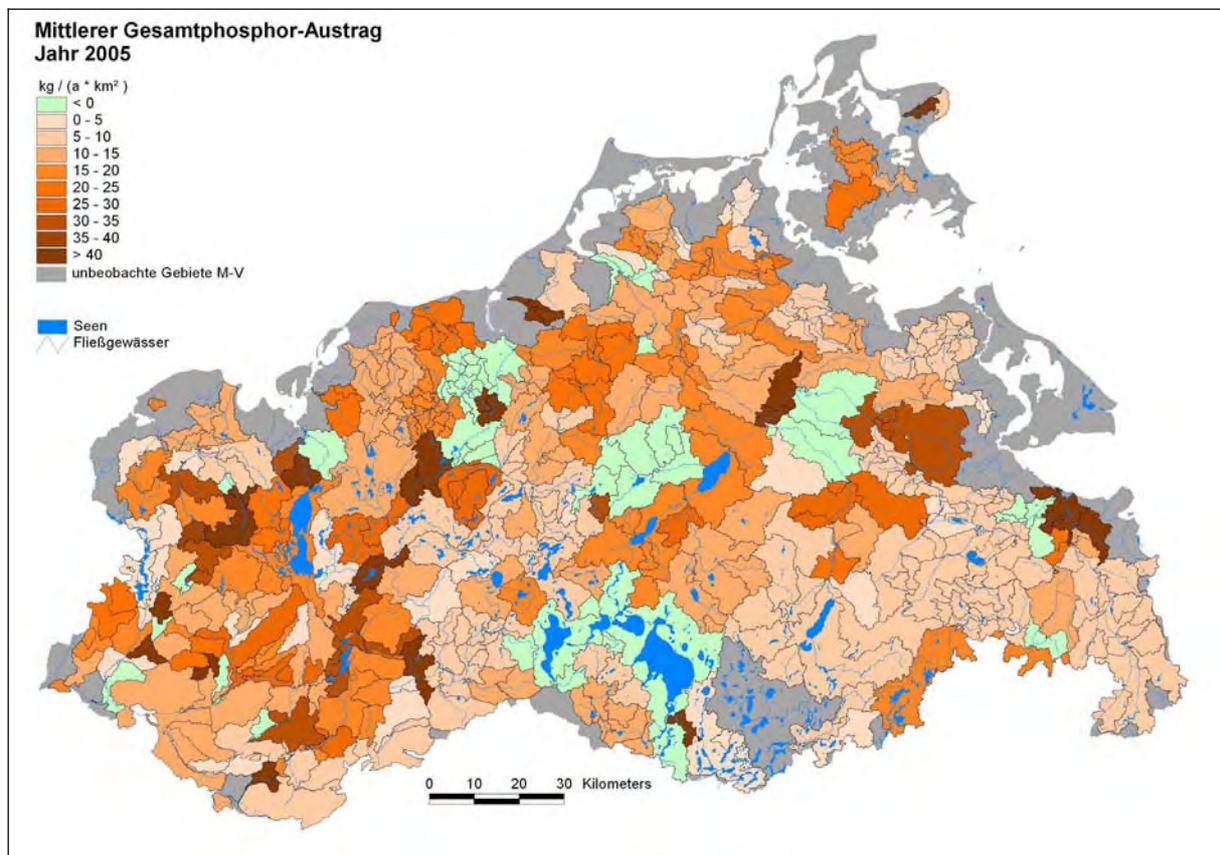
Anhang 7: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2002)



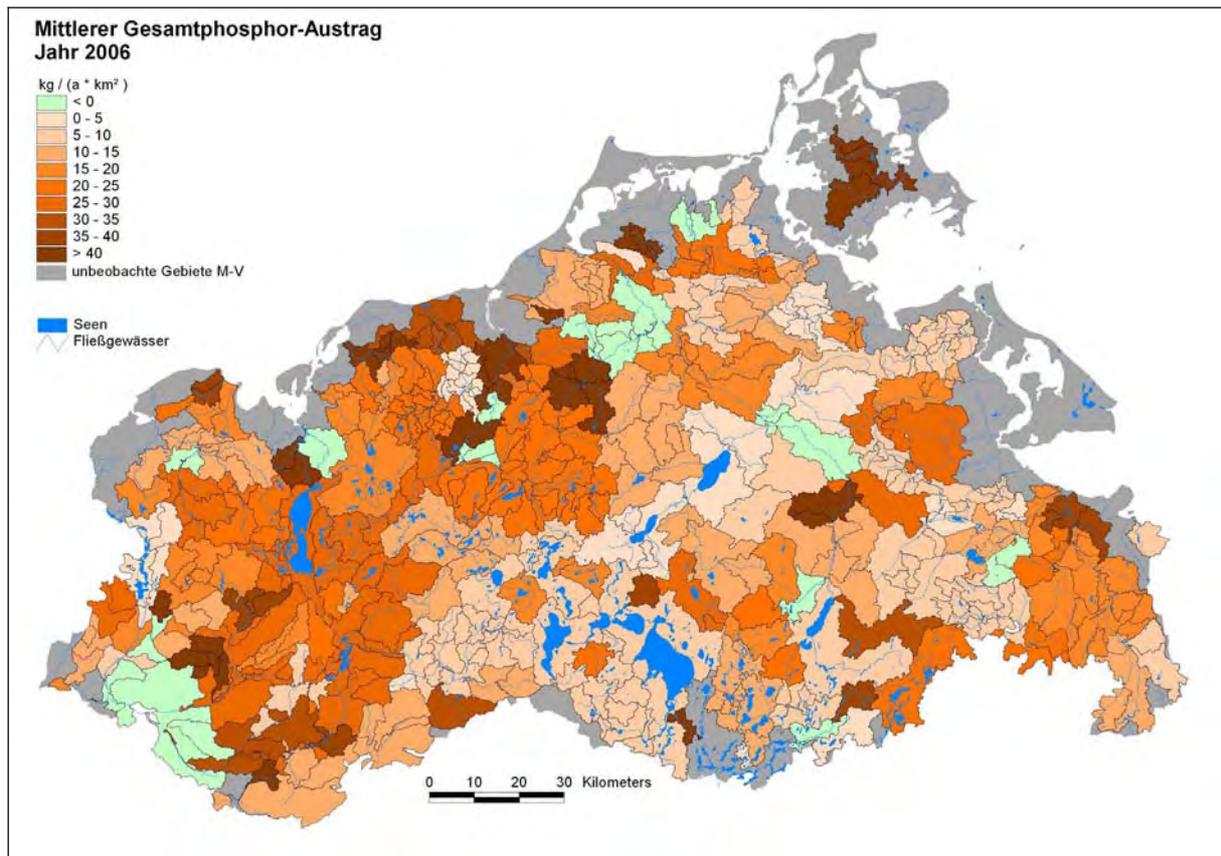
Anhang 8: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2003)



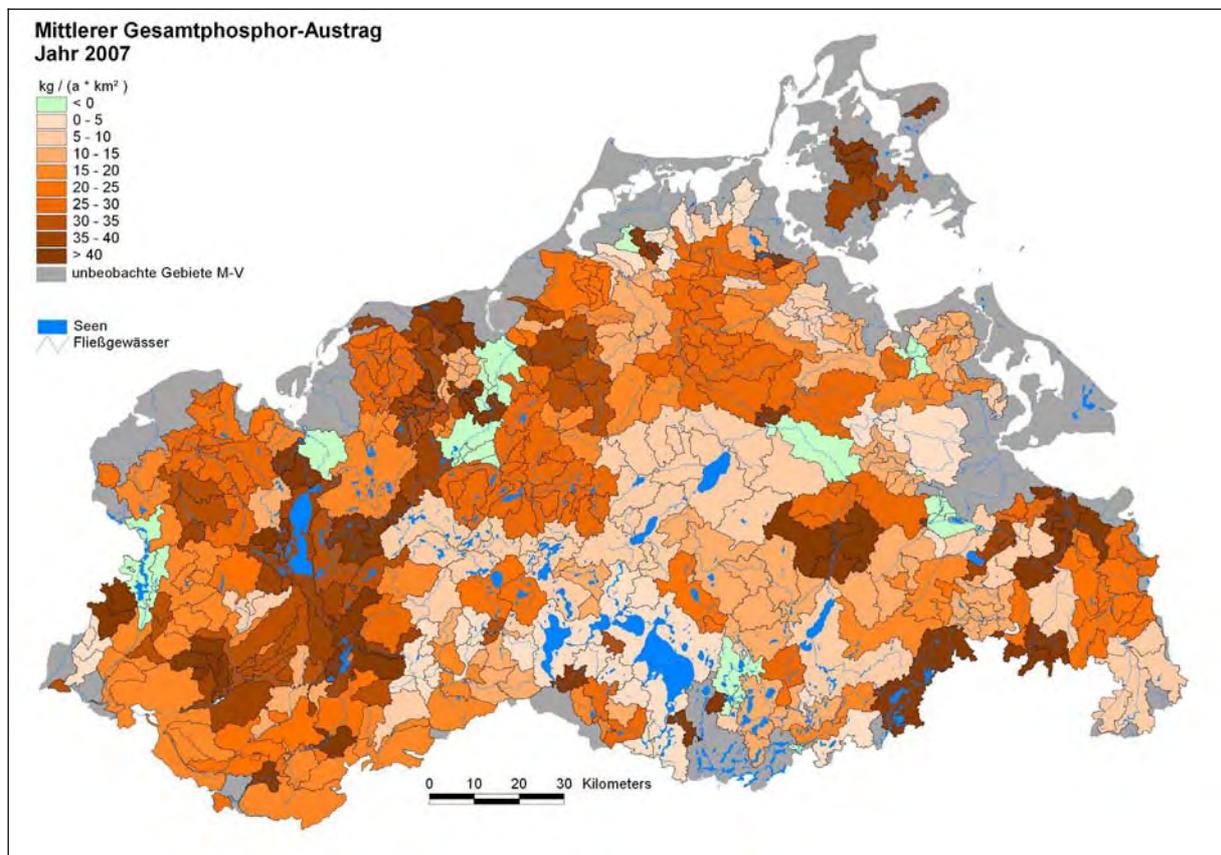
Anhang 9: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2004)



Anhang 10: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2005)



Anhang 11: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2006)



Anhang 12: Mittlere Phosphorfracht als „effektiver“ Gebietsaustrag (2007)