



Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN)

Nährstoffsituation der Binnen- gewässer in Niedersachsen

Gewässerüberwachung
Niedersachsen und
landesweite Modellierung



Niedersachsen



Oberirdische Gewässer Band 44

Niedersächsischer Landesbetrieb für
Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN)

Nährstoffsituation der Binnen- gewässer in Niedersachsen

Gewässerüberwachung
Niedersachsen und
landesweite Modellierung



Niedersachsen

Herausgeber:

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz (NLWKN)

Am Sportplatz 23

26506 Norden

Bearbeitung:

Stephanie Gudat, NLWKN Hannover-Hildesheim (Leitung)

Oliver Melzer, NLWKN Hannover-Hildesheim

Rebekka Schmid, NLWKN Hannover-Hildesheim

Nicolette Brunotte, NLWKN Hannover-Hildesheim (Karten)

Unter Mitwirkung von

Hans-Heinrich Schuster, NLWKN Sulingen

Lena Rönn, NLWKN Brake

Titelbilder: Gewässerlandschaften in Niedersachsen, Fotos: NLWKN & D.Tornow

1. Auflage 2021, 500 Stück

Stand: Dezember 2020

Bezug:

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz (NLWKN)

Göttinger Chaussee 76 A

30453 Hannover

<http://webshop.nlwkn.niedersachsen.de>



Niedersachsen

I Allgemeiner Teil

1	Einführung	10
2	Fachliche Grundlagen	11
2.1	Nährstoffe und Eutrophierung	11
2.1.1	Phosphor	11
2.1.2	Stickstoff	12
2.2	Eintragspfade von Nährstoffen	13
2.3	Rechtliche Anforderungen an Nährstoffgehalte in Fließgewässern	14
2.4	Nährstoffe in Seen	15
2.4.1	Zielvorgaben in Seen	16
2.5	Nährstoffe in Küstengewässern	17
2.6	Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen	18
3	Auswertung und Darstellung von Messdaten	19
3.1	Datengrundlagen	19
3.1.1	Trendberechnungen	19
3.1.2	Auswertung der Nährstoffgehalte	20
3.1.3	Seen	21
3.2	Statistische Methoden und Klassifizierungen	22
3.2.1	Trendanalysen	22
3.2.2	Klassifizierung der Nährstoffgehalte	22
3.3	Darstellung der Ergebnisse in Karten	23
4	Landesweite Nährstoffmodellierung (LNM)	24
4.1	Veranlassung	24
4.2	Methodik der LNM	24
4.3	Datengrundlagen und Auflösung	25
4.4	Emission und Immissionen	26
4.5	Validierung	26
4.6	Minderungsbedarf	26
4.7	Darstellung der Ergebnisse in Karten	27
5	Ergebnisse	28
5.1	Trendauswertungen	28
5.2	Bewertung der Nährstoffgehalte	31
5.3	Auswertungen Seen	32
5.4	Landesweite Nährstoffmodellierung	33
6	Quellen	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anzeichen einer Eutrophierung in der Fulda	11
Abbildung 2:	Anteile Phosphorfraktionen in niedersächsischen Gewässern.....	12
Abbildung 3:	Anteile Stickstofffraktionen in niedersächsischen Gewässern	13
Abbildung 4:	Blaualgenblüte im Dümmer	15
Abbildung 5:	Von abgestorbenen Phaeocystis-Kolonien verursachte Schaumberge an der Nordseeküste	17
Abbildung 6:	Vergleich der Ausgleichsgeraden für den Parameter TN (2000-2018) an der MST Hesselte	22
Abbildung 7:	Diffuse Eintragspfade von Nährstoffen in oberirdische Gewässer	25
Abbildung 8:	Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der TP-Frachten an ca. 40 Messstellen mit Frachten bis zu 10 t TP/Jahr.....	26
Abbildung 9:	Ergebnisse der Trendberechnung und Anzahl der MST für TP.....	28
Abbildung 10:	Ergebnisse der Trendberechnung und Anzahl der MST für oPO ₄ -P.....	29
Abbildung 11:	Ergebnisse der Trendberechnung und Anzahl der MST für TN	29
Abbildung 12:	Übersicht über die Gesamtemissionen für TN auf Bearbeitungsgebietsebene und ihre Aufteilung auf die Eintragspfade	33
Abbildung 13:	Übersicht über die Gesamtemissionen für TP auf Bearbeitungsgebietsebene und ihre Aufteilung auf die Eintragspfade	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Eintragspfade in Oberflächengewässer	13
Tabelle 2:	Übersicht der rechtlichen Anforderungen zu Nährstoffgehalten	14
Tabelle 3:	Auszug von Werten für Parameter gemäß OGewV	15
Tabelle 4:	Vorgaben zu Nährstoffen für Seentypen in Niedersachsen nach OGewV	16
Tabelle 5:	Anzahl MST mit Trendberechnungen.....	19
Tabelle 6:	Einteilung der Datenqualität der Werte 2014-2018	20
Tabelle 7:	Anzahl MST und zugehörige Klassifizierung für den Zeitraum 2014-2018	20
Tabelle 8:	Einteilung der Datenqualität der Werte 2019.....	20
Tabelle 9:	Anzahl MST und ihre Klassifizierungen für das Jahr 2019.....	20
Tabelle 10:	Signifikanzbewertungen der Trendbetrachtungen	22
Tabelle 11:	Prozentuale Änderung der TP-Konzentration und Anzahl der MST mit fallendem und steigendem Trend.....	28
Tabelle 12:	Prozentuale Änderung der oPO ₄ -P-Konzentration und Anzahl der MST mit fallendem und steigendem Trend.....	29
Tabelle 13:	Prozentuale Änderung der TN-Konzentration und Anzahl der MST mit fallendem und steigendem Trend.....	30
Tabelle 14:	Übersicht zu den Bewertungen der MST gemäß OGewV für die Parameter TN, TP und oPO ₄ -P	31
Tabelle 15:	Übersicht zu den Bewertungen der MST gemäß OGewV nach Flussgebietseinheiten.....	32
Tabelle 16:	Übersicht über Gesamtemissionen, Minderungsbedarf und Anzahl der Wasserkörper (WK) mit Minderungsbedarf (MB) für TN und TP als Ergebnis der landesweiten Nährstoffmodellierung	33

II Kartenteil (ab Seite 37)

Karten 1 bis 18: Trendkarten

- Karte 1: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) und Trendschätzung (Theil-Sen) an 38 Überblicksmessstellen für Gesamtphosphor (TP)
- Karte 2: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) und Trendschätzung (Theil-Sen) an 38 Überblicksmessstellen für Orthophosphat (o-PO₄-P)
- Karte 3: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) und Trendschätzung (Theil-Sen) an 38 Überblicksmessstellen für Gesamtstickstoff (TN)
- Karte 4: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) und Trendschätzung (Theil-Sen) an 380 Messstellen für Gesamtphosphor (TP)
- Karte 5: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) und Trendschätzung (Theil-Sen) an 380 Messstellen für Orthophosphat (o-PO₄-P)
- Karte 6: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) und Trendschätzung (Theil-Sen) an 380 Messstellen für Gesamtstickstoff (TN)
- Karte 7: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 63 Messstellen für Gesamtphosphor (TP) im Einzugsgebiet der Elbe
- Karte 8: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 63 Messstellen für Orthophosphat (o-PO₄-P) im Einzugsgebiet der Elbe
- Karte 9: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 63 Messstellen für Gesamtstickstoff (TN) im Einzugsgebiet der Elbe
- Karte 10: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 64 Messstellen für Gesamtphosphor (TP) im Einzugsgebiet der Tide-Weser
- Karte 11: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 64 Messstellen für Orthophosphat (o-PO₄-P) im Einzugsgebiet der Tide-Weser
- Karte 12: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 64 Messstellen für Gesamtstickstoff (TN) im Einzugsgebiet der Tide-Weser
- Karte 13: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 144 Messstellen für Gesamtphosphor (TP) im Einzugsgebiet der südlichen Weser
- Karte 14: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 144 Messstellen für Orthophosphat (o-PO₄-P) im Einzugsgebiet der südlichen Weser
- Karte 15: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 144 Messstellen für Gesamtstickstoff (TN) im Einzugsgebiet der südlichen Weser
- Karte 16: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 90 Messstellen für Gesamtphosphor (TP) im Einzugsgebiet der Ems
- Karte 17: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 90 Messstellen für Orthophosphat (o-PO₄-P) im Einzugsgebiet der Ems
- Karte 18: Ergebnisse der Trendtests (Mann-Kendall) an 90 Messstellen für Gesamtstickstoff (TN) im Einzugsgebiet der Ems

Karte 19 bis 24: Landesweite Darstellungen

- Karte 19: Abgleich der Jahresmittelwerte der Jahre 2014-2018 mit den Orientierungswerten der Anlage 7 der OGewV für Gesamtphosphor (TP)
- Karte 20: Abgleich der Jahresmittelwerte des Jahres 2019 mit den Orientierungswerten der Anlage 7 der OGewV für Gesamtphosphor (TP)
- Karte 21: Abgleich der Jahresmittelwerte der Jahre 2014-2018 mit den Orientierungswerten der Anlage 7 der OGewV für Orthophosphat (o-PO₄-P)
- Karte 22: Abgleich der Jahresmittelwerte des Jahres 2019 mit den Orientierungswerten der Anlage 7 der OGewV für Orthophosphat (o-PO₄-P)
- Karte 23: Abgleich der Jahresmittelwerte der Jahre 2014-2018 mit dem Bewirtschaftungsziel gemäß §14 der OGewV für Gesamtstickstoff (TN)
- Karte 24: Abgleich der Jahresmittelwerte des Jahres 2019 mit dem Bewirtschaftungsziel gemäß §14 der OGewV für Gesamtstickstoff (TN)

Karten auf Ebene der WRRL-Bearbeitungsgebiete

Für die Parameter TN und TP sind in je 29 Karten jeweils der Minderungsbedarf sowie die Eintragswege dargestellt. Auf eigenen Kartennummern wird verzichtet, stattdessen liegt den Karten ein Blatt mit einer Übersicht über die enthaltenen Karten vor.

Karten der WRRL-relevanten Stillgewässer

Auf 5 Kartenblättern werden die wichtigsten Informationen zu Nährstoffgehalten der 28 WRRL-relevanten Seen (Seefläche mindestens 50 ha) dargestellt.

I Allgemeiner Teil

1 Einführung

Die Belastung der Flüsse, Übergangs- und Küstengewässer und Seen (Oberflächengewässer) mit Nährstoffen ist seit Jahren eine wichtige Wasserbewirtschaftungsfrage in allen niedersächsischen Flusseinzugsgebieten. Die Nährstoffe werden dabei überwiegend aus diffusen Quellen aus der landwirtschaftlichen Nutzung eingetragen, aber auch die Einträge aus Siedlungsgebieten und Kläranlagen spielen in einigen Regionen eine Rolle.

Die Europäische Kommission hat im Jahr 2015 zu dem Themenkomplex Nährstoffmanagement eine Pilotanfrage an die Bundesrepublik Deutschland gestellt, zusätzlich läuft ein Vertragsverletzungsverfahren zur Umsetzung der Nitrat-Richtlinie.

Als Reaktion auf die Pilotanfrage wurde auf Ebene der LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) die Durchführung einer sogenannten Defizitanalyse beschlossen, um das Nährstoffmanagement zu verbessern und zu harmonisieren.

Mittels einer Defizitanalyse soll für jeden Wasserkörper ermittelt werden, wie groß der Abstand (Defizit) zum guten Zustand ist: es ist also der Nährstoffgehalt pro Wasserkörper in Tonnen oder Kilogramm pro Jahr anzugeben, der über der tolerierbaren Nährstoffhöhe zum Einhalten oder Erreichen des guten ökologischen Zustands oder Potenzials liegt.

Niedersachsen erhebt über seinen Gewässerkundlichen Landesdienst im Rahmen des Gewässerüberwachungssystems Niedersachsen (GÜN) seit vielen Jahren verschiedene Daten zur Gütesituation der Gewässer, so auch zu den Nährstoffgehalten. Diese Monitoringdaten aus dem GÜN ermöglichen einen orientierenden Überblick über die Wasserqualität und zeigen Bereiche auf, in denen Handlungsbedarf besteht. Die Auswertung dieser GÜN-Daten in Bezug auf Nährstoffgehalte stellt einen Schwerpunkt dieser Veröffentlichung dar.

Monitoringdaten dienen zum einen der Erhebung, Überwachung und Bewertung des Zustands der Gewässer. Darüber hinaus werden jedoch auch Daten benötigt, um gegebenenfalls Schutzmaßnahmen abzuleiten und umzusetzen. Als prominente Beispiele seien hier die Verfahren zur Ausweisung nährstoffsensibler Gebiete im Zuge der Umsetzung der Dünge-Verordnung (DÜV, 2020) angeführt.

Die Defizitanalyse und Ausweisung von Schutzgebieten können in der Regel mit Monitoringdaten nicht erschöpfend beantwortet wer-

den, da nicht für jeden Wasserkörper in Niedersachsen Messwerte vorhanden sind. Deshalb wurde eine landesweite Nährstoffmodellierung für ganz Niedersachsen aufgesetzt. Dadurch können Informationen zu Nährstoffgehalten für jeden Wasserkörper ermittelt und so auch das Defizit dargestellt werden. Zudem erlaubt die Modellierung auch qualitative und quantitative Aussagen zu den Eintragswegen der Nährstoffe in die Gewässer. Einige Ergebnisse dieser landesweiten Modellierungsberechnungen sind ebenfalls Inhalt dieses Bandes.

Aufbau dieses Berichts

Der Bericht ist in 2 Teile gegliedert. Der erste Teil dieser Veröffentlichung stellt als Textteil die fachlichen Grundlagen zu Nährstoffen in den Gewässern und die rechtlichen Vorgaben dar, außerdem werden die durchgeführten Auswertungen erläutert und die Ergebnisse übersichtlich dargestellt.

Wesentlicher Bestandteil des vorliegenden Bandes sind die Karten (Teil II). So werden in landesweiten Karten und Übersichten die Situation und die Entwicklung der Nährstoffgehalte niedersächsischer Oberflächengewässer dargestellt. In Karten auf Ebene der Bearbeitungsgebiete sind darüber hinaus die modellierten Ergebnisse zur Höhe und den Wegen der Einträge in den Gewässern abgebildet.

Für jedes WRRL-Bearbeitungsgebiet wurden je zwei Karten erstellt, in denen die Parameter Gesamtphosphor und Gesamtstickstoff dargestellt sind. Für jeden Parameter werden die Ergebnisse der landesweiten Nährstoffmodellierung auf Wasserkörperebene sowie der Abgleich der Jahresmittelwerte der Messstellen (2014-2018) und deren Bewertung abgebildet.

Sofern die Größe der Bearbeitungsgebiete es zulässt, sind ggf. mehrere Gebiete in einem Kartenblatt dargestellt. Insgesamt umfasst dieser Kartenteil 58 Kartenblätter (je Kartensatz 29 Blätter), die nach der Nummer des Bearbeitungsgebiets in aufsteigender Reihenfolge sortiert sind. Zum leichteren Auffinden eines gesuchten Gebiets enthält der Teil II eine Übersicht mit der Zuordnung der Bearbeitungsgebiete zu den Kartenblättern.

Ebenfalls dargestellt wird für die 28 WRRL-relevanten Seen in Niedersachsen die Gewässerqualität hinsichtlich des Parameters Gesamtphosphor sowie zusätzlich der ökologische Zustand auf insgesamt fünf Kartenblättern. Eine Übersichtskarte zeigt die Lage der Stillgewässer in Niedersachsen.

2 Fachliche Grundlagen

2.1 Nährstoffe und Eutrophierung

Nährstoffe sind in natürlichen Gewässersystemen unverzichtbar, da es ohne Stickstoff- und Phosphorverbindungen kein Wachstum und kein Leben in den Gewässern geben würde. In vielen aktuell stark anthropogen überprägten Gewässern stellen die vorkommenden Gehalte an Nährstoffen jedoch ein Problem dar, denn Nährstoffe beeinflussen die Population und die Zusammensetzung der Artengemeinschaft maßgeblich.

In Ökosystemen findet die sogenannte Primärproduktion statt. Hierbei bauen Pflanzen, Algen und Bakterien (Primärproduzenten) unter Verwendung des Sonnenlichtes und chemischer Energie aus Nährstoffen organische Substanz (Biomasse) auf. Bei einem Überangebot von Nährstoffen, insbesondere Phosphor, kommt es zu einem massenhaften Wachstum von freischwebenden und festsitzenden Algen. Dieser Vorgang wird als Eutrophierung (von griechisch „gut nährend“) bezeichnet.

Durch die erhöhte Biomasse, die bei einem Nährstoffüberangebot entsteht, kommt es zu Verschattungen und die Gewässerpflanzen sterben ab oder werden durch weniger lichtempfindliche Arten verdrängt. Zusätzlich entsteht vermehrt abgestorbene Biomasse, die von Bakterien verstoffwechselt wird, wobei eine starke Sauerstoffzehrung insbesondere an der Gewässersohle entstehen kann. Dadurch kann die am Boden lebende Fauna absterben, ebenso kann ein Fischsterben die Folge sein. Das ökologische Gleichgewicht des Gewässersystems ist gestört, es kommt zu einer Verschiebung des Artenspektrums, so können z. B. großflächige Algenblüten sogenannter Blaualgen (Cyanobakterien), die auch Giftstoffe produzieren können, auftreten.

Die Anreicherung mit Nährstoffen verstärkt sich natürlicherweise mit dem Längsverlauf eines Gewässers, da im Laufe des Fließweges zahlreiche Nährstoffe aus dem Einzugsgebiet und durch den Eintrag von Biomasse in das Gewässer gelangen.

Laut Umweltbundesamt wurde im Mittel der Jahre 2012 bis 2016 480.000 Tonnen Stickstoff (N) pro Jahr in Deutschland in die Oberflächengewässer eingetragen. Für Phosphor (P) liegt der Wert bei 22.000 Tonnen pro Jahr. (UBA, 2020)

In Niedersachsen wurden im Mittel der Jahre 2015 bis 2017 pro Jahr ca. 89.000 Tonnen N und 3.100 Tonnen P in die Oberflächengewässer eingetragen, wobei für beide Nährstoffgruppen die diffusen Einträge überwiegen (siehe Kapitel 3).

Die Eutrophierung der Gewässer ist ein weltweites Problem, 80 Prozent der marinen Ökosysteme sind von Eutrophierung betroffen (UBA, 2020). Demnach ist nicht nur die Ökologie der Fließgewässer im Binnenland, sondern auch die der Nord- und Ostsee stark von erhöhten Nährstoffeinträgen beeinflusst. Hier trägt die Eutrophierung einen maßgeblichen Teil zur Verfehlung der Umweltziele bei (Abbildung 1).



Abbildung 1: Schaumbildung als Anzeichen einer Eutrophierung in der Fulda

2.1.1 Phosphor

Phosphor (P) ist ein sehr reaktives Element und kommt in der Natur nicht elementar, sondern gebunden in Form von verschiedenen organischen und anorganischen Verbindungen vor. Phosphate sind Verbindungen mit den Säureresten der Orthophosphorsäure.

Der am stärksten limitierende Faktor für die Primärproduktion in Fließgewässern und Seen sind Phosphor bzw. Phosphate, weil das Verhältnis seiner Verfügbarkeit im Gewässer zu der von den Pflanzen benötigten Menge sehr ungünstig ist. In unbeeinflussten Gewässern kommt Phosphor meist nur in niedrigen Konzentrationen vor. Moorgewässer weisen höhere Phosphatgehalte auf, da Moorböden und Böden mit sehr hohen Humusgehalten eine stärkere Phosphorverlagerung mit dem Sickerwasser aufweisen.

Hinsichtlich der Funktion von Phosphor als Nährstoff werden die Phosphor-Fractionen in Gewässern unterschieden durch die tatsächliche bzw. die potenzielle Bioverfügbarkeit. In Gewässern kommen überwiegend folgende „Arten“ von Phosphaten vor:

Orthophosphat

Im Wasser gelöste anorganische Orthophosphate (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) sind für Algen und Wasserpflanzen frei und schnell verfügbar, deshalb werden sie von diesen auch direkt aufgenommen. Es hat dementsprechend eine sehr hohe sofortige Bioverfügbarkeit. Die angegebenen Konzentrationen werden immer auf den Phosphorgehalt des Phosphats bezogen. So wird für Orthophosphat summarisch Orthophosphat-Phosphor = oPO₄-P angegeben.

Gebundener Phosphor

Hierbei handelt es sich um ungelöste Salze (z.B. Calcium- oder Aluminiumsalze), in denen das Phosphor partikulär oder mineralisch gebunden ist. Es kann sich auch um Organophosphorverbindungen sowie Poly- und Cyclo-Phosphate handeln, die zum Teil biologisch fixiert (also in Organismen gebunden) vorliegen.

Die gebundenen Phosphorverbindungen sind nur schwer löslich und spielen aufgrund ihrer stabilen Bindungen weitgehend eine untergeordnete Rolle, denn sie sind nicht direkt bioverfügbar. Allerdings kann der gebundene Phosphor unter bestimmten Bedingungen freigesetzt und somit direkt bioverfügbar werden. Dies kann bei Änderungen des pH-Wertes und der Sauerstoffverhältnisse (Sauerstoffarmut) oder bei der Zersetzung von Organismen passieren.

Gesamtphosphor

Der Gesamtphosphor (TP = total phosphorus) ist die Summe aller Phosphorfractionen in einem Gewässer.

Die durchschnittlichen Anteile der Phosphor-Fractionen in einer niedersächsischen Gewässerprobe zeigt die Abbildung 2. Hierfür wurden ca. 50.000 Messungen an den Messstellen des GÜN aus den letzten 12 Jahren ausgewertet.

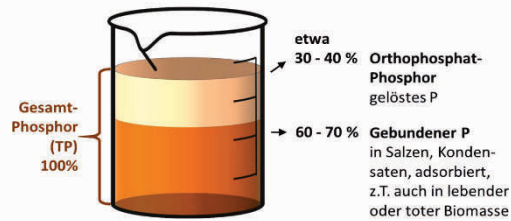


Abbildung 2: Anteile Phosphorfractionen in niedersächsischen Gewässern

2.1.2 Stickstoff

Stickstoff (N) ist in seiner elementaren Form mit ca. 78 % der Hauptbestandteil der irdischen Atmosphäre und eines der wichtigsten essentiellen Elemente für das Leben auf der Erde. Man unterscheidet anorganische und organische Stickstoffverbindungen. Zu den organischen Verbindungen, die auch in Gewässern auftreten, zählen Huminstoffe, Aminosäuren, Humin- und Fulvosäuren, zu den anorganischen Verbindungen Nitrat, Nitrit, Ammonium und Ammoniak.

In Gewässern tritt Stickstoff überwiegend als Ammonium und Nitrat auf. In unbelasteten Gewässern liegt Stickstoff im Wesentlichen als Nitrat und in sehr geringeren Mengen als Ammonium vor. In mit Abwässern belasteten Gewässern kann auch das toxische Zwischenprodukt Nitrit mengenmäßig eine Rolle spielen.

Ammonium

Ammonium (NH_4^+) ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und Indikator für eine Belastung mit Abwasser und ggf. Mineraldünger. Im Gewässer kann sich bei einer pH-Wert-Verschiebung in den alkalischen Bereich Ammoniak bilden, welches toxisch gegenüber Gewässerorganismen wirkt. In einem neutralen Milieu ist das Ammonium-Ion sehr stabil und pflanzenverfügbar. Unter aeroben Bedingungen wird Ammonium über Nitrit zu Nitrat oxidiert (Nitrifikation), was mit einem erheblichen Sauerstoffverbrauch verbunden ist.

Nitrat

Nitrat (NO_3^-) ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und nach Phosphor ein maßgeblicher Faktor für die Eutrophierung. Nitrat besitzt eine sehr gute Wasserlöslichkeit und sorbiert nicht an Bodenpartikeln. Nitratkonzentrationen schwanken im Jahresverlauf stark; während der Vegetationsperioden im Frühjahr und Sommer sind deutlich geringere Konzentrationen als in den

Wintermonaten, in denen über Drän- und Grundwasserzufluss Nitrat den Oberflächengewässern zugeführt wird, zu verzeichnen.

Nitrit

Nitrit (NO_2^-) entsteht als Zwischenprodukt bei der Oxidation von Ammonium zu Nitrat. Nitrit ist im Normalfall sehr kurzlebig, weil es schnell weiter oxidiert wird. Wird dieser Oxidationsprozess aber durch Sauerstoffmangel gehemmt oder unterbunden, kann es zu Anreicherungen von Nitrit-Stickstoff im Gewässer kommen. Fische reagieren am empfindlichsten auf erhöhte Nitritkonzentrationen im Wasser.

Gesamtstickstoff

Die Summe aller Stickstoffverbindungen in einem Gewässer wird als Gesamtstickstoff (TN = total nitrogen) bezeichnet. TN ist also die Summe der Gewichtsanteile des Stickstoffs.

Um die Stickstoffkonzentrationen verschiedener Spezies miteinander vergleichen zu können, wird für die Oberflächengewässer bei Konzentrationsangaben in mg/l nur der jeweilige Stickstoff aus den Verbindungen angegeben (z.B. Ammonium-Stickstoff = $\text{NH}_4\text{-N}$). Für die Umrechnung gelten folgende Faktoren:

Ammonium	1mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$ = 1,29 mg/l NH_4^+
Nitrat	1mg/l $\text{NO}_3\text{-N}$ = 4,43 mg/l NO_3^-
Nitrit	1mg/l $\text{NO}_2\text{-N}$ = 3,28 mg/l NO_2^-

Die durchschnittlichen Anteile der Stickstoff-Fractionen in einer niedersächsischen Gewässerprobe zeigt die Abbildung 3. Hierfür wurden ca. 20.000 Messungen an den GÜN-Messstellen aus den letzten 12 Jahren ausgewertet.

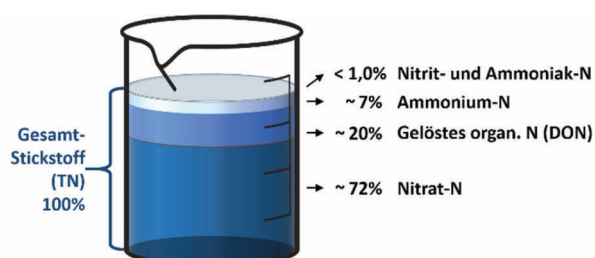


Abbildung 3: Anteile Stickstofffraktionen in niedersächsischen Gewässern

2.2 Eintragspfade von Nährstoffen

In allen unbeeinflussten Gewässern kommen Nährstoffe in geringen Konzentrationen vor, die Höhe variiert je nach Gewässertyp und Einzugsgebiet. Durch anthropogene Einflüsse werden zusätzlich punktuell oder diffus Nährstoffe in die Gewässer eingetragen. Tabelle 1 zeigt die unterschiedlichen möglichen Eintragspfade in die Gewässer.

Tabelle 1: Eintragspfade in Oberflächengewässer

Pfad	Beschreibung
Ab-schwem-mung	Zufluss von gelösten Nährstoffen über den Oberflächenabfluss
Deposition	Auswaschung von Nährstoffen aus der Luft auf die Land- und Gewässeroberflächen
Dränage	Transport von löslichen Nährstoffen über das Sickerwasser, welches in Dränleitungen gefasst und dem Oberflächengewässer zugeleitet wird
Erosion	Transport von Bodenmaterial mit angereicherten Nährstoffen aus stark geneigten Flächen mit dem Oberflächenabfluss
Grundwasser	Im Grundwasser gelöste Nährstoffe sickern bei effluenten Verhältnissen in das Oberflächengewässer
Kläranlagen-einleitungen	Punktuell Einleitung von gelösten Nährstoffen aus Abläufen von Kläranlagen
Urbane Siedlungsabläufe	Einleitung aus Regenüberläufen, Kanalentlastungen oder versiegelten Flächen
Zwischenabfluss	Oberflächennaher, lateraler Zufluss aus der ungesättigten Bodenzone, zeitverzögert zum Oberflächenabfluss

Punktuell Einträge sind Einträge, die örtlich einem bestimmten Punkt im Gewässerverlauf zugeordnet werden können. Überwiegend handelt es sich hierbei um Einläufe aus Kläranlagen (kommunales Abwasser) oder Einleitungen von Industriebetrieben. Gelegentlich stellen auch Ablagerungen oder Deponiestandorte

eine punktuelle Eintragsquelle dar, dann spielen Nährstoffe aber meist eine untergeordnete Rolle.

Wenn Einträge nicht genau zu lokalisieren sind oder flächenhaft in die Gewässer übergehen, handelt es sich um **diffuse Eintragsquellen**. Diffuse Eintragspfade sind häufig eng mit einer landwirtschaftlichen Nutzung verknüpft, auch zahlreiche kleine, verstreute Quellen wie Dränabflüsse stellen diffuse Quellen dar. Für die Oberflächengewässer kann auch die Speisung aus dem Grundwasser eine diffuse Quelle darstellen. Über diesen Weg werden Nährstoffe

aus dem Grundwasser in die Oberflächengewässer eingetragen. Außerdem werden Einleitungen aus urbanen Gebieten (Regenüberläufe, Kanalentlastungsbauwerke, Entwässerung von versiegelten Flächen) häufig den diffusen Einträgen zugeordnet.

Es gibt auch natürliche, geogen bedingte Nährstoffeinträge in die Oberflächengewässer, z.B. resultiert die höhere Phosphorbelastung in Marschengewässern aus den Ablagerungen phosphorhaltiger Sedimente aus der Entstehungszeit der Marschen.

2.3 Rechtliche Anforderungen an Nährstoffgehalte in Fließgewässern

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL, im Folgenden kurz „WRRL“) fordert als zentrales Ziel in Bezug auf die Wasserqualität, die Hydromorphologie des Gewässers und seiner Funktion als Lebensraum für Pflanzen und Tiere den guten ökologischen und chemischen Zustand bis spätestens 2027 zu erreichen.

Zur Konkretisierung der Regelungen und Vorschriften aus der Wasserrahmenrichtlinie wurde 2011 die Verordnung zum Schutz von Oberflächengewässern (OGewV) erlassen und 2016 fortgeschrieben.

Für den chemischen Zustand werden Umweltqualitätsnormen (UQN) für prioritäre Schadstoffe (z.B. Pestizide oder Schwermetalle) gemäß Anlage 8 der OGewV festgelegt. Reduzierungsziele im Hinblick auf Nährstoffkonzentrationen sind jedoch nur indirekt gefordert. In Anhang VIII der WRRL werden unter anderem Stoffe, die zur Eutrophierung beitragen, insbesondere Nitrate und Phosphate, direkt genannt. Die WRRL fordert in Bezug auf Nährstoffe eine Reduzierung auf ein für das Gewässer und seine Flora und Fauna verträgliches Maß.

Zur Bewertung des ökologischen Zustandes werden hauptsächlich die biologischen Qualitätskomponenten Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten und Phytoplankton herangezogen. In Anhang V führt die WRRL die sogenannten allgemeinen chemisch-physikalischen Parameter (ACP) als unterstützende Bewertungskomponenten auf. Hier werden u.a. neben Temperatur, Sauerstoff- oder Salzgehalt auch die Nährstoffparameter aufgeführt. Als Anforderung für den guten Zustand eines Gewässers wird dort gefordert: „Die Nährstoffkonzentrationen liegen nicht über den Werten, bei denen die Funktionsfähigkeit des typspezifischen Ökosystems und die Einhaltung der [...] Werte für die biologischen Qualitätskomponenten gewährleistet sind.“ (siehe Tabelle 2).

Die OGewV konkretisiert die allgemeinen Vorgaben der WRRL aus Anhang 5 in Anlage 7, Nr. 2 werden für die einzelnen Parameter konkrete, Gewässertyp bezogene Werte genannt, die im Gewässer nicht überschritten werden sollten (siehe Tabelle 3).

Tabelle 2: Übersicht der rechtlichen Anforderungen zu Nährstoffgehalten

WRRL		Bewertungs- komponente	OGewV
Chemischer Zustand	Nitrate und Phosphate als mögliche Schadstoffe benannt	UQN gemäß Anlage 8 OGewV	UQN für Nitrat (NO ₃) = 50 mg/l
Ökologischer Zustand	Nährstoffverhältnisse dienen als unterstützende Komponenten	ACP als unterstützende Komponenten für die biologische Bewertung	Jahresmittelwerte für TP, O-PO ₄ und NH ₄ -N und Bewirtschaftungsziel für Gesamtstickstoff (TN) von 2,8 mg/l

Tabelle 3: Auszug von Werten für Parameter gemäß OGewV

Parameter	Gesamt- Phosphor (TP)	Orthophos- phat- Phosphor (o-P ₀₄ -P)	Gesamt- Stickstoff (TN)
Einheit	mg/l	mg/l	mg/l
Gewässertypen			
Bäche und Flüsse des Mittelgebirges	0,1	0,07	2,8
Große Flüsse und Ströme des Mittelgebirges	0,1	0,07	2,8
Bäche des Tieflandes	0,1	0,07	2,8
Kleine Flüsse des Tieflandes	0,1	0,07	2,8
Große Flüsse und Ströme des Tieflandes	0,1	0,07	2,8
Organische Fließgewässer	0,15	0,1	2,8
Marschengewässer	0,3	0,2	2,8

Zusätzlich enthält die OGewV in §14 ein Bewirtschaftungsziel für Stickstoff. Dieses Bewirtschaftungsziel wurde aufgrund des Meeresschutzes für Gesamtstickstoff auf 2,8 mg/l festgelegt. Dieser Wert darf am Übergabepunkt limnisch-marin nicht überschritten werden.

Umweltqualitätsnorm (UQN) Nitrat

Hohe Nitratgehalte sind überwiegend im Trinkwasser problematisch, da Nitrat im menschlichen Darm (insbesondere bei Säuglingen) zu Nitrit reduziert werden kann und dadurch der Sauerstofftransport im Blut blockiert werden kann (Methämoglobinämie). Außerdem kann die Bildung krebserregender Nitrosamine begünstigt werden. Die OGewV gibt die Umweltqualitätsnorm von 50 mg/l für Nitrat



Abbildung 4: Blaualgenblüte im Dämmer

zur Bewertung des chemischen Zustandes der Oberflächengewässer vor. Dieser Wert wurde aus Gründen der Gesundheitsvorsorge aufgrund der schädlichen Wirkung von hohen Nitratwerten im Trinkwasser auf die menschliche Gesundheit abgeleitet. 50 mg/l Nitrat entspricht einer Nitratstickstoffkonzentration in den Oberflächengewässern von 11,3 mg/l NO₃-N.

2.4 Nährstoffe in Seen

Seen weisen einen vom gesamten Einzugsgebiet sowie vom Zirkulationstyp abhängigen Stoffhaushalt auf. Von Natur aus kommen sowohl oligotrophe (nährstoffarme) als auch meso- und eutrophe (nährstoffreiche) Seen vor. Während sich oligotrophe Seen durch eine geringe Nährstoffzufuhr und demzufolge niedrige Primärproduktion auszeichnen, herrschen in eutrophen Stillgewässern für das Pflanzenwachstum „optimale“ Nährstoffverhältnisse. Ein wesentliches Kriterium für die Einstufung des Nährstoffzustandes (Trophie) von stehenden Gewässern ist der Gesamtphosphorgehalt im Seewasser, da Phosphor in natürlichen Gewässern i.d.R. den für das Pflanzenwachstum limitierenden Nährstoff darstellt. Eine steigende Nährstoffverfügbarkeit kann in Seen zur massenhaften Entwicklung mikroskopisch kleiner Algen (Algenblüten), häufig in Form von Blaual-

genmassenentwicklungen (Abbildung 4), führen. Neben ökologischen Folgen können auch erhebliche Nutzungsprobleme entstehen.

Die sich bei entsprechendem Nährstoffangebot natürlicher Weise einstellende Referenz-trophie von Seen ist von zahlreichen Faktoren wie z.B. der Seetiefe, dem Volumen des See-wasserkörpers, der Einzugsgebietsgröße und der Beschaffenheit der Zuflüsse abhängig.

Die niedersächsischen Flachseen sind von Natur aus eutrophe limnische Systeme (eu-tropher Referenzzustand). Eine im Verhältnis zum Gewässervolumen relative große Gewä-seroberfläche bei einer relativ geringen Was-sertiefe und stetiger Durchmischung des Was-serkörpers bedingt eine effektive photosyntheti-sche Ausnutzung der Einstrahlungsenergie. Die Produktivität der Flachseen ist somit deutlich höher als die tiefer geschichteten Seen (z.B. Baggerseen, Talsperren).

Aktuell unterliegen 28 niedersächsische Seen mit einer Seefläche von mehr als 50 ha einem regelmäßigen Monitoring gemäß WRRL.

Auch für die Beurteilung von Seenwasser-körper können die sogenannten unterstützen-den allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten (ACP) herangezogen werden. So sollte beispielsweise die Phosphor-konzentration in einem Bereich liegen, der die Funktionsfähigkeit des Ökosystems gewähr-leistet

2.4.1 Zielvorgaben in Seen

Die Gesamtposphorgehalte des Freiwas-sers von Seen besitzen einen engen Bezug zum Trophiestatus von Seen und zu den Be-wertungsmaßstäben hinsichtlich der biologi-schen Qualitätskomponente (Qk) Phytoplank-ton. Die Einhaltung der Gesamtposphorge-halte kann auf die anderen biologischen Quali-tätskomponenten Fische, Makrozoobenthos, Diatomeen und Makrozoobenthos eine positive Wirkung ausüben. Die im Rahmen des „LAWA-Phytoplankton-Projektes O 4. 10“ überprüften seentypspezifischen Hintergrund- und Orientie-rungswerte für Gesamtphosphor finden sich in Anlage 7, Nummer 2.2 der aktuell gültigen Oberflächengewässerverordnung. Dabei wer-den im Gegensatz zu den Orientierungswerten für Fließgewässer keine Grenzwerte, sondern nur Grenzbereiche für die einzelnen Seentypen abgeleitet, weil mit diesen die Nährstoffverhält-nisse der einzelnen Seen und jeweiligen Seety-pen besser beurteilt werden können (Tabelle 4).

Befindet sich der saisonale Mittelwert für Ge-samtphosphor im angegebenen seentypspezifi-schen Bereich, so indiziert in 75-50% der Fälle auch die Qk Phytoplankton eine gute Zustands-klasse für den jeweiligen See.

Tabelle 4: Vorgaben zu Nährstoffen für Seentypen in Niedersachsen nach OGewV

Ökoregion	Phytoplankton- See-Subtyp	Gesamtphosphor Saisonmittel (µg/l)
Mittelgebirge	7+9	14-20
	5+8	18-25
	6.1	30-45
	6.2	35-50
	6.3	45-70
Norddeutsches Tiefland	10.1	25-40
	10.2	30-45
	14	30-45
	11.1	35-45
	11.2	35-55
	12	60-90
	13	25-35

2.5 Nährstoffe in Küstengewässern

Eutrophierung gilt als globales Problem der Meeresumwelt. Die Eutrophierung der deutschen Nordsee konzentriert sich dabei hauptsächlich auf das kontinentale Küstenwasser, einen 50 bis 200 km breiten Wasserkörper mit verminderten Salzgehalten. In diesem küstennahen Gebiet machen sich die Nährstoffeinträge aus den direkt einmündenden Flüssen (Rhein, Elbe, Weser, Ems und Eider) anhand erhöhter Nährstoffkonzentrationen in der Wassersäule deutlich bemerkbar. In tidebeeinflussten und marinen Ökosystem ist Stickstoff der eutrophierende Faktor, der überwiegend durch den Ferntransport aus den Binnengewässern in die Küstengewässer eingetragen wird.

Direkte Eutrophierungseffekte in den Küstengewässern sind eine erhöhte Chlorophyll-a-Konzentration und das damit verstärkte Auftreten von Phytoplanktonblüten (Wachstum von Kiesel-, Blau- und Grünalgen). Zusätzlich wird vermehrt das Auftreten der Alge *Phaeocystis globosa* (Schaumalge) in Küstengewässern beobachtet.



Abbildung 5: Von abgestorbenen *Phaeocystis*-Kolonien verursachte Schaumberge an der Nordseeküste (Foto: K. Kolbe)

Seit Ende der 1970er Jahre bis zur Mitte der 1990er Jahre hat sich die Chlorophyll-a-Konzentration im deutschen Wattenmeer verdoppelt bzw. sogar verdreifacht (van Beusekom et al. 2005). Indirekte Eutrophierungseffekte sind das Auftreten von Sauerstoffdefiziten, der Rückgang der Seegrasflächen sowie Veränderungen der benthischen und pelagischen Lebensgemeinschaften.

Auch wenn seit Mitte der 1980er Jahre ein Rückgang der Nährstoffeinträge über die Flüsse zu verzeichnen ist (im Vergleich der Bewertungszeiträume 2012-2014 und 1983-1987 für Phosphor um 74 % und für Stickstoff um 56 %, (UBA 2017) reichen diese Reduzierungen noch

nicht aus, um den guten Zustand der Meeresumwelt zu erreichen. 55% der deutschen Nordseegewässer sind weiterhin eutrophiert. Bei der im Rahmen der Aufstellung der Bewirtschaftungspläne 2021 erfolgten Bewertung der Küstenwasserkörper erreichte 2019 erneut kein Wasserkörper der Küste den geforderten guten Zustand gemäß Wasserrahmenrichtlinie. Der gute Umweltzustand gemäß Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL 2008/56/EG) konnte bei der letzten Bewertung in 2018 bezüglich der Eutrophierung (Deskriptor 5) für die deutsche Nordsee ebenfalls nicht erreicht werden.

Die Novelle der Oberflächengewässerverordnung von 2016 hat in § 14 OGewV zum Schutz der Meeresgewässer einen Bewirtschaftungszielwert für Gesamtstickstoff (TN als Jahresmittelwert) für die in die Nordsee einmündenden Flüsse mit 2,8 mg TN/l an den Übergabepunkten limnisch-marin festgelegt. Als strategische Maßnahme zur Übertragung meeresökologischer Anforderungen auf das Binnenland hat die LAWA darauf aufbauend eine Empfehlung erarbeitet, die eine Übertragung des Zielwertes 2,8 mg TN/l auf das Binnenland vorsieht unter Berücksichtigung der relevanten Prozesse wie Stoffumsetzung und gewässerinterne Nährstoffretention. Für Niedersachsen ergibt sich demnach auch für die Binnengewässer als Zielwert mit Blick auf die Küsten- und Meeresgewässer ebenfalls eine jährliche Durchschnittskonzentration von 2,8 mg TN/l (LAWA 2014). Dieser Zielwert ist also an allen Binnengewässern-Messstellen im Hinblick auf den Meeresschutz einzuhalten.

2.6 Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen

Das Land Niedersachsen untersucht im Rahmen des Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN) die Nährstoffparameter Nitrit, Nitrat, Ammonium, Gesamtstickstoff, Gesamtphosphor und Orthophosphat-Phosphor an 414 Messstellen in Binnengewässern (Fließgewässer und Seen) (NLWKN, 2017). Die Parameter werden dabei an den Überblicksmessstellen und operativen Messstellen 1. Ordnung monatlich gemessen, an wenigen ausgewählten Überblicksmessstellen auch häufiger.

Überblicksmessstellen (ÜMS) stellen ein dauerhaftes Grobnetz an den größeren Gewässern in Niedersachsen dar. In jedem WRRL-Bearbeitungsgebiet befindet sich mindestens eine ÜMS. Die operativen Messstellen 1. und 2. Ordnung ergänzen die Überblicksmessstellen im notwendigen Umfang.

Für die Umsetzung der WRRL und insbesondere für die Maßnahmenplanung ist eine koordinierte und räumlich differenzierte Bewirtschaftung der Wasserkörper wichtig.

Daher wurden die großen Flussgebiete in kleinere Einheiten mit weitgehend einheitlichen naturräumlichen und sozioökonomischen Gegebenheiten gegliedert. Die Bearbeitungsgebiete stellen damit in Niedersachsen die wichtigste Ebene der Bewirtschaftungs- und Maßnahmenplanung dar.

Die Nährstoffdaten aus dem GÜN (ÜMS und operative MST 1. Ordnung) sind die wichtigste Datengrundlage für die Auswertungen und Karten in diesem Band.

3 Auswertung und Darstellung von Messdaten

3.1 Datengrundlagen

Für die vorliegenden Auswertungen wurden Messwerte für die Parameter

- *Gesamtposphat-Phosphor (TP)*
- *Orthophosphat-Phosphor (oPO₄-P)*
- *Gesamtstickstoff (TN)*

für den Zeitraum 01. Januar 2000 bis 31. Dezember 2019 herangezogen. Die Daten werden im Rahmen des GÜN oder aufgrund länderübergreifender Messprogramme erhoben. Die Auswahl der Messstellen (MST) orientiert sich an der Datenlage, die für jeden oben aufgeführten Parameter an jeder GÜN-MST eigens bestimmt wurde.

An jeder Messstelle wird für jedes Jahr die Anzahl der einzelnen Messwerte ausgewertet und der Jahresmittelwert gebildet. Messwerte kleiner der Bestimmungsgrenze (BG) fließen mit dem halben Wert der jeweiligen BG ein.

Die Bestimmungsgrenze, auch „*limit of quantification*“, (LOQ)“, ist die kleinstmögliche Konzentration (Menge) eines Analyten einer Probe, die durch eine festgelegte statistische Sicherheit und maximal zugelassener relativer Abweichung quantitativ bestimmt werden kann (nach DIN 2008, UBA 2005). Ab dieser Grenze erfüllt die Messung eine bestimmte Präzision. Die festgelegte Präzision gibt an, wie hoch die Werte aufgrund zufälliger Fehler streuen. Das wird in der Regel durch die Standardabweichung beschrieben. Bei analytischen Methoden wird die Präzision z.B. in die Wiederholungspräzision und die Messpräzision unterschieden:

- *Wiederholungspräzision: Maß für Wiederholbarkeit; d.h. dasselbe Verfahren am identischen Untersuchungsobjekt im selben Labor durch denselben Bearbeiter mit derselben Geräteausrüstung in kurzen Zeitabständen (UBA 2005)*
- *Messpräzision: Maß für die Schwankungen, die durch das Analysengerät verursacht werden (UBA 2005)*

Für den Fall, dass alle Werte eines Jahres unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, wird der Wert der jeweiligen Bestimmungsgrenze

angenommen. Ändert sich die Bestimmungsgrenze innerhalb eines Jahres, wird jeweils die höchste Bestimmungsgrenze verwendet.

Mit der Berechnung des Jahresmittelwertes werden auch die Extremwerte/Ausreißer zur Bewertung herangezogen. Extremereignisse wie z.B. Hochwasser (erhöhte Stofffrachten) werden demnach mitbetrachtet.

3.1.1 Trendberechnungen

Die landesweiten Trendauswertungen erfolgen für den Zeitraum 01.01.2000 bis 31.12.2018.

Alle verfügbaren Messstellen werden hinsichtlich ihrer Datenlage überprüft. Die Eignung einer Messstelle für eine Trendberechnung wird anhand folgender Kriterien festgelegt:

- *Die Datenreihe muss mindestens zehn Jahre aufweisen (ohne Datenlücke)*
- *Ein Jahr, welches weniger als sechs Messwerte aufweist, gilt als Datenlücke*
- *Alle Jahre vor der letzten Datenlücke (rückwirkend von 2018 gesehen) werden nicht berücksichtigt.*

Beispiel: Eignung von Messstellen für Trendberechnungen

An einer MST liegen in den Jahren 2006 und 2007 keine Messwerte und im Jahr 2016 nur fünf Messwerte vor.

Auswertung: Die Datenbetrachtung kann erst ab dem Jahr 2017 erfolgen, da die letzte Datenlücke 2016 vorliegt. Für die Trendberechnung stehen dann jedoch nur zwei Jahre (2017,2018) zur Verfügung. Dementsprechend ist die Messstelle nicht für eine Trendauswertung geeignet.

Von 380 betrachteten MST, können für die folgende Anzahl an Messstellen Trendberechnungen durchgeführt werden (Tabelle 5):

Tabelle 5: Anzahl MST mit Trendberechnungen

Parameter	Anzahl der MST
TP	353
oPO ₄ -P	355
TN	352

3.1.2 Auswertung der Nährstoffgehalte

Für die Bewertung der Konzentration jedes betrachteten Parameters wird die Datenqualität aller verfügbaren Messstellen im Zeitraum vom 01.01.2014 bis 31.12.2019 bestimmt. Aus den Jahresmittelwerten der einzelnen Jahre wird ein mittlerer langjähriger Mittelwert für den Fünfjahreszeitraum 2014-2018 bestimmt. Das Jahr 2019 wird einzeln ausgewertet und separat dargestellt.

Alle 380 möglichen Messstellen werden hinsichtlich ihrer Datenlage für den Zeitraum 2014-2018 entsprechend der folgenden Systematik eingeteilt (Tabelle 6):

Tabelle 6: Einteilung der Datenqualität der Werte 2014-2018

Datenqualität	Kriterium
Hervorragend	Parameter wurde in fünf Jahren mind. zwölfmal jährlich erfasst
Gut	Parameter wurde in fünf Jahren mind. zehnmal jährlich erfasst oder Parameter wurde innerhalb der fünf Jahre insgesamt 48 mal erfasst
Mäßig	Alle anderen Messstellen

Beispiel Datenqualität

- An Messstelle 1 liegen für alle fünf Jahre jeweils zehn Messwerte vor.
- An Messstelle 2 liegen für alle Jahre jeweils zwölf Messwerte vor, außer im Jahr 2014, hier gibt es keine Messwerte.

Auswertung: Beide MST erhalten die Datenqualität „Gut“.

Die Auswertung für den Fünfjahreszeitraum ergibt folgende Verteilung (Tabelle 7):

Tabelle 7: Anzahl MST und zugehörige Klassifizierungen für den Zeitraum 2014-2018

Parameter	Hervorragend	Gut	Mäßig
TP	197	170	13
oPO ₄ -P	213	155	12
TN	188	179	13

Die Messstellen mit einer mäßigen Datenqualität werden nicht ausgewertet und dargestellt. Des Weiteren werden alle Messstellen, deren Messung Ende 2017 oder Ende 2018 eingestellt wurde, ebenfalls nicht betrachtet. Eine Ausnahme in der Auswertung bilden die ÜMS. Diese werden unabhängig der Datenlage für jede Berechnung und Auswertung herangezogen. Aus den zusätzlich festgelegten Kriterien ergibt sich, dass folgende Anzahl an MST in den Karten dargestellt wird:

- TP: 368 MST
- oPO₄-P: 370 MST
- TN: 367 MST

Für die landesweite Darstellung für das Jahr 2019, wird die Datenlage der 380 möglichen Messstellen in folgende Kategorien unterteilt (Tabelle 8):

Tabelle 8: Einteilung der Datenqualität der Werte 2019

Datenqualität	Kriterium
Hervorragend	Parameter wurde mind. zwölfmal erfasst
Sehr gut	Parameter wurde mind. zehnmal erfasst
Gut	Parameter wurde mind. siebenmal erfasst
Mäßig	Alle anderen Messstellen

Die Auswertung für das Jahr 2019 ergibt folgende Verteilung (Tabelle 9):

Tabelle 9: Anzahl MST und ihre Klassifizierungen für das Jahr 2019

Parameter	Hervorragend	Sehr gut	Gut	Mäßig
TP	325	35	9	11
oPO ₄ -P	339	21	9	11
TN	339	21	9	11

3.1.3 Seen

Den Auswertungen zu den Seen liegen die aktuellsten Daten für den Bewirtschaftungsplan 2021 zugrunde. Die Beprobung erfolgte im Bewirtschaftungszeitraum. Alle MST wurden seit 2015 in einem gleichmäßigen Turnus (alle 3 Jahre) beprobt, da eine gleichzeitige Beprobung aufgrund des Umfangs nicht möglich ist.

Jeder See wurde in dem Turnus sechsmal pro Jahr (März bis Oktober) untersucht.

Die Vorgehensweise und Einteilung der Klassen zur Bewertung ist der Generallegende für die Seen-Karten im Kartenteil zu entnehmen (Teil II). Hier wird für die Bewertungen der TP-Konzentrationen im Gewässer in 3 Kategorien unterschieden: „eingehalten“, „kritisch“ und „überschritten“. Wie in Kapitel 2.4.1 erläutert, sind gemäß OGewV Anlage 7 für die Bewertungen Grenzbereiche je nach Gewässertyp vorgegeben. Liegen die Werte innerhalb dieser Bereiche wird die TP-Konzentration als „Kritisch“ eingestuft.

Die in den Seen-Karten bezeichneten Seetypen (ehemals „LAWA-Seetyp“), beziehen sich nicht auf die in Tabelle 4 aufgeführten Phytoplankton-See-Subtypen, sondern auf die einzelne Typisierung von Seen, die sich nach der jeweiligen Ökoregion ergibt. Eingeteilt werden diese anhand verschiedener geographischer, topographischer, geologischer, hydrologischer und morphometrischer Kenngrößen (LAWA, 2016).

3.2 Statistische Methoden und Klassifizierungen

3.2.1 Trendanalysen

Die Berechnung der Trends, auf Basis der Jahresmittelwerte, erfolgt anhand von zwei nicht-parametrischen Verfahren, um Stärke und Signifikanz eines möglichen Trends festzustellen.

Die Trendstärke wird mittels der Trendstärkeschätzung nach Theil-Sen berechnet (Theil, 1950; Sen, 1968). Bei der nicht-parametrischen Methode werden alle möglichen Steigungen jeder Wertepaare (Daten) ermittelt. Anschließend wird der Median aller berechneten Steigungen bestimmt. Dieser Wert gilt als Trendstärke für die gesamte Zeitreihe.

Die Anwendung des Median ist im Gegensatz zur einer Ausgleichsgeraden, wie sie bei der zur Methode der kleinsten Quadrate (Lineare Regression) verwendet wird, robuster gegenüber Ausreißern (Huxol, 2007) (Abbildung 6). Die Trendstärke wird als positiv = steigend oder negativ = fallend ausgegeben.

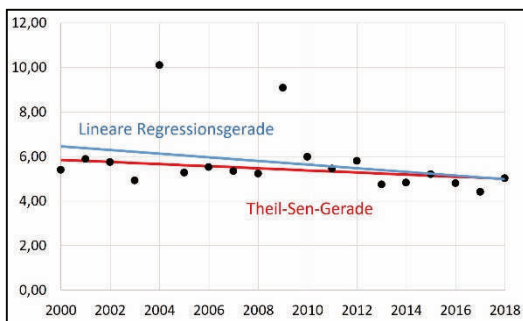


Abbildung 6: Vergleich der Ausgleichsgeraden für den Parameter TN (2000-2018) an der MST Hessele

Die Signifikanzbewertung erfolgt mittels des Mann-Kendall-Trendtests (Kendall, 1975; Mann, 1945). Es ist ein auf Rängen beruhender nicht-parametrischer Test, für den eine Normalverteilung der Daten nicht erforderlich ist (Huxol, 2007). Bei dem Signifikanztest wird überprüft, ob eine festgelegte Annahme bezüglich der Stichprobendaten bestätigt oder verworfen werden kann (Ehrenberg, 1986). Hierzu wird ein Testkriterium aus den vorliegenden Daten berechnet. Mittels der Varianz des Testkriteriums lässt sich ein sog. p-Wert bestimmen. Dieser wird abschließend mit dem gewählten Signifikanzniveau α verglichen. Der am häufigsten verwendete kritische Wert für die Statistische Signifikanz ($\text{Sig}(\alpha)$) liegt bei einem Niveau von 5% ($\alpha = 0,05$) (Ehrenberg, 1986). Das bedeutet, dass ein Fehlrisiko oder die sog. Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% für die Zeitreihe

angenommen wird. Das Fehlrisiko kann mit der Verwendung eines niedrigeren Signifikanzniveaus minimiert werden ($\alpha = 0,01$ oder $\alpha = 0,025$).

Für die vorliegenden Trendbetrachtungen werden folgende Signifikanzbewertungen vorgenommen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Signifikanzbewertungen der Trendbetrachtungen

Signifikanzniveau	Bewertung
p-Wert $> \alpha 0,2$	Nicht signifikant = Kein Trend
p-Wert $< \alpha 0,2$ p-Wert $> \alpha 0,1$	Tendenz
p-Wert $< \alpha 0,1$	Signifikanter Trend
p-Wert $< \alpha 0,05$	Stark signifikanter Trend

3.2.2 Klassifizierung der Nährstoffgehalte

Die Bewertung der Nährstoffgehalte erfolgt über den Abgleich der Messwerte mit den Vorgaben der OGewV. Für die Parameter Gesamtphosphor und Orthophosphat-Phosphor wird der Jahresmittelwert, bezogen auf ein Kalenderjahr mit dem jeweiligen Orientierungswert des Fließgewässertyps, an dem die MST liegt, verglichen. Für Gesamtstickstoff (ebenfalls der Jahresmittelwert bezogen auf das Kalenderjahr) gilt unabhängig vom Fließgewässertyp das Bewirtschaftungsziel von 2,8 mg TN/l (siehe Kapitel 2.3). Die Einstufungen nach OGewV entscheiden zwischen:

Eingehalten

Überschritten

Für die vorliegende Arbeit wird zusätzlich die Kategorie

Mind. 2-fach überschritten

eingeführt, um sehr hohe Belastungen gesondert hervorzuheben.

Für den Parameter Orthophosphat-Phosphor ist nach OGewV kein Orientierungswert für Übergangs- und Küstengewässer festgelegt.

Daher erfolgt an diesen Messstellen keine Bewertung.

3.3 Darstellung der Ergebnisse in Karten

Auswertungen, die auf Messdaten beruhen, werden in landesweiten bzw. flussgebietsweiten Karten dargestellt. Mit Ausnahme von Messstellen deren Datenqualität als mäßig eingestuft wurde.

Die Karten zeigen die zeitliche Entwicklung der Nährstoffgehalte (Trendanalysen) sowie die Konzentrationen als Mittelwert im Zeitraum 2014 bis 2018 sowie den Jahresmittelwert im Jahr 2019. Dabei gilt zu beachten, dass für die

Parameter TP und oPO₄-P gewässertyp-spezifische Werte anzuwenden sind. Diese sind in den Karten jeweils mit dargestellt.

Für die Überblicksmessstellen (ÜMST) sind bei den Trendanalysen neben Angaben zur Signifikanz (signifikanter Trend, Tendenz) die Trendstärke sowie die mittleren Konzentrationen des Zeitraums 2000 bis 2018 aufgeführt (siehe hierzu Kapitel 5). Für alle anderen MST sind die Signifikanzen der Trendanalysen sowie Angaben zum Zeitraum der ausgewerteten Daten aufgeführt.

4 Landesweite Nährstoffmodellierung (LNM)

4.1 Veranlassung

Anhand der Analyseergebnisse der Messstellen des GÜN lässt sich die Situation der Nährstoffgehalte mit sehr hoher Verlässlichkeit belegen. Allerdings ist es anhand eines Messwerts an einer Messstelle nicht ohne weiteres möglich, Aussagen zur Herkunft (Quelle) der Nährstoffe zu treffen, bzw. auf welchem Wege sie ins Gewässer eingetragen wurden (Eintragspfade). Zudem liegen in dem größeren Teil der Fließgewässer keine Messstellen vor, anhand derer die Bewertung der Nährstoffsituation vorgenommen werden könnte.

Da die Prozesse, durch die diffuse Nährstoffeinträge verursacht werden, sehr komplex und nur schwer zu erfassen sind, ist zu ihrer Quantifizierung der Einsatz von Modellen hilfreich. (z.B. Panckow, 2008). Für Niedersachsen wurden daher die Nährstoffeinträge in die Fließgewässer landesweit EDV-basiert modelliert (landesweite Nährstoffmodellierung, „LNM“).

Gemäß der WRRL sind alle Gewässer mit einem Einzugsgebiet $>10 \text{ km}^2$ in Wasserkörper (WK) zu unterteilen. Sie stellen weitestgehend einheitliche und bedeutende Abschnitte bzw. Teileinzugsgebiete eines Gewässers dar. Kriterien für die Abgrenzung der Wasserkörper sind unter anderem eine Mindestgröße (10 km^2 bei Fließgewässern) sowie der Wechsel der Zuordnung zu Gewässertypen oder -kategorien. Auch können mehrere kleine, einander ähnliche Gewässer (bzw. Bäche) zu einem Wasserkörper zusammengefasst werden.

Alle Gewässer besitzen flächenhafte Einzugsgebiete. Sie wurden lückenlos und flächendeckend ausgewiesen, so dass jeder Punkt in Niedersachsen zweifelsfrei und eindeutig genau einem Wasserkörper zugeordnet werden kann. Diese Wasserkörper-Einzugsgebiete grenzen einen ökologisch funktionsfähigen Raum ab und bilden eine sinnvoll zu bewirtschaftende Einheit. Oft beinhalten sie nicht nur ein einziges Gewässer (oft das namensgebende), sondern das gesamte darin befindliche Gewässersystem/-einzugsgebiet inklusive eventueller kleiner Bäche oder Zuflüsse.

In Niedersachsen gibt es mehr als 1500 Fließgewässerswasserkörper. Da sie vollständig oder zu überwiegenderen Teilen innerhalb Niedersachsens liegen, ist das Land Niedersachsen für diese berichtspflichtig. Messstellen sind hingegen nur in ca. 350 WK vorhanden. Die LNM dient daher auch dem Zweck, Aussagen

auch für die Wasserkörper ohne Messstellen treffen zu können.

Die Ergebnisse erlauben es nicht nur Aussagen bezüglich der Nährstoffsituation für Gewässer ohne Messstellen zu treffen, sondern auch verlässliche Angaben zu Herkunft und zu den Eintragswegen zu machen. Letztlich bilden die Ergebnisse eine belastbare Basis für die Defizitanalyse und die zielgerichtete Auswahl eventuell erforderlicher Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge in Gewässern auf Ebene der einzelnen Wasserkörper.

4.2 Methodik der LNM

Bei der LNM handelt sich um einen emissionsbasierten Ansatz, indem die Einträge in die Oberflächengewässer quantifiziert werden. Emissionsbasierte Ansätze zielen darauf, die jeweiligen Anteile verschiedener Verursachergruppen an einer Gesamtbelastung mit hoher Verlässlichkeit und räumlich hochaufgelöst abzuschätzen. So lassen sich die Quellen und die Wege der Einträge in die Gewässer für die verschiedenen Landnutzungen (Ackerland, Grünland, Wald, städtische Flächen usw.) qualitativ und quantitativ abbilden.

In geoökologischer Dimension kommt dem Wasser eine entscheidende Rolle als Transportmedium von Nährstoffen zu. Nährstoffe werden insbesondere in gelöster Form (z.B. als Nitrat) oder an Partikel gebunden (v.a. bei der Bodenerosion) mit dem Wasser verlagert.

In einem ersten Schritt erfolgt bei der LNM zunächst die Modellierung des Wasserhaushalts. Im Ergebnis stehen Gesamtabflusshöhen, die langjährigen, mittleren klimatischen Bedingungen entsprechen. Die Gesamtabflusshöhe wird in Abhängigkeit der standörtlichen Gegebenheiten auf verschiedene Pfade aufgeteilt (s.u.)

Basierend auf den Ergebnissen der Wasserhaushaltsmodellierung werden die Nährstoffflüsse unter Berücksichtigung der prozessbestimmenden Standortfaktoren ermittelt. Bestimmende Eingangsgröße ist hierbei die eingebrachte Nährstoffmenge (Input), die vor allem aus der Landnutzungsstruktur hergeleitet wird. Prozessbedingte Stoffrückhalte (Retention) werden – vor allem in Ober- und Unterboden so-

wie in Grundwasser und oberirdischen Gewässern – abgeleitet und in Abzug gebracht. Als Resultat ergibt sich eine nach Eintragspfaden differenzierte Abschätzung der Nährstoffeinträge in die oberirdischen Gewässer.

Eintragspfade, die im Modell unterschieden werden sind:

- *Abschwemmung*
- *Erosion*
- *Zwischenabfluss („Interflow“)*
- *Künstliche Entwässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen (v.a. landwirtschaftliche Dräne)*
- *Grundwasserpfad („Basisabfluss“)*
- *Urbane Quellen (Einträge aus Siedlungsgebieten, Kanalsystemen, dezentrale Abwasserversorgung)*
- *Atmosphärische Deposition auf Wasserflächen*
- *Punktuelle Einleitungen (i.d.R. zentrale Abwasserentsorgung, Kläranlagen)*

Die diffusen Eintragspfade werden in Abbildung 7 dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit fehlen darin die punktuellen Einträge.

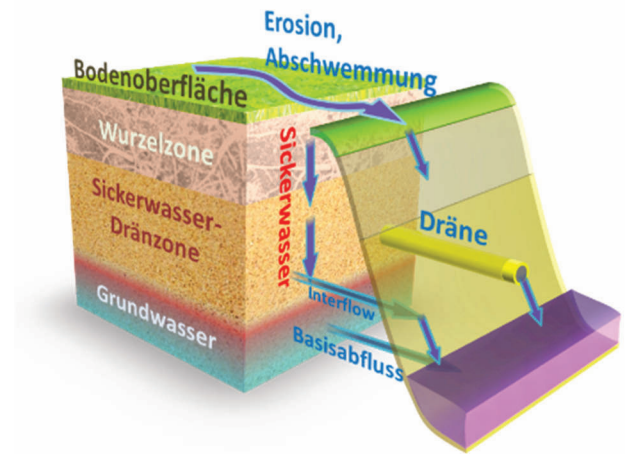


Abbildung 7: Diffuse Eintragspfade von Nährstoffen in oberirdische Gewässer

4.3 Datengrundlagen und Auflösung

Wichtige Eingangsdaten für die Modellierung sind:

- *Klimadaten: Regionalisierte, langjährige mittlere Daten zur Höhe der*
 - *Jahres-, Winter- und Sommerniederschläge*
 - *potenziellen Verdunstung von Landflächen*
 - *Temperatursummen*
- *Veränderliche und unveränderliche Standortfaktoren: Aktuelle digitale Karten- und (statistische) Tabellenwerke, z.B.*
 - *Geologische Karten, Bodenkarten*
 - *Gewässernetz, hydrologische Karten*
 - *Oberirdische Einzugsgebiete der Wasserkörper, Pegel Einzugsgebiete*
 - *Digitales Geländemodell*
 - *Landnutzung*
 - *Atmosphärische N- und P-Deposition*
 - *Art und Länge der Kanalisationen auf Gemeindeebene*
 - *Anschlussgrad der Bevölkerung an kommunale Kläranlagen*
- *landwirtschaftliche Struktur (Flächennutzung und Tierhaltung) auf Kreis- und Gemeindeebene*
- *kommunalen Kläranlagen (eingeleitete N- und P-Frachten, Schmutz- und Abwassermengen)*
- *relevante Wasserentnahmen (insbesondere Grundwasser)*

Die Ergebnisse der Modellierung werden in hoher räumlicher Auflösung ausgegeben. Die kleinste räumliche Einheit des Modells umfasst eine Fläche von 100m*100m bzw. einem Hektar. Diese Einheit wird als „Raster“ bezeichnet. Sie erlauben eine Zusammenfassung und Auswertung der Modellergebnisse auf beliebigen räumlichen Ebenen. Dies können unter anderem administrative oder natürliche Abgrenzungen sein, zum Beispiel Landkreis-, Gemeinde- oder Gemarkungsgrenzen, Wasserkörpereinzugsgebiete, Naturräume oder Flussgebietseinheiten. Die weiteren Ergebnisdarstellungen beziehen sich hauptsächlich auf die Abgrenzungen der oberirdischen Einzugsgebiete der Wasserkörper.

4.4 Emissionen und Immissionen

Unter Emissionen werden im Folgenden die Nährstoffmengen verstanden, die in das Gewässer über die verschiedenen Pfade eingetragen werden. Durch natürliche Umsetzungsprozesse (Retention) im Gewässer verringern sich diese je nach den im Gewässer herrschenden Bedingungen. Die verbleibende Menge nach der gewässerinternen Retention wird folgend als Immission bezeichnet. Die Immission wird unter anderem auch für die Ermittlung eines eventuellen Minderungsbedarfs herangezogen.

Emissionen und Immissionen lassen sich als Frachten (z.B. kg/a, kg/ha*a⁻¹) oder als Konzentrationen (mg/l) darstellen. Wird die Immission als Konzentration angegeben, so ist darunter die Konzentration als Jahresmittelwert zu verstehen, der sich im Mittel im betrachteten Wasserkörper einstellt.

4.5 Validierung

Um Aussagen zur Güte der modellierten Ergebnisse treffen zu können, werden die Ergebnisse der Modellierung tatsächlich gemessenen Werten gegenübergestellt. Dieser Prozess wird als Validierung bezeichnet und stellt einen wesentlichen Bestandteil der Qualitätssicherung dar.

Die Validierung erfolgt für die Berechnungen zum Wasserhaushalt mittels Abflussmesswerten (mittlerer langjähriger Abfluss MQ), zu Ergebnissen der Stoffhaushaltsmodellierung anhand von Messwerten der Güteparameter TN und TP (mittlere Jahresfrachten). Die Validierung des Wasserhaushalts erfolgte mittels etwa 200 Pegeln, für die Validierung zum Stoffhaushalt standen insgesamt ca. 75 Gütemessstellen-Pegel-Kombinationen zur Verfügung.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass der Abgleich der berechneten Abflüsse mit den tatsächlichen MQ eine sehr gute Übereinstimmung ergibt. Die Qualität des modellierten Wasserhaushalts kann damit als sehr gut bezeichnet werden.

Die überwiegende Anzahl der modellierten TN-Frachten liegt in einem Bereich von bis zu $\pm 15\%$ der beobachteten Frachten, bezüglich der TP-Frachten liegt dieser Bereich bei etwa $\pm 20\%$ Abweichung von den beobachteten Frachten. Beispielhaft ist dies in Abbildung 8 für ca. 40 Messstellen dargestellt, an denen die Fracht 10 t TP/Jahr nicht übersteigt.

Angesichts der insgesamt guten Übereinstimmung zwischen modellierten und beobachteten Frachten sind die Modellergebnisse als valide und ihre Qualität insgesamt als sehr gut bis gut zu bezeichnen.

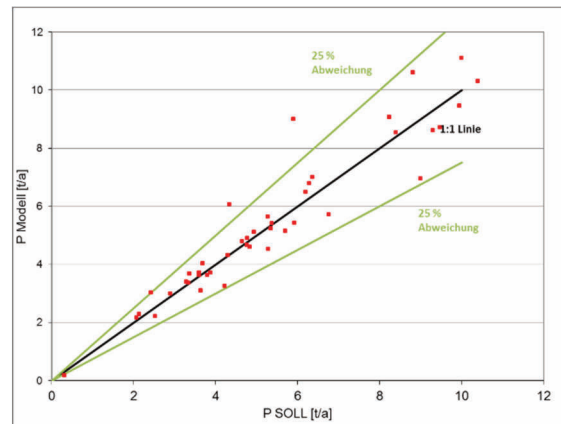


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse der TP-Frachten an ca. 40 Messstellen mit Frachten bis zu 10 t TP/Jahr

4.6 Minderungsbedarf

Für die Überprüfung, ob ein Wasserkörper eine signifikante Belastung mit Nährstoffen aufweist, werden die modellierten Immissionen als Konzentrationen (mg TN/l; mg TP/l) verwendet. Diese Konzentrationen werden mit den maßgeblichen Werten abgeglichen (im Folgenden als Orientierungswerte bezeichnet), die nach OGewV (2016) einzuhalten sind, um den guten ökologischen Zustand sicher erreichen zu können. Bei Überschreiten dieser Werte ist von einer signifikanten Nährstoffbelastung auszugehen.

Beim Parameter Stickstoff (TN) gilt das in § 14 der OGewV festgelegte Bewirtschaftungsziel von 2,8 mg TN/l. Für Gesamt-Phosphor (TP) sind die in der Anlage 7, Tabelle 2.1.2 gewässertypspezifisch benannten Werte heranzuziehen. Sie kennzeichnen den Übergang von guten zu schlechteren ökologischen Zuständen und liegen zwischen 0,1 und 0,3 mg TP/l (vgl. Kap. 2.3).

Aufgrund bestehender Modellunsicherheiten wird für die Einstufung der Wasserkörper bei den Konzentrationen, die sich aus den Berechnungen der Modellierung ergeben, ein „Sicherheitsaufschlag“ von 10% berücksichtigt. Konkret heißt das, dass die modellierten Werte die Orientierungswerte um mindestens 10% überschreiten müssen, damit ein Minderungsbedarf angegeben wird.

Liegen für einen Wasserkörper Messwerte für TN oder TP vor, so wird die Einstufung anhand der Messwerte vorgenommen. Bei sich widersprechenden Ergebnissen von Messwerten und Modellergebnis wird den Messwerten grundsätzlich der Vorzug gegeben.

Ein Minderungsbedarf ergibt sich immer dann, wenn ein Wasserkörper als signifikant belastet eingestuft ist, also wenn die Messwerte bzw. die modellierten Immissionen (als Konzentrationen) höher als die Werte des Bewirtschaftungsziels bzw. der Orientierungswerte sind. Der Minderungsbedarf ist als Fracht und bezogen auf die Emissionen anzugeben (z.B. kg/a).

Mittels der Ergebnisse der Modellierung zum Wasserhaushalt lässt sich für die als belastet eingestuften Gewässer der Soll-Zustand ermitteln. Hierunter ist die Höhe der Nährstoffmengen zu verstehen, die höchstens in den Wasserkörper eingetragen werden darf, damit die Vergleichswerte für TN und TP nicht überschritten werden. Der Minderungsbedarf ergibt sich somit aus der Differenz der aktuellen Belastungssituation (Ist-Zustand) mit dem Soll-Zustand. Die Berücksichtigung der gewässerinter-

nen Retention ermöglicht es, den Minderungsbedarf auf die Emissionen zu beziehen. Wird der Minderungsbedarf auf die aktuelle Emission bezogen, so lässt er sich als relativer Minderungsbetrag ausdrücken.

Beispiel zum „relativen Minderungsbedarf“:

Die Emissionen (Ist-Wert) in einem Wasserkörper seien 160 kg TP/a, der Soll-Wert ergibt sich zu 120 kg TP/a. Der relative Minderungsbetrag beträgt somit 25%:

$$100 - \frac{120 \text{ kg TP/a}}{160 \text{ kg TP/a}} \times 100 = 25\%$$

Der Bezug zu den Emissionen erleichtert eine eventuelle Maßnahmenplanung, da die Höhe der zu reduzierenden Einträge spezifisch den jeweiligen Belastungsquellen zugeordnet werden können und so dem Verursacherprinzip Rechnung getragen wird.

4.7 Darstellung der Ergebnisse in Karten

Die Ergebnisse der Modellierung werden in Karten auf Bearbeitungsgebietsebene dargestellt. Enthalten sind der Minderungsbedarf für TN und TP je Wasserkörper (klassifiziert in die Klassen kein Bedarf, bis 25%, 25% bis 50% und mehr als 50%), Angaben zur Herkunft der Emissionen (Anteile der Pfade an der Gesamtemission) sowie die mittels des Modells ermittelten Frachten am Gebietsauslass (s. hierzu Kap. 5.4.). Zur Information sind die mittleren Konzentrationen der Jahre 2014 bis 2018 an den Messstellen mitaufgeführt.

Frachten sind in den Karten für Bearbeitungsgebiete dargestellt, in denen keine oder sehr wenige tidebeeinflusste Gewässer vorhanden sind. Zwar lassen sich Frachten für Gebiete mit hohem Anteil an tidebeeinflussten Gewässern modelltechnisch abschätzen, jedoch ist eine Validierung modellierter Frachten nicht ohne weiteres möglich, da kaum Daten zur Ermittlung realer Frachten vorliegen. Bei der Probenahme- bzw. messtechnisch ist es kaum

möglich, für die Nährstoffgehalte von entnommenen Gewässerproben zweifelsfrei zu entscheiden, welcher Anteil aus dem Binnenland entammt, und welcher mit dem Tidestrom eingetragen wird.

Des Weiteren sind in den Karten die relativen Anteile der Pfade an der Gesamtbelastung je Bearbeitungsgebiet aufgeführt. Da die Modellierung auf die niedersächsische Fläche beschränkt ist, sind für Bearbeitungsgebiete, die nur zu geringen Anteilen innerhalb Niedersachsens liegen, keine Angabe zu den Frachten bzw. zu den Anteilen der Pfade angegeben.

Modelle stellen immer Vereinfachungen der Realität dar. Es ist daher durchaus möglich, dass die Ergebnisse der LNM und die Ergebnisse realer Messungen voneinander abweichen können. Für konkrete Maßnahmenplanungen sind daher immer die Ergebnisse der Messstellen zu bevorzugen.

5 Ergebnisse

5.1 Trendauswertungen

Den in den vorherigen Punkten genannten Kriterien entsprechend können für alle 38 Überblicksmessstellen in Fließgewässern Trends berechnet werden (Karten 1-3). An der ÜMS „Steinhuder Meer-Mitte“ wird auf eine Trendauswertung verzichtet, da sich die Datenlage aufgrund der seespezifischen Probenahme (nur während der Vegetationszeit) von der der anderen Messstellen unterscheidet und daher hier keinen validen Vergleich zulässt.

Die folgenden Diagramme und Tabellen zeigen die Anzahl der Messstellen und ihre Trendauswertungen je Parameter.

Gesamtphosphor (TP)

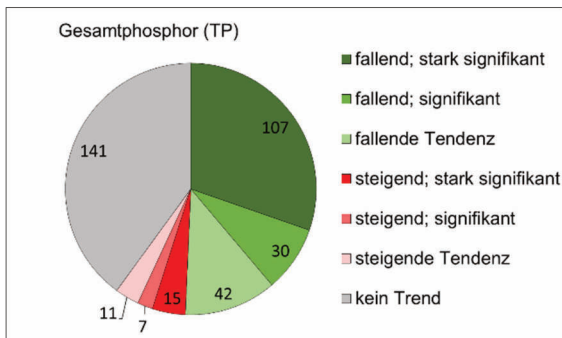


Abbildung 9: Ergebnisse der Trendberechnung und Anzahl der MST für TP

Für den Parameter TP kann an 137 Messstellen eine fallende Konzentration über die betrachteten Jahre aufgezeigt werden. Das macht mit 38% knapp über 1/3 aller Messstellen aus. Zusätzlich zeigen 11% eine positive/fallende Tendenz. Für 141 Messstellen (40 %) liegt kein signifikanter Trend vor. Für den Parameter können für 9 % der Messstellen Konzentrationserhöhungen nachgewiesen werden. Ein signifikanter Anstieg wurde an 22 Messstellen ermittelt. 8 Messstellen liegen im Einzugsgebiet der Ems, davon 7 im nördlichen Teil (Grenzbereich limnisch/marin). 10 Messstellen liegen im Flusseinzugsgebiet der Weser verteilt, sowohl im südlichen Teil Niedersachsen, als auch im Bereich der Marschengewässer (Küstenbereich). Im Bereich der Elbe sind die Messstellen, mit signifikant steigenden Trend im südlich gelegenen, limnisch geprägten Gebiet betroffen.

Mit der Berechnung der Trendstärke kann die prozentuale Änderung der Gesamtposphorkonzentration für jede Messstelle und den jeweils betrachteten Zeitraum angegeben werden. Aufgrund der unterschiedlichen Länge der Zeitreihen (10-19 Jahre) wird auf den Vergleich der absoluten Konzentrationen verzichtet.

Die prozentuale Änderung der Gesamtposphorkonzentration und deren Häufigkeiten (Anzahl der MST) sind in Tabelle 11 dargestellt (nur MST mit signifikantem Trend). Sie zeigt, dass die fallenden Trends eine erhöhte prozentuale Änderung der TP-Konzentration aufweisen. Der größte Anteil der MST liegt im Bereich von >25 - 50 %. Für die steigenden Trends zeigt sich ein ähnliches Bild. Von 22 MST fallen 9 MST in die Klasse >25 - 50%. 5 MST weisen sogar eine prozentuale Änderung von über 100% auf.

Tabelle 11: Prozentuale Änderung der TP-Konzentration und Anzahl der MST mit fallendem und steigendem Trend

Prozentuale Änderung der TP-Konzentration im betrachteten Zeitraum („Trendstärke“; min. 10 Jahre / max. 19 Jahre)	Anzahl der MST mit fallenden Trend	Anzahl der MST mit steigenden Trend
<=5%	0	0
>5 - 10%	0	0
>10 - 15%	2	0
>15 - 20%	7	1
>20 - 25%	26	0
>25 - 50%	85	9
>50 - 75%	15	5
>75 -100%	2	2
>100%	0	5
Gesamt	137	22

Orthophosphat-Phosphor (oPO₄-P)

Tendenzen und signifikante Trends für den Parameter Orthophosphat-Phosphor können für weniger als die Hälfte aller betrachteten Messstellen nachgewiesen werden (Abbildung 10).

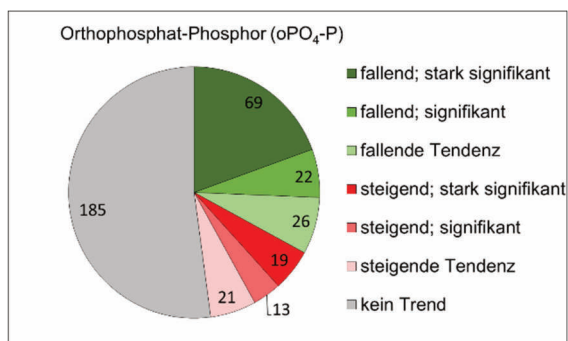


Abbildung 10: Ergebnisse der Trendberechnung und Anzahl der MST für oPO₄-P

Bei 185 Messstellen (52%) liegt kein statistisch gesicherter Trend vor. Für 32% der Messstellen sind positive Entwicklungen in den letzten 10 bzw. 19 Jahren erkennbar. 91 Messstellen (25%) weisen einen signifikant fallenden Trend auf. Die Anzahl der Messstellen mit steigenden Tendenzen (21) und signifikant steigendem Trend (32) ist im Vergleich zu TN und TP am höchsten. Die Messstellen mit signifikant steigendem Trend sind relativ flächendeckend in ganz Niedersachsen verteilt und weisen keine konkreten Muster auf.

Eine Übersicht über die prozentuale Änderung der Orthophosphat-Phosphor-Konzentrationen und deren Häufigkeiten (Anzahl der MST) gibt die Tabelle 12 (nur MST mit signifikanten Trend):

Tabelle 12: Prozentuale Änderung der oPO₄-P-Konzentration und Anzahl der MST mit fallendem und steigendem Trend

Prozentuale Änderung der oPO ₄ -P-Konzentration im betrachteten Zeitraum („Trendstärke“; min. 10 Jahre / max. 19 Jahre)	Anzahl der MST mit fallenden Trends	Anzahl der MST mit steigenden Trends
≤5%	0	0
>5 - 10%	0	0
>10 - 15%	3	0
>15 - 20%	4	1
>20 - 25%	5	3
>25 - 50%	66	11
>50 - 75%	12	8
>75 - 100%	1	1
>100%	0	8
Gesamt	91	32

Die Einordnung der MST bezüglich der prozentualen Änderungen für die

Orthophosphat-Phosphor-Konzentration verhält sich ähnlich dem Parameter Gesamtphosphor. Sowohl bei den fallenden als auch bei den steigenden Trends zeigt der größte Teil der MST eine Änderung von >25 - 50%. Auffallend ist, dass wie beim Gesamtphosphor mehrere MST einen Anstieg von über 100 % aufweisen.

Gesamtstickstoff (TN)

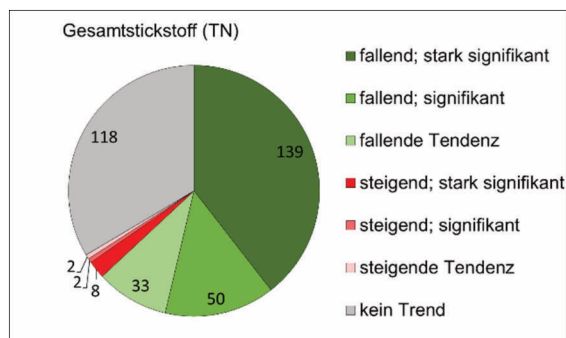


Abbildung 11: Ergebnisse der Trendberechnung und Anzahl der MST für TN

Die Trendauswertungen für TN zeigen im Vergleich zum Gesamtphosphor eine positivere Entwicklung der Konzentrationen in den Oberflächengewässern (Abbildung 11) in den letzten 10 bzw. 19 Jahren. 54% der betrachteten Messstellen weisen einen fallenden Trend auf. Mit der Beurteilung „signifikant“ bzw. „stark signifikant“ ist die Irrtumswahrscheinlichkeit bzw. das Fehlerrisiko sehr gering. Des Weiteren wird für 33 Messstellen (9%) eine fallende Tendenz berechnet. Hier ist die statistische Signifikanz geringer, dennoch ist hier eine leichte Verbesserung der Stickstoffkonzentration erkennbar. Für die entsprechenden Messstellen mit positiven oder negativen Trends können ggf. mit der Verlängerung der Messzeitreihe in den nächsten Jahren Aussagen mit höherer statistischer Sicherheit getroffen werden.

Für 39% der gesamten Messstellenanzahl können keine Trends nachgewiesen werden. Für 12 Messstellen (3%) liegt eine negative Entwicklung vor, der bei 10 Messstellen signifikant ist. Hinsichtlich der räumlichen Verteilung in Niedersachsen liegen 6 der Messstellen mit signifikant steigendem Trend im Flussgebiet Ems, 3 im Flussgebiet der Weser und 1 im Flussgebiet der Elbe.

In der Tabelle 13 sind die prozentualen Änderungen der Gesamtstickstoffkonzentrationen im jeweils betrachteten Zeitraum und deren Häufigkeiten (Anzahl der MST) aufgeführt (nur MST mit signifikanten Trend):

Tabelle 13: Prozentuale Änderung der TN-Konzentration und Anzahl der MST mit fallendem und steigendem Trend

Prozentuale Änderung der TN-Konzentration im betrachteten Zeitraum („Trendstärke“; min. 10 Jahre / max. 19 Jahre)	Anzahl der MST mit fallenden Trend	Anzahl der MST mit steigenden Trend
<=5%	0	0
>5 - 10%	3	1
>10 - 15%	15	1
>15 - 20%	48	1
>20 - 25%	43	1
>25 - 50%	77	4
>50 - 75%	1	2
>75 -100%	2	0
>100%	0	0
Gesamt	189	10

Die prozentuale Änderung der TN-Konzentration vom Beginn der Messreihe bis 2018 für die Messstellen mit einem fallenden Trend bewegt sich größtenteils im Bereich

zwischen >15 - 50%. Die steigenden Trends (10 MST) liegen überwiegend im Bereich von 25 - 75%.

Mit den Methoden der Trendanalyse können statistisch sichere Aussagen zur Trendentwicklung getroffen werden. Mit der prozentualen Änderung der Konzentration je Parameter können erste Evaluierungen über Höhe/Stärke der Veränderung über den gesamten Zeitraum einer betrachteten Messstelle durchgeführt werden. Die Ergebnisse geben jedoch keine Auskunft darüber, auf welchem Konzentrationsniveau sich die Werte an der Messstelle zum Anfang, Ende und über den gesamten Verlauf der Zeitreihe bewegen. Die Karten 1-3 zeigen diesbezüglich für die ÜMS eine Auswertung. Hier sind neben den Trendverläufen und den Trendstärken, auch die Jahresmittelwerte an der jeweiligen Messstellen aufgeführt. Auf die kartographische Darstellung für alle Messstellen wurde zugunsten der besseren Lesbarkeit der Karten verzichtet.

5.2 Bewertung der Nährstoffgehalte

Die folgende Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Anzahl der ausgewerteten Messstellen und die Bewertung nach OGewV 2016 für ganz

Niedersachsen. Die Ergebnisse sind aufgeschlüsselt nach Bewertungskriterium, Fließgewässertyp und betrachtetem Zeitraum:

Tabelle 14: Übersicht zu den Bewertungen der MST gemäß OGewV für die Parameter TN, TP und oPO4-P

Gesamtphosphor (TP)										
Gewässer	Übergangs- und Küstengewässer		Marschengewässer		Organisch gepr. Gewässer und kleine Niederungsfließgewässer in Fluss- und Stromtälern		Alle übrigen Gewässer		Gesamtanzahl aller bewerteten Messstellen	
Zeitraum	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019
Eingehalten	0	0	24	33	13	18	63	142	100	193
Überschritten	0	0	27	19	9	3	176	103	212	125
Mind. zweifach überschritten	6	6	7	6	1	2	42	37	56	51
Gesamtanzahl	6	6	58	58	23	23	281	282	368	369
Orthophosphat-Phosphor (oPO4-P)										
Gewässer	Übergangs- und Küstengewässer		Marschengewässer		Organisch gepr. Gewässer und kleine Niederungsfließgewässer in Fluss- und Stromtälern		Alle übrigen Gewässer		Gesamtanzahl aller bewerteten Messstellen	
Zeitraum	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019
Eingehalten	-	-	52	54	19	20	217	228	288	302
Überschritten	-	-	4	1	4	2	49	40	57	43
Mind. zweifach überschritten	-	-	2	3	0	1	17	14	19	18
Gesamtanzahl	-	-	58	58	23	23	283	282	364	363
Gesamtstickstoff (TN)										
Gewässer	Übergangs- und Küstengewässer		Marschengewässer		Organisch gepr. Gewässer und kleine Niederungsfließgewässer in Fluss- und Stromtälern		Alle übrigen Gewässer		Gesamtanzahl aller bewerteten Messstellen	
Zeitraum	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019
Eingehalten	1	1	6	4	9	11	64	75	80	91
Überschritten	2	3	49	42	12	10	179	164	242	219
Mind. zweifach überschritten	3	2	3	12	2	2	37	43	45	59
Gesamtanzahl	6	6	58	58	23	23	280	282	367	369

Für den Parameter TP zeigt der Vergleich der Bewertung des Fünfjahreszeitraum und die des Jahres 2019 deutliche Unterschiede. Im Fünfjahreszeitraum liegt der Anteil der Überschreitungen bei 73% (15% davon mind. zweifach überschritten), im Jahr 2019 bei 48% (14% davon mind. zweifach überschritten).

Beim Parameter oPO₄-P zeigt sich ein deutlich positiveres Bild in der Einordnung der MST. An 79% der MST werden die Orientierungswerte im Fünfjahreszeitraum eingehalten. Im Jahr 2019 liegt der prozentuale Anteil bei 83%. Von insgesamt 21% Überschreitungen im Zeitraum 2014-2018 sind 5 % mind. zweifach überschritten. Für das Jahr 2019 ist die Einordnung ähnlich. Der Anteil der MST, wo die Orientierungswerte mind. zweifach überschritten werden liegt bei 5% von insgesamt 17%.

Im Zeitraum 2014-2018 wird das Bewirtschaftungsziel von 2,8 mg TN/l an 22% der betrachteten Messstellen eingehalten. Für das Jahr 2019 liegt der Anteil bei 25%.

An 12% der Messstellen an denen das Bewirtschaftungsziel überschritten wird, wird dieses mindestens doppelt überschritten ($\geq 5,6$ mg TN/l). Die Anzahl der MST bzw. prozentualen Anteile der Überschreitungen für das Jahr 2019 sind dem Fünfjahreszeitraum ähnlich. Über 2/3 der MST (75%) weisen eine Überschreitung auf. Der Anteil der Zweifachüberschreitung erhöht sich auf 16 %.

Die Anzahl der Messstellen und deren Einteilung nach Bewertungskriterien kann ebenfalls den Flussgebieten zugeordnet werden. Daraus ergeben sich folgende Verteilungen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Übersicht zu den Bewertungen der MST gemäß OGewV nach Flussgebietseinheiten

Elbe						
Parameter	Gesamtposphor (TP)		Orthophosphat-Phosphor (oPO4-P)		Gesamtstickstoff (TN)	
Zeitraum	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019
Eingehalten	23	34	54	55	31	35
Überschritten	36	23	7	5	30	23
Mind. zweifach überschritten	4	6	0	1	2	5
Gesamtanzahl	63	63	61	61	63	63
Weser						
Parameter	Gesamtposphor (TP)		Orthophosphat-Phosphor (oPO4-P)		Gesamtstickstoff (TN)	
Zeitraum	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019
Eingehalten	55	104	155	160	47	47
Überschritten	121	69	32	28	136	128
Mind. zweifach überschritten	28	30	16	14	21	28
Gesamtanzahl	204	203	203	202	204	203
Ems						
Parameter	Gesamtposphor (TP)		Orthophosphat-Phosphor (oPO4-P)		Gesamtstickstoff (TN)	
Zeitraum	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019
Eingehalten	17	41	62	67	2	5
Überschritten	42	25	13	8	61	55
Mind. zweifach überschritten	22	15	3	3	18	21
Gesamtanzahl	81	81	78	78	81	81
Rhein						
Parameter	Gesamtposphor (TP)		Orthophosphat-Phosphor (oPO4-P)		Gesamtstickstoff (TN)	
Zeitraum	2014-2018	2019	2014-2018	2019	2014-2018	2019
Eingehalten	4	8	8	10	0	0
Überschritten	5	2	2	0	7	7
Mind. zweifach überschritten	1	0	0	0	3	3
Gesamtanzahl	10	10	10	10	10	10

5.3 Auswertungen Seen

Bei den niedersächsischen Seen, deren ökologischer Zustand/Potential aufgrund der beiden floristischen Qualitätskomponenten gesichert gut ist, werden auch durchweg die Orientierungswerte für Gesamtposphor eingehalten. In den acht niedersächsischen Seen, in denen die seetypspezifischen Orientierungswerte eingehalten werden, findet sich auch durchweg ein gutes ökologisches Potential.

Die Einhaltung dieser seetypspezifischen Grenzbereiche für Gesamtposphor ist auch maßgeblich für die Ausweisung eutrophierter Gebiete gemäß der AVV Gebietsausweisung (AVV GeA), zu § 13a Absatz 1 Satz 2 der geänderten Düngeverordnung (DüV). Die Überprüfung des Saisonmittels der P-Konzentrationen von acht natürlichen niedersächsischen Seen, die den guten ökologischen Zustand seit Beginn des WRRL-Monitorings verfehlen, ergab, dass in keinem der regelmäßig untersuchten Seen die Gesamt-Phosphor Werte gemäß OGewV (2016) eingehalten wurden.

Auf Grundlage von differenzierten Nährstoffeintragspfad-Modellierungen (Modellierungen außerhalb der LNM) waren zudem an allen acht

Seen diffuse Phosphorimmissionen von weit mehr als 20% nachweisbar (siehe § 14 AVV GeA). Die landwirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebiete dieser Seen wurden daher gemäß § 13a Absatz 1 Satz 1 Nummer 4 der Düngeverordnung als eutrophierte Gebiete ausgewiesen und unterliegen strengerem Bewirtschaftungsvorschriften.

5.4 Landesweite Nährstoffmodellierung

Eine Übersicht über die Gesamtemissionen, den Minderungsbedarf und die Anzahl der Wasserkörper mit Minderungsbedarf als Ergebnis

der landesweiten Nährstoffmodellierung gibt Tabelle 16:

Tabelle 16: Übersicht über Gesamtemissionen, Minderungsbedarf und Anzahl der Wasserkörper (WK) mit Minderungsbedarf (MB) für TN und TP als Ergebnis der landesweiten Nährstoffmodellierung

Parameter	Gesamtemissionen (t/a)	Landesweiter Minderungsbedarf (t/a)	Anzahl Wasserkörper mit Minderungsbedarf	Davon: bis 25%	25% bis 50%	>50%
TP	rd. 4.400	rd. 1.600 (ca. 36%)	1.039	218	441	380
TN	rd. 89.000	rd. 41.000 (ca. 46%)	1.327	162	567	598

Die TP-Emissionen auf Ebene der Bearbeitungsgebiete (BG) erreichen Spannweiten mit Werten zwischen etwa 25 t und 500 t TP/a (Abbildung 12). Die höchsten Einträge landesweit gesehen erfolgen über den Pfad „landwirtschaftliche Dräne“ (ca. 31%). Eine wesentlich wichtigere Rolle spielt der Pfad Erosion, der landesweit gesehen der zweitgrößte Eintragsweg

für TP ist und insbesondere in den Bearbeitungsgebieten im südniedersächsischen Raum oft dominiert. Relevante Eintragsquellen stellen für TP auch die Pfade „urbane Quellen (Einträge aus Siedlungsgebieten) und „punktuellen Einleitungen“ mit zusammen rund 22% dar. Die hier dargestellten Emissionen und ihre Aufteilung auf die Pfade werden auch in den Karten der Bearbeitungsgebiete detailliert dargestellt.

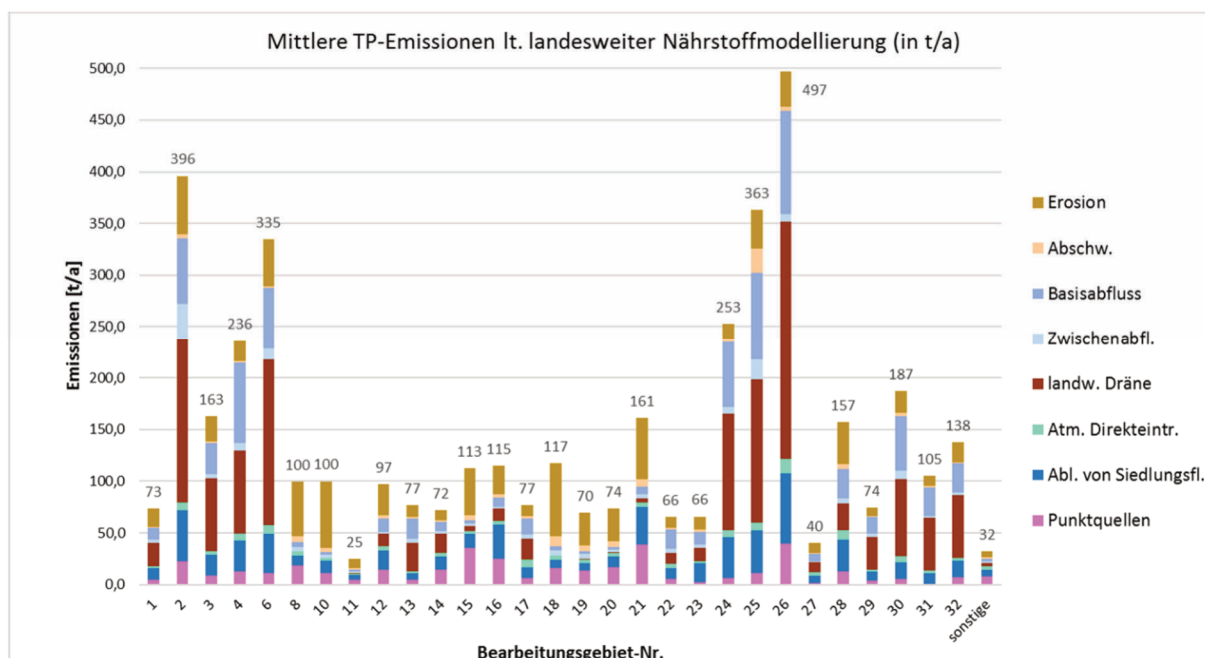


Abbildung 12: Übersicht über die Gesamtemissionen für TP auf Bearbeitungsgebietsebene und ihre Aufteilung auf die Eintragspfade

Für TN ergibt sich ein anderes Bild: auf Ebene der Bearbeitungsgebiete erreichen sie eine breite Spannweite im Bereich zwischen etwa 900 t und 9.000 t TN/a (Abbildung 13).

Auch wenn es zwischen den BG weite Spannweiten gibt, so kommen den Pfaden „landwirtschaftliche Dräne“ und „Zwischenabfluss“ besondere Bedeutung bezüglich der TN-Einträge

in oberirdische Gewässer zu. Landesweit werden allein über diese beiden Pfade rund 70% des Stickstoffs in die Gewässer eingetragen. Lediglich etwa 7% der Einträge gelangen über

die Pfade „urbane Quellen“ (Einträge aus Siedlungsgebieten) und „punktuelle Einleitungen“ in die Gewässer.

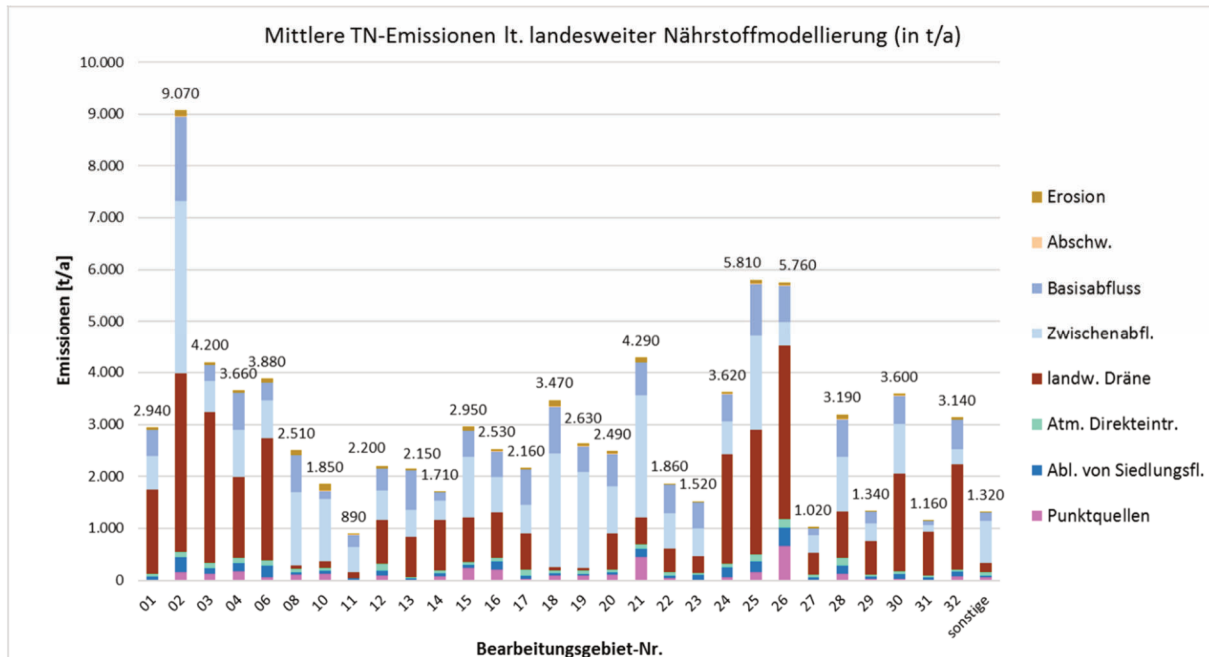


Abbildung 13: Übersicht über die Gesamtemissionen für TN auf Bearbeitungsgebietsebene und ihre Aufteilung auf die Eintragspfade

Aus den Modellergebnissen lassen sich zudem mittlere Jahresfrachten berechnen. Hierunter sind diejenigen Mengen zu verstehen, die ein Gebiet an dessen Auslass (z.B. Wasserkörper, Bearbeitungsgebiet oder Flussgebiet) bei mittleren hydrologischen Verhältnissen verlässt. Da die in ein Gewässer gelangenden Nährstoffe einer gewässerinternen Retention unterliegen, sind die Frachten immer geringer als die Emissionen. Die landesweite Nährstoffmodellierung Niedersachsen erlaubt es dabei, denjenigen Anteil der Fracht zu bestimmen, der ausschließlich auf niedersächsischem Gebiet in die Gewässer eingetragen wird. Für Gewässer, die Zuflüsse aus anderen Bundesländern erhalten, liegen die tatsächlichen Gesamtfrachten zum Teil erheblich höher.

In den Karten auf Bearbeitungsgebietsebene werden Frachten dargestellt. Bei deren Interpretation gilt es, zwei wesentliche Punkte zu berücksichtigen:

- Die dargestellten Frachten beziehen sich nur auf die Nährstoffmengen, die in Niedersachsen anfallen.
- Es handelt sich um langjährige, mittlere Frachten. Tatsächliche Frachten können in Einzeljahren mitunter deutlich nach oben oder unten abweichen.

Beispiel zu den Frachten der landesweiten Nährstoffmodellierung:

Laut der Modellierung wird für den Wasserkörper 12046 „Mittelweser zwischen Aller und Bremen“ (letzter tideunbeeinflusster Wasserkörper der Weser vor der Nordsee) eine mittlere TN-Fracht von ca. 20.500 t TN/a ermittelt. Diese Zahl bezeichnet allerdings nur den Anteil desjenigen Stickstoffs, der innerhalb Niedersachsens in die Gewässer im Wesereinzugsgebiet und letztlich in die Weser gelangt. Die Nährstofffrachten, die tatsächlich das Gebiet verlassen sind deutlich höher, da auch Nährstoffmengen beinhaltet sind, die anderen Bundesländern entstammen. So betrugen die tatsächlichen Frachten am Pegel Uesen im Mittel von 2010 bis 2015 ca. 66.000 t TN/a, die Spannweite der einzelnen Jahresfrachten reichte dabei von 25.000 t bis 107.000 t. Die Menge, die in diesem Zeitraum von außerhalb Niedersachsens in die Weser gelangte, betrug im Mittel ca. 20.000 t (zwischen ca. 11.000 t und 30.000 t).

6 Quellen

EHRENBERG, A.S.C. (1986): Statistik oder der Umgang mit Daten. Eine praktische Einführung mit Übungen. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, S. 153-159.

HUXOL, S. (2007): Trendanalyse von Zeitreihen der Komponenten des Wasserkreislaufes im Einzugsgebiet der Dreisam zur Prozessorientierten Beurteilung hydrologischer Klimafolgen. Diplomarbeit, Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., S. 19-23.

KENDALL, M.G. (1975): Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London.

LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2014): Empfehlung zur Übertragung flussbürtiger, meeres-ökologischer Reduzierungsziele ins Binnenland. 17 Seiten.

LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) (2016): RaKon Monitoring Teil B. Arbeitspapier I. Gewässertypen und Referenzbedingungen. 32 Seiten.

MANN, H.B. (1945): Non-parametric test against trend. Econometrica, Vol.13

NLWKN (2017): Oberirdische Gewässer Band 31: Gütemessnetz Fließgewässer und stehende Gewässer.

PANCKOW, N. (2008): Entscheidungsunterstützungssystem im Flussgebietsmanagement: Emissionsmodellierung signifikanter Nährstoffeinträge aus der Fläche. Hannover, Univ., Diss.; 2008.

SEN, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association 63, 1379–1389.

THEIL, H. (1950): A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I, II, III. Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen 53, 386–392, 521–525, 1397–1412.

UBA (Umweltbundesamt) (2017): Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung. Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. 132 Seiten.

VAN BEUSEKOM, J., P. BOT, J. GÖBEL, M. HANSLIK, H.-J. LENHART, J. PÄTSCH, L. PEPPERZAK, T. PETENATI & K. REISE (2005): Eutrophication. In: K. Essink, C. Dettmann, H. Farke, K. Laursen, G. Lürßen, H. Marencic, W. Wiersinga (Eds.), Wadden Sea Quality Status Report 2004 Wadden Sea Ecosystem (QSR 2004) No. 19-2005: 141- 154.<http://www.waddensea-secretariat.org/QSR/chapters/QSR-05-eutrophication.pdf>

Richtlinien, Verordnungen, Normen,

AVV GeA - Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (2020) (AVV Gebietsausweisung – GeA).

DIN 32645:2008-11 (2011): Chemische Analytik - Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen - Begriffe, Verfahren, Auswertung.

DüV - Düngeverordnung (2020): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV)

EG-WRRL – Wasserrahmenrichtlinie (2000): 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

MSRL - Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (2008): Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt.

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

OGewV - Oberflächengewässerverordnung (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer.

Internetquellen:

UBA (Umweltbundesamt; abgerufen im Dezember 2020):

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/eintraege-von-naehr-schadstoffen-in-die#nahrstoffeintrage-sinken-wieder-langsam>

<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2832.pdf>

II Kartenteil

Trendkarten