

Modellierung von Phosphor- und Stickstoff- einträgen in Oberflächen- und Grundwasser im Einzugsgebiet des Steinhuder Meeres und Ausweisung der Belastungsschwer- punkte

April 2016

Auftraggeber:

NLWKN
Betriebsstelle Sulingen
Hans-Heinrich Schuster
Am Bahnhof 1
27232 Sulingen

Auftragnehmer:

geofluss

Ingenieurbüro für Umweltmanagement und Gewässerschutz
Zur Bettfedernfabrik 1
30451 Hannover
www.geofluss.de

Bearbeiter:

Dr.-Ing. Carsten Scheer

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Bildverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau des Berichtes	1
2 Methodik	3
2.1 Untersuchungsgebiet Steinhuder Meer	3
2.2 Bilanzmodell	5
2.2.1 Modellannahmen zur Abbildung der Nährstoffeintragsituation im EZG des Steinhuder Meeres	6
2.3 Betrachteter Zeitraum und Szenarien	8
2.4 Nährstofffrachten aus Pegelraten	8
2.5 Retention im Gewässersystem	8
2.6 Methodik zur Ausweisung der Zielkulissen	9
3 Stickstoff- und Phosphoreinträge in Grund- und Oberflächengewässer im Bearbeitungsgebiet des Steinhuder Meeres	12
3.1 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres (IST-Zustand)	12
3.1.1 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1	16
3.1.2 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2	17
3.1.3 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3	18
3.1.4 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4	19
3.1.5 N-Bilanzüberschüsse im EZG des Steinhuder Meeres	20
3.2 Herkunft der Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres	21
3.2.1 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben	21
3.2.2 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Großenheidorngraben	22
3.2.3 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Bannseeegraben	22
3.2.4 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben	23
3.2.5 Stickstoffeinträge aus dem Toten Moor	24
3.2.6 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Rand-EZG	24
3.2.7 Übersicht zu den Stickstoffeinträgen aus den einzelnen TEZG	25
3.3 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres (IST-Zustand)	26
3.3.1 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1	31
3.3.2 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2	32
3.3.3 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3	33
3.3.4 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4	34
3.4 Herkunft der Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres	35
3.4.1 Phosphoreinträge aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben	35
3.4.2 Phosphoreinträge aus dem TEZG Großenheidorngraben	35
3.4.3 Phosphoreinträge aus dem TEZG Bannseeegraben	36
3.4.4 Phosphoreinträge aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben	37

3.4.5	Phosphoreinträge aus dem Toten Moor _____	37
3.4.6	Phosphoreinträge aus dem TEZG Rand-EZG _____	38
3.4.7	Übersicht zu den Phosphoreinträgen aus den einzelnen TEZG _____	39
3.5	Nährstofffrachten im EZG des Steinhuder Meeres _____	40
3.6	Wasserbilanz im EZG des Steinhuder Meeres _____	41
4	Zielkulissen für Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres und dominierende Eintragspfade _____	43
4.1	Vorschläge für Zielkulissen im EZG des Steinhuder Meeres hinsichtlich der N-Belastung _____	43
4.1.1	Einfluss der Szenarienberechnungen auf die Zielkulissen (N-Belastung) _____	45
4.2	Dominierende N-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres _____	47
4.3	Vorschläge für Zielkulissen im EZG des Steinhuder Meeres hinsichtlich der P-Belastung _____	48
4.3.1	Einfluss der Szenarienberechnungen auf die Zielkulissen (P-Belastung) _____	51
4.4	Dominierende P-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres _____	54
5	Zusammenfassung _____	57
6	Literatur _____	60

Bildverzeichnis

Bild 1: EZG des Steinhuder Meeres: Landnutzung nach ATKIS	3
Bild 2: Unterteilung des Untersuchungsgebietes Steinhuder Meer	4
Bild 3: Datenfluss und wesentliche Berechnungsschritte im Bilanzmodell	5
Bild 4: Lauf des Bannseegrabens am 16.09.2015 auf Höhe der Schlammdeponie	7
Bild 5: Schematische Darstellung der 3 modellintern berücksichtigten Retentionsansätze	9
Bild 6: Modellergebnisse für die N-Einträge nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres (51 km ²) in [kg/a].....	13
Bild 7: Modellergebnisse für die diffusen N-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	13
Bild 8: Modellergebnisse für die diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]	14
Bild 9: Modellergebnisse für die Summe der diffusen N-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha] 15	
Bild 10: Modellergebnisse für die Summe der gesamten N-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha].....	15
Bild 11: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 1 (rechts), jeweils in [kg/a].....	17
Bild 12: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 2 (rechts), jeweils in [kg/a]	18
Bild 13: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 3 (rechts), jeweils in [kg/a]	19
Bild 14: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 4 (rechts), jeweils in [kg/a]	20
Bild 15: N-Saldo (N-Bilanzüberschuss) im EZG des Steinhuder Meeres in [kg/ha]	21
Bild 16: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Winzlarer Grenzgraben (12,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	21
Bild 17: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Großenheidorngraben (13,0 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	22
Bild 18: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Bannseegrabens (12,3 km ² , rechts), jeweils in [kg/a] ..	23
Bild 19: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Mardorfer Dorfgraben (5,5 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	23
Bild 20: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und die TEZG des Totes Moores (3,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a]..	24
Bild 21: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Rand-EZG (3,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	24
Bild 22: Herkunft der N-Emissionen im EZG Steinhuder Meer. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte N-Emissionen (links) und diffuse N-Emissionen (rechts), jeweils in [%]	25
Bild 23: Modellergebnisse für die P-Einträge nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das Untersuchungsgebiet Steinhuder Meer (80 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	27
Bild 24: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	27
Bild 25: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über den unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	28
Bild 26: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Erosion (links) und für die diffusen P-Einträge über Direkteintrag (rechts), jeweils in [kg/ha]	28

Bild 27: Modellergebnisse für die Summe der diffusen P-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha].....	29
Bild 28: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Kanalisationen in [kg/ha].....	30
Bild 29: Modellergebnisse für die Summe der gesamten P-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha].....	30
Bild 30: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 1 (rechts), jeweils in [kg/a]	31
Bild 31: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 2 (rechts), jeweils in [kg/a]	32
Bild 32: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 3 (rechts), jeweils in [kg/a]	33
Bild 33: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 4 (rechts), jeweils in [kg/a]	34
Bild 34: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Winzlarer Grenzgraben (12,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	35
Bild 35: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Großenheidorngraben (13,0 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	36
Bild 36: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Bannseegraben (12,3 km ² , rechts), jeweils in [kg/a] ..	36
Bild 37: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Mardorfer Dorfgraben (5,5 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	37
Bild 38: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und die TEZG des Totes Moores (3,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a]..	38
Bild 39: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km ² , links) und das TEZG Rand-EZG (3,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	38
Bild 40: Herkunft der P-Emissionen im EZG Steinhuder Meer. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte P-Emissionen (links) und diffuse P-Emissionen (rechts), jeweils in [%].....	39
Bild 41: Gesamtabfluss im EZG des Steinhuder Meeres: Vergleich der Modellergebnisse mit dem hochgerechneten Gebietsabfluss für mittlere Bedingungen im Zeitraum 1981 bis 2010	42
Bild 42: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha] .	43
Bild 43: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung.....	44
Bild 44: N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres. Links kombinierte Bewertung der punktuellen N-Belastung, rechts kombinierte Bewertung der gesamten N-Belastung.....	44
Bild 45: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 1	45
Bild 46: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 2	46
Bild 47: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 3	46
Bild 48: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 4	47
Bild 49: Dominierender Eintragspfad im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die diffuse N-Belastung	47
Bild 50: Die beiden dominierenden N-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die diffuse N-Belastung	48
Bild 51: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha] .	49

Bild 52: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung.....	49
Bild 53: Punktuelle P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung	50
Bild 54: Gesamte P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung .	50
Bild 55: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 1	51
Bild 56: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 2	52
Bild 57: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 3	52
Bild 58: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 4	53
Bild 59: Gesamte P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung nach Szenario 1, rechts Bewertung nach Szenario 2	53
Bild 60: Gesamte P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung nach Szenario 3, rechts Bewertung nach Szenario 4	54
Bild 61: Dominierender Eintragspfad im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG: links für die diffuse P-Belastung der TEZG, rechts für die gesamte P-Belastung der TEZG	55
Bild 62: Die beiden dominierenden P-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die diffuse P-Belastung	55
Bild 63: Die beiden dominierenden P-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die gesamte P-Belastung	56

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TEZG im Untersuchungsgebiet Steinhuder Meer	4
Tabelle 2: Wesentliche Eingangsdaten für das Bilanzmodell	6
Tabelle 3: Ausweisung von Zielkulissen: erforderliche Bewertungsparameter und resultierende Bewertungsgrößen (blau markiert) für das EZG des Steinhuder Meeres.....	10
Tabelle 4: Stufeneinteilung zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer	11
Tabelle 5: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres und im UG Steinhuder Meer für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014	12
Tabelle 6: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1 (SZ 1: MQ um 50 % erhöht).....	16
Tabelle 7: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2 (Sz 2: MQ um 100 % erhöht).....	17
Tabelle 8: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3 (Sz 3: MQ um 25 % verringert).....	18
Tabelle 9: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4 (Sz 4: MQ um 50 % verringert).....	20
Tabelle 10: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden in ausgewählten TEZG im EZG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 ...	25
Tabelle 11: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres und im UG Steinhuder Meer für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014.....	26
Tabelle 12: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1 (Sz 1: MQ um 50 % erhöht)	31
Tabelle 13: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2 (Sz 2: MQ um 100 % erhöht)	32
Tabelle 14: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3 (SZ 3: MQ um 25 % verringert)	33
Tabelle 15: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4 (Sz 4: MQ um 50 % verringert)	34
Tabelle 16: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden in ausgewählten TEZG im EZG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 ...	39
Tabelle 17: Modellergebnisse zu den gesamten N-Immissionen pro TEZG im EZG und im UG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 ...	40
Tabelle 18: Modellergebnisse zu den gesamten P-Immissionen pro TEZG im EZG und im UG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 ...	40
Tabelle 19: Ergebnisse des Moduls Wasserbilanz für das EZG des Steinhuder Meeres für mittlere Klima- und Abflussbedingungen (Zeitraum 1981 bis 2010).....	41

1 Einleitung

Für das Steinhuder Meer liegen bisher keine Angaben zu diffusen Nährstoffeinträgen aus dem oberirdischen Einzugsgebiet vor. Diese Wissenslücke soll durch eine Modellierung von Phosphor- und Stickstoffeinträgen in Oberflächen- und Grundwasser im Einzugsgebiet des Steinhuder Meeres geschlossen werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Modellierung sollen Vorschläge für eine Ziel- und Maßnahmenkulisse abgeleitet werden. Diese sollen dem Ziel „Schutz der Oberflächengewässer vor Nährstoffausträgen aus diffusen Quellen, differenziert für P und N“ dienen.

Das diesem Vorhaben zugrundeliegende Werkzeug besteht aus einem ursprünglich im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums entwickelten Bilanzierungsmodell (SCHEER ET AL., 2007; PANCKOW, 2008). Die wesentlichen Modelleigenschaften bestehen in der kleinräumigen Berücksichtigung von eintragsrelevanten Standorteigenschaften für eine pfadnutzungsdifferenzierte Ermittlung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge zur Ausweisung von Belastungsschwerpunkten. Eine Weiterentwicklung und niedersachsenweite Anpassung des Modells im Auftrag des NLWKN wurde Anfang 2012 fertiggestellt (Bearbeiter Dr. Carsten Scheer und Dr. Nikolai Panckow - Ingenieurbüro geofluss).

Um aktuelle Erkenntnisse über die Belastungssituation insbesondere der Oberflächengewässer zu bekommen, wurde daher zunächst das Bearbeitungsgebiet des Steinhuder Meeres mit dem LUH-Bilanzmodell modelliert. Die hierbei durch eine Analyse der pfadnutzungsspezifischen Belastungssituation der diffusen Nährstoffeinträge erzielten Ergebnisse sollen die Grundlage für die zu erfolgende Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen darstellen.

Die Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Steinhuder Meeres soll dabei differenziert für N- und P-Belastungen erfolgen.

Zu beachten ist, dass bei den Modellierungen keine bereits im Untersuchungsgebiet etablierten Maßnahmen zur Verminderung von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer berücksichtigt wurden.

1.1 Aufbau des Berichtes

Der Aufbau des vorliegenden Berichtes stellt sich wie folgt dar.

Nach einer kurzen Beschreibung des Untersuchungsgebietes (Kap. 2.1) folgen Angaben zum verwendeten Bilanzmodell, zum betrachteten Zeitraum, zu den gerechneten Szenarien, zur Ermittlung von Nährstofffrachten sowie zur Retention im Gewässersystem (Kap. 2.2 bis 2.5).

Weiterhin wird in Kap. 2.6 die entwickelte Methodik zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer vorgestellt. Kap. 3 sind die Ergebnisse der Modellanwendungen für das EZG des Steinhuder Meeres zu entnehmen. Sie werden eintragspfadspezifisch und differenziert für die verschiedenen Teileinzugsgebiete (TEZG) und Szenarien vorgestellt und eingeordnet.

Von besonderer Bedeutung für die in diesem Projekt verfolgten Ziele ist das Kap. 4. Im Sinne einer pfadnutzungsbezogenen Belastungsanalyse des betrachteten Einzugsgebietes des

Steinhuder Meeres werden dort die mit dem Bilanzmodell ermittelten Nährstoffbelastungen einer mehrstufigen Bewertung unterzogen. Dieses Vorgehen ermöglicht eine Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Steinhuder Meeres. Als räumliche Bewertungsgrößen fungieren dabei die hydrologischen Teileinzugsgebiete. Für letztere werden zudem die jeweils dominierenden Eintragspfade identifiziert und vorgestellt; diese Angabe ermöglicht es zielgerichtete Maßnahmen zur effektiven Verminderung der Nährstoffbelastung abzuleiten.

Abschließend erfolgt in Kap. 5 eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse dieses Vorhabens.

2 Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet Steinhuder Meer

Das Untersuchungsgebiet (UG) Steinhuder Meer gehört zum Bearbeitungsgebiet 12 (Weser/Meerbach) und liegt in der Region Hannover, ca. 30 km nordwestlich von Hannover und 8 km nordwestlich von Wunstorf. Nach NLWKN (2010) wurde die Landfläche des oberirdischen Einzugsgebietes im Lauf des 20ten Jahrhunderts durch wasserbauliche Maßnahmen mehrfach um insgesamt etwa ein Drittel auf heute 51 km² verkleinert. Somit ergibt sich zusammen mit der Seefläche von etwa 29 km² ein oberirdisches Gesamteinzugsgebiet von 80 km² (ULV „Meerbach und Führse“, 2010). Relevante Zuläufe sind laut Seebericht der Bannseeграben von Norden, der Großenheidorngraben von Südosten und der Winzlarer Grenzgraben (prioritäres Fließgewässer der Priorität 5) von Südwesten, in den der Windhorngraben mündet. Nach NLWKN (2010) weist der Winzlarer Grenzgraben einen mittleren Jahresabfluss von ca. 100 l/s auf, wovon etwa 20 l/s auf den einmündenden Windhorngraben entfallen; der Winzlarer Grenzgraben ist damit zusammen mit dem Windhorngraben der bedeutendste oberirdische Zufluss in das Steinhuder Meer. In dem Restezugsgebiet findet laut NLWKN (2010) kein bedeutender oberirdischer Abfluss statt.

Bild 1 zeigt die Landnutzung nach ATKIS DLM 3 im Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres. Deutlich zu erkennen ist die sehr große Seefläche des Steinhuder Meeres, die ca. 35 % des gesamten Untersuchungsgebietes (UG; inkl. der Seefläche) ausmacht. Wird dagegen nur das Einzugsgebiet (EZG; ohne Seefläche) des Steinhuder Meeres betrachtet, zeigt sich eine recht starke landwirtschaftliche Nutzung, wobei Ackerflächen 30,3 % und Grünlandflächen 17,1 % der Gesamtfläche des EZG ausmachen. Weitere relevante Landnutzungen im EZG stellen Waldflächen mit 18,9 %, Siedlungen mit 14,0 %, (weitgehend intakte) Moorflächen mit 9,9 % und Torfabbaufächen mit 5,4 % dar. Die größten Siedlungen im Untersuchungsgebiet sind Steinhude mit etwa 4.900 und Großenheidorn mit ca. 3.000 Einwohnern.

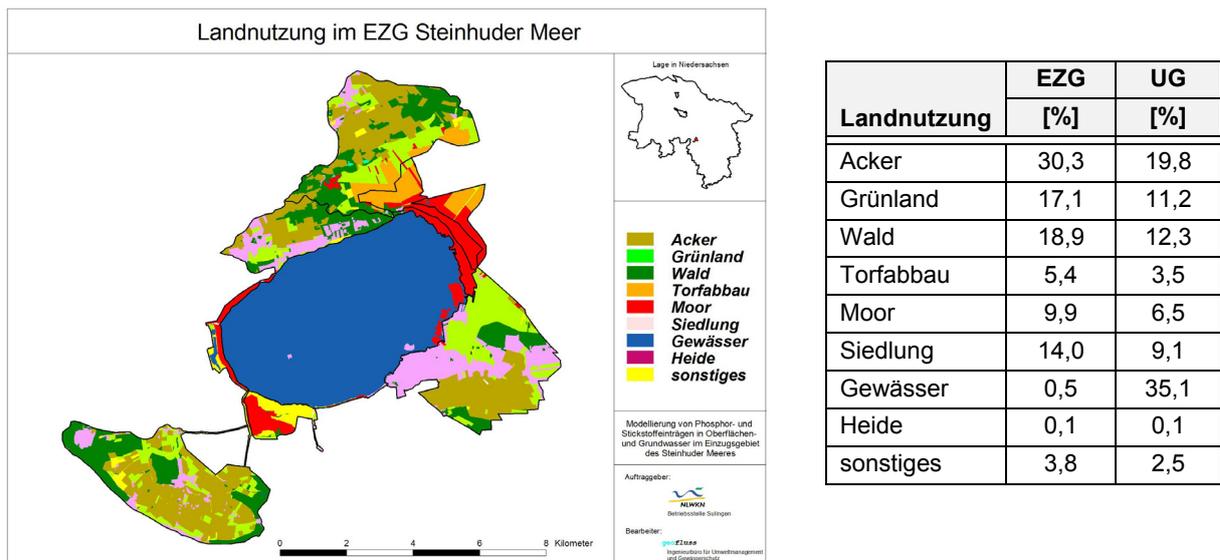


Bild 1: EZG des Steinhuder Meeres: Landnutzung nach ATKIS

Als Besonderheit des EZG des Steinhuder Meeres sind die flächenmäßig sehr bedeutenden (ehemaligen) Moorflächen anzusehen: sie nehmen laut BÜK 50 ein Gebiet von etwa 14 km² ein. Hiervon sind etwa 40 % in landwirtschaftlicher Nutzung (dieser Anteil ist in Bild 1 als Acker- bzw. Grünland dargestellt). Hinzu kommen Anteile der Naturschutzgebiete „Ostufer

Steinhuder Meer“, „Hagenburger Moor“, „Meerbruch“, „Wuvelkuhlen“, „Meerbruchwiesen“ und „Wunstorfer Moor“. Zu beachten sind zudem die recht ausgeprägten Torfabbaugebiete, die vor allem im Nordwesten des Untersuchungsgebietes liegen.

Aufgrund der räumlich ausgeprägten landwirtschaftlichen Nutzung ist im EZG des Steinhuder Meeres mit relevanten diffusen Nährstoffeinträgen zu rechnen. Es liegen aber keine Abfluss- oder Gütepegel, anhand derer Frachtberechnungen möglich wären, vor.

Auf Grundlage der im Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres vorhandenen oberirdischen Teileinzugsgebiete (TEZG) wurde das Gebiet in 7 zufließende Teilgebiete unterteilt (s. Bild 2 und Tabelle 1). Die flächenmäßig größten Teilgebiete sind das TEZG Winzlarer Grenzgraben, zu dem auch der Windhorngraben gehört, das TEZG Bannseeegraben und das TEZG Großenheidorngraben. Zu beachten ist, dass das TEZG Totes Moor nochmals unterteilt wurde, da nach Aussage von Herrn Beuster (Ökologische Schutzstation Steinhuder Meer e.V.) der Vogeldamm „weitestgehend“ als (Abfluss-) Barriere für den oberhalb gelegenen Anteil des Toten Moores anzusehen ist (vgl. Kap. 2.2.1). Weiterhin ist unbedingt zu beachten, dass das Steinhuder Meer selbst als Bilanzgebiet betrachtet wurde, da hier zumindest Nährstoffeinträge über atmosphärische Deposition zu erwarten sind.

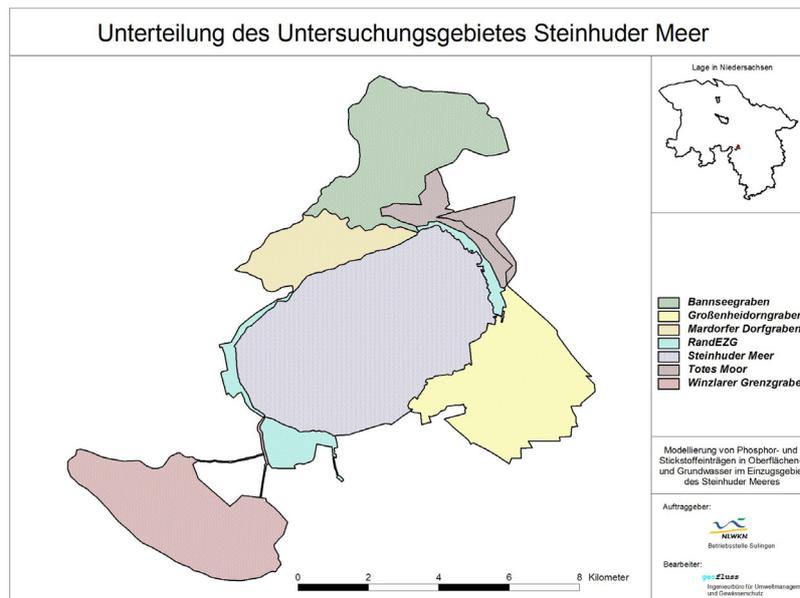


Bild 2: Unterteilung des Untersuchungsgebietes Steinhuder Meer

Tabelle 1: TEZG im Untersuchungsgebiet Steinhuder Meer

Bilanzgebiet	TEZG-Nr.	Größe [ha]	Lage
Winzlarer Grenzgraben	1	1279	im Südwesten des EZG
Bannseeegraben	2	1231	im Nordosten des EZG
Totes Moor (oh Vogeldamm)	3	148	im Osten des EZG
Mardorfer Dorfgraben	4	550	im Norden des EZG
Großenheidorngraben	5	1304	im Südosten des EZG
Rand-EZG	6	385	im Südwesten, Westen und Osten
Totes Moor (uh Vogeldamm)	7	229	im Osten des EZG
Steinhuder Meer	-	2825	zentral

2.2 Bilanzmodell

Das LUH-Bilanzierungsmodell wurde ursprünglich im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums entwickelt (SCHEER ET AL., 2007; PANCKOW, 2008). Eine Weiterentwicklung und niedersachsenweite Anpassung des Modells im Auftrag des NLWKN wurde Anfang 2012 fertiggestellt (Bearbeiter Dr. Carsten Scheer und Dr. Nikolai Panckow - Ingenieurbüro geofluss). Dieser Modellansatz stellt die Berechnungsgrundlage für die Bearbeitung der Fragestellung dar.

Das Bilanzmodell arbeitet auf Rasterbasis mit einer Auflösung von 1 ha und ermittelt die Stickstoff- und Phosphoreinträge sowie die Wasserflüsse für jedes Raster. Darüber hinaus wird die Retention im Gewässersystem berücksichtigt. Berechnet werden die diffusen Eintragspfade Grundwasser, Zwischenabfluss, Drainageabfluss, Erosion, Abschwemmung und Direkteintrag, welche jeweils differenziert für die verschiedenen Landnutzungen (Ackerland, Grünland, Wald, städtische Flächen usw.) abgebildet werden. Berücksichtigung finden darüber hinaus auch die Punktquellen. Sie sind für die Gesamtbilanzierung am Gebietsauslass erforderlich. Für die weiterführende Analyse der Eintragsituation sind im Bilanzmodell diverse Auswertungen implementiert. Sie erlauben es die Wasser- und Stoffflüsse nach Bilanzgebiet, Kreis, Gemeinde, Ackerschlag, Raster oder Landnutzung auszuwerten. Insgesamt ermöglichen die Bewertungsroutinen eine Ausweisung von Hot Spots und liefern somit wertvolle Grundlagen für eine effektive Maßnahmenplanung. Weiterhin ist in das Bilanzierungsmodell ein Szenarienmodul implementiert, welches es erlaubt, mit direktem räumlichen Bezug zu den Belastungsschwerpunkten und unter Berücksichtigung der jeweils relevanten Eintragspfade gezielt differenzierte Szenarien (Bewirtschaftungsmaßnahmen) zur Verminderung der Nährstoffeinträge in die Gewässer zu berechnen. Derartige Szenarien ermöglichen Prognosen über die Effektivität der Maßnahmen und über den erforderlichen Zeitraum bis zur Zielerreichung gemäß der EG-WRRL.

Die wesentlichen Modelleigenschaften bestehen in der kleinräumigen Berücksichtigung von eintragsrelevanten Standorteigenschaften für eine pfadnutzungsdifferenzierte Ermittlung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge zur Ausweisung von Belastungsschwerpunkten. Der Datenfluss und wesentliche Berechnungsschritte im Bilanzmodell sind in Bild 3 schematisch dargestellt.

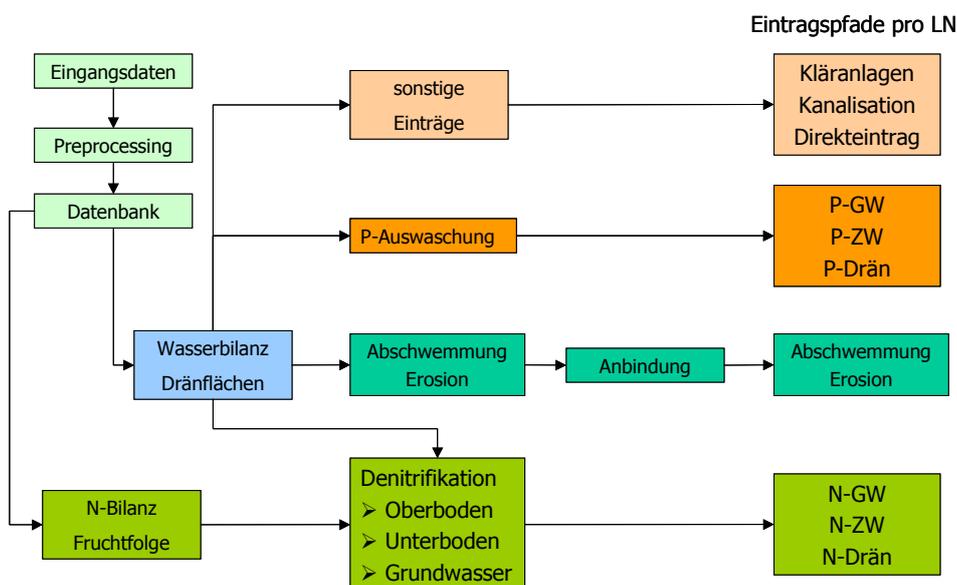


Bild 3: Datenfluss und wesentliche Berechnungsschritte im Bilanzmodell

Die Modellanwendung erfordert detaillierte Eingangsdaten in Form von digitalen Karten sowie tabellarische Daten. Eine Übersicht der für die Modellanwendung wesentlichen Eingangsdaten ist in Tabelle 2 aufgeführt. Hierzu ist anzumerken, dass die Anbauflächen der Kulturarten auf Basis von SLA-Daten der Jahre 2011 und 2013 ermittelt wurden.

Tabelle 2: Wesentliche Eingangsdaten für das Bilanzmodell

Eingangsdaten	Format
Flächenaufgelöste Boden-Datenbank nach BÜK50n u.a. mit Horizontdaten	Datenbank und Shape
Pegeldaten für das Gesamtgebiet und Teilgebiete (Lage)	Shape
Anbauflächen und Erträge der Kulturarten pro Gemeinde	Tabelle
Viehzahlen pro Gemeinde nach Viehzählung 2010	Tabelle
Gebietsgrenzen (EZG, Bundesland, Gemeinde, Kreis, TEZG, Grundwasserkörper)	Shape
Regionalisierte langjährige Klimadaten (Niederschlag, Verdunstung)	Shape
Landnutzung nach ATKIS (Objektart-Nr., VEG-Nr., FKT.-Nr.)	Shape
Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum	Shape
DGM 5 bzw. 50 (hieraus Ableitung der Ausrichtung und Hangneigung)	Shape
Angaben zu Drainageflächen (sonst modellinterne Ableitung)	(Shape)
Kenndaten der Kleinkläranlagen (Lage, Art)	Tabelle
Kenndaten der Bilanzgebiete (u.a. Lage, Gewässerlängen, Abflüsse, Seenfläche)	Shape, Tabelle
Kenndaten Gemeinde (u.a. Einwohner, Flächenanteile außerhalb des EZG)	Shape, Tabelle
Kenndaten Kläranlagen (Abwassermenge, Ablaufwerte, Lage)	Shape, Tabelle
Kenndaten Kreise (z.B. Anteil Mischkanalisation)	Tabelle
an Kläranlagen angeschlossene Einwohner pro TEZG	Tabelle
Gewässernetz (Hauptgewässer, Nebengewässer und Gräben)	Shape

Mit dem LUH-Bilanzmodell steht ein anwendungsfreundliches Instrument zu Verfügung, mit dem wesentliche Anforderungen der WRRL und der wasserwirtschaftlichen Praxis erfüllt werden können.

Eine ausführliche Dokumentation der Modellgrundlagen und integrierten Berechnungsansätze ist SCHEER ET AL. (2007), PANCKOW, N. (2008) und SCHEER, C. & PANCKOW, N. (2012) zu entnehmen.

2.2.1 Modellannahmen zur Abbildung der Nährstoffeintragssituation im EZG des Steinhuder Meeres

Um die Nährstoffeintragssituation im EZG des Steinhuder Meeres möglichst realitätsnah abbilden zu können, war es erforderlich, einige Besonderheiten im EZG, die nicht durch die vorliegenden Daten bekannt waren, bei der Modellierung zu berücksichtigen. Die hierfür notwendigen Informationen wurden einerseits durch Ortsbegehungen und andererseits durch die Ortskenntnis von Herrn Schuster (NLWKN Sulingen) und Herrn Beuster (Ökologische Schutzstation Steinhuder Meer e.V.) erzielt. Wesentliche Modellannahmen werden nachfolgend für die betroffenen TEZG vorgestellt.

TEZG Bannseegraben:

Der Bannseegraben im nordöstlichen Einzugsgebiet des Steinhuder Meeres weist im Gegensatz zu früher aktuell zumeist keinen Abfluss auf (Information von Herrn Beuster, Ökologische Schutzstation Steinhuder Meer e.V.). Dieser Befund konnte bei der Ortsbegehung am

16.09.2015 (nach mehreren nassen Tagen) bestätigt werden (s. Bild 4). Darüber hinaus existieren die noch in ATKIS verzeichneten kleinen Seen in diesem TEZG nicht mehr. Ursache für diese beiden Phänomene ist wahrscheinlich ein abgesunkener Grundwasserstand, möglicherweise verursacht durch die durchgeführten Entwässerungen zum Torfabbau bzw. durch Grundwasserentnahmen seitens des Wasserwerks Schneeren. Unterstützt wird diese These durch die Ergebnisse der Grundwassermessstelle Schneeren: 110, die im TEZG Bannsee-graben liegt; seit Messbeginn in 1990 ist dort der Grundwasserstand bis heute um etwa 1 m gesunken.



Bild 4: Lauf des Bannseegrabens am 16.09.2015 auf Höhe der Schlammdeponie

Um diese spezifischen Bedingungen modelltechnisch berücksichtigen zu können, wurden folgende Modellannahmen implementiert:

- Abflussquotient maximal 0,95, d.h. dass mindestens 95 % des Gebietsabflusses über den Grundwasserpfad erfolgen (außer bei Torfabbau).
- P-Einträge von den ehemaligen Moorflächen, die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind, wurden deutlich vermindert.

TEZG Mardorfer Dorfgraben:

Die Abflüsse über die Ortskanalisation Mardorf werden nicht direkt über einen Bach abgeleitet, sondern einem Regenrückhaltebecken zugeführt, in dem ein Nährstoffrückhalt erfolgt. Dieser Nährstoffrückhalt wurde modellintern auf 50 % angesetzt.

TEZG Großenheidorngraben:

Nach Angaben von Herrn Schuster entwässern die Kanalisationen südlich der Hauptstraße in Steinhude nicht in das Steinhuder Meer. Dieser Umstand wurde in das Modell implementiert. Da dieses TEZG durch einen ausgeprägten Tourismus charakterisiert ist, wurden alle weiteren Einträge aus Kanalisationen in diesem TEZG zudem um 20 % hochgesetzt.

Weiterhin zeigte eine Ortsbegehung, dass die Hochmoorflächen im Osten des TEZG nicht drainiert und vergleichsweise trocken sind. Analog zum Bannsee-graben wurden für diese Flächen folgende Modellannahmen implementiert:

- Abflussquotient maximal 0,8, d.h. dass mindestens 80 % des Gebietsabflusses über den Grundwasserpfad erfolgen.

- P-Einträge von den ehemaligen Hochmoorflächen, die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind, wurden vermindert.

2.3 Betrachteter Zeitraum und Szenarien

Für das Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres wurden als Betrachtungszeitraum die Jahre 2010 bis 2014 gewählt (aus diesem Zeitraum stammen die verwendeten Agrardaten zu den Anbauflächen der Kulturarten und den Viehzahlen pro Gemeinde, vgl. Kap. 2.2). Ziel war es, die mittlere Nährstoffeintragsituation dieses Zeitraumes abzubilden.

Neben der Hauptberechnung zur Abbildung des (mittleren) IST-Zustandes wurden insgesamt 4 Szenarien berechnet, die nachfolgend aufgeführt werden:

- in **Szenario 1** wurde der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres um 50 % erhöht.
- in **Szenario 2** wurde der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres verdoppelt.
- in **Szenario 3** wurde der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres 25 % niedriger angesetzt.
- in **Szenario 4** wurde der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres halbiert.

2.4 Nährstofffrachten aus Pegeldata

Für das Untersuchungsgebiet Steinhuder Meer liegen weder Abflussmessungen noch Gütemessungen der Zuflüsse vor. Entsprechend konnten keine Frachten der einzelnen Zuflüsse ermittelt werden.

Abschätzung des Gebietsabflusses:

Zur Abschätzung des Gebietsabflusses wurde davon ausgegangen, dass die mittlere Abflussspende des Meerbachs repräsentativ für das Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres ist; sie beträgt $6,25 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ (aus dem Bericht zur Bestandsaufnahme zur Umsetzung der EG-WRRL, Oberflächengewässer, Bearbeitungsgebiet Weser/Meerbach, 2004). Bezogen auf das gesamte EZG des Steinhuder Meeres mit gut 51 km^2 ergibt sich hieraus ein Gesamtabfluss für das EZG des Steinhuder Meeres von etwa $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.5 Retention im Gewässersystem

Der im Bilanzmodell etablierte Ansatz zur Berücksichtigung der Retention beruht im Wesentlichen auf Angaben von BEHRENDT ET AL. (1999) und VENOHR ET AL. (2005).

Das Prinzip dieses Berechnungsansatzes für die Retention im Gewässersystem besteht darin, die hydraulische Belastung des Systems als Maß für die Retention zu verwenden.

Berücksichtigt werden hierzu die Gewässerfläche als Maß für den Reaktionsraum sowie die Abflussmenge (jeweils getrennt für Haupt- und Nebenflüsse pro Bilanzgebiet) als Maß für die Reaktionszeit.

Realisiert wurden getrennte Retentionsansätze für Haupt- und Nebenflüsse sowie für die verschiedenen Nährstoffeinträge:

- Retentionsansatz für die Hauptflüsse HF (Fracht vom oberhalb gelegenen BG und punktuelle Einträge direkt in die HF),

- Retentionsansatz für die Nebenflüsse und das Grabensystem NF (diffuse Einträge im Bilanzgebiet BG) und
- Retentionsansatz für punktuelle Einträge und urbane Einträge, die nicht direkt in die HF eingeleitet werden (MW, Mittelwert der erstgenannten Ansätze).

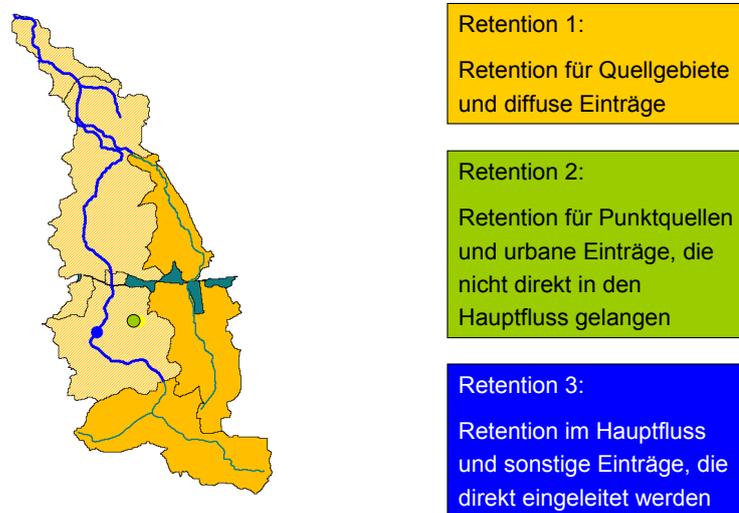


Bild 5: Schematische Darstellung der 3 modellinternen berücksichtigten Retentionsansätze

Anhand von Bild 5 werden im Folgenden die verschiedenen Retentionsansätze erläutert: Zuerst werden die Bilanzgebiete in Quellgebiete (der Hauptflüsse, dunkelorange in Bild 5) und sonstige Gebiete (hellorange in Bild 5) differenziert.

Für die Quellgebiete wird für **alle** Einträge in Anlehnung an FOGELBERG (2003) der Retentionsansatz für die Nebenflüsse verwendet. In den sonstigen Gebieten gilt dieser Ansatz nur für die diffusen Einträge.

In letzteren Gebieten werden zudem für die punktuellen Einträge je nach Herkunft 2 verschiedene Retentionsansätze verwendet: liegt der Herkunftsort direkt am Hauptfluss, wird der Retentionsansatz für den Hauptfluss verwendet; ist dies nicht der Fall, wird der Mittelwert der beiden Retentionsansätze angewendet.

Zusätzlich wird in den sonstigen Gebieten, die alle unterhalb einer Quellregion liegen, noch eine Retention der von oberhalb resultierenden Fracht im Hauptfluss durch den entsprechenden Retentionsansatz berücksichtigt. Das bedeutet, dass die Fracht aus z.B. Quellgebiet 1 in jedem flussabwärts folgenden Bilanzgebiet einer weiteren Retention ausgesetzt ist und sich umso mehr verringert, desto weiter die Fließstrecke ist.

2.6 Methodik zur Ausweisung der Zielkulissen

Die Methodik zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer wurde vom Auftragnehmer in enger Abstimmung mit dem NLWKN Hannover entwickelt. Als entscheidende Bewertungskriterien fungieren hierbei Zielkonzentrationen für die Parameter N-Gesamt und P-Gesamt. Diese **Zielkonzentrationen** (als Immissionen) wurden vom NLWKN für das Steinhuder Meer mit **2,8 mg/l für N-Gesamt** und **0,05 mg/l für P-Gesamt** vorgegeben.

Auf Basis dieser Zielkonzentrationen wurden als zusätzliche Bewertungskriterien (unter Berücksichtigung der langjährigen mittleren Abflüsse sowie der Einzugsgebietsgrößen) pro Pegelinzugsgebiet **Zielfrachten** für die Parameter **N und P in kg/ha** (als Immissionen) ermittelt. Das Vorgehen hierbei ist der nachstehenden Formel zu entnehmen:

$$\text{Zielfracht [kg/ha]} = \frac{\text{Zielkonzentration [mg/l]} \cdot \text{Abfluss [l]}}{\text{EZG [ha]} \cdot 1.000.000}$$

Insgesamt stehen somit 4 Bewertungskriterien zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer zur Verfügung.

Um eine räumlich angemessen hohe Auflösung zu erreichen, wurden als räumliche Bewertungsgröße die hydrologischen TEZG ausgewählt.

Die räumlich differenzierte Ausweisung der Zielkulissen für Oberflächengewässer erfolgt auf Grundlage der im Rahmen dieses Projektes erzielten Modellergebnisse (s. Kap. 4) für die jeweiligen hydrologischen TEZG des Einzugsgebietes. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hochaufgelöste Ausweisung der N- und P-Belastungen vom Modell jeweils als Emission erfolgt. Es war daher erforderlich, die oben vorgestellten Bewertungskriterien (die als Immissionen definiert wurden) in jeweils gebietstypische Emissionen umzurechnen. Dieses geschieht unter Berücksichtigung der vom verwendeten Modellansatz pro Bilanzgebiet ermittelten mittleren Retention (Emissionswert = Immissionswert / Retentionsfaktor, zur Methodik der Retentionsberechnung s. Kap. 2.5). Da die Retentionsfaktoren der einzelnen Bilanzgebiete innerhalb eines EZG unterschiedliche Werte aufweisen (je weiter oberhalb ein BG liegt, desto höher ist in der Regel die Retention und desto kleiner wird folglich der Retentionsfaktor), ergeben sich in Abhängigkeit der Lage der Bilanzgebiete im EZG differenzierte Zielwerte für die Emissionen.

Alle erforderlichen Bewertungsparameter sind für das EZG des Steinhuder Meeres in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Ausweisung von Zielkulissen: erforderliche Bewertungsparameter und resultierende Bewertungsgrößen (blau markiert) für das EZG des Steinhuder Meeres

Immission						
TEZG	Größe [ha]	Abfluss [m ³ /s]	Ziel Konz. N [mg/l]	Ziel Konz. P [mg/l]	Ziel Fracht N [kg/ha]	Ziel Fracht P [kg/ha]
Winzlarer G.	1279	0,090	2,8	0,05	6,24	0,11
Bannseeграben	1231	0,084	2,8	0,05	6,01	0,11
Mardorfer D.	550	0,038	2,8	0,05	6,18	0,11
Großenheidornng.	1304	0,081	2,8	0,05	5,50	0,10
Totes Moor oh	148	0,006	2,8	0,05	3,29	0,06
Rand-EZG	385	0,013	2,8	0,05	2,89	0,05
Totes Moor uh	229	0,010	2,8	0,05	3,85	0,07
Emission						
TEZG	Retentionsfaktor N	Retentionsfaktor P	Ziel Konz. N [mg/l]	Ziel Konz. P [mg/l]	Ziel Fracht N [kg/ha]	Ziel Fracht P [kg/ha]
Winzlarer G.	0,902	0,935	3,11	0,054	6,91	0,12
Bannseeграben	0,930	0,972	3,01	0,051	6,46	0,11
Mardorfer D.	0,956	0,990	2,93	0,050	6,46	0,11
Großenheidornng.	0,919	0,962	3,05	0,052	5,99	0,10
Totes Moor oh	0,865	0,889	3,24	0,056	3,80	0,07
Rand-EZG	0,584	0,276	4,80	0,181	4,95	0,19
Totes Moor uh	0,798	0,889	3,51	0,066	4,82	0,09

Die abschließende Bewertung der Belastungssituation sowie die Ausweisung von (Vorschlägen für) Ziel- und Maßnahmenkulissen wurde pro Einzugsgebiet auf räumlicher Ebene der TEZG unter Berücksichtigung der Modellergebnisse, der in Tabelle 3 vorgestellten Bewertungskriterien sowie unter Verwendung der in Tabelle 4 dargestellten Stufeneinteilung durchgeführt.

Tabelle 4: Stufeneinteilung zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer

Stufe	Belastung	Zielkulisse	Bewertungsbereich
1	sehr gering	nein	bis Faktor 0,5 des Zielwertes
2	gering	nein	bis Faktor 1,33 des Zielwertes
3	mäßig	ja	bis Faktor 2,0 des Zielwertes
4	hoch	ja	bis Faktor 4,0 des Zielwertes
5	sehr hoch	ja	mehr als Faktor 4 des Zielwertes

Hierbei wurden zunächst (jeweils für N und P) die einzelnen Parameter Konzentration in mg/l und Flächenbelastung in kg/ha nach den oben genannten Kriterien bewertet. Zur Ausweisung der (Vorschläge für) Ziel- und Maßnahmenkulissen für Oberflächengewässer wurden abschließend die zuvor erzielten Ergebnisse der Einzelbewertungen für die Konzentration und die Flächenbelastung zu einer kombinierten Bewertung zusammengefasst, wobei die schlechtere Einzelbewertung eine erhöhte Bedeutung bekommt. Diese erhöhte Bedeutung wird anhand der folgenden Beispiele erläutert:

- die Einzelbewertungen weisen die Stufen 2 und 3 auf, die kombinierte Bewertung die Stufe 3,
- die Einzelbewertungen weisen die Stufen 2 und 5 auf, die kombinierte Bewertung die Stufe 4.

Zu beachten ist hierbei der Bewertungsbereich von Stufe 2 (geringe Belastung, noch keine Zielkulisse erforderlich): er reicht nicht genau bis zum Zielwert (also den vorgegebenen Ziel- bzw. Grenzkonzentrationen von 2,8 mg/l für N-Gesamt und 0,05 mg/l für P-Gesamt und den hieraus ermittelten Ziel- bzw. Grenzfrachten), sondern bis zum 1,33-fachen des Zielwertes (s. Tabelle 4). Diese Erhöhung ist folgendermaßen begründet:

- eine geringfügige Überschreitung des Zielwertes pro TEZG kann akzeptiert werden und muss nicht sofort zur Ausweisung einer Zielkulisse führen,
- die Ausweisung der Zielkulissen erfolgt auf Basis von Modellergebnissen. Es ist daher geboten gewisse Modellunsicherheiten in die Bewertung einzubeziehen.

Die für die einzelnen Betrachtungsräume vorgeschlagenen Ziel- und Maßnahmenkulissen für Oberflächengewässer sind dem Kap. 4 zu entnehmen.

3 Stickstoff- und Phosphoreinträge in Grund- und Oberflächengewässer im Bearbeitungsgebiet des Steinhuder Meeres

Nachfolgend werden die Modellergebnisse für die Stickstoff- und Phosphoreinträge in Grund- und Oberflächengewässer im Bearbeitungsgebiet des Steinhuder Meeres vorgestellt. Zu beachten ist dabei erstens, dass es sich um Emissionen handelt (und nicht um Immissionen). Zweitens werden die Modellergebnisse grundsätzlich - sofern nicht ausdrücklich anders angegeben - auf das EZG des Steinhuder Meeres bezogen und nicht auf die gesamte Fläche des Untersuchungsgebietes inkl. der großen Wasserfläche des Steinhuder Meeres.

3.1 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres (IST-Zustand)

Die unter Verwendung der zur Verfügung gestellten Daten erzielten Ergebnisse der Quantifizierung der diffusen und punktuellen Stickstoffeinträge bei mittleren Bedingungen für das EZG des Steinhuder Meeres im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 sind Tabelle 5 zu entnehmen. Insgesamt werden - bezogen auf das EZG - N-Emissionen von 54.162 kg/a ermittelt, wovon 50.947 kg/a den diffusen N-Einträgen zuzuordnen sind (3.215 kg/a werden im EZG des Steinhuder Meeres durch punktuelle N-Einträge verursacht). Wird dagegen das gesamte Untersuchungsgebiet (UG) betrachtet, also inkl. der Wasserfläche des Steinhuder Meeres, zeigt sich eine andere Situation: nun dominieren die Direkteinträge mit über 46,5 t/a (etwa 47 % der gesamten N-Einträge in das Steinhuder Meer). Verursacht wird diese Zunahme der Direkteinträge von ca. 45 t/a durch atmosphärische N-Deposition direkt auf die Seefläche des Steinhuder Meeres.

Tabelle 5: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres und im UG Steinhuder Meer für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragspfad	EZG Steinhuder Meer		UG Steinh. Meer (EZG inkl. Seefläche)	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	1.449	2,7	46.584	46,9
Abschwemmung	246	0,5	246	0,2
Erosion	719	1,3	719	0,7
Grundwasser	6.572	12,1	6.576	6,6
Zwischenabfluss	36.979	68,3	37.007	37,2
Dränagen	4.983	9,2	4.983	5,0
Kleinkläranlagen	36	0,1	101	0,1
Urbane Einträge	3.179	5,9	3.196	3,2
Summe diffus	50.947	94,1	96.115	96,7
Summe punktuell	3.215	5,9	3.297	3,3
Summe	54.162	100	99.412	100

Bild 6 zeigt die N-Einträge nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres in kg/a. Deutlich zu erkennen ist, dass die N-Emissionen über den Eintragspfad Zwischenabfluss eindeutig die Eintragungssituation dominieren: über diesen Pfad resultieren gemäß der Modellergebnisse knapp 37 t/a, was ca. 68 % der gesamten N-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres entspricht. Der zweitwichtigste Eintragspfad ist demnach der Grundwasserabfluss mit fast 6,6 t/a, dicht gefolgt von den N-Emissionen über Drainageabfluss mit etwa 5 t/a (12 bzw. 9 %). Diese 3 unterirdischen Pfade verursachen im EZG des Steinhuder Meeres somit etwa

90 % aller N-Emissionen. Die weiteren diffusen Eintragspfade sind folglich von keiner relevanten Bedeutung. Letzteres gilt auch für die punktuellen N-Einträge, die vor allem auf N-Einträge über Kanalisationen (inkl. der Abschwemmungen von versiegelten Flächen) zurückzuführen sind: diese betragen ca. 3,2 t/a und somit etwa 6 % der gesamten N-Emissionen im EZG.

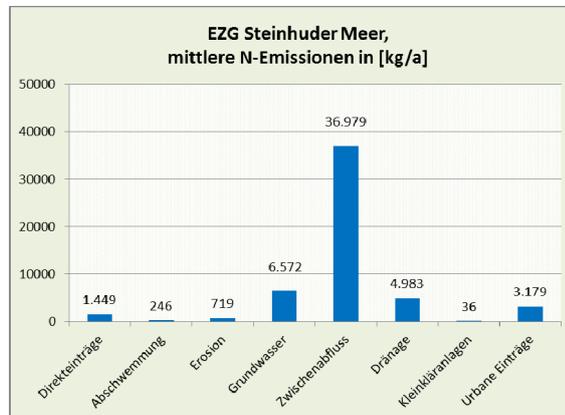


Bild 6: Modellergebnisse für die N-Einträge nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres (51 km²) in [kg/a]

Bild 7 zeigt die räumliche Verteilung der N-Einträge über die beiden schnell abfließenden Pfade Drainage- und Zwischenabfluss im EZG des Steinhuder Meeres bei mittleren Abflussbedingungen. Die N-Einträge über Drainagen weisen dabei eine Spannweite von 2 bis etwa 21 kg/ha-a auf, wobei 84 % der N-Emissionen über diesen Pfad von der Landnutzung (LN) Grünland erfolgen, die restlichen 16 % von Ackerflächen. Insgesamt sind auf Basis der Modellergebnisse 500 ha dräniert (in den weiß dargestellten Bereichen in Bild 7 links liegen keine dränierten Flächen vor, folglich sind hier auch keine N-Einträge über diesen Pfad zu verzeichnen). Bild 7 rechts zeigt die N-Belastungen über Zwischenabfluss. Es ist sofort zu erkennen, dass ein Zwischenabfluss in weiten Teilen des EZG vorliegt und dass zudem die N-Belastungen über diesen Pfad deutlich höher als über den Drainageabfluss sind. Sie weisen eine Spannweite von 0,5 bis etwa 47 kg/ha-a auf, wobei ca. 66 % der N-Emissionen über diesen Pfad von der LN Acker erfolgen, weitere 14 % von Grünlandflächen und fast 7 % von Waldflächen.

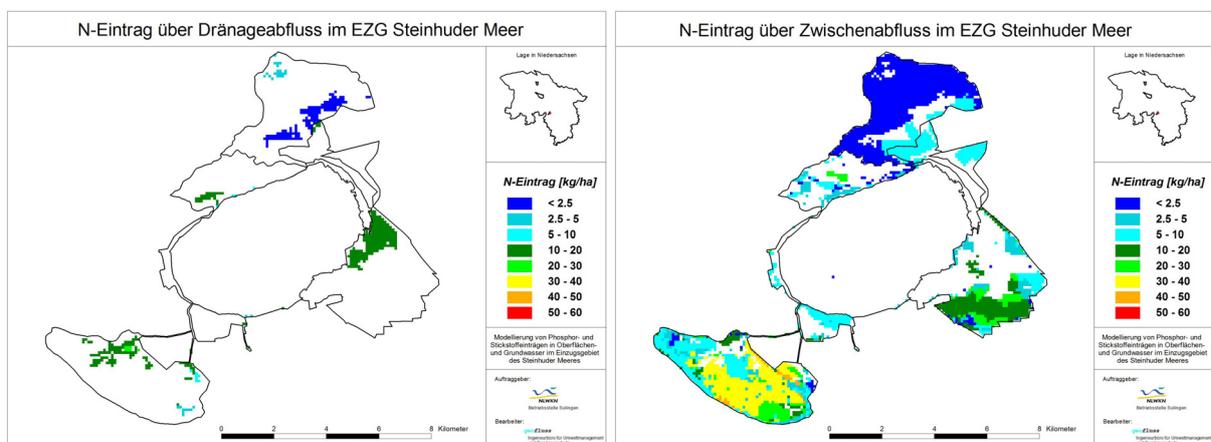


Bild 7: Modellergebnisse für die diffusen N-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Die deutlichen Unterschiede der ermittelten N-Emissionen werden weitgehend durch die drei Bilanzterme N-Bilanzüberschuss, Denitrifikation im Oberboden und Anteil des Drainage- bzw. Zwischenabflusses am Gesamtabfluss verursacht.

Bild 8 links zeigt die räumliche Herkunft der N-Einträge über den Pfad Grundwasser. Deutlich zu erkennen sind große Bereiche, von denen nur geringe N-Einträge von zumeist sehr deutlich unter 2,5 kg/ha·a über Grundwasserabfluss ausgehen (häufig sind die N-Einträge hier < 0,1 kg/ha·a). Hierbei handelt es sich - unabhängig von der Landnutzung - zumeist um Gebiete, die relativ weit von den grundwasserrelevanten Vorflutern entfernt liegen. Kombiniert mit den eher geringen Abstandsgeschwindigkeiten in EZG des Steinhuder Meeres resultieren daraus relativ hohe Grundwasserverweilzeiten. Zusammen mit den guten Denitrifikationsbedingungen in den Grundwasserkörpern folgt daraus für diese Gebiete - auch bei hohen N-Emissionen Richtung Grundwasser - ein weitgehender N-Abbau. Erhöhte N-Einträge über den Pfad Grundwasser von über 10 kg/ha·a treten im EZG des Steinhuder Meeres folglich nur von den Flächen auf, die einen erhöhten N-Bilanzüberschuss aufweisen und zudem relativ dicht an den grundwasserwirksamen Vorflutern liegen (geringe Grundwasserverweilzeit, wodurch selbst bei guten Denitrifikationsbedingungen im Grundwasser nur ein geringer Nitratabbau stattfindet). Besonders in den Waldgebieten können auch geringe N-Bilanzüberschüsse ursächlich für die geringen N-Einträge über Grundwasser sein.

Bild 8 rechts zeigt die räumliche Herkunft der summierten N-Einträge über die 3 unterirdischen Eintragspfade. Aufgrund der deutlichen Dominanz der N-Emissionen über Zwischenabfluss ähnelt diese Darstellung sehr der der N-Emissionen über Zwischenabfluss in Bild 7 (rechts); lediglich im TEZG Bannseeegraben (wo nur ein sehr geringer Zwischenabfluss zugelassen wurde, vgl. Kap. 2.2.1) und in den Bereichen, wo kein Zwischenabfluss stattfindet, unterscheiden sich die beiden Bilder deutlich.

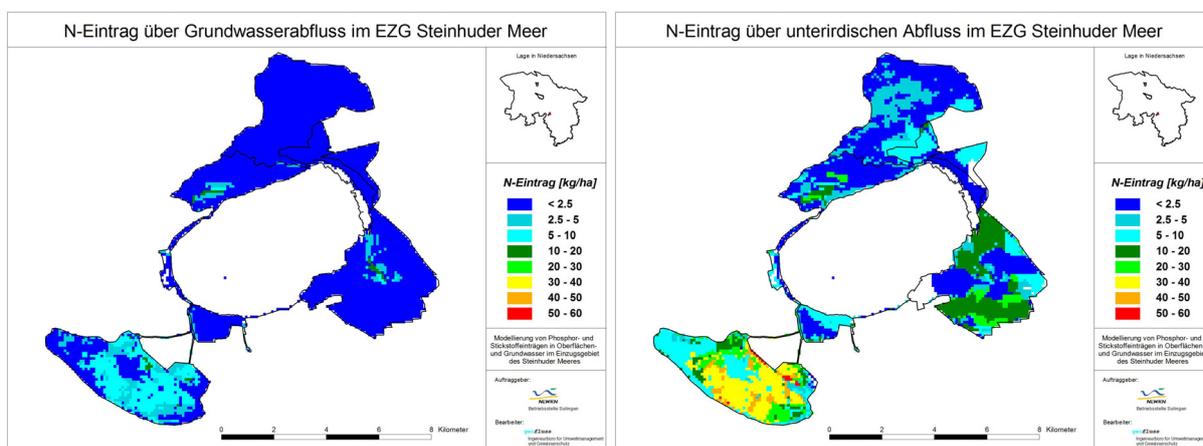


Bild 8: Modellergebnisse für die diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Die räumliche Verteilung der Summe der diffusen N-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres ist Bild 9 zu entnehmen. Hierbei ergibt sich eine sehr weitreichende Differenzierung der Eintragsituation. Die Höhe der diffusen N-Einträge reicht meist von kleiner 0,1 bis 57 kg/ha·a. Sowohl für die sehr niedrigen als auch für die extrem hohen N-Einträge ist eine Vielzahl von Einflussfaktoren verantwortlich. Besonders hohe N-Einträge von z.T. deutlich über 30 kg/ha·a werden nur über den Pfad Zwischenabfluss verursacht. In allen Fällen handelt es

sich dabei um landwirtschaftliche Nutzflächen, bei denen besonders hohe N-Bilanzüberschüsse und/oder geringe Denitrifikation im Oberboden (bzw. im Grundwasser) auftreten. Niedrige und sehr niedrige N-Einträge ergeben sich vor allem dort, wo:

- ein geringer N-Bilanzüberschuss vorherrscht (Waldgebiete und Siedlungen),
- kein Direktabfluss stattfindet,
- die Denitrifikationsverluste im Oberboden und insbesondere im Grundwasser sehr hoch sind.

Insgesamt fällt auf, dass die deutlich höchsten diffusen N-Einträge von verbreitet über 30 und z.T. sogar über 50 kg/ha-a ausschließlich aus dem stark landwirtschaftlich genutzten TEZG Winzlarer Grenzgraben stammen. Die grün dargestellten diffusen N-Einträge für die Wasserfläche des Steinhuder Meeres sind auf atmosphärische N-Deposition zurückzuführen.

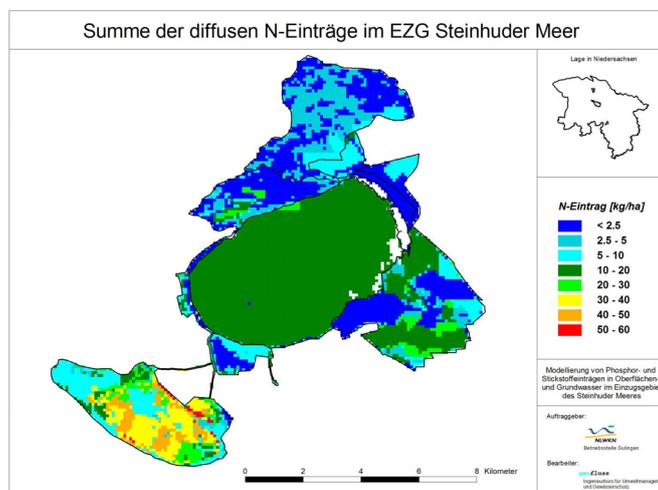


Bild 9: Modellergebnisse für die Summe der diffusen N-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha]

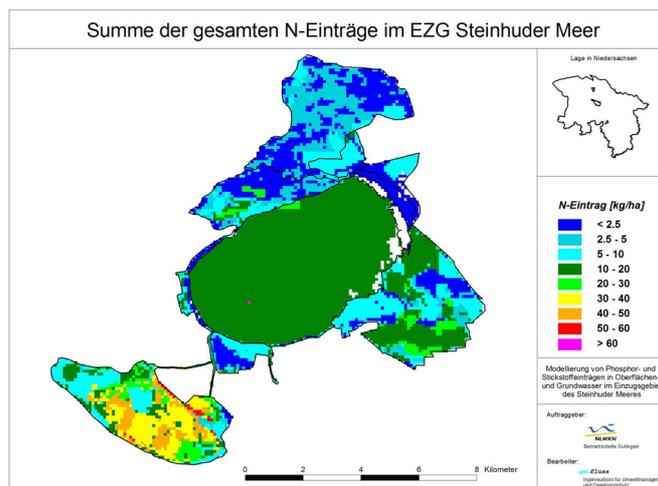


Bild 10: Modellergebnisse für die Summe der gesamten N-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha]

Bild 10 zeigt die Summe der gesamten N-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres. Aufgrund der geringen Bedeutung der punktuellen N-Emissionen entspricht diese Darstellung in weiten Bereichen der der diffusen N-Belastung in Bild 9. Lediglich in den Ortslagen zeigen sich bei

Bild 10 höhere N-Emissionen als bei den diffusen Einträgen. Die sehr hohen N-Emissionen von über 60 kg/ha·a „mitten im Steinhuder Meer“ werden durch die Kleinkläranlage auf der Insel Wilhelmstein verursacht.

3.1.1 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1

In Szenario 1 wurde für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres ein um 50 % erhöhter Abfluss angenommen. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 6 und Bild 11 dargestellten Ergebnisse für die N-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Tabelle 6: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1 (SZ 1: MQ um 50 % erhöht)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 1 (MQ + 50 %)	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	1.449	2,7	1.449	1,6
Abschwemmung	246	0,5	369	0,4
Erosion	719	1,3	868	1,0
Grundwasser	6.572	12,1	8.094	9,0
Zwischenabfluss	36.979	68,3	66.713	74,0
Dränagen	4.983	9,2	8.076	9,0
Kleinkläranlagen	36	0,1	36	0,04
Urbane Einträge	3.179	5,9	4.518	5,0
Summe diffus	50.947	94,1	85.569	94,9
Summe punktuell	3.215	5,9	4.554	5,1
Summe	54.162	100	90.123	100

Im Vergleich zum IST-Zustand erhöhen sich die N-Emissionen durch Szenario 1 im gesamten Einzugsgebiet um etwa 36 t/a und somit um ca. 66 %. Besonders nehmen die N-Emissionen von den beiden schnellen unterirdischen Abflusspfaden Zwischen- und Dränageabfluss zu (vgl. Bild 11). Über den Zwischenabfluss erfolgen nach Szenario 1 fast 67 t/a und somit knapp 30 t/a mehr als beim IST-Zustand, die Zunahme beträgt 80 %. Für den Dränageabfluss ergibt sich eine entsprechende Steigerung der N-Einträge von etwa 3,1 t/a, was einer Zunahme von ca. 62 % entspricht. Auch bei den urbanen Einträgen zeigt sich eine deutliche Erhöhung der N-Emissionen: im Vergleich zum IST-Zustand nehmen sie um gut 1,3 t/a zu (42 %). Die N-Emissionen über den Pfad Grundwasser erhöhen sich um gut 23 % (1,5 t/a), die erosiven N-Einträge um fast 21 % (150 kg/a). Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

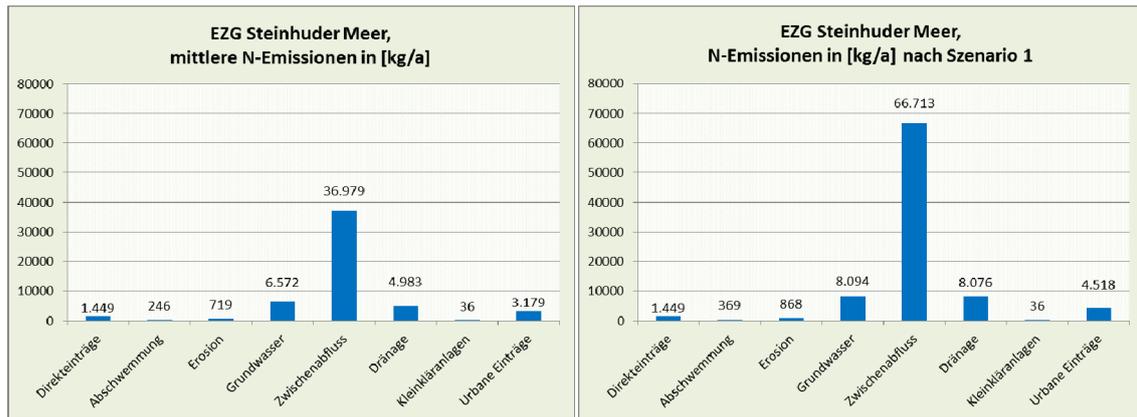


Bild 11: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 1 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.1.2 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2

In Szenario 2 wurde für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres ein im Vergleich zum mittleren Zustand verdoppelter Abfluss angenommen. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 7 und Bild 12 dargestellten Ergebnisse für die N-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Tabelle 7: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2 (Sz 2: MQ um 100 % erhöht)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 2 (MQ+100 %)	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	1.449	2,7	1.449	1,1
Abschwemmung	246	0,5	492	0,4
Erosion	719	1,3	1.010	0,8
Grundwasser	6.572	12,1	9.867	7,7
Zwischenabfluss	36.979	68,3	99.035	77,2
Dränagen	4.983	9,2	10.576	8,2
Kleinkläranlagen	36	0,1	36	< 0,1
Urbane Einträge	3.179	5,9	5.857	4,6
Summe diffus	50.947	94,1	122.428	95,4
Summe punktuell	3.215	5,9	5.857	4,6
Summe	54.162	100	128.320	100

Nach Szenario 2 erhöhen sich die diffusen N-Emissionen um über 71 t/a und somit um etwa 140 %. Die punktuellen N-Emissionen nehmen nach Szenario 2 um gut 2,5 t/a bzw. über 80 % zu. In der Summe erhöhen sich die N-Emissionen durch Szenario 2 im gesamten Einzugsgebiet im Vergleich zum IST-Zustand um ca. 137 %.

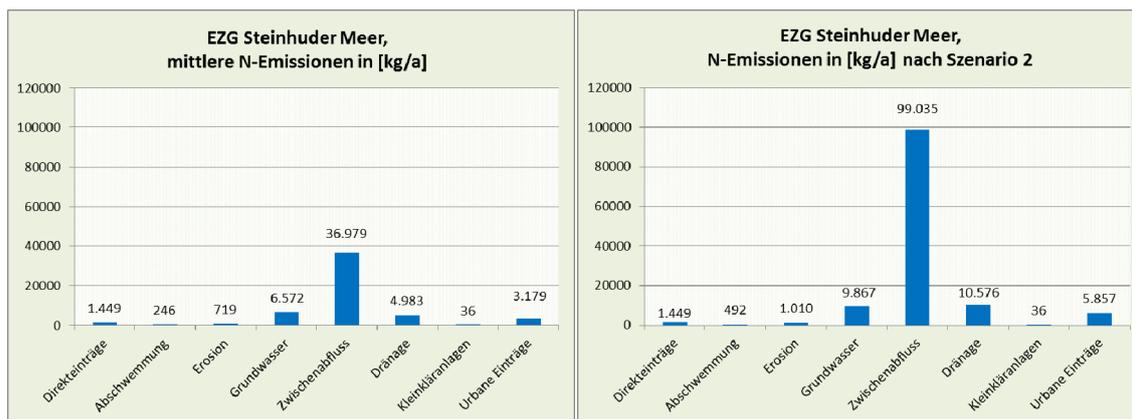


Bild 12: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 2 (rechts), jeweils in [kg/a]

Wie bereits bei Szenario 1 ist wiederum die Zunahme der N-Emissionen von den beiden schnellen unterirdischen Abflusspfaden Zwischen- und Dränageabfluss am deutlichsten (vgl. Bild 12): über den Zwischenabfluss erfolgen nach Szenario 2 N-Einträge von gut 99 t/a und somit ca. 62 t/a mehr als beim IST-Zustand, die Zunahme beträgt fast 170 %. Für den Dränageabfluss ergibt sich eine entsprechende Steigerung der N-Einträge von etwa 5,6 t/a, was einer Zunahme von ca. 110 % entspricht. Bei den urbanen Einträgen zeigt sich erneut eine deutliche Erhöhung der N-Emissionen: im Vergleich zum IST-Zustand nehmen sie um fast 2,7 t/a zu (84 %). Die N-Emissionen über den Pfad Grundwasser erhöhen sich um gut 50 % (3,3 t/a), die erosiven N-Einträge um 40 % (fast 300 kg/a). Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

3.1.3 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3

In Szenario 3 wurde der Abfluss für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres im Vergleich zum mittleren Zustand um 25 % verringert. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 8 und Bild 13 dargestellten Ergebnisse für die N-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Tabelle 8: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3 (Sz 3: MQ um 25 % verringert)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 3 (MQ - 25 %)	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	1.449	2,7	1.449	4,1
Abschwemmung	246	0,5	167	0,5
Erosion	719	1,3	645	1,8
Grundwasser	6.572	12,1	5.428	15,5
Zwischenabfluss	36.979	68,3	21.947	62,8
Dränagen	4.983	9,2	2.743	7,9
Kleinkläranlagen	36	0,1	36	0,1
Urbane Einträge	3.179	5,9	2.509	7,2
Summe diffus	50.947	94,1	32.379	92,7
Summe punktuell	3.215	5,9	2.545	7,3
Summe	54.162	100	34.924	100

Im Gegensatz zu den Szenarien 1 und 2 ergeben sich für Szenario 3 (und Szenario 4, s.u.) deutlich geringere N-Einträge, die erwartungsgemäß unterhalb der für den IST-Zustand erzielten N-Einträge liegen. Die Ursache hierfür liegt in den erheblich reduzierten Abflüssen. Die diffusen N-Einträge vermindern sich nach Szenario 3 um gut 36 % auf nur noch 32,4 t/a, die punktuellen um ca. 21 % auf nun gut 2,5 t/a. Den mit Abstand deutlichsten Rückgang zeigt der dominierende N-Eintragspfad Zwischenabfluss: hier vermindern sich die N-Einträge um gut 15 t/a auf jetzt knapp 22 t/a (minus etwa 41 %, vgl. Bild 13). Prozentual noch höher ist die Verminderung beim Pfad Drainageabfluss: sie liegt bei 45 %, was aufgrund der erheblich geringeren Bedeutung dieses Eintragspfades allerdings nur einen Rückgang der N-Emissionen von etwa 2,2 t/a bewirkt. Erwartungsgemäß ist die prozentuale Verminderung der N-Einträge für den Pfad Grundwasser eher gering: sie liegt bei ca. 17 % (1,1 t/a). Die erosiven N-Einträge liegen nach Szenario 3 bei 645 kg/a (minus 10 %). Insgesamt verringern sich die N-Einträge gemäß Szenario 3 um über 19 t/a, was knapp 36 % entspricht. Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

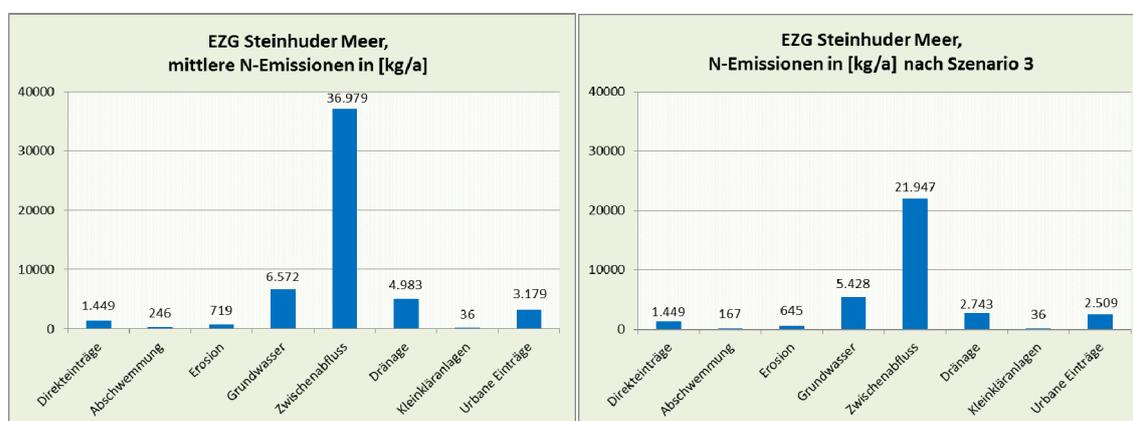


Bild 13: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 3 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.1.4 Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4

In Szenario 4 wurde angenommen, dass der Abfluss für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres im Vergleich zum mittleren Zustand halbiert ist. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 9 und Bild 14 dargestellten Ergebnisse für die N-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Nach Szenario 4 vermindern sich die N-Emissionen im Einzugsgebiet im Vergleich zum IST-Zustand und im Vergleich zu Szenario 3 weiter. Die Ursache hierfür liegt in den noch stärker reduzierten Abflüssen. Die diffusen N-Einträge vermindern sich nach Szenario 4 um gut 62 % auf nur noch 19 t/a, die punktuellen um ca. 42 % auf nun knapp 1,9 t/a. Den mit Abstand deutlichsten Rückgang zeigt erneut der dominierende N-Eintragspfad Zwischenabfluss: hier vermindern sich die N-Einträge um fast 26 t/a auf jetzt gut 11 t/a (minus etwa 69 % im Vergleich zum IST-Zustand). Prozentual noch höher ist die Verminderung beim Pfad Drainageabfluss: sie liegt bei 77 %, was aufgrund der erheblich geringeren Bedeutung dieses Eintragspfades allerdings nur einen Rückgang der N-Emissionen von etwa 3,8 t/a bewirkt. Bei diesen sehr geringen Abflüssen ist nun auch die prozentuale Verminderung der N-Einträge für den Pfad Grundwasser deutlich: sie liegt bei ca. 31 % (2,0 t/a). Die erosiven N-

Einträge betragen nach Szenario 4 567 t/a (minus 21 %). Insgesamt verringern sich die gesamten N-Einträge gemäß Szenario 4 um über 33 t/a, was einem Rückgang von etwa 61 % im Vergleich zum IST-Zustand entspricht. Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

Tabelle 9: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4 (Sz 4: MQ um 50 % verringert)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 4 (MQ - 50 %)	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	1.449	2,7	1.449	6,9
Abschwemmung	246	0,5	100	0,5
Erosion	719	1,3	567	2,7
Grundwasser	6.572	12,1	4.502	21,4
Zwischenabfluss	36.979	68,3	11.375	54,1
Dränagen	4.983	9,2	1.163	5,5
Kleinkläranlagen	36	0,1	36	0,2
Urbane Einträge	3.179	5,9	1.840	8,7
Summe diffus	50.947	94,1	19.156	91,1
Summe punktuell	3.215	5,9	1.875	8,9
Summe	54.162	100	21.032	100

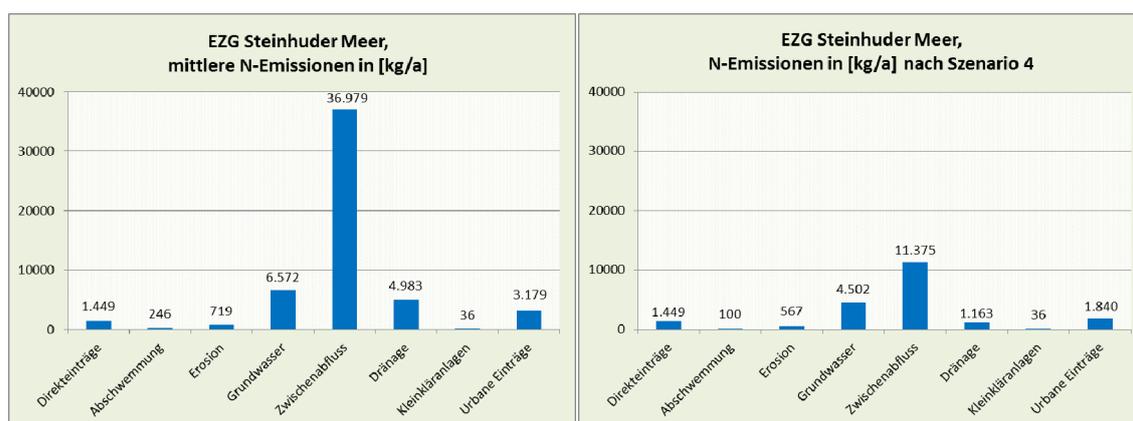


Bild 14: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 4 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.1.5 N-Bilanzüberschüsse im EZG des Steinhuder Meeres

Als Ergänzung zu den oben dargestellten Modellergebnissen der Stickstoffeinträge in die Grund- und Oberflächengewässer werden nachfolgend die modellintern ermittelten N-Bilanzüberschüsse bzw. N-Salden vorgestellt.

Bild 15 zeigt die ermittelten N-Salden für das EZG des Steinhuder Meeres. Auf landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen sie demnach zumeist zwischen 30 und 60 kg/ha (hellgrün und gelb in Bild 15); lediglich im TEZG Winzlarer Grenzgraben wurden vereinzelt N-Salden von mehr als 60 kg/ha (orange in Bild 15) ermittelt. Auf den restlichen Flächen liegen die N-Salden im EZG des Steinhuder Meeres erwartungsgemäß deutlich unter 25 kg/ha; verursacht wird die N-Belastung hier über atmosphärische N-Deposition.

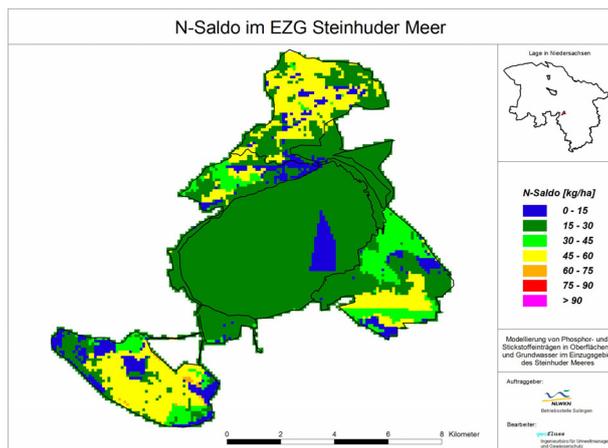


Bild 15: N-Saldo (N-Bilanzüberschuss) im EZG des Steinhuder Meeres in [kg/ha]

3.2 Herkunft der Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres

Nachfolgend wird die räumliche Herkunft der Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres betrachtet. Dieses erfolgt auf Ebene der TEZG und wird in den Kap. 3.2.1 bis 3.2.6 dargestellt. Anschließend wird in Kap. 3.2.7 eine kurze Übersicht zu den N-Einträgen der einzelnen TEZG gegeben.

3.2.1 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben

Auf Basis der Modellergebnisse resultieren N-Emissionen von ca. 31,6 t/a aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben (gut 58 % der gesamten und ca. 61 % der diffusen N-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres). Wie Bild 16 zeigt, ist hierfür vor allem der Pfad Zwischenabfluss verantwortlich, auf den alleine gut 23 t/a entfallen. Das sind über 73 % der gesamten N-Emissionen aus diesem TEZG und ca. 62 % der N-Emissionen über diesen Pfad im gesamten EZG des Steinhuder Meeres. Darüber hinaus sind im TEZG Winzlarer Grenzgraben noch relevante N-Emissionen über die Pfade Grundwasser- (4,8 t/a bzw. 15 %) und Drainageabfluss (1,9 t/a bzw. 6 %) zu verzeichnen. Somit erfolgen insgesamt fast 30 t/a und damit ca. 95 % der gesamten N-Emissionen über die unterirdischen Abflusspfade. Alle anderen Eintragspfade sind folglich unbedeutend.

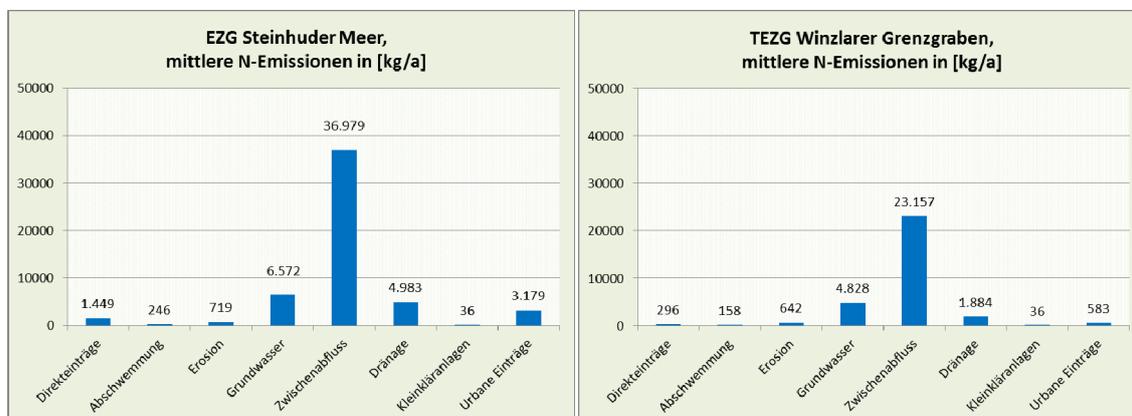


Bild 16: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Winzlarer Grenzgraben (12,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.2.2 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Großenheidorngraben

Aus dem TEZG Großenheidorngraben sind N-Einträge von insgesamt etwa 13,3 t/a zu verzeichnen. Dies entspricht einem Anteil von knapp 25 % an den gesamten N-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres und somit die zweithöchsten N-Emissionen im EZG. Wie Bild 17 zu entnehmen ist, ist auch im TEZG Großenheidorngraben der Zwischenabfluss der bedeutendste Eintragspfad; über ihn erfolgen gemäß der Modellergebnisse ca. 8 t/a, was etwa 61 % der gesamten N-Emissionen aus diesem TEZG entspricht.

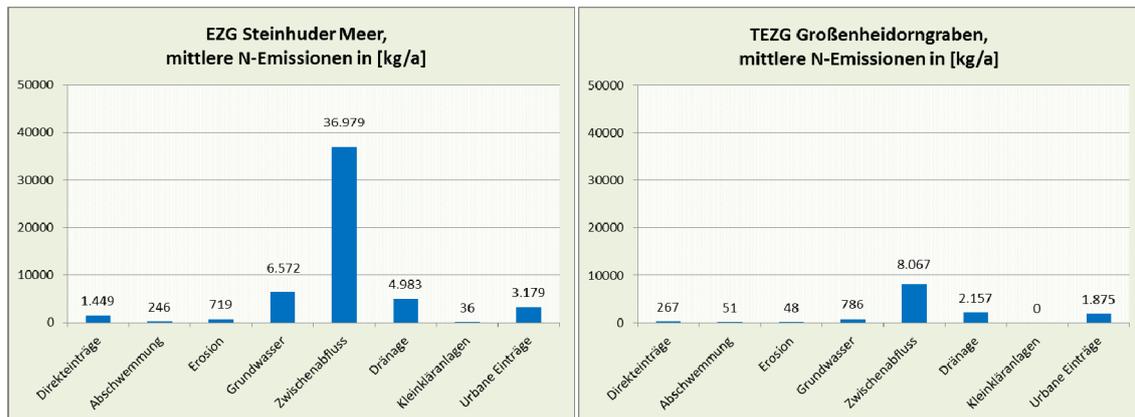


Bild 17: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Großenheidorngraben (13,0 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Der zweitwichtigste Eintragspfad sind hier die Drainageabflüsse, über die N-Emissionen von etwa 2,2 t/a resultieren (ca. 16 % der gesamten N-Emissionen). Anders als in den meisten anderen TEZG sind im TEZG Großenheidorngraben N-Emissionen über Kanalisationen mit fast 1,9 t/a (etwa 14 %) ein durchaus bedeutender Eintragspfad. Zudem erfolgen noch erwähnenswerte N-Emissionen über den Eintragspfad Grundwasser (800 kg/a, entspricht knapp 6 %). Alle anderen Pfade sind unbedeutend.

3.2.3 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Bannseegraben

Der Bannseegraben im nordöstlichen Einzugsgebiet des Steinhuder Meeres weist im Gegensatz zu früher aktuell zumeist keinen Abfluss auf.

Um diese spezifischen Bedingungen modelltechnisch berücksichtigen zu können, wurden einige besondere Modellannahmen implementiert. Details hierzu sind Kap. 2.2.1 zu entnehmen.

Nach den Modellergebnissen erfolgt aus dem vergleichsweise großen TEZG des Bannseegrabens nur ein geringer N-Eintrag in das Steinhuder Meer. Der Anteil liegt sowohl für die diffusen als auch für die gesamten N-Emissionen bei ca. 6 %. Nach Tabelle 10 liegt der diffuse N-Eintrag etwa bei 3,2 t/a. Davon entfallen - wie Bild 18 zeigt - knapp 2,4 t/a und somit fast 70 % auf den Eintragspfad Zwischenabfluss. Aufgrund der speziellen Bedingungen in diesem TEZG findet möglicherweise nur an wenigen Tagen im Jahr ein oberirdischer Abfluss statt; inwieweit dann die bilanzierten N-Emissionen bis in das Steinhuder Meer transportiert werden, konnte im Rahmen dieses Vorhabens nicht geklärt werden. Es sollte jedoch unbedingt beachtet werden, dass zukünftig - sobald der Bannseegraben wieder regelmäßig Wasser führt - mit (sehr wahrscheinlich deutlich) höheren N-Einträgen zu rechnen ist.

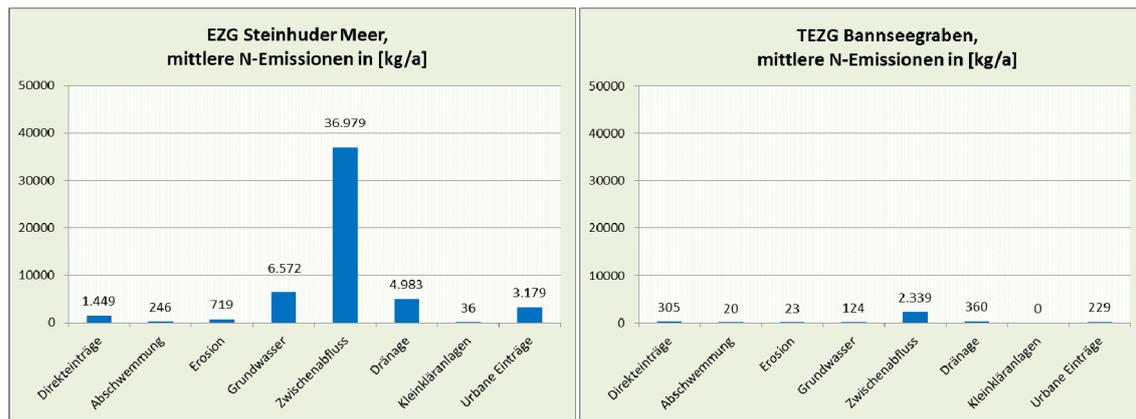


Bild 18: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Bannseeegraben (12,3 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.2.4 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben

Aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben erfolgen gemäß der Ergebnisse der Modellierung nur geringe N-Emissionen. Sie betragen in der Summe etwa 2,9 t/a (etwa 5 % der gesamten N-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres). Davon entfallen fast 2,4 t/a auf die diffusen N-Emissionen und ca. 0,5 t/a auf punktuelle N-Einträge. Bild 19 zeigt, dass im TEZG Mardorfer Dorfgraben der N-Eintragspfad Zwischenabfluss dominiert: durch ihn erfolgen N-Emissionen von etwa 1,1 t/a (ca. 40 % der gesamten N-Emissionen). Des Weiteren sind die N-Eintragspfade Grundwasserabfluss (624 kg/a, ca. 22 %), Kanalisationen (472 kg/a, etwa 17 %) und Drainageabfluss (432 kg/a, ca. 15 %) bedeutsam. Alle anderen Eintragspfade sind gemäß der Modellergebnisse weitgehend unbedeutend.

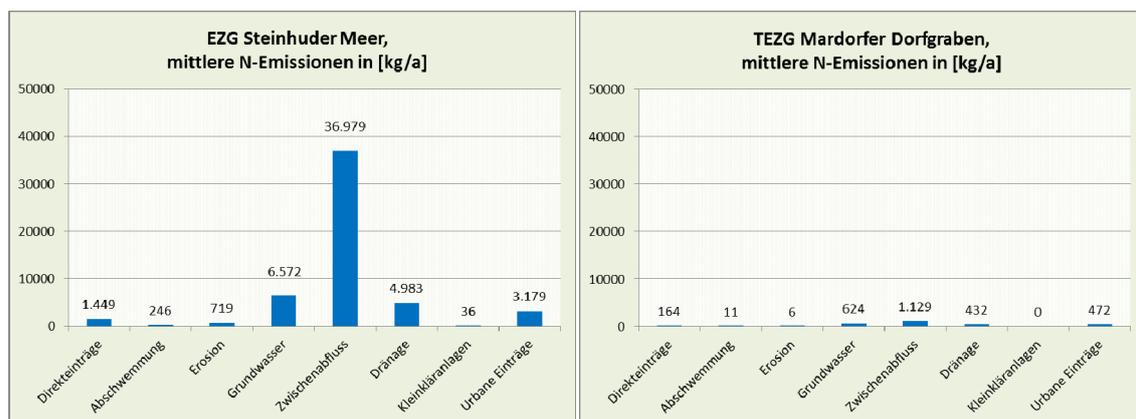


Bild 19: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Mardorfer Dorfgraben (5,5 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.2.5 Stickstoffeinträge aus dem Toten Moor

Aus den beiden TEZG des Toten Moors erfolgen nur sehr geringe N-Emissionen von etwa 1,5 t/a (knapp 3 % der gesamten N-Emissionen im EZG Steinhuder Meer). Hiervon entfallen 90 % auf den Zwischenabfluss, der somit eindeutig der dominierende Pfad ist. Alle anderen N-Eintragspfade sind unbedeutend (s. Bild 20).

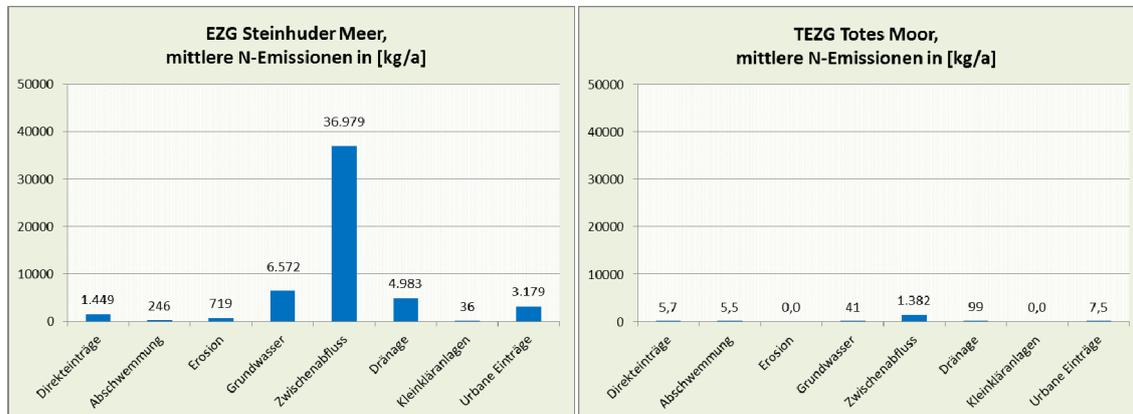


Bild 20: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und die TEZG des Toten Moores (3,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.2.6 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Rand-EZG

Aus dem TEZG Rand-EZG erfolgen ähnlich geringe N-Emissionen wie aus dem Toten Moor. Sie betragen ebenfalls etwa 1,5 t/a (knapp 3 % der gesamten N-Emissionen im EZG Steinhuder Meer). Hiervon entfallen 58 % auf den Zwischenabfluss (etwa 900 kg/a), der somit auch hier eindeutig der dominierende Eintragspfad ist. Weitere 26 % der N-Emissionen sind den Direkteinträgen zuzuordnen (ca. 410 kg/a), wobei der größte Anteil dieser Einträge auf atmosphärische N-Deposition in die Seen im westlichen Teil des TEZG zurückzuführen ist. Alle anderen N-Eintragspfade sind weitgehend unbedeutend (vgl. Bild 21).

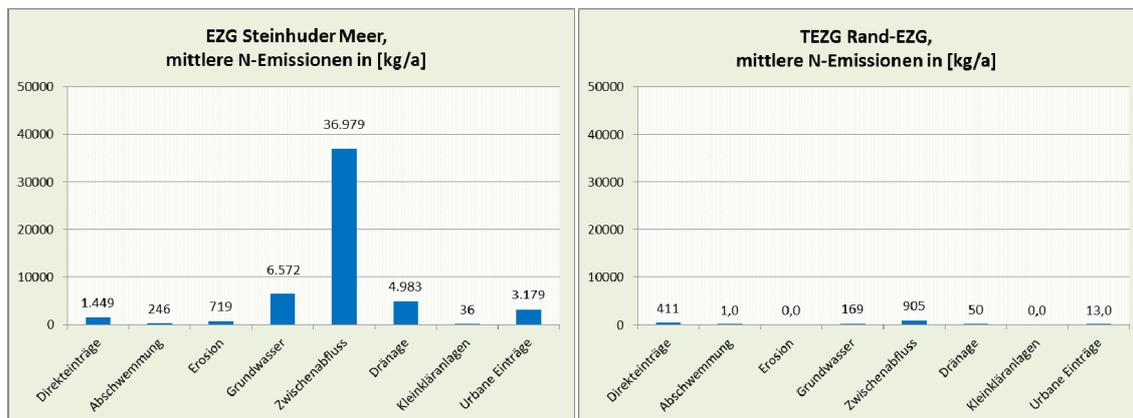


Bild 21: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Rand-EZG (3,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.2.7 Übersicht zu den Stickstoffeinträgen aus den einzelnen TEZG

Bild 22 zeigt die prozentualen Anteile der gesamten bzw. diffusen N-Emissionen aus den einzelnen TEZG. Dabei ist sehr deutlich zu erkennen, dass sowohl die diffusen als auch die gesamten N-Emissionen vor allem aus 2 TEZG resultieren: das TEZG Winzlarer Grenzgraben ist demnach für fast 61 % der diffusen P-Einträge und gut 58 % der gesamten P-Emissionen verantwortlich, das TEZG Großenheidorngraben immerhin für etwa 22 % der diffusen und fast 25 % der gesamten N-Emissionen. Diese beiden TEZG verursachen demnach etwa 83 % aller N-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres, alle weiteren TEZG sind in Bezug auf die Summe der N-Einträge folglich eher unbedeutend.

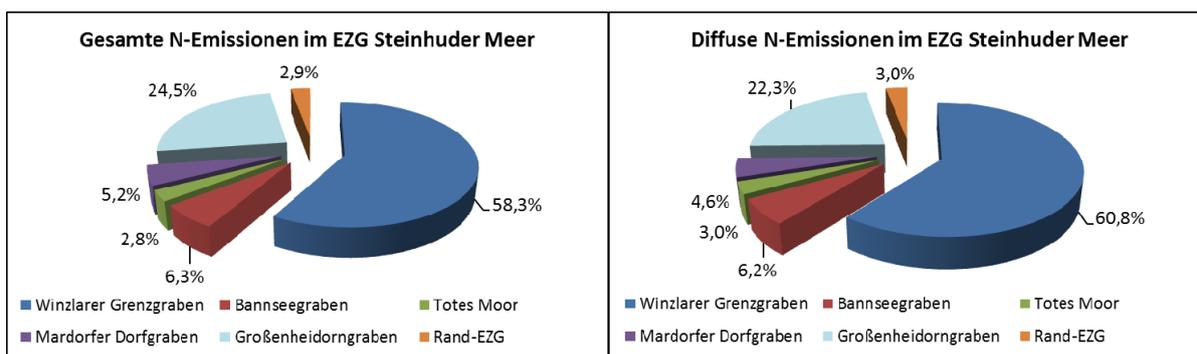


Bild 22: Herkunft der N-Emissionen im EZG Steinhuder Meer. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte N-Emissionen (links) und diffuse N-Emissionen (rechts), jeweils in [%]

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt die Modellergebnisse zu den N-Einträgen für die 4 wichtigsten TEZG im EZG des Steinhuder Meeres differenziert nach Eintragspfaden.

Tabelle 10: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden in ausgewählten TEZG im EZG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragspfad	Winzlarer Grenzgr.		Großenheidorngr.		Bannseeegraben		Mardorfer Dorfgr.	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	296	0,9	267	2,0	305	9,0	164	5,8
Abschwemmung	158	0,5	51	0,4	20	0,6	11	0,4
Erosion	642	2,0	48	0,4	23	0,7	6	0,2
Grundwasser	4.828	15,3	786	5,9	124	3,6	624	22,0
Zwischenabfluss	23.157	73,3	8.067	60,9	2.339	68,8	1.129	39,8
Dränagen	1.884	6,0	2.157	16,3	360	10,6	432	15,2
Kleinkläranlagen	36	0,1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Urbane Einträge	583	1,8	1.875	14,1	229	6,7	472	16,6
Summe diffus	30.964	98,0	11.376	85,9	3.172	93,3	2.365	83,4
Summe punktuell	619	2,0	1.875	14,1	229	6,7	472	16,6
Summe	31.583	100	13.251	100	3.401	100	2.837	100

3.3 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres (IST-Zustand)

Die unter Verwendung der zur Verfügung gestellten Daten erzielten Ergebnisse der Quantifizierung der diffusen und punktuellen Phosphoreinträge bei mittleren Bedingungen für das EZG des Steinhuder Meeres im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Tabelle 11: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres und im UG Steinhuder Meer für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragungspfad	EZG Steinhuder Meer		UG Steinh. Meer (EZG inkl. Seefläche)	
	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]
Direkteinträge	90,6	4,8	588	24,5
Abschwemmung	75,1	4,0	75,1	3,1
Erosion	412	21,8	412	17,2
Grundwasser	324	17,1	325	13,6
Zwischenabfluss	166	8,8	166	6,9
Dränagen	117	6,2	117	4,9
Kleinkläranlagen	6,9	0,4	11,4	0,5
Urbane Einträge	701	37,0	705	29,4
Summe diffus	1.185	62,6	1.644	70,2
Summe punktuell	708	37,4	716	29,8
Summe	1.893	100	2.400	100

Für das EZG des Steinhuder Meeres betragen die gesamten P-Emissionen demnach 1.893 kg/a, wovon 1.185 kg/a bzw. fast 63 % auf diffuse P-Belastungen zurückzuführen sind. Die diffusen P-Emissionen dominieren damit deutlich das Eintragungsgeschehen im EZG. Die punktuellen P-Einträge liegen in der Summe bei 708 kg/a bzw. gut 37 %; dabei sind die P-Einträge über die wenigen Kleinkläranlagen mit 7 kg/a unbedeutend.

Den dominierenden Eintragungspfad stellen die P-Belastungen über Kanalisationen mit etwa 700 kg/a bzw. 37 % dar, gefolgt von den erosiven P-Einträgen mit 412 kg/a bzw. 22 % und den P-Einträgen über Grundwasser (324 kg/a bzw. ca. 17 %). Weiterhin sind zudem die beiden diffusen Eintragungspfade Zwischen- und Drainageabfluss mit 166 bzw. 117 kg/a (fast 9 bzw. gut 6 % der P-Einträge) bedeutend. Alle anderen Eintragungspfade spielen im EZG des Steinhuder Meeres eine untergeordnete Rolle.

Wird dagegen das gesamte Untersuchungsgebiet (UG) - also inklusive der sehr großen Wasserfläche des Steinhuder Meeres - betrachtet, ergibt sich eine andere Situation: wie Tabelle 11 zu entnehmen ist, sind nun die Direkteinträge mit fast 590 kg/a und fast 25 % der Gesamteinträge der zweitwichtigste P-Eintragungspfad. Die Ursache hierfür liegt in den P-Einträgen über atmosphärische Deposition direkt in das Steinhuder Meer. Diese P-Einträge wurden in Absprache mit dem Auftraggeber modellintern auf 0,18 kg/ha angesetzt; Grundlage hierfür waren vorliegende Messwerte aus dem EZG des Dümmers. Aufgrund der großen Wasserfläche des Steinhuder Meeres von über 29 km² summieren sie sich auf etwa 500 kg/a; die P-Einträge über atmosphärische Deposition stellen damit bei Bezug auf das gesamte Untersuchungsgebiet den zweitwichtigsten P-Eintragungspfad dar. Somit erhöhen sich die gesamten P-Emissionen in das Steinhuder Meer von 1.893 kg/a aus dem EZG auf 2.400 kg/a für das UG Steinhuder Meer. Wie Tabelle 11 zeigt, nehmen zudem auch die P-Einträge über den Pfad Kleinkläranlagen deutlich zu: verantwortlich hierfür ist die Kleinkläranlage auf

der Insel Wilhelmstein, für die auf Basis der zur Verfügung gestellten Daten ein P-Eintrag von etwa 4,5 kg/a ermittelt wurde.

Bild 23 zeigt die P-Einträge nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres sowie für das Untersuchungsgebiet (UG) des Steinhuder Meeres (also inkl. der Wasserfläche des Steinhuder Meeres) in kg/a. Der bereits oben erläuterte erhebliche Unterschied für den Eintragspfad „Direkteinträge“ wird für diese beiden Gebietseinheiten sehr deutlich.

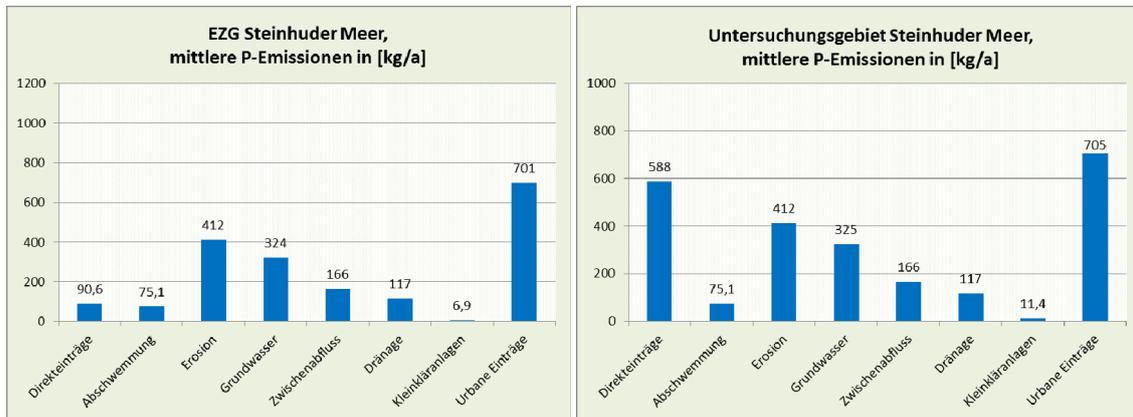


Bild 23: Modellergebnisse für die P-Einträge nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das Untersuchungsgebiet Steinhuder Meer (80 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Bild 24 zeigt die räumliche Verteilung der P-Einträge über Grundwasser- (links) bzw. Zwischenabfluss (rechts). Dabei ist deutlich zu erkennen, dass in einem Großteil des EZG des Steinhuder Meeres die P-Emissionen über den Pfad Grundwasser unter 0,1 kg/ha-a liegen. Daneben treten aber auch relevante Bereiche auf, in denen die P-Einträge zwischen 0,1 und 0,5 kg/ha-a liegen, hierbei handelt es sich ausschließlich um landwirtschaftlich genutzte Flächen. Besonders hohe P-Einträge von 0,5 bis 1 kg/ha-a über Grundwasser erfolgen von wenigen landwirtschaftlich genutzten Flächen auf ehemaligen Hoch- bzw. Niedermooren. Über den Pfad Zwischenabfluss (Bild 24 rechts) resultieren, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nur geringe P-Einträge von zumeist kleiner 0,1 und ansonsten unter 0,25 kg/ha-a.

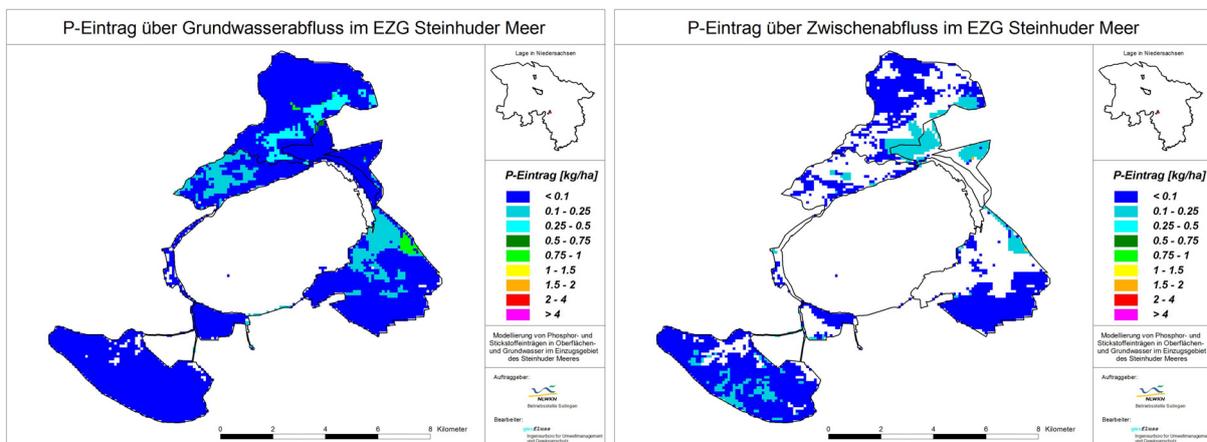


Bild 24: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

In Bild 25 ist die räumliche Verteilung der P-Einträge über den Pfad Drainageabfluss (links) sowie als Summe der unterirdischen P-Einträge (rechts) für das EZG des Steinhuder Meeres

dargestellt. Die P-Emissionen über Drainageabfluss von den ehemaligen Niedermoorflächen (jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung) in den TEZG Mardorfer Dorfgraben und Großheidorngraben liegen bei über 0,3 kg/ha·a, die von den ehemaligen Hochmoorflächen im Toten Moor bei fast 2 kg/ha·a. Bei landwirtschaftlicher Nutzung auf mineralischen Böden liegen die P-Einträge über Drainageabfluss zumeist unter 0,15 kg/ha·a. Bei Betrachtung der Summe der unterirdischen P-Emissionen (Bild 25, rechts) wird folgendes deutlich: im Großteil des EZG liegen diese P-Einträge (zumeist recht deutlich) unter 0,25 kg/ha·a. Besonders niedrig sind sie bei der Landnutzung Wald (meist deutlich unter 0,05 kg/ha·a). Daneben kommen einige Bereiche (besonders in den TEZG Großheidorngraben und Bannseeegraben) vor, in denen P-Einträge zwischen 0,25 und 0,5 kg/ha·a über die unterirdischen Eintragspfade verbreitet sind (alles landwirtschaftlich genutzte Flächen). Darüber hinaus gibt es im EZG des Steinhuder Meeres aber auch vereinzelte Gebiete, aus denen (sehr) hohe P-Einträge von über 1 und z.T. sogar über 2 kg/ha·a resultieren. Hierbei handelt es sich um landwirtschaftliche Nutzflächen auf ehemaligen Hochmoorstandorten.

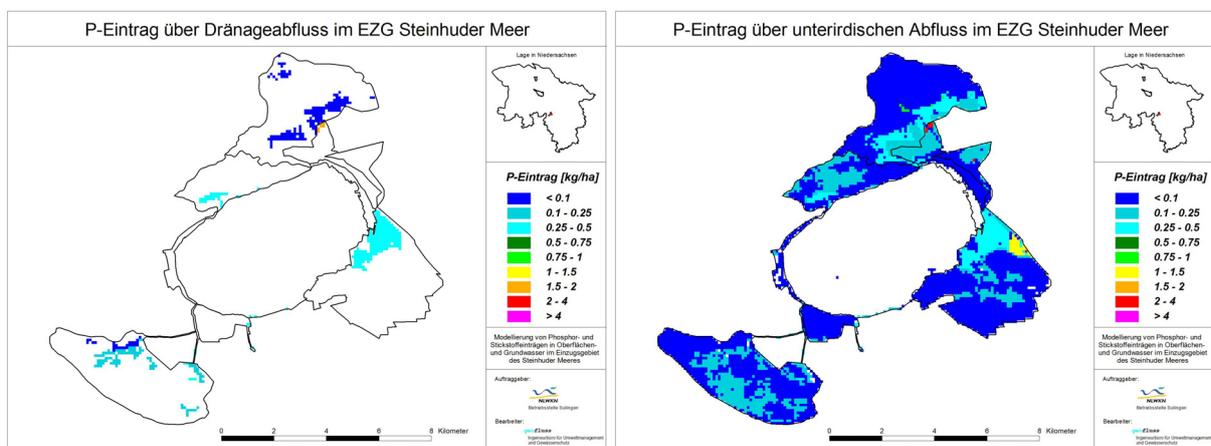


Bild 25: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über den unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Die räumliche Verteilung der erosiven P-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres ist Bild 26 (links) zu entnehmen.

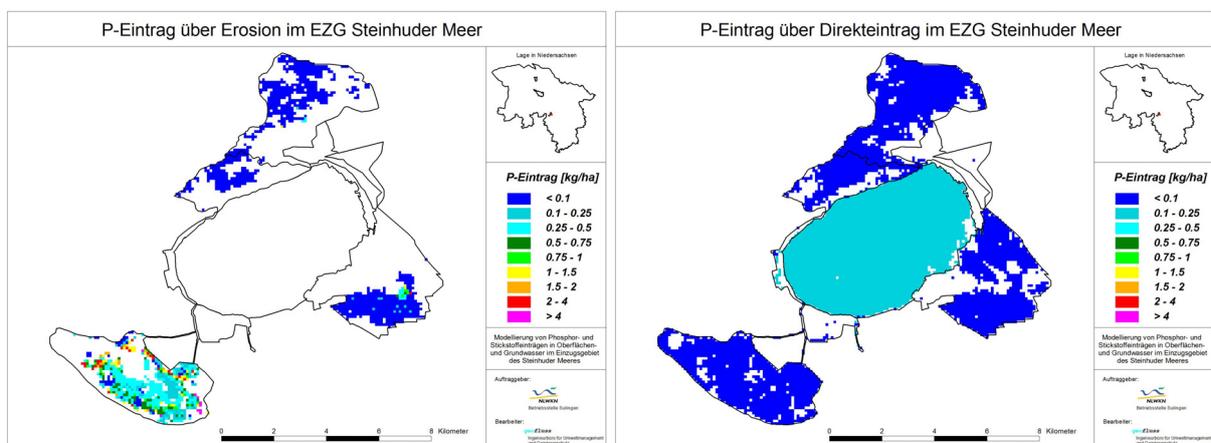


Bild 26: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Erosion (links) und für die diffusen P-Einträge über Direkteintrag (rechts), jeweils in [kg/ha]

Insbesondere im TEZG Winzlarer Grenzgraben treten sehr häufig erhöhte P-Einträge von mehr als 0,5 kg/ha·a auf (aber auch vereinzelt im TEZG Großheidorngraben). Kleinräumig

sind im TEZG Winzlarer Grenzgraben aber auch erosive P-Einträge von > 1 oder sogar > 4 kg/ha·a zu verzeichnen. Entsprechend resultiert ein Großteil der gesamten erosiven P-Einträge aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben. Bedingt vor allem durch die überwiegend geringen Hangneigungen liegen die erosiven P-Einträge im restlichen EZG häufig unter 0,1 kg/ha·a.

Der P-Direkteintrag im Untersuchungsgebiet ist in Bild 26 (rechts) dargestellt. Abgesehen vom Steinhuder Meer selbst betragen diese P-Einträge häufig deutlich unter 0,05 kg/ha·a. Für die sehr große Wasserfläche des Steinhuder Meeres wurde der P-Eintrag über atmosphärische Deposition auf 0,18 kg/ha festgelegt (s.o.).

Bild 27 zeigt die Summe der diffusen P-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres. Die besonders hohen diffusen P-Einträge von über 1 kg/ha·a erfolgen entweder über erosive Einträge (hauptsächlich im TEZG Winzlarer Grenzgraben) oder über die unterirdischen Pfade und resultieren dann von den landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen. Daneben treten aber auch recht häufig erhöhte diffuse P-Einträge von 0,5 - 0,75 kg/ha·a (grün in Bild 27) auf. Sie sind im TEZG Winzlarer Grenzgraben vor allem auf erosive P-Einträge zurückzuführen. Im restlichen EZG resultieren diese erhöhten P-Einträge zumeist aus mehreren Pfaden, deren größter Anteil immer die unterirdischen P-Einträge sind (überwiegend handelt es dabei um ehemalige Niedermoorflächen, die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind). Im größten Teil des EZG liegen die diffusen P-Emissionen aber zumeist deutlich unter 0,25 kg/ha·a.

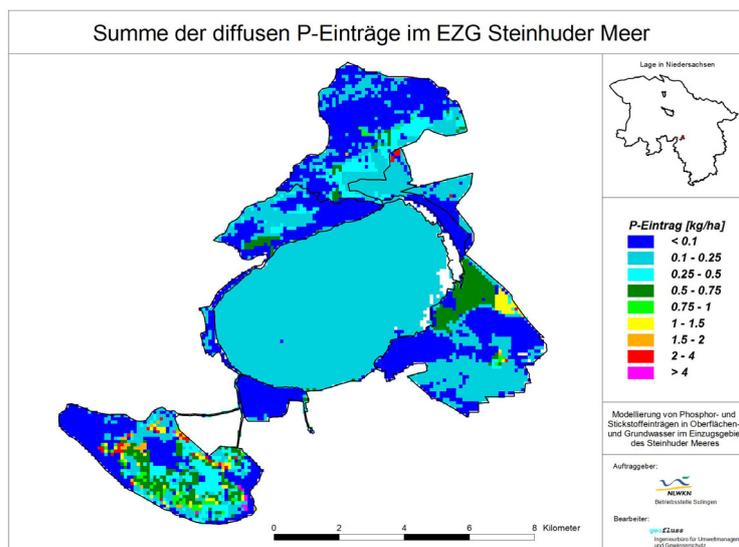


Bild 27: Modellergebnisse für die Summe der diffusen P-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha]

In Bild 28 sind die punktuellen P-Einträge über Kanalisationen dargestellt. In den TEZG Großenheidorngraben, Winzlarer Grenzgraben und Bannseegraben liegen sie häufig über 1 kg/ha·a. Im TEZG Mardorfer Dorfgraben dagegen betragen sie zumeist zwischen 0,5 und 0,75 kg/ha·a; die Ursache für diese geringeren Werte liegt in dem Regenrückhaltebecken bei Mardorf, in dem ein P-Rückhalt stattfindet; dieser wurde modellintern auf 50 % angesetzt.

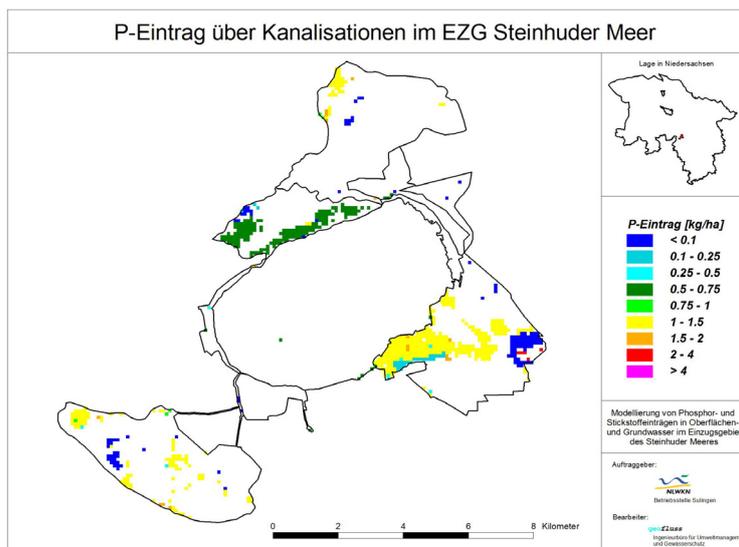


Bild 28: Modellergebnisse für die diffusen P-Einträge über Kanalisationen in [kg/ha]

Bild 29 zeigt die Summe der gesamten P-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres. Hier ist sehr gut zu erkennen, dass besonders hohe P-Emissionen von häufig über 1 kg/ha aus den beiden TEZG Winzlarer Grenzgraben und Großenheidorngraben erfolgen. Wie Bild 27 und Bild 28 zu entnehmen ist, resultieren diese hohen P-Belastungen im TEZG Winzlarer Grenzgraben vor allem aus diffusen P-Einträgen, im TEZG Großenheidorngraben dagegen überwiegend aus punktuellen P-Emissionen. In den anderen TEZG sind derart hohe P-Belastungen von über 1 kg/ha nur vereinzelt zu verzeichnen, hier liegen die P-Emissionen zumeist unter 0,25 kg/ha (nur im TEZG Mardorfer Dorfgraben wurden recht häufig P-Einträge zwischen 0,5 und 0,75 kg/ha ermittelt). Die sehr hohen N-Emissionen von über 4 kg/ha-a „mitten im Steinhuder Meer“ werden durch die Kleinkläranlage auf der Insel Wilhelmstein verursacht.

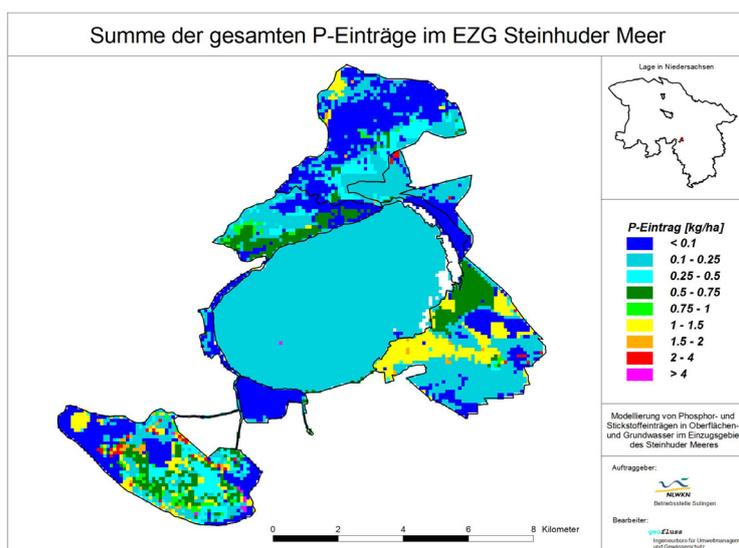


Bild 29: Modellergebnisse für die Summe der gesamten P-Einträge im EZG Steinhuder Meer in [kg/ha]

3.3.1 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1

In Szenario 1 wurde für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres ein um 50 % erhöhter Abfluss angenommen. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 12 und Bild 30 dargestellten Ergebnisse für die P-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Tabelle 12: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 1 (Sz 1: MQ um 50 % erhöht)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 1 (MQ + 50 %)	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	90,6	4,8	90,6	3,4
Abschwemmung	75,1	4,0	12,7	4,2
Erosion	412	21,8	495	18,4
Grundwasser	324	17,1	485	18,0
Zwischenabfluss	166	8,8	270	10,0
Dränagen	117	6,2	229	8,5
Kleinkläranlagen	6,9	0,4	6,9	0,3
Urbane Einträge	701	37,0	997	37,1
Summe diffus	1.185	62,6	1.682	62,6
Summe punktuell	708	37,4	1.004	37,4
Summe	1.893	100	2.686	100

Im Vergleich zum IST-Zustand erhöhen sich die P-Emissionen durch Szenario 1 im gesamten Einzugsgebiet um etwa 800 kg/a und somit um ca. 41 %. Besonders deutlich erhöhen sich dabei die P-Emissionen über urbane Einträge, also über die Kanalisationen: die Zunahme beträgt hier fast 300 kg/a (etwa 37 % der gesamten Erhöhung). Die zweithöchste Zunahme der P-Einträge ist über den Pfad Grundwasser zu verzeichnen (161 kg/a, entspricht einer Zunahme von ca. 50 %). Prozentual nehmen die P-Einträge über Dränagen am deutlichsten zu, sie verdoppeln sich fast (plus 112 kg/a). Ähnlich deutlich erhöhen sich durch dieses Szenario auch die P-Emissionen über Zwischenabfluss: sie nehmen um 63 % bzw. 104 kg/a zu. Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

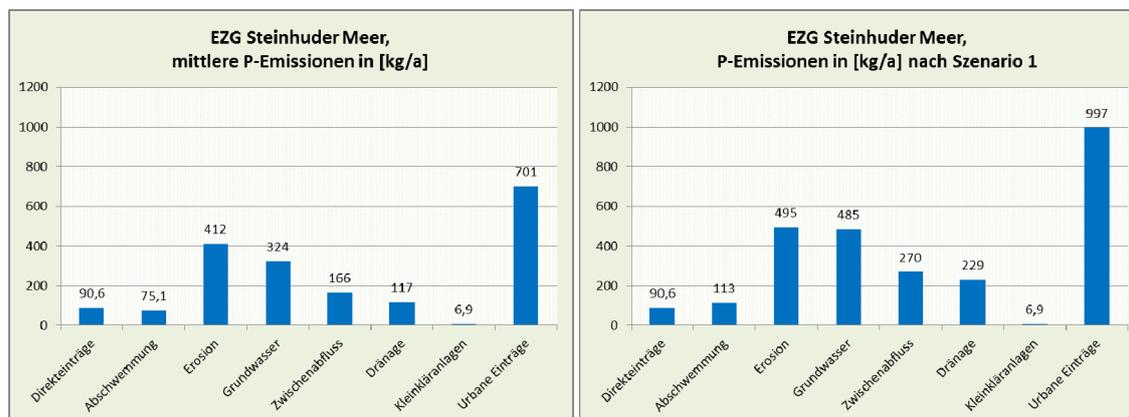


Bild 30: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 1 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.3.2 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2

In Szenario 2 wurde für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres ein im Vergleich zum mittleren Abfluss um 100 % erhöhter Abfluss angenommen. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 13 und Bild 31 dargestellten Ergebnisse für die P-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Tabelle 13: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 2 (Sz 2: MQ um 100 % erhöht)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 2 (MQ+100%)	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	90,6	4,8	90,6	2,6
Abschwemmung	75,1	4,0	150	4,3
Erosion	412	21,8	572	16,3
Grundwasser	324	17,1	645	18,4
Zwischenabfluss	166	8,8	377	10,8
Dränagen	117	6,2	374	10,6
Kleinkläranlagen	6,9	0,4	6,9	0,2
Urbane Einträge	701	37,0	1.294	36,9
Summe diffus	1.185	62,6	2.210	63,0
Summe punktuell	708	37,4	1.301	37,0
Summe	1.893	100	3.510	100

Nach Szenario 2 erhöhen sich die diffusen P-Einträge im Vergleich zum IST-Zustand um 1.025 kg/a, was einer Zunahme von etwa 87 % entspricht. Die prozentual höchste Zunahme wird demnach mit 219 % über den Pfad Drainageabfluss erzielt (entspricht 257 kg/a), die absolut höchste Zunahme der diffusen P-Einträge beträgt gemäß der Modellergebnisse 322 kg/a für den Eintragspfad Grundwasser. Über den Zwischenabfluss resultieren nach Szenario 2 P-Emissionen von 377 kg/a und somit etwa 212 kg/a mehr als beim IST-Zustand, die Zunahme beträgt 128 %. Auch bei den urbanen Einträgen zeigt sich eine deutliche Erhöhung der P-Emissionen: im Vergleich zum IST-Zustand nehmen sie um ca. 600 kg/a zu (betrifft die P-Einträge über Kanalisationen). Die erosiven P-Einträge erhöhen sich um fast 39 % auf über 570 kg/a. Insgesamt nehmen die P-Emissionen nach Szenario 2 um über 1.600 kg/a im Vergleich zum IST-Zustand zu. Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

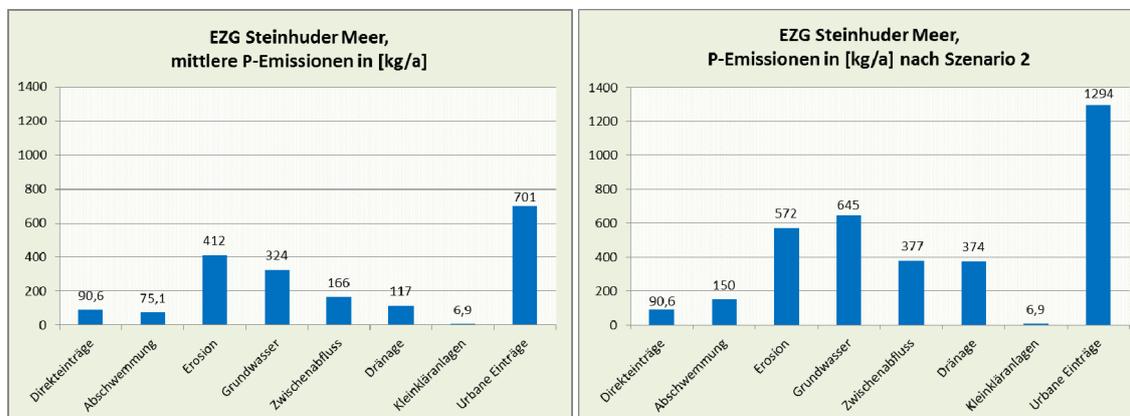


Bild 31: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 2 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.3.3 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3

Nachdem in den Szenarien 1 und 2 erhöhte Abflüsse für das EZG des Steinhuder Meeres angesetzt wurden, wird in Szenario 3 ein im Vergleich zum mittleren Abfluss um 25 % verringerter Abfluss angenommen. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 14 und Bild 32 dargestellten Ergebnisse für die P-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Tabelle 14: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 3 (SZ 3: MQ um 25 % verringert)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 3 (MQ - 25 %)	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	90,6	4,8	8	6,0
Abschwemmung	75,1	4,0	56,3	3,7
Erosion	412	21,8	371	24,6
Grundwasser	324	17,1	242	16,0
Zwischenabfluss	166	8,8	117	7,7
Dränagen	117	6,2	73,2	84,9
Kleinkläranlagen	6,9	0,4	6,9	0,5
Urbane Einträge	701	37,0	553	36,6
Summe diffus	1.185	62,6	950	62,9
Summe punktuell	708	37,4	560	37,1
Summe	1.893	100	1.510	100

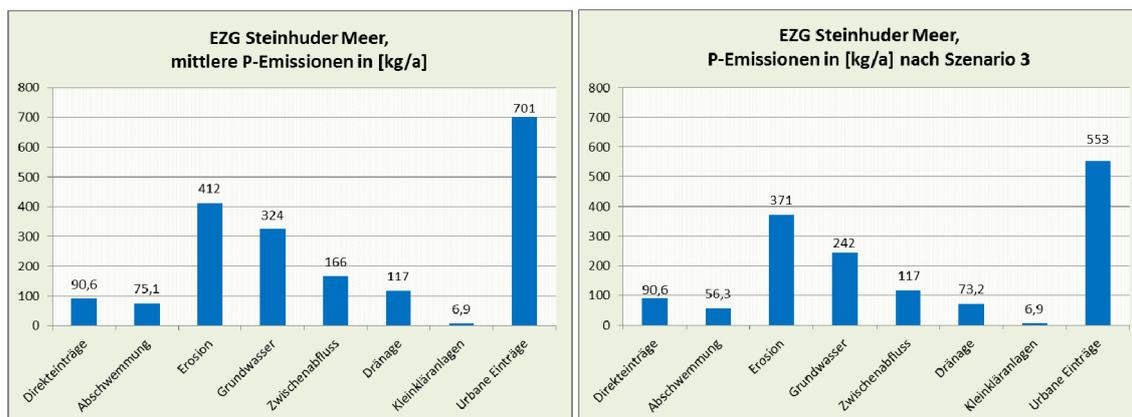


Bild 32: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 3 (rechts), jeweils in [kg/a]

Im Vergleich zum IST-Zustand verringern sich die gesamten P-Emissionen durch Szenario 3 im EZG des Steinhuder Meeres um etwa 380 kg/a und somit um ca. 20 %. Besonders deutlich vermindern sich nach diesem Szenario die P-Emissionen über urbane Einträge von 701 auf etwa 553 kg/a (minus gut 21 %). Prozentual nehmen die P-Einträge über die beiden schnellabfließenden Eintragspfade am deutlichsten ab: für den Zwischenabfluss beträgt der Rückgang 30 % (fast 50 kg/a), für den Dränageabfluss liegt dieser sogar bei ca. 37 % (44 kg/a). Der höchste absolute Rückgang der P-Einträge ist für die diffusen Einträge mit 81 kg/a für den Pfad Grundwasser zu verzeichnen (minus ca. 25 %). Die erosiven P-Einträge vermindern sich dagegen nur geringfügig um ca. 10 % auf 371 kg/a. Insgesamt ergeben die Modellergebnisse für das Szenario 3 einen Rückgang der diffusen P-Emissionen im EZG

des Steinhuder Meeres von 20 %. Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

3.3.4 Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4

In Szenario 4 wurde angenommen, dass der Abfluss für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres im Vergleich zum mittleren Zustand halbiert ist. Hieraus ergeben sich die in Tabelle 15 und Bild 33 dargestellten Ergebnisse für die P-Einträge im EZG des Steinhuder Meeres.

Tabelle 15: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Steinhuder Meeres nach Szenario 4 (Sz 4: MQ um 50 % verringert)

Eintragspfad	IST-Zustand		Sz 4 (MQ - 50 %)	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	90,6	4,8	90,6	8,0
Abschwemmung	75,1	4,0	37,6	3,3
Erosion	412	21,8	327	28,7
Grundwasser	324	17,1	160	14,1
Zwischenabfluss	166	8,8	71,8	6,3
Dränagen	117	6,2	38,7	3,4
Kleinkläranlagen	6,9	0,4	6,9	0,6
Urbane Einträge	701	37,0	405	35,6
Summe diffus	1.185	62,6	725	63,8
Summe punktuell	708	37,4	412	36,2
Summe	1.893	100	1.137	100

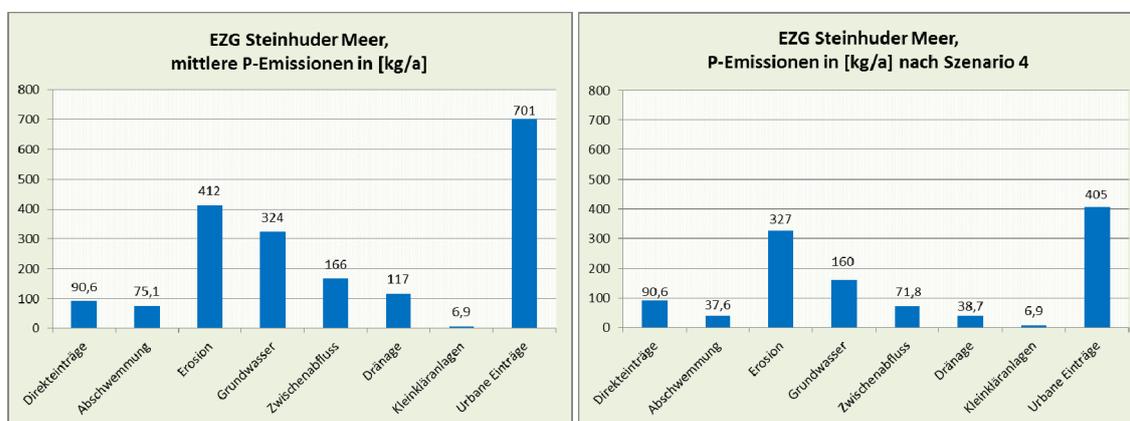


Bild 33: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das EZG des Steinhuder Meeres für den IST-Zustand (links) und im Vergleich für Szenario 4 (rechts), jeweils in [kg/a]

Erwartungsgemäß verringern sich die P-Emissionen durch Szenario 4 im Vergleich zum IST-Zustand erheblich. Die diffusen P-Einträge nehmen um 460 kg/a (ca. 38 %), die punktuellen um fast 300 (etwa 42 %) ab. Der größte Rückgang der P-Einträge ist für die diffusen Eintragspfade für den Grundwasserabfluss zu verzeichnen (er verringert sich um ca. 164 kg/a, womit sich diese P-Einträge etwa halbieren). Ebenfalls sehr deutliche Verminderungen ergeben sich gemäß der Modellergebnisse für die Pfade Zwischenabfluss (minus 94 kg/a), Erosion (minus 86 kg/a) und Dränageabfluss (minus 78 kg/a). Der höchste Rückgang ist jedoch für den punktuellen P-Eintragspfad urbane Einträge (Kanalisationen) zu verzeichnen: hier

verringern sich die P-Emissionen um fast 300 kg/a. Für die Eintragspfade Direkteinträge und Kleinkläranlagen wurden keine Veränderungen durch die Szenarien angesetzt.

3.4 Herkunft der Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres

Nachfolgend wird die räumliche Herkunft der Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres betrachtet. Dieses erfolgt auf Ebene der TEZG und wird in den Kap. 3.4.1 bis 3.4.6 dargestellt. Anschließend wird in Kap. 3.4.7 eine kurze Übersicht zu den P-Einträgen der einzelnen TEZG gegeben.

3.4.1 Phosphoreinträge aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben

Gemäß der Modellergebnisse dominieren im TEZG Winzlarer Grenzgraben sehr deutlich die diffusen P-Einträge. Sie sind im Vergleich zu den anderen TEZG so hoch, dass alleine aus diesem TEZG gut 46 % der gesamten diffusen P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres resultieren. Sie summieren sich zu insgesamt ca. 550 kg/a. Gut zwei Drittel davon (373 kg/a) erfolgen demnach über den dominierenden P-Eintragspfad Erosion, weitere etwa 9 % resultieren über Zwischenabfluss (63 kg/a) und 52 kg/a über Abschwemmung (fast 8 %). Alle weiteren diffusen Eintragspfade sind eher unbedeutend. Den zweitwichtigsten P-Eintragspfad im TEZG Winzlarer Grenzgraben stellen die urbanen P-Emissionen dar, die hier auf 129 kg/a bilanziert wurden (ca. 19 % der gesamten P-Emissionen TEZG Winzlarer Grenzgraben). Aufgrund des eher geringen Anteils punktueller P-Einträge (nur knapp 20 %) beträgt der Anteil des TEZG Winzlarer Grenzgraben an den gesamten P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres nur ca. 36 %.

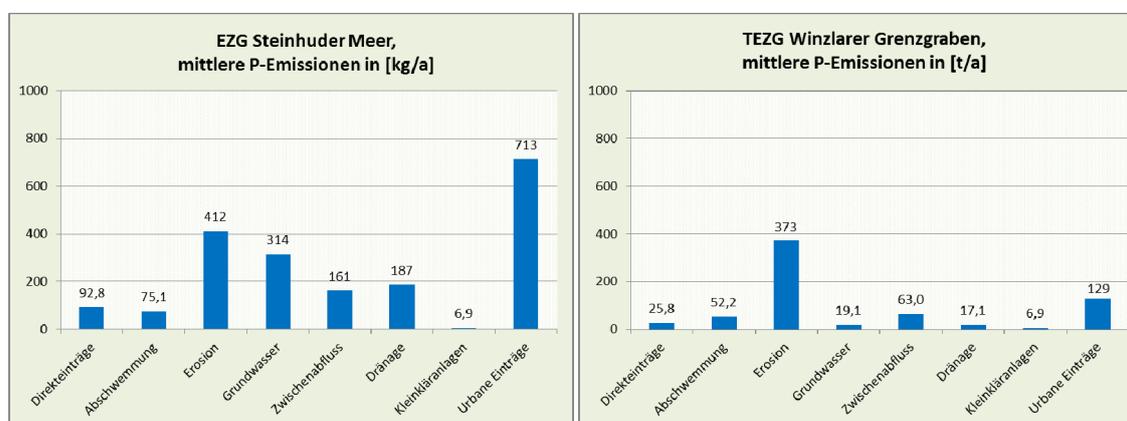


Bild 34: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Winzlarer Grenzgraben (12,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.4.2 Phosphoreinträge aus dem TEZG Großenheidorngraben

Anders als im TEZG Winzlarer Grenzgraben dominieren gemäß der Modellergebnisse im TEZG Großenheidorngraben die P-Emissionen über Kanalisationen mit über 414 kg/a, was ca. 63 % der gesamten P-Emissionen in diesem TEZG entspricht (vgl. Bild 35). Verantwortlich hierfür sind die verhältnismäßig großen Siedlungsanteile in TEZG Großenheidorngraben (vor allem die Orte Steinhude und Großenheidorn). Bei den diffusen P-Einträgen stellen der

Grundwasserabfluss mit 88 kg/a (etwa 13 % der gesamten P-Emissionen) und der Drainageabfluss mit 68 kg/a (ca. 10 %) die beiden wichtigsten Pfade dar. Über den Zwischenabfluss erfolgen gemäß der Modellergebnisse etwa 5 % der P-Emissionen (32 kg/a), über Erosion weitere 4 % (27 kg/a).

Insgesamt resultieren demnach etwa 35 % der gesamten und ca. 21 % der diffusen P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres aus dem TEZG Großenheidorngraben.

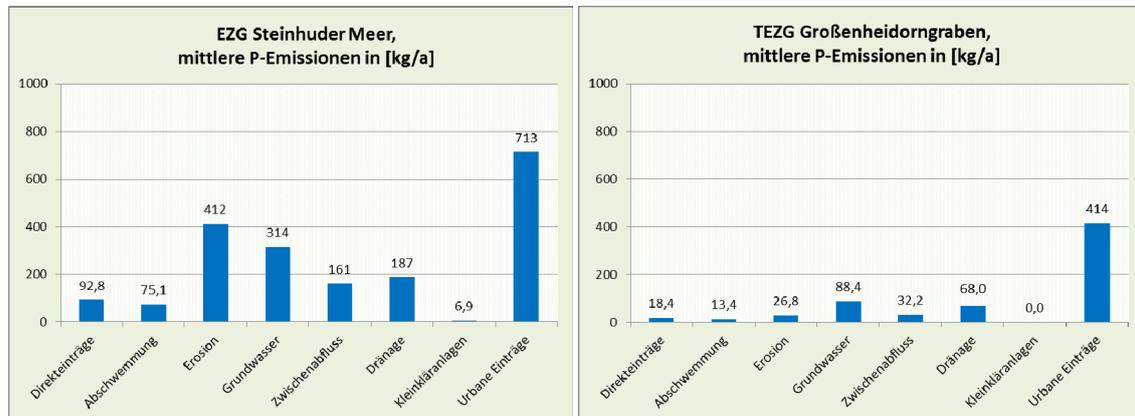


Bild 35: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Großenheidorngraben (13,0 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.4.3 Phosphoreinträge aus dem TEZG Bannseeegraben

Aus dem TEZG Bannseeegraben erfolgen gemäß der Modellergebnisse P-Emissionen von 254 kg/a, wovon etwa die Hälfte (125 kg/a) über den deutlich dominierenden Eintragspfad Grundwasserabfluss resultiert. Weitere relevante P-Einträge sind über Kanalisationen zu verzeichnen (50 kg/a, ca. 20 %), alle anderen Pfade sind eher unbedeutend (vgl. Bild 36).

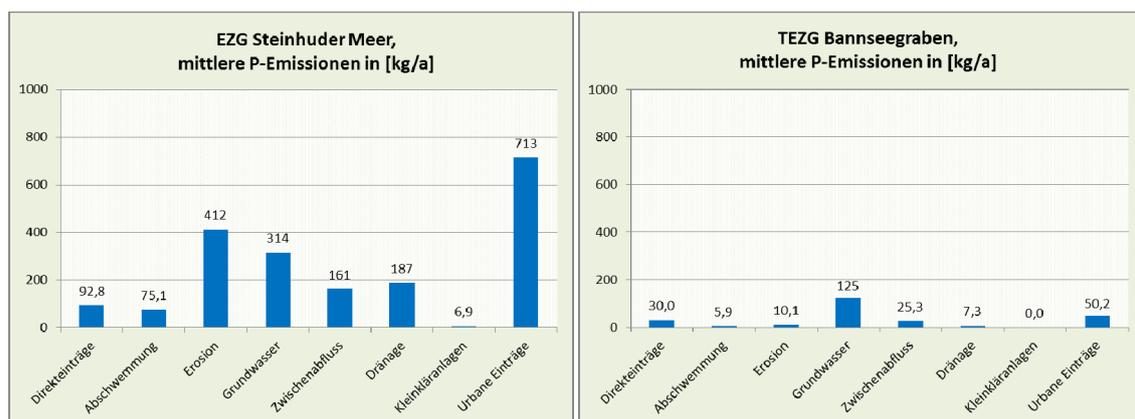


Bild 36: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Bannseeegraben (12,3 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Aufgrund der speziellen Bedingungen in diesem TEZG (vgl. Kap. 2.2.1) findet möglicherweise nur an wenigen Tagen im Jahr ein oberirdischer Abfluss statt; inwieweit dann die bilanzierten P-Emissionen bis in das Steinhuder Meer transportiert werden, konnte im Rahmen dieses Vorhabens nicht geklärt werden. Es sollte jedoch unbedingt beachtet werden, dass zukünftig - sobald der Bannseeegraben wieder regelmäßig Wasser führt - mit erheblich höhe-

ren P-Einträgen insbesondere von den im TEZG Bannseegraben landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen zu rechnen ist.

3.4.4 Phosphoreinträge aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben

Aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben resultieren gemäß der Modellergebnisse insgesamt nur 185 kg P/a, was knapp 10 % der gesamten P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres entspricht. Den Haupteintragspfad stellen hier die urbanen Einträge über Kanalisationen dar, die mit 104 kg/a etwa 56 % aller P-Einträge ausmachen (vgl. Bild 37). Hierbei ist die nährstoffrückhaltende Wirkung des Regenrückhaltebeckens bei Mardorf bereits berücksichtigt, seine Effektivität wurde auf 50 % Rückhalt angenommen; daher resultiert aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben auch nur noch ein Siebtel aller P-Emissionen über Kanalisationen im EZG des Steinhuder Meeres. Von den weiteren Eintragspfaden ist lediglich noch der Grundwasserabfluss mit einem Anteil von fast 26% (47 kg/a) an den gesamten P-Emissionen bedeutsam, alle anderen P-Eintragspfade sind in diesem TEZG unbedeutend.

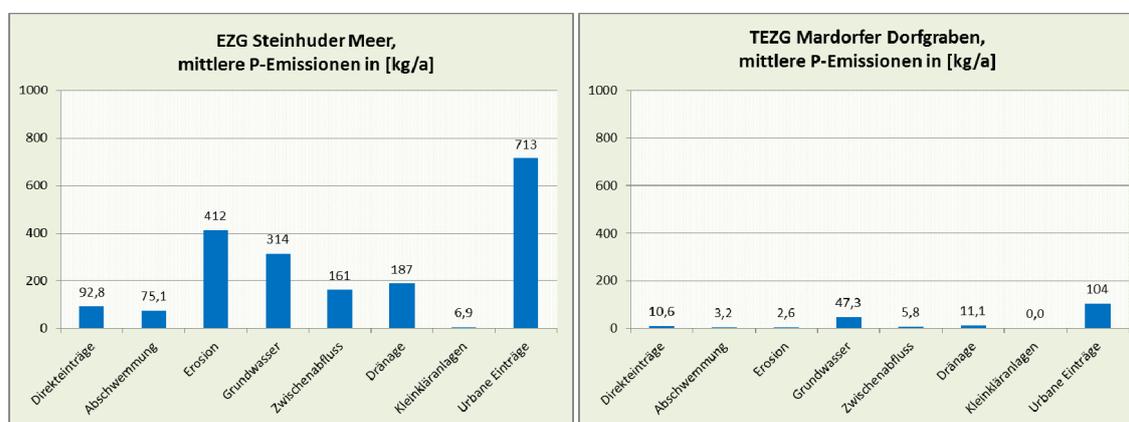


Bild 37: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Mardorfer Dorfgraben (5,5 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.4.5 Phosphoreinträge aus dem Toten Moor

Das Tote Moor spielt für die P-Belastung des Steinhuder Meeres gemäß der Modellergebnisse kaum eine Rolle. Lediglich etwa 4 % der gesamten bzw. knapp 7 % der diffusen P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres resultieren aus den beiden TEZG (Totes Moor oh bzw. uh des Vogeldamms). Die beiden wichtigsten P-Eintragspfade sind hier der Zwischen- und Grundwasserabfluss mit 34 bzw. 31 kg/a, was 43 bzw. 38 % der gesamten P-Einträge entspricht. Dazu kommen noch 12 kg/a über Drainageabfluss (15 %), alle weiteren P-Eintragspfade sind unbedeutend (vgl. Bild 38).

Zu beachten ist allerdings folgendes: der Vogeldamm fungiert als Barriere für die Bereiche die oberhalb liegen, sodass die P-Einträge von dort (Ausnahme Grundwasserabfluss) normalerweise das Steinhuder Meer nicht erreichen können. Nach starken Niederschlägen ist aber nicht auszuschließen, dass der Vogeldamm überspült werden kann. In der Konsequenz könnten dann P-Belastungen aus dem Bereich oberhalb des Vogeldamms das Steinhuder Meer erreichen. Da dort Moorflächen und insbesondere Gebiete mit Torfabbau liegen, kann

nicht ausgeschlossen werden, dass dann möglicherweise (stark) erhöhte P-Einträge aus den oberhalb gelegenen Moor- bzw. Torfabbauflächen erfolgen können.

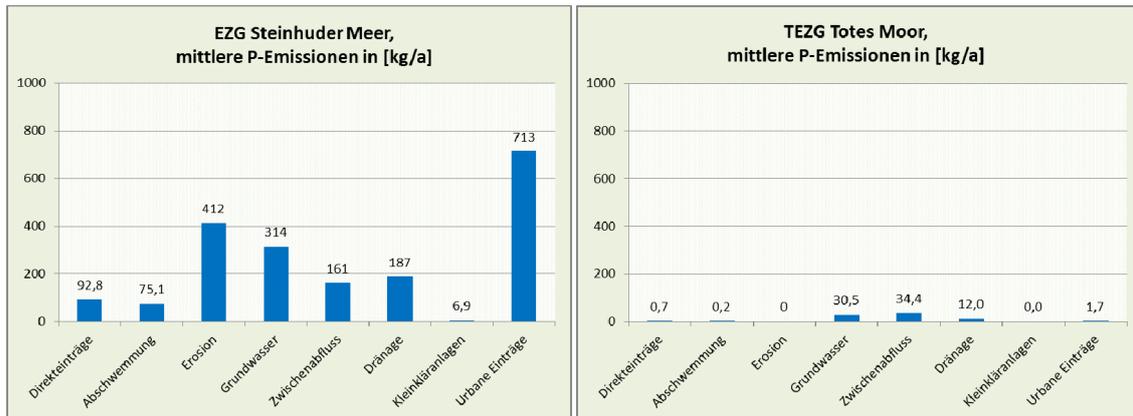


Bild 38: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und die TEZG des Totes Moores (3,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.4.6 Phosphoreinträge aus dem TEZG Rand-EZG

Das TEZG Rand-EZG ist für die P-Belastung des Steinhuder Meeres gemäß der Modellergebnisse weitgehend unbedeutend. Von hier resultieren lediglich P-Einträge von 28 kg/a, was etwa 1,5 % der gesamten bzw. gut 2 % der diffusen P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres entspricht. Der wichtigste P-Eintragspfad ist der Grundwasserabfluss mit 13 kg/a. Dazu kommen noch jeweils etwa 5 kg/a über Zwischenabfluss und Direkteinträge, alle weiteren P-Eintragspfade sind völlig unbedeutend (vgl. Bild 39).

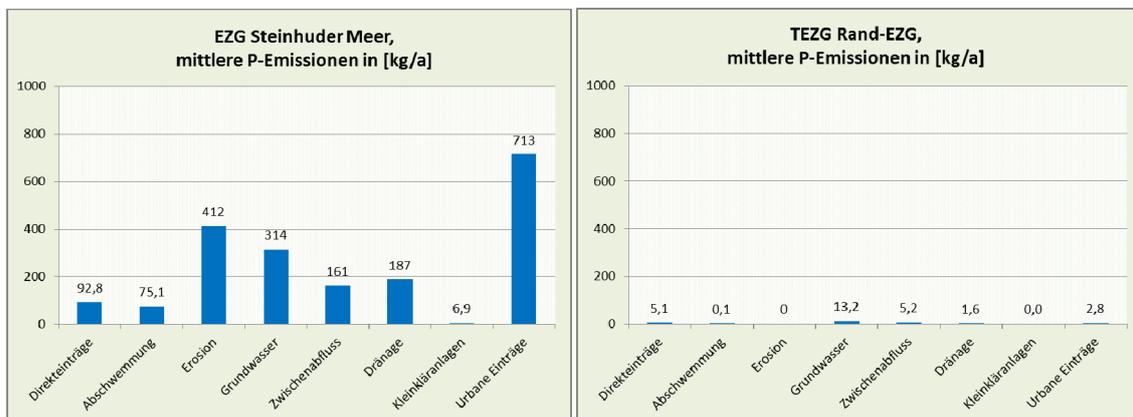


Bild 39: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden für das gesamte EZG des Steinhuder Meeres (51 km², links) und das TEZG Rand-EZG (3,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

3.4.7 Übersicht zu den Phosphoreinträgen aus den einzelnen TEZG

Bild 40 zeigt die prozentualen Anteile der gesamten bzw. diffusen P-Emissionen aus den einzelnen TEZG. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die diffusen P-Emissionen vor allem aus 3 TEZG resultieren (vgl. Bild 40, rechts): das TEZG Winzlarer Grenzgraben ist demnach für gut 46 % der diffusen P-Einträge verantwortlich, das TEZG Großenheidorngraben für etwa 21 % und das TEZG Bannseeegraben für ca. 17 %. Somit erfolgen aus diesen 3 TEZG fast 85 % aller diffusen P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres. Folglich sind die anderen TEZG weitgehend unbedeutend. Werden dagegen die gesamten P-Emissionen betrachtet (Bild 40, links), wird sofort der große Einfluss der punktuellen P-Emissionen insbesondere im TEZG Großenheidorngraben deutlich; aus ihm sowie aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben sind fast gleich hohe Anteile an den gesamten P-Einträge zu verzeichnen (ca. 35 bzw. etwa 36 %). Somit resultieren über 70 % der gesamten P-Emissionen aus diesen beiden TEZG. Weiterhin erfolgen gut 13 % aus den TEZG Bannseeegraben und fast 10 % aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben. Die restlichen TEZG sind in Bezug auf die Summe der P-Einträge folglich weitgehend unbedeutend.

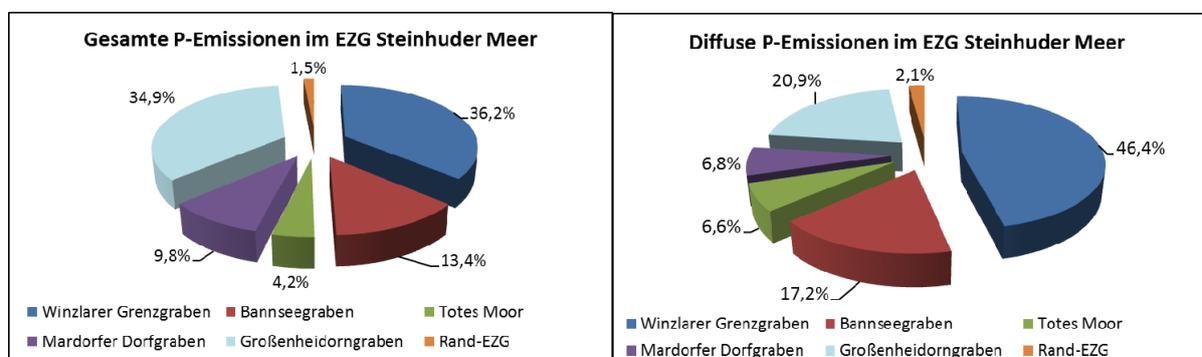


Bild 40: Herkunft der P-Emissionen im EZG Steinhuder Meer. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte P-Emissionen (links) und diffuse P-Emissionen (rechts), jeweils in [%]

Die nachfolgende Tabelle 16 zeigt die Modellergebnisse zu den P-Einträgen für die 4 wichtigsten TEZG im EZG des Steinhuder Meeres differenziert nach Eintragspfaden.

Tabelle 16: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden in ausgewählten TEZG im EZG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragspfad	Winzlarer Grenzgr.		Großenheidorngr.		Bannseeegraben		Mardorfer Dorfgr.	
	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]
Direkteinträge	25,8	3,8	18,4	2,8	30,0	11,8	10,6	5,7
Abschwemmung	52,2	7,6	13,4	2,0	5,9	2,3	3,2	1,7
Erosion	373	54,4	26,8	4,1	10,1	4,0	2,6	1,4
Grundwasser	19,1	2,8	88,4	13,4	125	49,3	47,3	25,6
Zwischenabfluss	63,0	9,2	32,2	4,9	25,3	10,0	5,8	3,2
Dränagen	17,1	2,5	68,0	10,3	7,3	2,9	11,1	6,0
Kleinkläranlagen	6,9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Urbane Einträge	129	18,8	414	62,6	50,2	19,8	104	56,4
Summe diffus	550	80,2	247	37,4	204	80,2	80,6	43,6
Summe punktuell	136	19,8	414	62,6	50,2	19,8	104	56,4
Summe	686	100	661	100	254	100	185	100

3.5 Nährstofffrachten im EZG des Steinhuder Meeres

Im Gegensatz zu den Kap. 3.1 bis 3.4, in denen die berechneten Nährstoffemissionen dargelegt wurden, werden in diesem Kapitel die Modellergebnisse für die Stickstoff- und Phosphorfrachten (also den Nährstoffimmissionen) aus den Teileinzugsgebieten im EZG des Steinhuder Meeres vorgestellt.

In Tabelle 17 sind die Modellergebnisse zu den N-Immissionen pro TEZG im EZG und im Untersuchungsgebiet (UG) des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 dargestellt. Aufgrund der sehr geringen Retention in dem eher kleinen EZG des Steinhuder Meeres sind die N-Immissionen nur unwesentlich geringer als die entsprechenden N-Emissionen (vgl. Tabelle 5). Darüber hinaus ergeben sich auch für die prozentualen Anteile der einzelnen TEZG an der Gesamtbelastung nur geringfügige Veränderungen im Vergleich zu den N-Emissionen (vgl. Bild 22). Beachtenswert ist sicher, dass die atmosphärische N-Deposition auf die Wasserfläche des Steinhuder Meeres fast die Hälfte der gesamten N-Immissionen im Untersuchungsgebiet ausmacht.

Tabelle 17: Modellergebnisse zu den gesamten N-Immissionen pro TEZG im EZG und im UG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

TEZG	EZG Steinhuder		UG Steinh. Meer (EZG inkl. Seefläche)	
	N [t/a]	N [%]	N [t/a]	N [%]
Winzlarer Grenzgraben	28,5	58,0	28,5	30,2
Bannseegraben	3,2	6,4	3,2	3,3
Totes Moor (oh Vogeldamm)	1,2	2,5	1,2	1,3
Mardorfer Dorfgraben	2,7	5,5	2,7	2,9
Großenheidorngraben	12,2	24,8	12,2	12,9
Rand-EZG	0,9	1,8	0,9	1,0
Totes Moor (uh Vogeldamm)	0,4	0,9	0,4	0,5
Steinhuder Meer	-	-	45,3	48,0
Summe	49,1	100	94,4	100

Die Modellergebnisse zu den P-Immissionen pro TEZG im EZG und im Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen sind Tabelle 18 zu entnehmen.

Tabelle 18: Modellergebnisse zu den gesamten P-Immissionen pro TEZG im EZG und im UG des Steinhuder Meeres für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

TEZG	EZG Steinhuder		UG Steinh. Meer (EZG inkl. Seefläche)	
	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]
Winzlarer Grenzgraben	641	35,6	641	27,8
Bannseegraben	247	13,7	247	10,7
Totes Moor (oh Vogeldamm)	61,9	3,4	61,9	2,7
Mardorfer Dorfgraben	183	10,2	183	7,9
Großenheidorngraben	636	35,3	636	27,6
Rand-EZG	7,7	0,4	7,7	0,3
Totes Moor (uh Vogeldamm)	22,6	1,3	22,6	1,0
Steinhuder Meer	-	-	509	22,0
Summe	1.798	100	2.307	100

Auch hier zeigen sich - wiederum bedingt durch die geringe Retention im EZG - nur geringe Unterschiede zu den P-Emissionen der TEZG (vgl. Tabelle 11). Werden für die P-Immissionen die prozentualen Anteile mit denen der P-Emissionen verglichen, zeigen sich lediglich geringe Unterschiede (vgl. Bild 40). Zu beachten ist, dass der Anteil der atmosphärischen P-Deposition auf die Wasserfläche des Steinhuder Meeres an der gesamten P-Immissionen im Untersuchungsgebiet etwa 22 % beträgt; damit ist dieser Eintragspfad sehr bedeutsam.

Ein Abgleich dieser Modellergebnisse mit (berechneten) Frachten ist nicht möglich, da im Untersuchungsgebiet ersten keine Abflussmessungen existieren und zweitens auch kaum Nährstoffmessungen vorliegen.

3.6 Wasserbilanz im EZG des Steinhuder Meeres

Die Wasserbilanz bildet die Abflusspfade Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss, Grundwasserabfluss und Drainageabfluss sowie den Abfluss von versiegelten Flächen und Kläranlagen ab. Die in das Modell integrierten Berechnungsansätze orientieren sich weitgehend an dem Modell GROWA (KUNKEL & WENDLAND, 1998). Wesentliche Unterschiede bestehen bei der Ableitung der Abflussquotienten zur Differenzierung des Gesamtabflusses in Zwischen- und Grundwasserabfluss im Lockergesteinsbereich nach RÖDER (1997) und bei der Berechnung des Drainage- und Oberflächenabflusses.

Die Berechnung der Wasserbilanz im Bearbeitungsgebiet des Steinhuder Meeres erfolgte als mittlere langjährige Betrachtung der Abflussbedingungen für den Zeitraum 1981 bis 2010. Als wesentliche Eingangsdaten wurden u.a. die mittleren Niederschlags- und Verdunstungsbedingungen des genannten Zeitraumes verwendet.

Da keine Daten zu Abflussmessungen im EZG vorliegen, dient als Referenz für die Modellergebnisse die für das EZG hochgerechnete Abflussmenge (vgl. Kap. 2.4).

Die Bedeutung einer zuverlässig abgebildeten Wasserbilanz auf Einzugsgebietsebene ist darin zu sehen, dass sie eine wesentliche Voraussetzung für die nachfolgende Ermittlung der diffusen Nährstoffeinträge darstellt. Begründet ist dies darin, dass das Wasser als Transportmedium insbesondere für Phosphor maßgeblich das Eintragsverhalten bestimmt.

Die für die Wasserbilanz im EZG des Steinhuder Meeres erzielten Ergebnisse sind Tabelle 19 zu entnehmen.

Tabelle 19: Ergebnisse des Moduls Wasserbilanz für das EZG des Steinhuder Meeres für mittlere Klima- und Abflussbedingungen (Zeitraum 1981 bis 2010)

Abflusspfad	EZG Steinhuder Meer	
	[m ³ /s]	[%]
Grundwasserabfluss	0,17	53,8
Zwischenabfluss	0,09	28,6
Drainageabfluss	0,02	7,2
Oberflächenabfluss	< 0,01	1,4
Abfluss von versiegelten Flächen	0,03	9,0
Abfluss von Kleinkläranlagen	< 0,01	0,01
Gesamtabfluss Modell	0,32	100

Für das gesamte EZG wird deutlich, dass der Grundwasserabfluss mit fast 54 % und der Zwischenabfluss mit ca. 29 % des Gesamtabflusses die dominierenden Abflusspfade sind.

Daneben sind noch der Abfluss von versiegelten Flächen mit 9 % und der Dränageabfluss mit etwa 7 % von Bedeutung. Die Anteile des Oberflächenabflusses und des Kläranlagenabflusses sind mit 1,4 % bzw. 0,01 % sehr gering.

In Bild 41 sind die Modellergebnisse der Wasserbilanz zusammen mit dem hochgerechneten mittleren Abfluss des Bilanzzeitraumes dargestellt (vgl. Kap. 2.4). Demnach zeigt sich für das EZG Steinhuder eine fast vollständige Übereinstimmung, die Modellergebnisse liegen 1,2 % über dem hochgerechneten Abfluss.

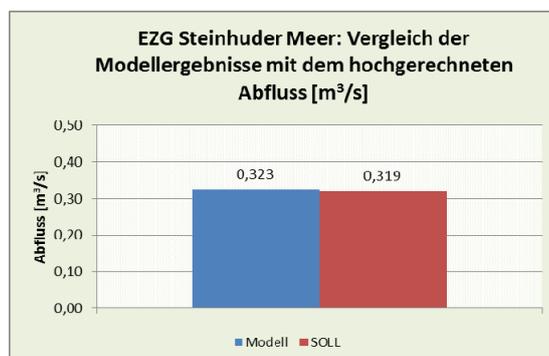


Bild 41: Gesamtabfluss im EZG des Steinhuder Meeres: Vergleich der Modellergebnisse mit dem hochgerechneten Gebietsabfluss für mittlere Bedingungen im Zeitraum 1981 bis 2010

4 Zielkulissen für Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres und dominierende Eintragspfade

In diesem Kapitel werden für das untersuchte EZG des Steinhuder Meeres Vorschläge für Ziel- und Maßnahmenkulissen für die Oberflächengewässer unterbreitet; sie basieren auf den Modellergebnissen (vgl. Kap. 4). Diese Vorschläge erfolgen für das EZG des Steinhuder Meeres jeweils separat für die N- bzw. P-Belastungssituation. Weiterhin werden jeweils die wesentlichen Einflüsse der gerechneten Szenarien (vgl. Kap. 2.3) auf die vorgeschlagenen Zielkulissen vorgestellt. Als räumliche Auflösung für die vorgeschlagenen Zielkulissen fungieren die hydrologischen TEZG. Die für die Ausweisung der Zielkulissen verwendete Methodik ist in Kap. 2.6 beschrieben. In Kap. 2.6 ist zudem die nachfolgend verwendete Stufeneinteilung zur Bewertung der Belastungssituation erläutert: die (gering belasteten) Stufen 1 und 2 erfordern demnach keine Ausweisung von Zielkulissen, für die (erhöht oder hoch belasteten) Stufen 3 bis 5 ist eine Ausweisung als Zielkulisse dagegen naheliegend. Zu beachten ist, dass für die Ausweisung der Zielkulissen die Nährstoffimmissionen der TEZG verwendet werden (vgl. Kap. 2.6).

Weiterhin werden für das EZG des Steinhuder Meeres wiederum auf Ebene der hydrologischen TEZG jeweils die dominierenden Eintragspfade vorgestellt. Diese Angabe ermöglicht es zielgerichtete Maßnahmen zur effektiven Verminderung der Nährstoffbelastung abzuleiten.

4.1 Vorschläge für Zielkulissen im EZG des Steinhuder Meeres hinsichtlich der N-Belastung

In Bild 42 sind die Ergebnisse der Bewertung der diffusen N-Belastung für die Parameter Konzentration und Flächenbelastung pro TEZG im EZG des Steinhuder Meeres dargestellt.

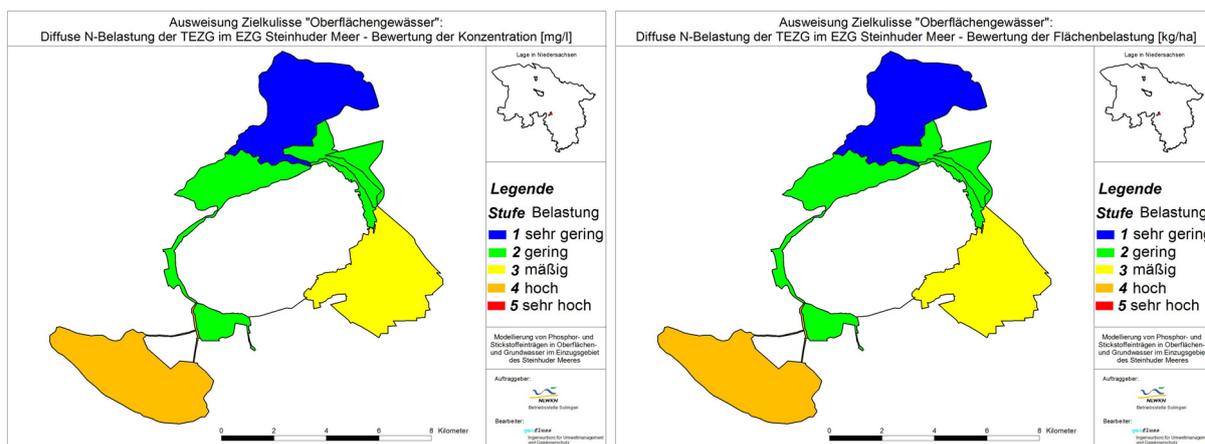


Bild 42: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha]

Demnach liegen nur in den TEZG Winzlarer Grenzgraben und Großenheidorngraben (deutlich) erhöhte diffuse N-Belastungen vor, in allen anderen TEZG sind die Belastungen je nach Kriterium gering oder sogar sehr gering.

Werden die Ergebnisse dieser beiden Einzelbewertungen zusammengezogen, führt dieses zur abschließenden kombinierten Bewertung (Erläuterung hierzu in Kap. 2.6) der diffusen N-Belastung pro TEZG im EZG des Steinhuder Meeres (Bild 43). Demnach ist im TEZG Winz-

larer Grenzgraben eine hohe N-Belastung (Stufe 4) und im TEZG Großenheidorngraben eine mäßige N-Belastung (Stufe 3) zu verzeichnen. In allen anderen TEZG liegt dagegen eine geringe N-Belastung der Stufe 2 oder sogar eine sehr geringe N-Belastung der Stufe 1 vor, so dass hier eine Ausweisung von Zielkulissen nicht erforderlich erscheint.

Gemäß der in Kap. 2.6 vorgestellten Bewertungsgrundlage sollte die Ziel- und Maßnahmenkulisse im EZG des Steinhuder Meeres hinsichtlich der diffusen N-Belastung somit zumindest die in Bild 43 gelb und orange gekennzeichneten Flächenanteile umfassen.

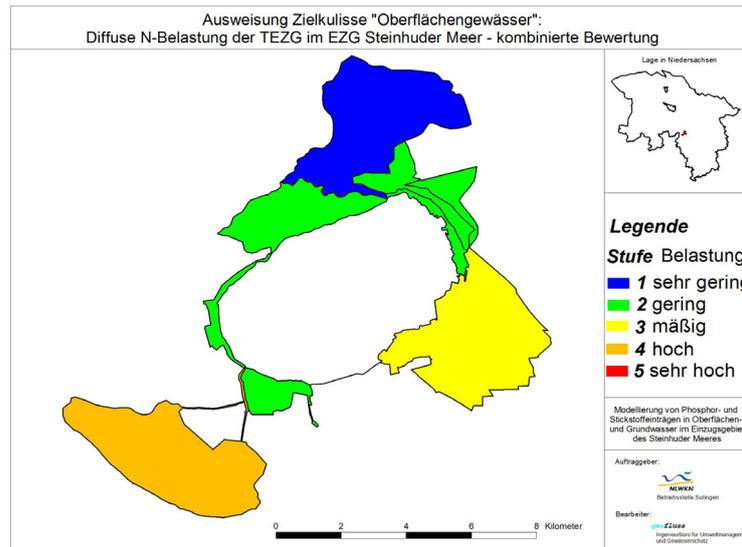


Bild 43: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung

Im Gegensatz zur diffusen spielt die punktuelle N-Belastung im EZG des Steinhuder Meeres nur eine sehr untergeordnete Rolle. Wie Bild 44 links zu entnehmen ist, weisen alle TEZG hierfür eine sehr geringe Belastung der Stufe 1 auf. Bild 44 rechts zeigt die gesamte N-Belastung im EZG des Steinhuder Meeres. Aufgrund der sehr geringen punktuellen N-Belastung im EZG des Steinhuder Meeres ergibt sich für die Bewertung keine Änderung im Vergleich zu der Bewertung der diffusen N-Belastung im EZG des Steinhuder Meeres (vgl. Bild 43).

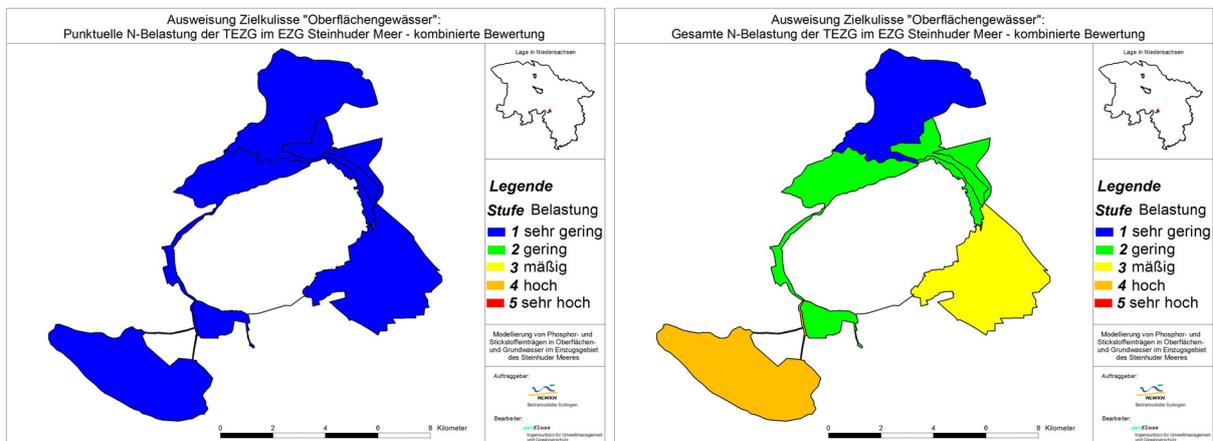


Bild 44: N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres. Links kombinierte Bewertung der punktuellen N-Belastung, rechts kombinierte Bewertung der gesamten N-Belastung

Gemäß der in Kap. 2.6 vorgestellten Bewertungsgrundlage sollte die Ziel- und Maßnahmenkulisse im EZG des Steinhuder Meeres hinsichtlich der gesamten N-Belastung somit zumindest die in Bild 44 gelb und orange gekennzeichneten Flächenanteile umfassen.

4.1.1 Einfluss der Szenarienberechnungen auf die Zielkulissen (N-Belastung)

Zusätzlich zum IST-Zustand (mittlerer Zustand des Betrachtungszeitraumes) wurden hinsichtlich der diffusen N-Belastung im EZG des Steinhuder Meeres insgesamt 4 Szenarien gerechnet (vgl. hierzu Kap. 2.3). Ihr jeweiliger Einfluss auf die Zielkulissen wird nachfolgend vorgestellt.

Nach **Szenario 1** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres um 50 % erhöht wurde, vgl. Kap. 2.3) ergibt sich erwartungsgemäß eine höhere N-Belastung im EZG. Auf Basis der hierbei erzielten Ergebnisse wurde anschließend analog zum IST-Zustand eine Bewertung der diffusen N-Belastung pro TEZG durchgeführt. Bild 45 zeigt das Resultat für das Szenario 1 im Vergleich zum IST-Zustand. Dabei zeigt sich, dass nach Szenario 1 die Belastungsstufe in den meisten TEZG als Folge des erhöhten Abflusses zunimmt. Lediglich in den TEZG Bannseeegraben und Mardorfer Dorfgraben liegt nun noch eine geringe N-Belastung vor, in den kleinen TEZG Totes Moor und Rand-EZG ist sie mäßig, im TEZG Großenheidorngraben hoch (N-Belastungsstufe 4) und im TEZG Winzlarer Grenzgraben sogar sehr hoch (N-Belastungsstufe 5).

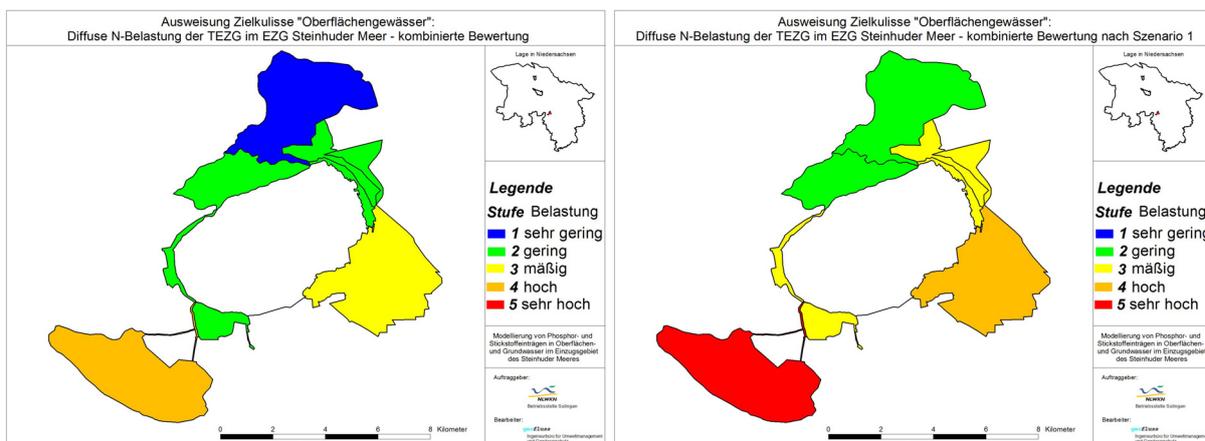


Bild 45: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 1

Die Ergebnisse der Ausweisung von Zielkulissen nach **Szenario 2** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres verdoppelt wurde, vgl. Kap. 2.3) ist Bild 46 zu entnehmen. Dieses Szenario 2 mit weiter erhöhten Abflüssen im Vergleich zu Szenario 1 führt dazu, dass die N-Belastung in drei TEZG weiter zunimmt: im TEZG Mardorfer Dorfgraben erhöht sich die N-Belastung von Stufe 2 auf der Stufe 3 (mäßige N-Belastung) und in den TEZG des Totes Moores wird jetzt die Stufe 4 (hohe N-Belastung) ausgewiesen. Einzig das TEZG Bannseeegraben zeigt nach Szenario 2 noch eine geringe N-Belastung.

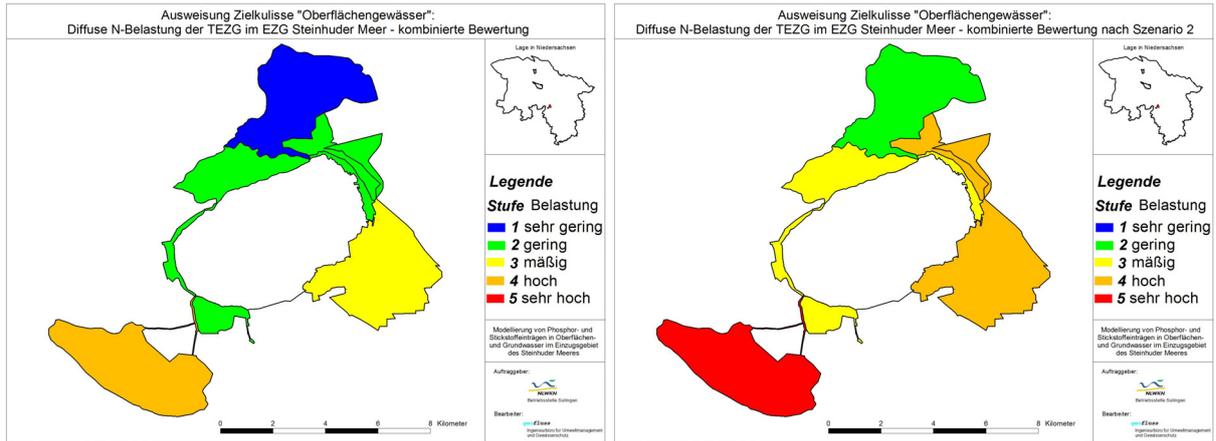


Bild 46: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 2

Diese beiden Szenarien zeigen deutlich, dass bei erhöhten Abflüssen nicht mehr nur einzelne TEZG (Winzlarer Grenzgraben und Großenheidorngraben) eine erhöhte N-Belastung aufweisen, sondern fast im gesamten EZG des Steinhuder Meeres relevante N-Belastungen auftreten können. Dieser Zusammenhang sollte bei der Ausweisung von Zielkulissen für Maßnahmen unbedingt berücksichtigt werden.

Nach **Szenario 3** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres um 25 % verringert wurde, vgl. Kap. 2.3) ergibt sich für die Ausweisung von Zielkulissen das in Bild 47 dargestellte Ergebnis. Demnach zeigt sich bei diesen geringen Abflüssen nur im TEZG Großenheidorngraben eine Änderung im Vergleich zum IST-Zustand: hier vermindert sich die N-Belastungsstufe von 3 auf 2 (geringe N-Belastung).

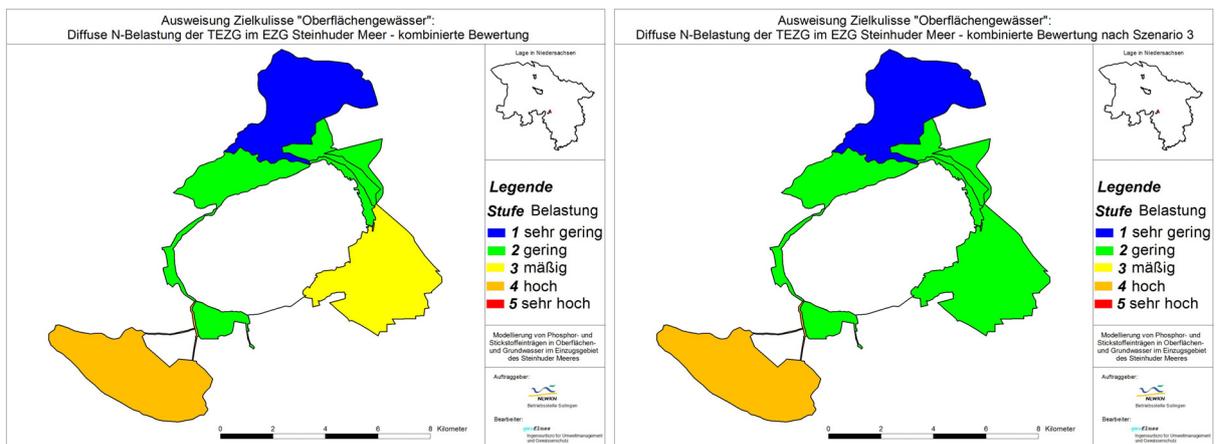


Bild 47: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 3

Nach **Szenario 4** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres halbiert wurde, vgl. Kap. 2.3) resultiert das in Bild 48 vorgestellte Ergebnis. Bei diesen sehr geringen Abflüssen verringert sich die N-Belastungsstufe in insgesamt drei TEZG um jeweils eine Stufe (TEZG Großenheidorngraben und Totes Moor oh und uh Vogeldamm) im Vergleich zum IST-Zustand. Trotz dieses sehr geringen Abflusses bleibt das TEZG Winzlarer Grenzgraben weiterhin hoch belastet (Stufe 4).

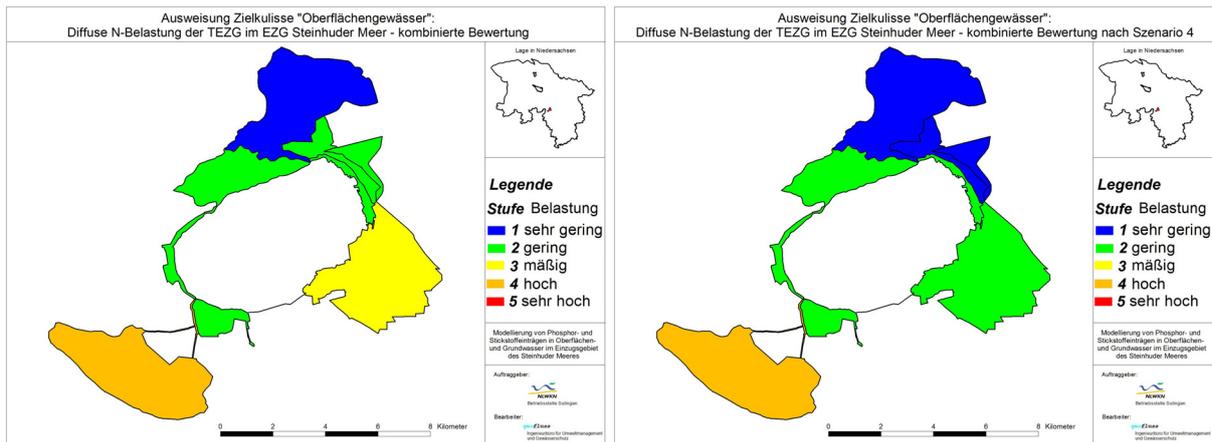


Bild 48: Diffuse N-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand, rechts Bewertung nach Szenario 4

4.2 Dominierende N-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres

Nachfolgend werden für das EZG des Steinhuder Meeres die dominierenden Eintragspfade für die N-Belastung auf Ebene der insgesamt 7 TEZG vorgestellt. Diese Angabe gibt wichtige Hinweise darauf, welche Maßnahmen besonders effektiv zur Minderung der N-Belastung beitragen können. Hierbei werden nur die diffusen N-Eintragspfade berücksichtigt, da die punktuellen N-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres nur eine untergeordnete Rolle spielen (nur in den TEZG Großenheidorngraben und Mardorfer Grenzgraben sind sie der dritt wichtigste N-Eintragspfad, ansonsten sind sie bedeutungslos).

In Bild 49 ist zunächst der pro TEZG hinsichtlich der diffusen N-Belastung dominierende N-Eintragspfad dargestellt. In allen TEZG ist dies der Pfad Zwischenabfluss, was angesichts seiner überragenden Bedeutung für das N-Eintragsgeschehen im EZG des Steinhuder Meeres nicht überrascht.

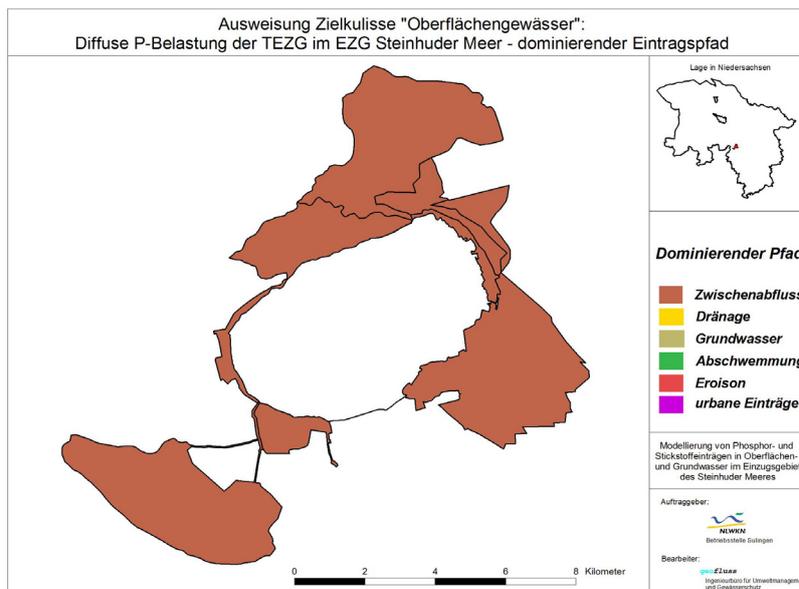


Bild 49: Dominierender Eintragspfad im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die diffuse N-Belastung

Wird jeweils der zweitwichtigste Pfad hinzugenommen, ist die Kombination Zwischenabfluss/Grundwasser am häufigsten (in den TEZG Winzlarer Grenzgraben, Mardorfer Dorfgraben, Rand-EZG und Totes Moor oh Vogeldamm, vgl. Bild 50). Als weitere Variante tritt die Kombination Zwischenabfluss/Dränagen in den restlichen 3 TEZG (Bannseeegraben, Großeneidorngraben und Totes Moor uh Vogeldamm) auf.

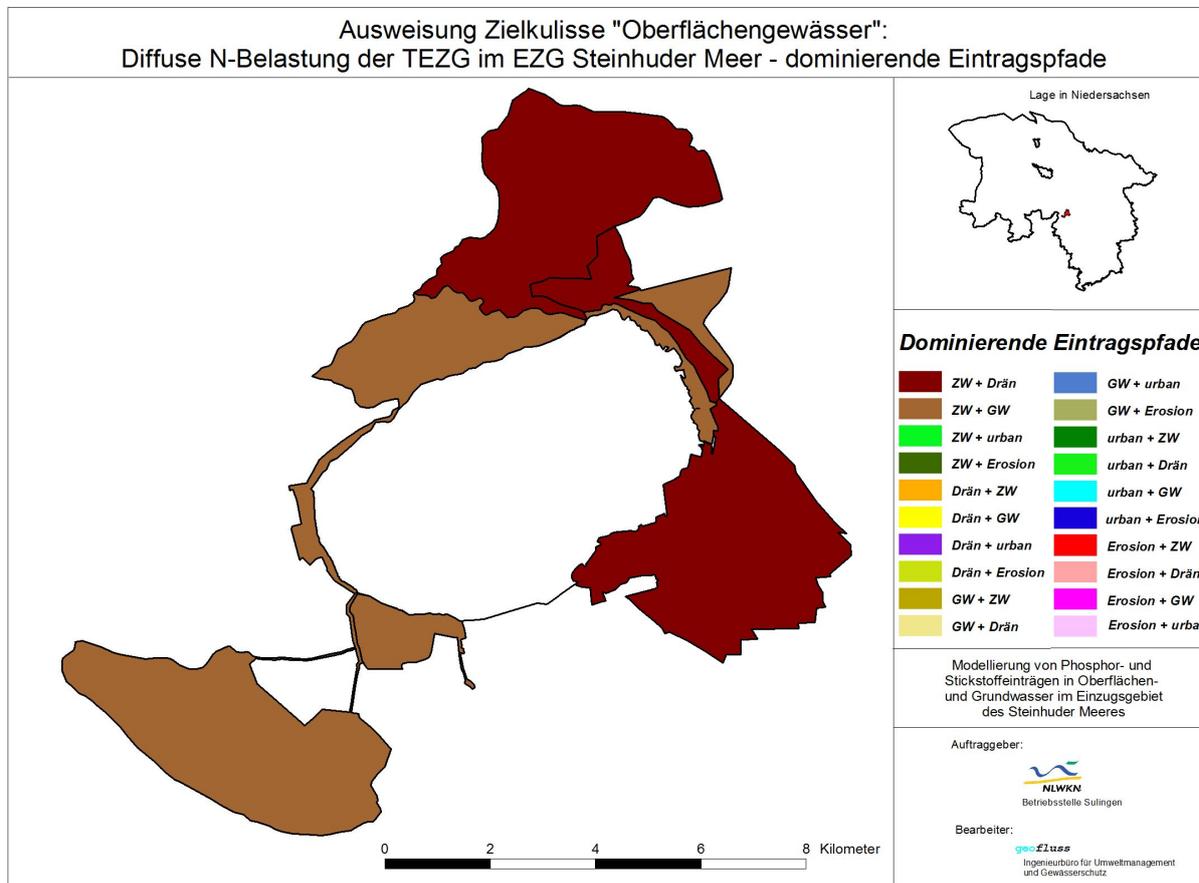


Bild 50: Die beiden dominierenden N-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die diffuse N-Belastung

4.3 Vorschläge für Zielkulissen im EZG des Steinhuder Meeres hinsichtlich der P-Belastung

In Bild 51 sind die Ergebnisse der Bewertung der diffusen P-Belastung für die Parameter Konzentration und Flächenbelastung pro TEZG im EZG des Steinhuder Meeres dargestellt. Im Vergleich zur N-Belastung im EZG des Steinhuder Meeres (s. Kap. 4.1) ist sofort zu erkennen, dass die P-Belastung (bezogen auf die definierten Zielwerte, vgl. Kap. 2.6) in diesem EZG höher ist. Lediglich in den beiden TEZG Mardorfer Dorfgraben und Rand-EZG liegen geringe bzw. sogar sehr geringe P-Belastungen vor. In allen anderen TEZG im EZG des Steinhuder Meeres sind z.T. deutlich erhöhte diffuse P-Belastungen zu verzeichnen.

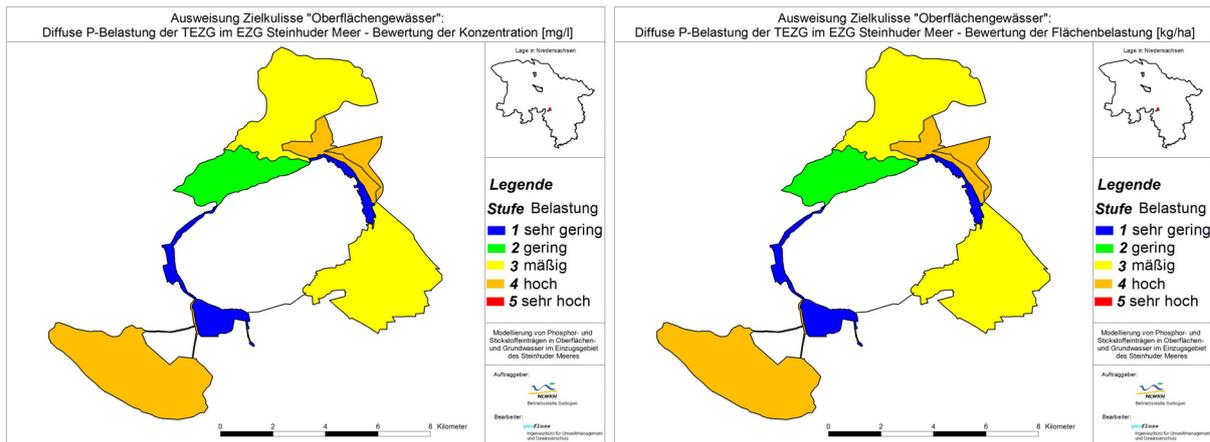


Bild 51: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha]

Werden die Ergebnisse dieser beiden Einzelbewertungen zusammengezogen führt dieses zur abschließenden kombinierten Bewertung der diffusen P-Belastung pro TEZG im EZG des Steinhuder Meeres (Bild 52). Hier dominieren die Belastungsstufen 3 und 4. Lediglich die TEZG Mardorfer Dorfgraben und Rand-EZG weisen mit Stufe 2 bzw. Stufe 1 eine erheblich geringere diffuse P-Belastung auf. Dies bedeutet, dass fast im gesamten EZG des Steinhuder Meeres (bezogen auf die bewerteten TEZG) eine erhöhte und hinsichtlich der definierten Zielwerte zu hohe P-Belastung aus diffusen Quellen vorliegt; dies gilt insbesondere für die gelb und orange dargestellten 5 TEZG, die über 80 % der Gebietsfläche ausmachen. Diese TEZG sollten gemäß der in Kap. 2.6 vorgestellten Bewertungsgrundlage die Ausdehnung der Ziel- und Maßnahmenkulisse bestimmen.

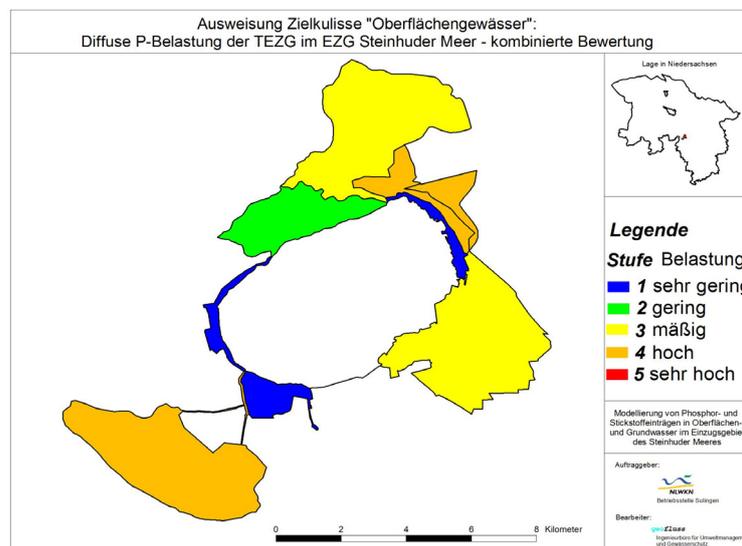


Bild 52: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung

In Bild 53 sind die Ergebnisse der Bewertung der punktuellen P-Belastung pro TEZG im EZG des Steinhuder Meeres dargestellt. Hier zeigt sich eine andere Situation als bei den diffusen P-Einträgen: das TEZG Großenheidorngraben ist bei dieser Bewertung hoch und das TEZG Mardorfer Dorfgraben mäßig belastet. Bei allen anderen TEZG ergibt sich lediglich eine geringe (Winzlarer Grenzgraben) bzw. sogar nur sehr geringe punktuelle P-Belastung.

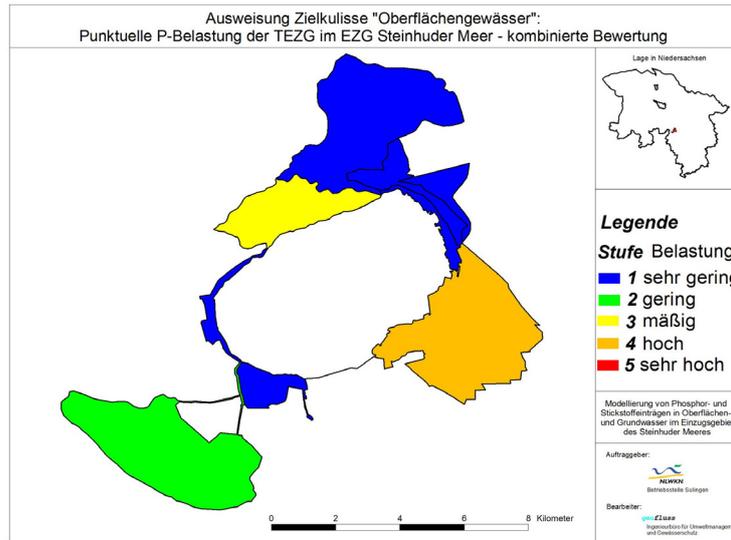


Bild 53: Punktuelle P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung

Bild 54 zeigt die Bewertung der gesamten P-Belastung im EZG des Steinhuder Meeres. Im Gegensatz zu den Bewertungen der diffusen und punktuellen P-Belastungen tritt jetzt in 2 TEZG die höchste P-Belastungsstufe 5 (sehr hohe Belastung) auf: betroffen hiervon ist einerseits das TEZG Winzlarer Grenzgraben (in dem die diffuse P-Belastung dominiert, vgl. Bild 52 und Bild 53) und andererseits das TEZG Großenheidorngraben (in dem die punktuellen P-Belastung dominiert, vgl. Bild 52 und Bild 53). Aufgrund der sehr geringen punktuellen P-Belastungen in den TEZG Bannseeegraben, Totes Meer (oh und uh Vogeldamm) und Rand-EZG verändert sich hier die gesamte P-Belastung im Vergleich zur diffusen P-Belastung (vgl. Bild 52) nicht. Anders ist die Situation im TEZG Mardorfer Dorfgraben: hier ergeben eine geringe diffuse P-Belastung (Stufe 2, vgl. Bild 52) und eine mäßige punktuelle P-Belastung (Stufe 3, vgl. Bild 53) in der Summe eine hohe gesamte P-Belastung (Stufe 4, vgl. Bild 54).

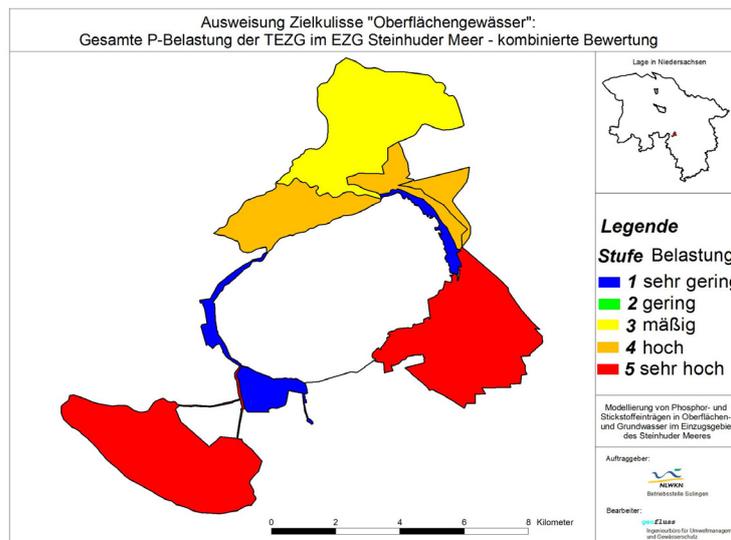


Bild 54: Gesamte P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung

Gemäß der in Kap. 2.6 vorgestellten Bewertungsgrundlage sollte die Ziel- und Maßnahmenkulisse im EZG des Steinhuder Meeres hinsichtlich der gesamten P-Belastung somit zumin-

dest die in Bild 54 gelb, orange und rot gekennzeichneten Flächenanteile umfassen. Demnach läge nur das TEZG Rand-EZG außerhalb der Zielkulisse.

4.3.1 Einfluss der Szenarienberechnungen auf die Zielkulissen (P-Belastung)

Wie bereits bei der N-Belastung wurden auch für die diffuse P-Belastung zusätzliche Szenarien gerechnet.

Nach **Szenario 1** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres um 50 % erhöht wurde, vgl. Kap. 2.3) ergibt sich erwartungsgemäß eine erheblich höhere P-Belastung im EZG. Bild 55 zeigt das Resultat für das Szenario 1 im Vergleich zum IST-Zustand. Dabei zeigt sich, dass nach Szenario 1 die Belastungsstufe in allen TEZG um eine Stufe zunimmt. Als Folge hiervon weist nun der Großteil des EZG des Steinhuder Meeres eine hohe oder sogar sehr hohe P-Belastung auf. Lediglich in dem TEZG Mardorfer Dorfgraben liegt noch eine mäßige, im TEZG Rand-EZG sogar nur eine geringe P-Belastung vor. Somit umfasst die Ziel- und Maßnahmenkulisse für die diffuse P-Belastung nach Szenario 1 das gesamte EZG mit Ausnahme des TEZG Rand-EZG.

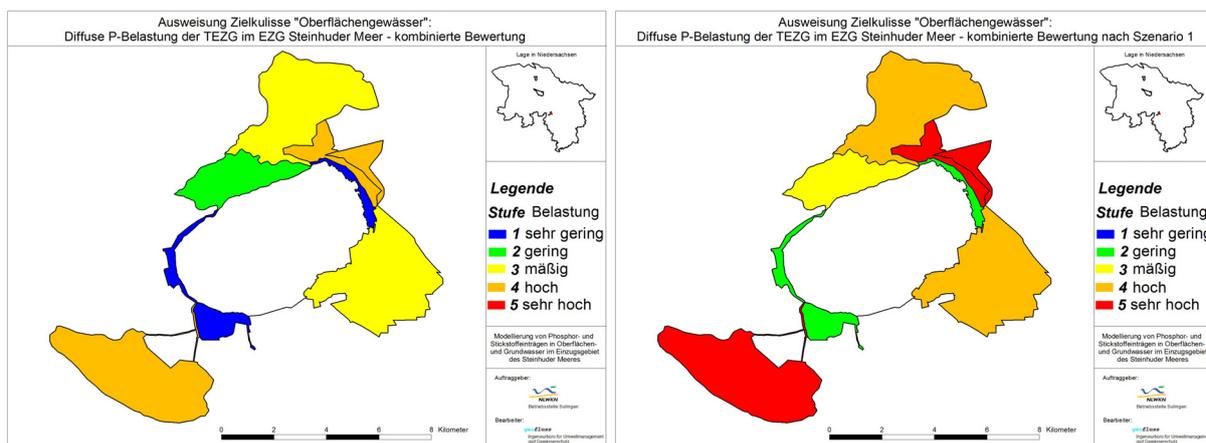


Bild 55: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 1

Nach **Szenario 2** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres verdoppelt wurde, vgl. Kap. 2.3) ergibt sich erwartungsgemäß eine im Vergleich zu Szenario 1 weiter erhöhte P-Belastung im EZG (Bild 56). Nun weist neben den TEZG Winzlarer Grenzgraben und Totes Moor (oh und uh Vogeldamm) auch das große TEZG Großenheidorngraben eine sehr hohe diffuse P-Belastung auf (Belastungsstufe 5). Darüber hinaus ist das TEZG Mardorfer Dorfgraben jetzt nicht mehr der Belastungsstufe 3 (mäßig P-Belastung), sondern der Belastungsstufe 4 (hohe P-Belastung) zuzuordnen. In den restlichen TEZG hat sich im Vergleich zu Szenario 1 nichts verändert.

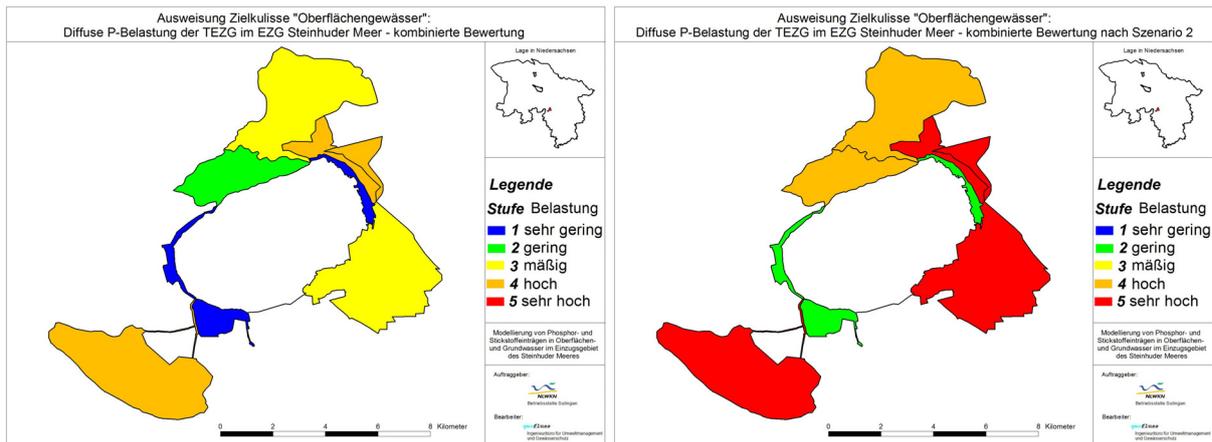


Bild 56: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 2

Diese beiden Szenarien mit erhöhten Abflüssen zeigen deutlich, dass bei derartigen Bedingungen nicht mehr nur - wie im IST-Zustand - einzelne TEZG (Winzlarer Grenzgraben und Totes Moor) eine hohe P-Belastung aufweisen, sondern in einem Großteil des EZG des Steinhuder Meeres hohe und häufig sogar sehr hohe P-Belastungen auftreten. Dieser Zusammenhang sollte bei der Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen unbedingt berücksichtigt werden.

Die nachfolgenden Bilder zeigen die resultierenden Bewertungen bei geringen Abflüssen. Nach **Szenario 3** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres um 25 % verringert wurde, vgl. Kap. 2.3) zeigt sich fast die gleiche Situation wie beim IST-Zustand: nur für das TEZG Winzlarer Grenzgraben ergibt sich eine andere Bewertung (vgl. Bild 57). Dass hier trotz der geringen Abflüsse jetzt eine sehr hohe Belastung der Stufe 5 auftritt, ist vor allem auf die erosiven P-Einträge zurückzuführen, die nun für eine (im Mittel) erhöhte P-Konzentration sorgen.

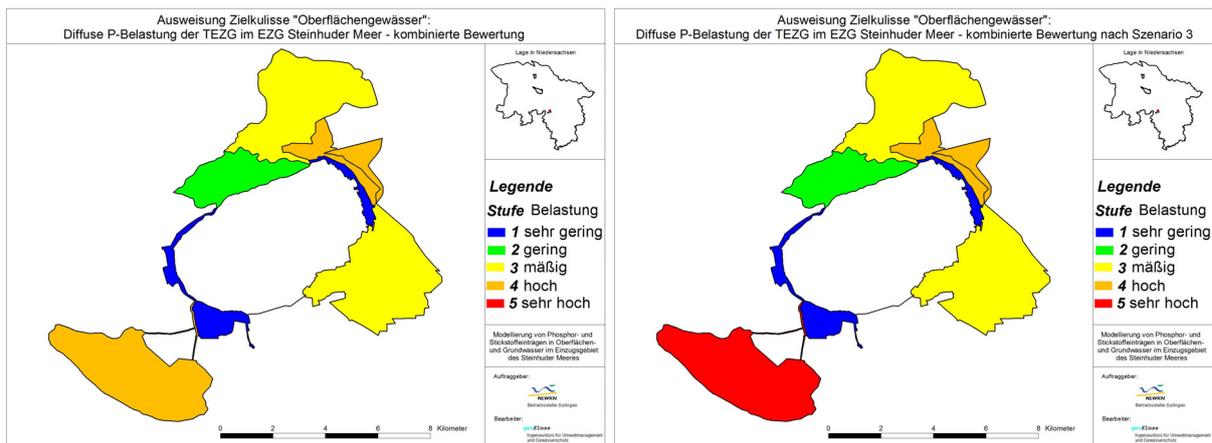


Bild 57: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 3

Nach **Szenario 4** (bei dem der mittlere Abfluss im EZG des Steinhuder Meeres halbiert wurde, vgl. Kap. 2.3) verringert sich die diffuse P-Belastung im Vergleich zum IST-Zustand nur in dem kleinen TEZG Totes Moor (uh Vogeldamm). Für zwei TEZG resultiert dagegen eine hö-

here Belastung als beim IST-Zustand: hierbei handelt es sich wie bereits bei Szenario 3 um das TEZG Winzlarer Grenzgraben, das jetzt eine sehr hohe Belastung aufweist und um das TEZG Mardorfer Dorfgraben, welches jetzt mäßig belastet ist (vgl. Bild 58).

Somit zeigt sich für die beiden Szenarien mit verringerten Abflüssen - im Gegensatz zu den Szenarien mit erhöhten Abflüssen, bei denen die P-Belastung der TEZG überall zunimmt - kein eindeutiger Einfluss auf die P-Belastung in den TEZG des Steinhuder Meeres.

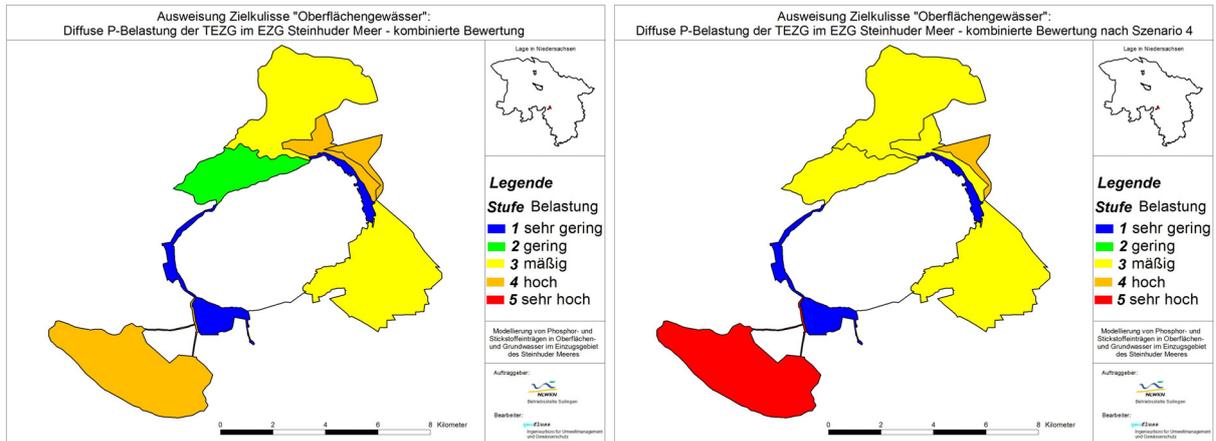


Bild 58: Diffuse P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung IST-Zustand (Hauptberechnung), rechts Bewertung nach Szenario 4

Werden bei den 4 Szenarien nicht die diffusen sondern die gesamten P-Belastungen bewertet, ergeben sich die in Bild 59 für die erhöhten Abflüsse und in Bild 60 für die verringerten Abflüsse dargestellten Ergebnisse.

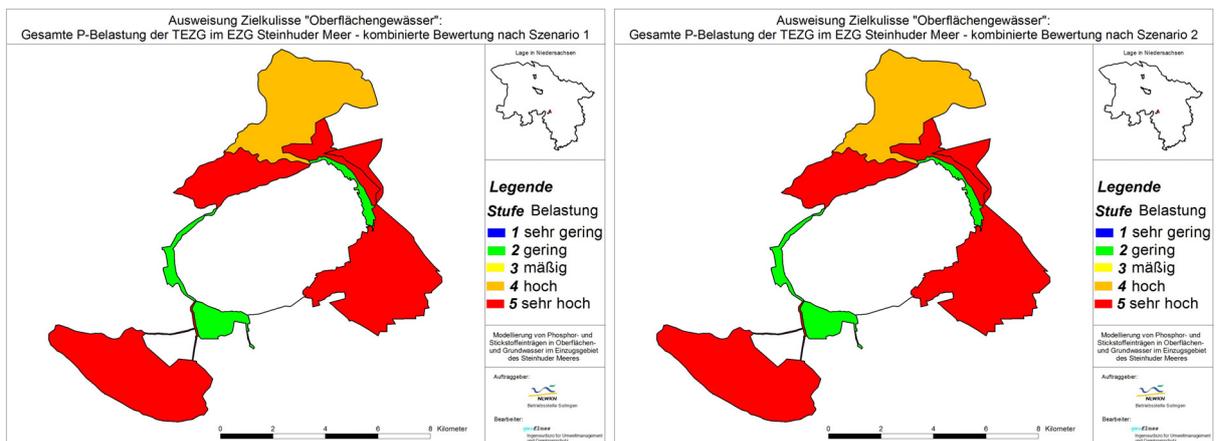


Bild 59: Gesamte P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung nach Szenario 1, rechts Bewertung nach Szenario 2

Demnach erhöhen sich die gesamten P-Belastungen bei zunehmenden Abflüssen erwartungsgemäß deutlich (vgl. hierzu IST-Zustand in Bild 54): bereits bei 50 % höheren Abflüssen (Szenario 1, Bild 59, links) erreichen nach den TEZG Winzlarer Grenzgraben und Großenheidorngraben auch die TEZG Mardorfer Dorfgraben und jene im Toten Moor die höchste Belastungsstufe 5 (sehr hohe P-Belastung), das TEZG Bannseeegraben springt von Stufe 3 auf Stufe 4 (hohe P-Belastung). Nur für das kleine TEZG Rand-EZG wäre nach diesen Ergebnissen nach wie vor keine Zielkulisse auszuweisen, obgleich auch hier die Belas-

tungsstufe von 1 auf 2 (geringe P-Belastung) zunimmt. Bei weiter zunehmenden Abflüssen (Szenario 2, Bild 59, rechts) ergibt sich für diese Bewertung keine weitere Änderung.

Bild 60 zeigt die Ergebnisse der Bewertung der gesamten P-Belastung für die Szenarien mit geringeren Abflüssen (Szenarien 3 und 4). Demnach ergibt sich nach Szenario 3 (25 % geringere Abflüsse als beim IST-Zustand) keine Änderung im Vergleich zum IST-Zustand in Bild 54. Werden die Abflüsse wie in Szenario 4 weiter verringert (auf die Hälfte im Vergleich zum IST-Zustand), ergibt sich nur für das TEZG Totes Moor uh Vogeldamm eine Abnahme der P-Belastung um eine Stufe, für alle anderen TEZG bleiben die P-Belastungen wie beim IST-Zustand.

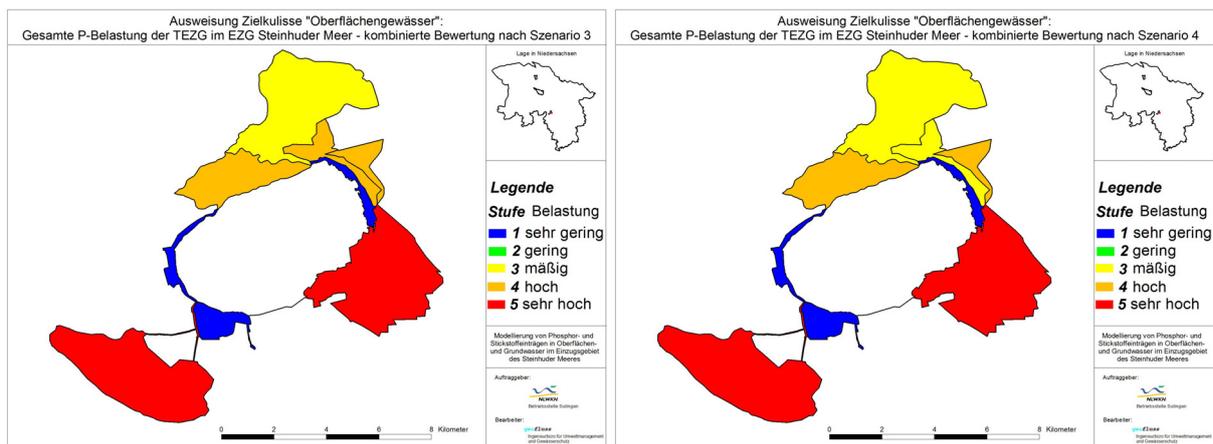


Bild 60: Gesamte P-Belastung der TEZG im EZG des Steinhuder Meeres - kombinierte Bewertung. Links Bewertung nach Szenario 3, rechts Bewertung nach Szenario 4

4.4 Dominierende P-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres

Nachdem im vorherigen Kapitel die Vorschläge für Zielkulissen im EZG des Steinhuder Meeres dargelegt wurden, werden nachfolgend die dominierenden P-Eintragspfade pro TEZG vorgestellt. Diese aus den Modellergebnissen abgeleiteten Angaben geben wichtige Hinweise für erfolgsversprechende (zielführende) Maßnahmen in den einzelnen TEZG. Bild 61 zeigt für alle TEZG im EZG des Steinhuder Meeres den jeweils dominierenden P-Eintragspfad für die diffuse bzw. die gesamte P-Belastung. Bild 61 links zeigt die Situation nur für die diffuse P-Belastung: demnach dominieren in einem großen Anteil des EZG diffuse P-Belastungen über den Eintragspfad Grundwasser (TEZG Mardorfer Dorfgraben, Bannseegraben und Rand-EZG). Im TEZG Winzlarer Grenzgraben dominieren erwartungsgemäß die erosiven P-Einträge, im TEZG Großenheidorngraben die diffusen P-Emissionen über Drainageabfluss und im Toten Moor die über Zwischenabfluss. Bild 61 rechts zeigt dagegen die Situation, wenn neben den diffusen auch die punktuellen P-Belastungen berücksichtigt werden: jetzt sind in den beiden TEZG Großenheidorngraben und Mardorfer Dorfgraben die urbanen P-Einträge über Kanalisationen die dominierenden P-Eintragspfade, in den anderen TEZG - in denen die punktuellen P-Belastungen geringer sind - verändert sich nichts.

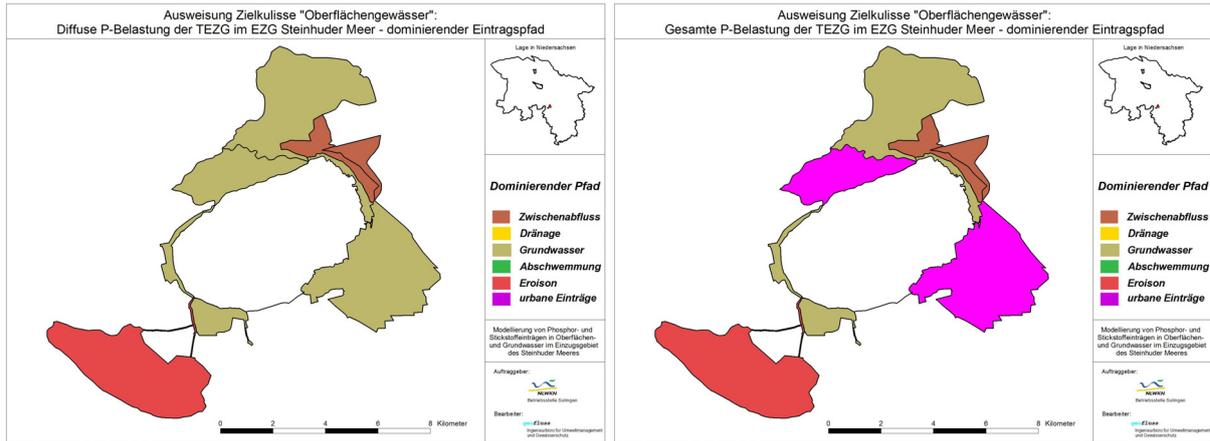


Bild 61: Dominierender Eintragspfad im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG: links für die diffuse P-Belastung der TEZG, rechts für die gesamte P-Belastung der TEZG

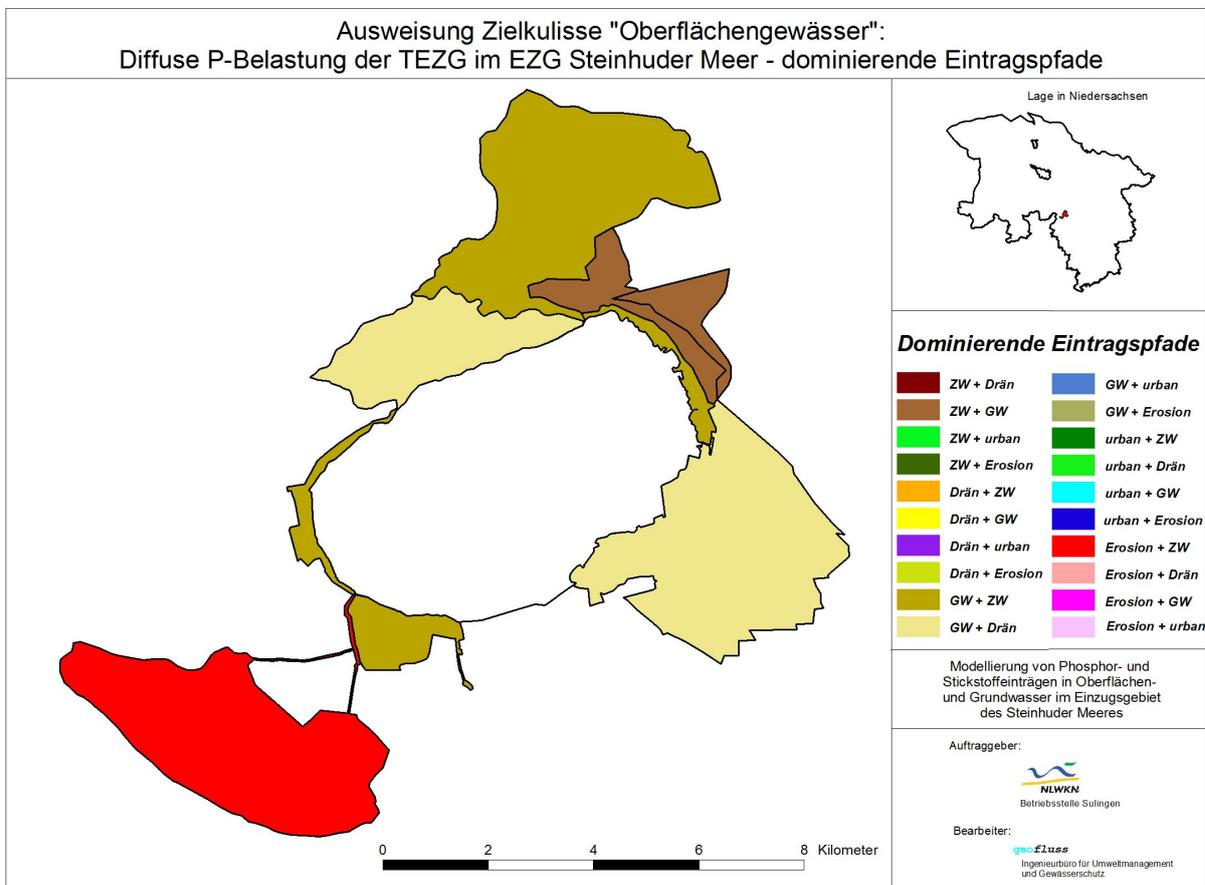


Bild 62: Die beiden dominierenden P-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die diffuse P-Belastung

Wird jeweils neben dem dominierenden der zweitwichtigste Eintragspfad berücksichtigt, ergeben sich die in Bild 62 und Bild 63 dargestellten Verhältnisse. Die diffusen P-Belastungen (Bild 62) werden demnach - abgesehen vom TEZG Winzlarer Grenzgraben - hauptsächlich über die unterirdischen Eintragspfade verursacht. In den TEZG Bannseegraben und Rand-EZG ist neben dem Grundwasserabfluss der Zwischenabfluss der zweitwichtigste diffuse P-Eintragspfad, in den TEZG Mardorfer Dorfgraben und Großenheidorngraben ist dies ebenfalls neben dem Grundwasserabfluss der Drainageabfluss. Im TEZG Totes Moor dominiert der Zwischenabfluss, zweitwichtigster Pfad ist hier der Grundwasserabfluss. Im TEZG Winz-

larer Grenzgraben dominieren deutlich die erosiven P-Einträge, zweitwichtigster diffuser P-Eintragspfad ist der Zwischenabfluss.

Werden wie in Bild 63 auch die punktuellen P-Emissionen berücksichtigt, ergibt sich eine völlig andere Belastungssituation: in den beiden TEZG Großenheidorngraben und Mardorfer Dorfgraben dominieren nun die urbanen P-Belastungen über Kanalisationen, der zweitwichtigste Eintragspfad ist jeweils der Grundwasserabfluss. In den TEZG Winzlarer Grenzgraben und Bannseegraben sind nun die urbanen P-Belastungen jeweils der zweitwichtigste P-Eintragspfad, im TEZG Winzlarer Grenzgraben neben den erosiven P-Belastungen, im TEZG Bannseegraben neben dem Grundwasserabfluss. Dies zeigt nochmals die große Bedeutung der punktuellen P-Belastungen im EZG des Steinhuder Meeres auf. In den anderen TEZG ergibt sich keine Veränderung im Vergleich zur diffusen P-Belastung.

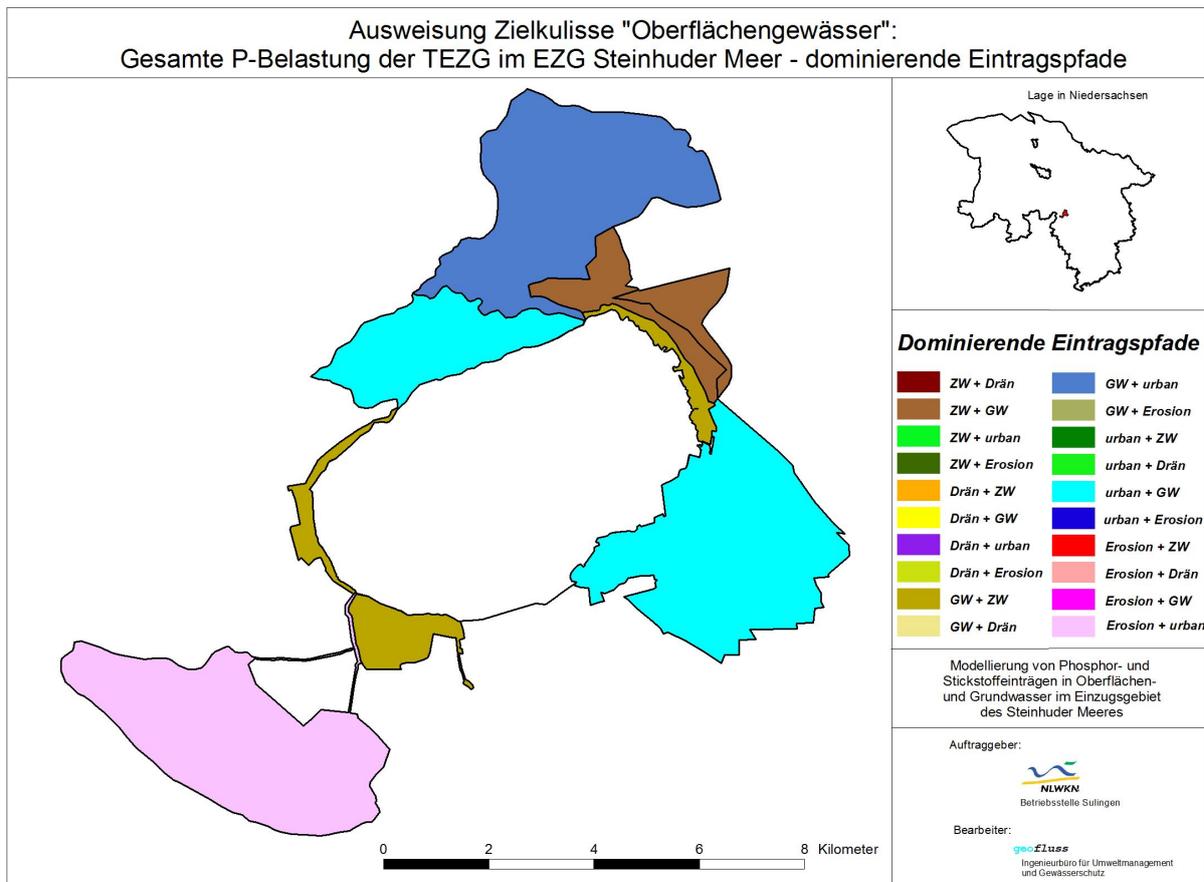


Bild 63: Die beiden dominierenden P-Eintragspfade im EZG des Steinhuder Meeres pro TEZG für die gesamte P-Belastung

5 Zusammenfassung

Die wesentlichen Ziele dieses Vorhabens bestanden darin, für das Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres die diffusen Nährstoffeinträge zu modellieren und darauf aufbauend Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Steinhuder Meeres abzuleiten und darzustellen. Hierfür wurde zunächst mit dem vom Auftragnehmer entwickelten LUH-Bilanzmodell für das Untersuchungsgebiet des Steinhuder Meeres eine Bilanzierung der mittleren Nährstoffbelastung für den Zeitraum 2010 bis 2014 durchgeführt. Die hierbei erzielten Ergebnisse werden ausführlich in den Kap. 3.1 bis 3.4 vorgestellt.

Stickstoffeinträge im EZG des Steinhuder Meeres

Die mittleren Stickstoffemissionen aus dem EZG in das Steinhuder Meer betragen gemäß der Modellergebnisse etwa 54 t/a, wovon ca. 51 t/a (94 %) auf Belastungen aus diffusen Quellen zurückzuführen sind. Der Haupteintragspfad ist der Zwischenabfluss, über den N-Emissionen von fast 37 t/a erfolgen (Details hierzu in Kap. 3.1).

Der größte Anteil der N-Belastungen resultiert gemäß der Modellergebnisse aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben (fast 32 t/a, etwa 60 %). Weitere relevante N-Belastungen von über 13 t/a (über 24 % der gesamten N-Emissionen im EZG) sind aus dem TEZG Großenheidorngraben zu verzeichnen. Demnach resultieren über 80 % der N-Emissionen aus diesen beiden TEZG, die restlichen TEZG sind somit hinsichtlich der N-Belastung weitgehend unbedeutend (vgl. Kap. 3.2).

Phosphoreinträge im EZG des Steinhuder Meeres

Die mittleren Phosphoremissionen aus dem EZG in das Steinhuder Meer betragen gemäß der Modellergebnisse knapp 1.900 kg/a, wovon etwa 1.185 kg/a (ca. 63 %) auf Belastungen aus diffusen Quellen zurückzuführen sind. Im Gegensatz zu den Stickstoffemissionen sind die punktuellen P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres von Bedeutung: sie summieren sich zu fast 710 kg/a, was über 37 % der gesamten P-Einträge ausmacht. Zudem stellen sie mit dem Eintragspfad „urbane Einträge“, über den die Nährstoffeinträge von versiegelten Flächen über Kanalisationen abgebildet werden, den Haupteintragspfad im EZG (etwa 700 kg/a, 37 % der gesamten P-Emissionen im EZG des Steinhuder Meeres). Wichtigster diffuser P-Eintragspfad aus dem EZG ist die Erosion mit etwa 412 kg/a, gefolgt von P-Emissionen über den Grundwasserabfluss mit ca. 324 kg/a (Details hierzu in Kap. 3.3). Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass bei Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebietes (also inkl. des Steinhuder Meeres selbst) die P-Einträge über atmosphärische Deposition von enormer Bedeutung sind. Aufgrund der sehr großen Wasserfläche des Steinhuder Meeres summieren sie sich auf etwa 500 kg/a und stellen somit den zweitwichtigsten P-Eintragspfad dar.

Der größte Anteil der P-Belastungen resultiert gemäß der Modellergebnisse aus dem TEZG Winzlarer Grenzgraben (etwa 686 kg/a, über 46 % der diffusen und gut 36 % der gesamten P-Emissionen). In diesem TEZG dominieren mit 550 kg/a und einem Anteil von gut 80 % eindeutig die diffusen P-Emissionen. Der wichtigste Eintragspfad im TEZG Winzlarer Grenzgraben ist die Erosion mit über 370 kg/a und somit etwa 54 % der gesamten P-Emissionen. Weitere relevante P-Belastungen von etwa 661 kg/a sind aus dem TEZG Großenheidorngraben zu verzeichnen. Anders als im TEZG Winzlarer Grenzgraben sind sie jedoch größtenteils auf punktuelle P-Emissionen über den Pfad „urbane Einträge“ (Kanalisationen) zu-

rückzuführen; sie wurden auf 414 kg/a bilanziert, was fast 63 % der gesamten P-Emissionen in diesem TEZG entspricht (vgl. Kap. 3.4).

Weitere in der Summe relevante diffuse P-Emissionen sind aus dem TEZG Bannseegraben, weitere relevante punktuelle P-Einträge sind aus dem TEZG Mardorfer Dorfgraben zu verzeichnen.

Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Steinhuder Meeres

Unter Verwendung der räumlich hoch aufgelösten Modellergebnisse sowie unter Anwendung der entwickelten Bewertungsgrundlage (Methodik zur Ausweisung von Zielkulissen, vgl. Kap. 2.6) wurden abschließend Vorschläge für Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Steinhuder Meeres unterbreitet (Kap. 4). Dies erfolgt jeweils separat für die N- bzw. P-Belastungssituation. Weiterhin wurden jeweils die Einflüsse der gerechneten Szenarien (vgl. Kap. 2.3) auf die vorgeschlagenen Zielkulissen vorgestellt (vgl. Kap. 4.1 und Kap. 4.3). Als räumliche Auflösung für die vorgeschlagenen Zielkulissen fungierten die hydrologischen TEZG.

Weiterhin wurden für die genannten EZG wiederum auf Ebene der hydrologischen TEZG jeweils die dominierenden Eintragspfade vorgestellt. Diese Angabe ermöglicht es zielgerichtete Maßnahmen zur effektiven Verminderung der Nährstoffbelastung abzuleiten (vgl. Kap. 4.2 und Kap. 4.4).

Die wesentlichen **Ergebnisse für Ziel- und Maßnahmenkulissen** für das EZG des Steinhuder Meeres auf Ebene der TEZG lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Die **diffuse N-Belastung** ist im EZG des Steinhuder Meeres für zwei TEZG (Winzlarer Grenzgraben und Großenheidorngraben, etwa 50 % der Einzugsgebietsfläche) zumindest erhöht, für das TEZG Winzlarer Grenzgraben sogar hoch (vgl. Kap. 4.1). Die Ziel- und Maßnahmenkulisse sollte daher mind. diese beiden TEZG umfassen. Dominierender N-Eintragspfad ist in allen TEZG der Zwischenabfluss, daneben sind Grundwasser- und Drainageabfluss bedeutsam (vgl. Kap. 4.2). Die **punktuelle N-Belastung** ist im EZG des Steinhuder Meeres weitgehend unbedeutend.

Die **diffuse P-Belastung** ist im EZG des Steinhuder Meeres deutlich höher als die N-Belastung. Für die TEZG Bannseegraben und Großenheidorngraben wurde eine mäßige P-Belastung ermittelt, für die TEZG Winzlarer Grenzgraben und Totes Moor (oh und uh Vogeldamm) sogar eine hohe diffuse P-Belastung (diese fünf TEZG machen insgesamt über 80 % der Einzugsgebietsfläche aus). Lediglich die TEZG Mardorfer Dorfgraben und Rand-EZG weisen demnach eine geringe bzw. sogar sehr geringe P-Belastung auf (vgl. Kap. 4.3). Dominierender diffuser P-Eintragspfad ist im TEZG Winzlarer Grenzgraben die Erosion, in den TEZG des Toten Moores Zwischenabfluss und in den restlichen TEZG der Grundwasserabfluss (vgl. Kap. 4.4). Anders als bei der N-Belastung ist die **punktuelle P-Belastung** im EZG von großer Bedeutung. Dies gilt insbesondere für das TEZG Großenheidorngraben (hohe punktuelle P-Belastung), aber auch für das TEZG Mardorfer Dorfgraben (mäßige punktuelle P-Belastung). Als Folge davon führt die Bewertung der **gesamten P-Belastung** dazu, dass nun - abgesehen vom kleinen TEZG Rand-EZG - das restliche EZG des Steinhuder Meeres eine zumindest erhöhte gesamte P-Belastung aufweist. Zwei TEZG - Winzlarer Grenzgraben und Großenheidorngraben - sind demnach sehr hoch belastet, die TEZG Mardorfer Dorfgraben sowie die beiden im Toten Moor sind hoch und das TEZG Bannseegraben

mäßig belastet. Die Ziel- und Maßnahmenkulisse sollte daher das gesamte EZG mit Ausnahme des kleinen TEZG Rand-EZG umfassen.

Szenarienberechnungen für das EZG des Steinhuder Meeres

Die durchgeführten Szenarienberechnungen zeigen, dass bei zunehmenden Abflüssen (Szenarien 1 und 2) mit einer deutlichen Zunahme der Nährstoffbelastung für das Steinhuder Meer zu rechnen ist (vgl. Kap. 3.1.1 bis 3.1.2 und Kap. 3.3.1 bis 3.3.2). Diese Zunahme wirkt sich auch relevant auf die Ausdehnung der Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Steinhuder Meeres aus (die entsprechend zunehmen, vgl. Kap. 4.1.1 und Kap. 4.3.1). Bei den Szenarien 3 und 4 mit geringeren Abflüssen nehmen die Nährstoffemissionen im EZG des Steinhuder Meeres erheblich ab (vgl. Kap. 3.1.3 bis 3.1.4 und Kap. 3.3.3 bis 3.3.4); diese Abnahme wirkt sich aber nicht relevant auf die Ausdehnung der Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Steinhuder Meeres aus (vgl. Kap. 4.1.1 und Kap. 4.3.1).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse dieses Vorhabens, dass das verwendete Bilanzmodell es erlaubt, räumlich differenzierte Aussagen über die Belastungssituation im Untersuchungsgebiet zu treffen. Es können insbesondere die Gebiete, von denen besonders hohe Belastungen ausgehen, mit ihren verantwortlichen Eintragspfaden identifiziert werden.

Kombiniert mit der Methodik zur Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen für Oberflächengewässer steht damit ein hilfreiches Instrumentarium für die Umsetzung der Anforderungen der WRRL zur Verfügung, dass in dieser Form auch in anderen Gebieten bereits erfolgreich eingesetzt wurde und auch künftig eingesetzt werden kann.

6 Literatur

- BEHRENDT, H. & D. OPITZ (1999): Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. *Hydrobiologia* Vol. 410: 111-122.
- FOGELBERG, S. (2003): Modelling nitrogen retention at the catchment scale. Comparison between HBV-N and MONERIS. Uppsala Technical University. Master thesis.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flußeinzugsgebiet der Elbe. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 12, Jülich.
- LITTLEWOOD, I.G. (1995): Hydrological regimes, sampling strategies and assessment of errors in mass load estimates for United Kingdom rivers. *Environment International* 21, 2.
- NLWK (2004): Bestandsaufnahme zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Oberflächengewässer, Bearbeitungsgebiet Weser/Meerbach.
- NLWKN (2010): Wasserrahmenrichtlinie Band 3, Leitfaden Maßnahmenplanung, Oberflächengewässer, Teil B: Stillgewässer, Anhang II - Seeberichte, Steinhuder Meer.
- OSPAR (1996): (OSLO-PARIS-KOMMISSION): Principles of the comprehensive study of riverine inputs and direct discharges (RID).
- PANCKOW, N. (2008): Entscheidungsunterstützungssystem im Flussgebietsmanagement: Emissionsmodellierung signifikanter Nährstoffeinträge aus der Fläche. Dissertation an der Fakultät für Architektur und Landschaft der Leibniz Universität Hannover.
- RÖDER, M. (1997): Erfassung und Bewertung anthropogen bedingter Änderungen des Landschaftswasserhaushaltes - dargestellt am Beispiel der Westlausitz. Dissertation, TU Dresden.
- SCHEER, C. & PANCKOW, N. (2012): Weiterführende Modelloptimierung zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge als Instrument zur Umsetzung der EG-WRRL - Anpassung für Niedersachsen und Implementierung von Bewirtschaftungsmaßnahmen. F+E-Vorhaben im Auftrag des NLWKN. Nicht veröffentlicht.
- SCHEER, C., PANCKOW, N. & KUNST, S. (2007): Entwicklung eines optimierten Bilanzierungsmodells zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge als Instrument zur Umsetzung der EG-WRRL. Abschlussbericht zum gleichnamigen F+E-Vorhaben im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums. Institut für Freiraumentwicklung, Leibniz Universität Hannover. Nicht veröffentlicht.
- ULV - UNTERHALTUNGS- UND LANDSCHAFTSPFLEGEVERBAND „MEERBACH UND FÜHRSE“ (2010): Einzugsgebiet des Steinhuder Meeres. Unveröffentlicht.
- VENOHR, M., I. DONOHUE, S. FOGELBERG, B. ARHEIMER, K. IRVINE und H. BEHRENDT (2005): Nitrogen retention in a river system and the effects of river morphology and lakes. *Water Science & Technology* Vol. 51 (No. 3-4): 19-29.

