

Schlussbericht

Studie zur Ermittlung der Eintragspfade und -mengen von Phosphat aus der Landwirtschaft in dem Einzugsgebiet Theel und Ill

Beauftragt von:

Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz, Saarland

Laufzeit:

Februar 2020 bis Februar 2021

Monat der Erstellung:

März 2021 (Abgenommen am 09. Dezember 2021)

Erarbeitet von:

Institut für ZukunftsEnergie- und StoffstromSysteme (IZES gGmbH)

Verfasst von:

Anna Maria Bur

Katharina Laub

Dr. Joachim Pertagnol

Bernhard Wern

Dr. Peter Seel (Kapitel 3.1, 3.4 und 3.5)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung.....	2
2 Rahmenbedingungen diffuser Eintragsquellen im Einzugsgebiet Theel und Ill.....	4
2.1 Das Einzugsgebiet der Theel.....	4
2.1.1 Gewässer	6
2.1.2 Geologische Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet	8
2.2 Landwirtschaft im Einzugsgebiet von Theel und Ill	9
2.2.1 Darstellung der Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung	9
2.2.2 Anthropogene Einflüsse auf das Einzugsgebiet.....	11
2.2.3 Schutzgebiete und Ill- Renaturierung.....	13
2.3 Mögliche Phosphoreinträge aus diffusen landwirtschaftlichen Quellen	14
3 Ergebnisse bisher erstellter Studien.....	17
3.1 Detaillierte Betrachtung der Studie von Schmitt et al. (2018).....	17
3.1.1 Ausschließliche Betrachtung von Gesamtposphor falscher Ansatz	17
3.1.2 Ausschließliche Betrachtung der P-Jahresfrachten ökologisch nicht relevant	23
3.1.3 Berechnung der landwirtschaftlichen Einträge beruht auf unrealistischen Annahmen	25
3.1.4 Gesamtbewertung zur Bilanzierung der Phosphoreinträge von Schmitt et al. (2018)	28
3.2 Landwirtschaftlich bedingte Ursachen.....	29
3.2.1 Bodengehaltsklasse	29
3.2.2 Tierhaltung.....	31
3.2.3 Phosphat-Umsatz der (Kultur)pflanzen	33
3.2.4 Erosionsschutz	34
3.3 Landwirtschaftliche Lösungen und deren Folgen für die Phosphoreinträge	43
3.3.1 Rechtsrahmen: Düngung.....	43
3.3.2 Ökologischer Landbau	46
3.4 Abwasserentsorgung als Ursache für die Eutrophierung von Theel und Ill.....	49
3.4.1 Vergleich von Gewässerabschnitten mit Kläranlagen oberhalb der Messstelle mit Gewässerabschnitten ohne Kläranlagen.....	50
3.4.2 Abhängigkeit der Gewässerkonzentration von den Kläranlagenkonzentrationen	53
3.4.3 Anteil von ortho-Phosphat an Gesamtposphor und Jahresverlauf	56
3.4.4 Fracht- und Konzentrationsauswertungen der Daten der UdS.....	58

3.4.5	Mischwasserentlastung und Landwirtschaft als Quellen für Phosphor- Zusatzeinträge.....	66
3.5	Fazit und Empfehlungen.....	70
4	Literaturverzeichnis.....	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verortung des Einzugsgebietes Theel und Ill im Saarland	4
Abbildung 2: Das Einzugsgebiet der Theel mit Teileinzugsgebieten (Daten: LVGL)	5
Abbildung 3: Gewässerübersichtskarte mit Messstellen und farbliche Kennzeichnung des ökologischen Zustandes (2013-2018).....	7
Abbildung 4: Leitböden im Einzugsgebiet von Theel und Ill	9
Abbildung 5: Flächennutzung im Einzugsgebiet	12
Abbildung 6: Schutzgebiete im Einzugsgebiet Theel und Ill (Izes gGmbH 2020)	13
Abbildung 7: Überblick über die Hypothesen zu den Phosphoreinträgen ins Gewässer	14
Abbildung 8: Anteil der ortho-Phosphat-P-Konzentration an der Gesamt-P-Konzentration; Datenbasis: 1.946 Jahresmittelwertepaare (2010 - 2018) von 313 Messstellen mit 28.057 Einzelproben (Quelle: HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE).....	19
Abbildung 9: Phosphor in deutschen Ackerböden; Daten aus GEMAS-Projekt, Geologisches Jahrbuch B 102 von 2014, Dr. Birke, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.....	21
Abbildung 10: Jahresverlauf der Konzentrationen und Frachten von Gesamt-Phosphor und der Abflüsse als Abweichung von den Jahresmedianen von Main, Fulda, Werra, Lahn (Oberbiel), Nidda und Kinzig der Jahre 2010-2019, (Quelle HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE)	24
Abbildung 11 Viehdichte in den Gemeinden im Einzugsgebiet Theel und Ill (auf Basis Agraratlas NRW).....	31
<i>Abbildung 12 CCW 2018 Erosionsklassen im Einzugsgebiet von Theel und Ill (IZES, 2020</i>	<i>37</i>
<i>Abbildung 13 Verteilung LNF 2010 und 2016 im Einzugsgebiet Theel und Ill (IZES 2020)</i>	<i>39</i>
<i>Abbildung 14 Angebaute Kulturen im Einzugsgebiet Theel und Ill für das Jahr 2019 (IZES)....</i>	<i>40</i>
Abbildung 15 Ökolandbau in % der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Gemeinden im Einzugsgebiet Theel und Ill	47
Abbildung 16: ortho-Phosphat-P-Konzentrationen an repräsentativen Messstellen differenziert nach Kläranlagen-Einfluss; Durchschnitt aus maximal 3 Messjahren mit jeweils mindestens 12 Stichproben von 2007-2017; Quelle: HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE.....	51
Abbildung 17: Karte des Einzugsgebietes von Theel und Ill mit Gewässermessstellen und Kläranlagen (Schmitt et al. 2018)	51
Abbildung 18: Abhängigkeiten zwischen Gewässerkonzentrationen und Ablaufkonzentrationen der entsprechenden Kläranlagen an hessischen Flüssen (Quelle HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE)	54
Abbildung 19: Abhängigkeit zwischen ortho-P-Konzentrationen an der Theel und den Ablaufkonzentrationen der entsprechenden Kläranlagen der Jahre 2011 bis 2019	55

Abbildung 20: Abhängigkeit zwischen ortho-P-Konzentrationen an der III und den Ablaufkonzentrationen der entsprechenden Kläranlagen der Jahre 2011 bis 2019 ..	55
Abbildung 21: Prozentualer Anteil von ortho-Phosphat-Phosphor an Gesamt-Phosphor im Vergleich zum Abfluss an der Theel, Knorscheid.....	57
Abbildung 22: Konzentration von Gesamtphosphor als Tagesmittelwerte aus den online-Messungen der UdS an der Theel im Vergleich zum Abfluss der Theel	58
Abbildung 23: ortho-Phosphat-P-Konzentrationen im Vergleich zum Abfluss an der III (BI1), Daten geordnet nach Höhe des Abflusses, Abfluss bei 10 m ³ /s gekappt	61
Abbildung 24: Prozentuale Änderungen von mittlerer Jahreskonzentration von Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat-Phosphor in der III, Änderung der entsprechenden Jahresfrachten und Änderung des prozentualen Anteils der Jahres-Kläranlagenfracht von Gesamt-Phosphor an der Jahresfracht in der III, wenn bei der Berechnung 10 % bzw. 25 % der Messtage mit dem höchsten Abfluss der III nicht berücksichtigt werden.	64
Abbildung 25: Abhängigkeit der mittleren Jahreskonzentrationen von ortho-Phosphat-P und Gesamtphosphor vom Jahresmittelwert des Abflusses an der Lahn bei Oberbiel; EZG ca. 3400 km ² (Quelle HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE).....	65
Abbildung 26: Gesamtphosphor-Zulaufkonzentrationen in die Kläranlage Wustweiler in Abhängigkeit von der Abwassermenge vom 1.5.2017-30.4.2018 (Excel KA 2017-2019 Interpol komplett)	68
Abbildung 27: Beispielhafte Jahresverteilung der Regenerosivität, aus „Bodenerosion durch Wasser“, Landwirtschaftskammer NRW, 2007	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Daten und deren Herkunft	3
Tabelle 2: Auswahl an Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässergüte	3
Tabelle 3: Flächenverteilung in den Gewässereinzugsgebieten	6
Tabelle 4: Ökologischer Zustand der Gewässer im Vergleich 2012 und 2013-2018	7
Tabelle 5: Gemeindeanteile im Einzugsgebiet von Theel und Ill	11
Tabelle 6: Flächennutzung im Einzugsgebiet in Hektar.	12
<i>Tabelle 7: Bodengehaltsklassen nach VDLUFA (2018)</i>	<i>15</i>
Tabelle 8: Durchschnittliche Flächeneintragsraten aus diffusen Quellen Im Einzugsgebiet von Ill und Theel nach (Kubiniok und Honecker 2015), zitiert und verwendet von (Schmitt et al. 2018)	26
<i>Tabelle 9 Einflussfaktoren erosionsgefährdete Böden (BLV, 2006)</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 10 Übersicht Landnutzung 2016 und 2019 (auf Basis LALDaten).....</i>	<i>40</i>
Tabelle 11: Definition Stark- und Dauerregen nach Deutschem Wetterdienst:.....	42
Tabelle 12: Datenreihen	49
Tabelle 13: Konzentrations-Mittelwerte aus den Messjahren 2014 und 2017, Daten LUA	52
Tabelle 14: Konzentrations-Mittelwerte aus kontinuierlichen Messungen mit mobilen Messstationen, Daten UdS	53
Tabelle 15: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen in der Theel, Knorscheid; Daten LUA; Mittelwert aus kontinuierlichen Messungen vom 9.4.18-8.10.19; Daten UdS	56
Tabelle 16: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen in der Ill, Bubach; Daten LUA; Mittelwert aus kontinuierlichen Messungen vom 1.7.18-30.10.19; Daten UdS.....	56
Tabelle 17: mittlere Konzentrationen und Frachten an der Theel, Knorscheid	60
Tabelle 18: mittlere Konzentrationen und Frachten an der Ill, Bubach.....	63
Tabelle 19: Verteilung der 20 Messtage mit den höchsten Gesamtphosphorfrachten auf das Sommer- und Winterhalbjahr.....	68

Verzeichnis Info-Box

Info-Box 1: Bodenfruchtbarkeit (BLV 2006)	8
Info-Box 2: Phosphor in der Landwirtschaft (Schnug et al. 2015 und Schnug et al. 2019)	10
Info-Box 3: Ausweisung Phosphorgebiete im Rahmen der Novellierung der DüV 2020 (Hüther 2020).....	45
Info-Box 4: Ökologischer Landbau	47

Abkürzungsverzeichnis

AUKM- Agrarumwelt und Klimamaßnahmen

AVV - Abfallverzeichnis-Verordnung

BI1 – Berechnungsperiode III

BT1 – Berechnungsperiode Theel

BÜK - Bodenübersichtskarte

DüV – Düngeverordnung

EVS - Entsorgungsverbands Saar

GAP - Gemeinsame Agrarpolitik

GVE – Großvieheinheit

HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

KBU - Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt

LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

LFN – Landwirtschaftliche Nutzfläche

LUA – Landesamt für Umwelt und Arbeitsschutz

MWE - Mischwasserentlastungen

OGewV - Oberflächengewässerverordnung

OWK – Oberflächenwasserkörper Uds - Universität des Saarlande

VDLUFA – Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalt

UdS - Universität des Saarlandes

WRRL -Wasserrahmenrichtlinie

Zusammenfassung

Die Studie soll auf Basis der Arbeit von Schmitt et al. (2018) sowie unter Einbeziehung weiterer vorhandener Messergebnisse und Daten die Eintragspfade und -mengen von Gesamt- und ortho-Phosphat in die Fließgewässer im Einzugsgebiet von Theel und Ill untersuchen. Die Eintragsbilanzierung in der Studie von Schmitt et al. (2018) enthält jedoch mehrere unzutreffende Ansätze, sodass sie hinsichtlich der Bedeutung der Landwirtschaft für die Gewässereutrophierung von Theel und Ill nicht verwertbar ist. Dies liegt insbesondere an

- der Vorgabe des Auftraggebers, ausschließlich den Parameter Gesamtposphor und nicht das bioverfügbare ortho-Phosphat zu betrachten,
- der Vorgabe, die von Kubiniok und Honecker (2015) kalkulierten Einträge aus der Landwirtschaft zu verwenden,
- dem Ansatz, die Phosphorjahresfrachten und nicht die Beiträge zu den allein ökologisch relevanten Gewässerkonzentrationen zu kalkulieren sowie
- bei der Frachtkalkulation eine Retention von 50 % im Gewässer zugrunde zu legen.

Dies sind Vorgehensweisen, die in der Summe nicht nur zu quantitativ, sondern auch zu qualitativ falschen Aussagen führen und die den Erkenntnissen von vergleichbaren Fließgewässern in Hessen widersprechen.

Die Messdaten des LUA (Landesamt für Umwelt und Arbeitsschutz) und der UdS (Universität des Saarlandes) zeigen dagegen in Übereinstimmung mit in Hessen und Tschechien aus umfangreichen Messdaten und Auswertungen gewonnenen Erkenntnissen, dass die hohen mittleren ortho-Phosphat-Konzentrationen und damit die biologischen Eutrophierungseffekte weitgehend auf die Einleitungen der Kläranlagen zurückgeführt werden können. Verbesserungen der Ablaufkonzentration an einzelnen Kläranlagen in den vergangenen Jahren haben bereits zu Verbesserungen bei den mittleren Gewässerkonzentrationen geführt. Niederschlagsabhängige Phosphoreinträge wie aus Mischwasserentlastungen oder aus diffusen Quellen haben schon deshalb eine geringe Relevanz, weil sie nur an vergleichsweise wenigen Tagen im Jahr auftreten, dann aber aufgrund hoher Abflüsse im Gewässer zwar zu hohen Phosphorfrachten führen, während im Mittel die Konzentrationen sogar niedriger sind als an Trockentagen, wenn die Abwässer der Kläranlagen nur wenig verdünnt werden. Hinsichtlich der Schadstofffrachten, nicht nur von Phosphor, sind die Mischwasserentlastungen im Einzugsgebiet eine wichtige Quelle. Dabei muss auch der ungewöhnlich hohe Fremdwassereintrag in die Abwasserkanäle berücksichtigt werden.

Die einzige Möglichkeit, die ortho-Phosphat-Konzentrationen an Theel und Ill als Beitrag zur Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie deutlich zu reduzieren ist die technische Optimierung der Phosphorfällung an den Kläranlagen, i. d. R. in Verbindung mit einem erhöhten Einsatz an Fällmitteln. Dies ist auch gleichzeitig die schnellste und die kosteneffizienteste Maßnahme hinsichtlich des Phosphors und sollte Vorrang vor Maßnahmen an Mischwasserbelastungen und bezüglich Fremdwasser haben.

Die in der Studie beschriebenen landwirtschaftlichen Maßnahmen, wie beispielsweise Erosionsschutz, Abstandsflächen zu Gewässern, generelle Begrenzung der P-Düngung oder Förderung des Ökolandbaues, wurden in dem Einzugsgebiet von Theel und Ill schon zahlreich ergriffen und sollten aufgrund der vielfältigen positiven Umweltwirkungen weiter verfolgt werden. Die detaillierte Auswertung der umfangreichen Messwerte zeigt jedoch, dass durch die landwirtschaftlichen Maßnahmen keine nennenswerte Verbesserung in Hinblick auf die zu hohen ortho-Phosphatkonzentrationen erreicht werden kann.

1 Einleitung

Für das Einzugsgebiet Theel und Ill im Saarland existieren bereits verschiedene Studien mit Maßnahmenvorschlägen zur Verbesserung der Wasserqualität gemäß der Wasserrahmenrichtlinie z.B. Schmitt et al. 2018 und Kubiniok & Honecker 2015. Bei allen Studien stehen hauptsächlich drei Verursacher im Fokus: Einträge durch 1. Kläranlagen, 2. Mischwasser- und Entlastungsbauwerke und 3. diffuse Quellen aus der Landwirtschaft. Für alle drei Verursacher wurden in diesen Studien Möglichkeiten eruiert, die Einträge von Phosphor und Nitrat zu verringern.

Die vorliegende Studie befasst sich ausschließlich mit dem Eintrag von Phosphor. Dazu wurden einige der bisher erstellten Studien zunächst begutachtet, um Einschätzungen von Experten zur Problemsituation aufzuzeigen und deren Maßnahmenkataloge zu evaluieren (Schmitt et al. 2018 und Kubiniok & Honecker 2015). Diese beiden Studien stehen im engen Zusammenhang, da die Studie von Schmitt et al. (2018) auf die Daten von Kubiniok/ Honecker (2015) zurückgreift. Neben der Aufstellung von Hypothesen zu möglicher Phosphoreintragswege ins Gewässer wurden zusätzlich weitere Daten des Landesamtes für Arbeit- und Umweltschutz, der Universität des Saarlandes sowie des Entsorgungsverbands Saar (EVS) ausgewertet, um die Ursachen der Phosphoreinträge in die Fließgewässer zu verifizieren.

Die Studie gliedert sich in drei Hauptkapitel: Einleitend wird die Phosphorproblematik in der Landwirtschaft im Allgemeinen und mit Bezug auf die Region Theel und Ill beschrieben (Kapitel 2). Aus dieser Beschreibung heraus werden Hypothesen über mögliche diffuse Eintragsquellen von Phosphor in die Gewässer erstellt. Zudem werden die bereits erstellten Studien begutachtet und deren Zielsetzung, Ergebnisse und Empfehlungen bewertet (Kapitel 3). Daran anschließend werden die Hypothesen mittels Messdaten geprüft. Insbesondere im Bezug zur Region Theel und Ill, um Einschätzung über die tatsächlichen Eintragsmöglichkeit zu geben (Kapitel 3.4). Daran anschließend werden die Ergebnisse diskutiert und in einem Workshop¹ mit dem entsprechenden Personenkreis evaluiert. Die Resultate dieser Austausch fließen ebenso ein und sind Bestandteil zum Gesamtausblick (Fazit: Kapitel 3.5).

Methodisch basiert die vorliegende Studie auf einer erweiterten Analyse, die sich mit der Studie von Schmitt et al. (2018) befasst. Dabei werden aktualisierte regionale Daten ausgewertet (soweit vorhanden) und agrarwissenschaftliche Literatur zur Bewertung hinzugezogen. Des Weiteren werden Hinweise der Wasser- und Agrarwirtschaft aufgenommen und zur Verifizierung der Ergebnisse genutzt. Ebenfalls werden weitere Studien hinzugezogen, die sich mit einer ähnlichen Problematik befassen. Die Datenparameter, die von Schmitt et al. (2018) genutzt wurden, werden nach Möglichkeit aktualisiert und in Abhängigkeit zu aktuellen Entwicklungen im Agrarsektor betrachtet. Zur besseren Visualisierung wurden Karten mit ARGIS erstellt, um ortsfremden Lesern eine Möglichkeit zu geben, das Einzugsgebiet zu bewerten.

Die verwendete Literatur umfasst Fachbeiträge, wissenschaftliche Artikel und allgemeine Studien zu Phosphoreinträgen, Empfehlungen der landwirtschaftliche Beratung als auch

¹ Aufgrund der Covid Pandemi konnte nur ein ein Expertenworkshop am 20.10.2020 durchgeführt.

Rechtstexte, die in diesem Zusammenhang von Bedeutung sind. Die Daten des Projektes stammen aus mehreren Quellen. In Tabelle 1 werden die genutzten Daten zusammengestellt. Ein herzliches Dankeschön möchten die Studienverfasser an dieser Stelle an alle Institutionen aussprechen, die diese bereitgestellt und uns bezüglich der Nutzung beraten haben.

Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Daten und deren Herkunft

Datenquelle	Daten
Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz (LUA)	Erhobene Daten im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie (2010-2019)
	Niederschläge, Pegelstände, Abflüsse (2010-2018)
Landesamt für Vermessung, Geoinformation und Landentwicklung (LVGL)	GIS Daten: Bodenübersichtskarte (BÜK), Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz des Saarlandes	Schlagdaten (anonymisiert) (2010-2019)
Entsorgungszweckverband Saar (EVS)	Monatswerte P-Frachten und gemittelte Gesamtposphorwerte (2017, 2018, 2019)
Universität des Saarlandes (UdS)	Tagesfrachten und Konzentrationen Ill, Theel und Alsbach (2018, 2019)
NRW Agraratlas	Viehbesatz, Ökologischer Landbau (2010, 2016)

Das Problem des Phosphoreintrages in die Gewässer Theel und Ill ist bereits des Längeren bekannt (vgl. Kubiniok 1998, 1999; Kubiniok/ Weicken 1989; Kubiniok/ Barth 1996; Barth/ Kubiniok 2003; Kubiniok/ Honecker 2005, 2015; Schmitt et al. 2018). Auch wurden bisher verschiedene Maßnahmen vorgeschlagen, um die Gewässergüte zu verbessern. Dabei wurden Maßnahmen für die Land- und Wasserwirtschaft in Modellen betrachtet und bewertet (eine Auswahl, der in Schmitt et al. 2018 vorgeschlagenen Maßnahmen siehe Tabelle 2):

Tabelle 2: Auswahl an Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässergüte

<u>Landwirtschaft</u>	<u>Wasserwirtschaft</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Grünlandextensivierung • Ökologische Landwirtschaft • Gewässerschonender Biomasseanbau 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimiert P-Ablauf, betrieblich ohne bauliche Anpassung der Kläranlagen • Optimiert P-Ablauf, betrieblich mit bauliche Anpassung der Kläranlagen • Mischwasserentlastung: Bodenfilter im Bereich selektierter Entlastungspunkte

Gut abgestimmte Maßnahmen mit allen möglichen Verursachern (Land- und Wasserwirtschaft) des Phosphoreintrags sind für eine Verbesserung der Gewässer nötig, dabei müssen alle ein gemeinsames Ziel verfolgen. Dieses Ziel sollte die Verbesserung der Gewässergüte in Bezug auf Phosphor darstellen. Daher ist es für die IZES gGmbH wichtig, im Rahmen dieses Projektes alle Beteiligten zu informieren und mit ihnen gemeinsam Strategien zu entwickeln, wie eine Verbesserung gemäß Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen ist.

2 Rahmenbedingungen diffuser Eintragsquellen im Einzugsgebiet Theel und Ill

In diesem Kapitel wird zunächst ein Überblick über das Einzugsgebiet gegeben. Wichtige Informationen, geographische Besonderheiten und agrarwirtschaftliche Aspekte werden beschrieben. Somit wird ein Grundverständnis für den Leser geschaffen, um die komplexe Thematik der diffusen Gewässereintragsquellen besser verständlich zu machen.

Im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie werden Gesamtphosphat und ortho-Phosphat gemessen, auch partikelgebundenes Phosphor spielt in der Gewässerökologie eine Rolle. Zur Eutrophierung tragen ortho-Phosphat und partikelgebundener Phosphor, der zu ortho-Phosphat umgewandelt werden kann, bei (siehe Kapitel 3.1.1).

2.1 Das Einzugsgebiet der Theel

Im Zentrum des Saarlandes liegt das Einzugsgebiet der Theel (Abbildung 1). Zu diesem gehört ebenfalls das Einzugsgebiet der Ill (vgl. Klein et al. 2011). Insgesamt hat das Einzugsgebiet eine Größe von ungefähr 200 km². Geprägt ist es vor allem durch eine agrarwirtschaftliche Nutzung. Es ist zudem hervorzuheben, dass aufgrund einer dichten Besiedlung (ca. 400 Einwohner pro km²) die Region und somit die Gewässer durch Siedlungen geprägt sind. Einen starken industriellen Einfluss gibt es im Einzugsgebiet nicht. Daraus lässt sich schließen, dass Gewässereinträge hauptsächlich aus den Bereichen Siedlungs- und Landwirtschaft stammen (ebd.) und nur vereinzelt industriell sind.

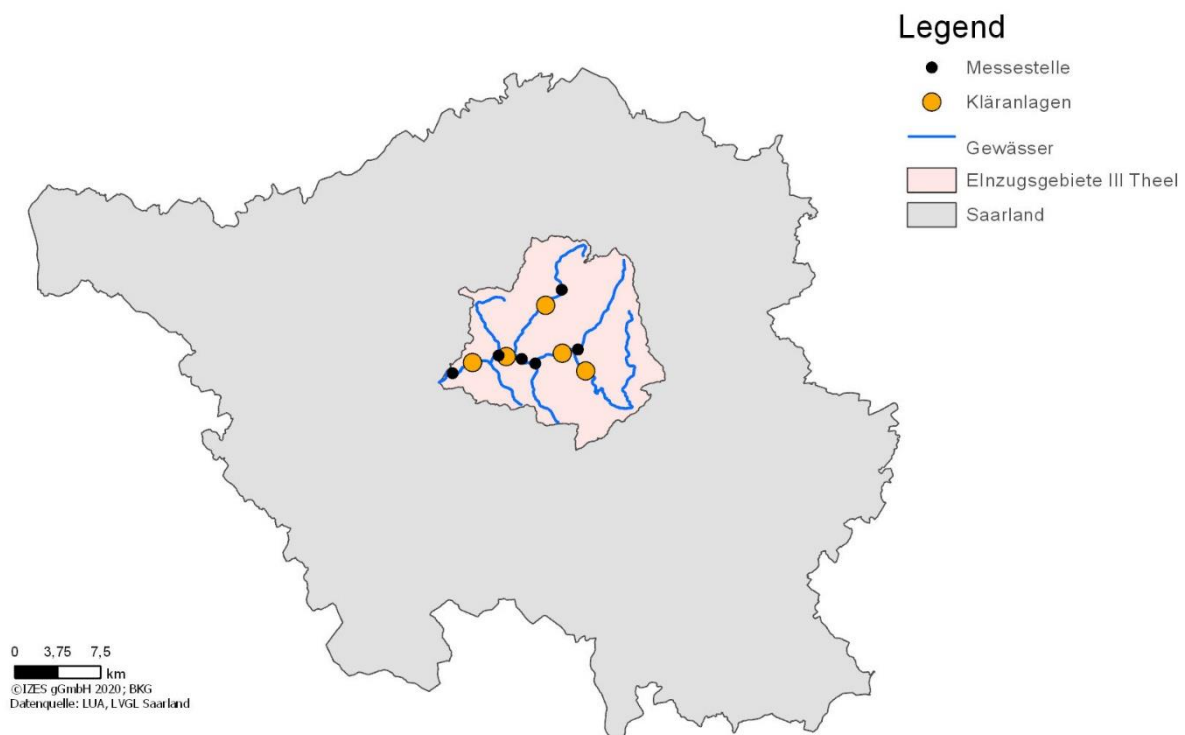


Abbildung 1: Verortung des Einzugsgebietes Theel und Ill im Saarland

Das Einzugsgebiet gliedert sich in mehrere Teileinzugsgebiete, welche sich entlang der Gewässer verteilen. In Abbildung 2 wird das Einzugsgebiet der Theel dargestellt. Das Einzugsgebiet umschließt die Einzugsgebiete der Gewässer: Alsbach, III, Lebacher Mandelbach, Saubach und Wiesbach. Aufgrund der Messstellen kann die Theel in einen Oberlauf (bis zur Messstelle in Sotzweiler) und einen Unterlauf (Messstelle Lebach Knorscheid) gegliedert werden. Diese Unterscheidung ist für die weiterführende Betrachtung relevant, da die Messstelle Theel Sotzweiler unbeeinflusst von Kläranlageneinträgen ist und Einträge ins Gewässer eher landwirtschaftlich sind. Die Messstelle an der III befindet sich nahe an der Theelmündung und ist durch die Einleitung von Klärwasser aus den Kläranlagen Wustweiler und Dirmingen stärker von der Siedlungswasserwirtschaft geprägt. Die Gewässer Alsbach, Saubach und Wiesbach und deren Einzugsgebiete haben keine Einträge durch Kläranlagen. Der Lebacher Mandelbach wird nicht vom Landesamt für Umwelt- und Arbeitssicherheit beprobt und ist daher nicht Bestandteil der in dieser Studie vorgenommenen Analyse.

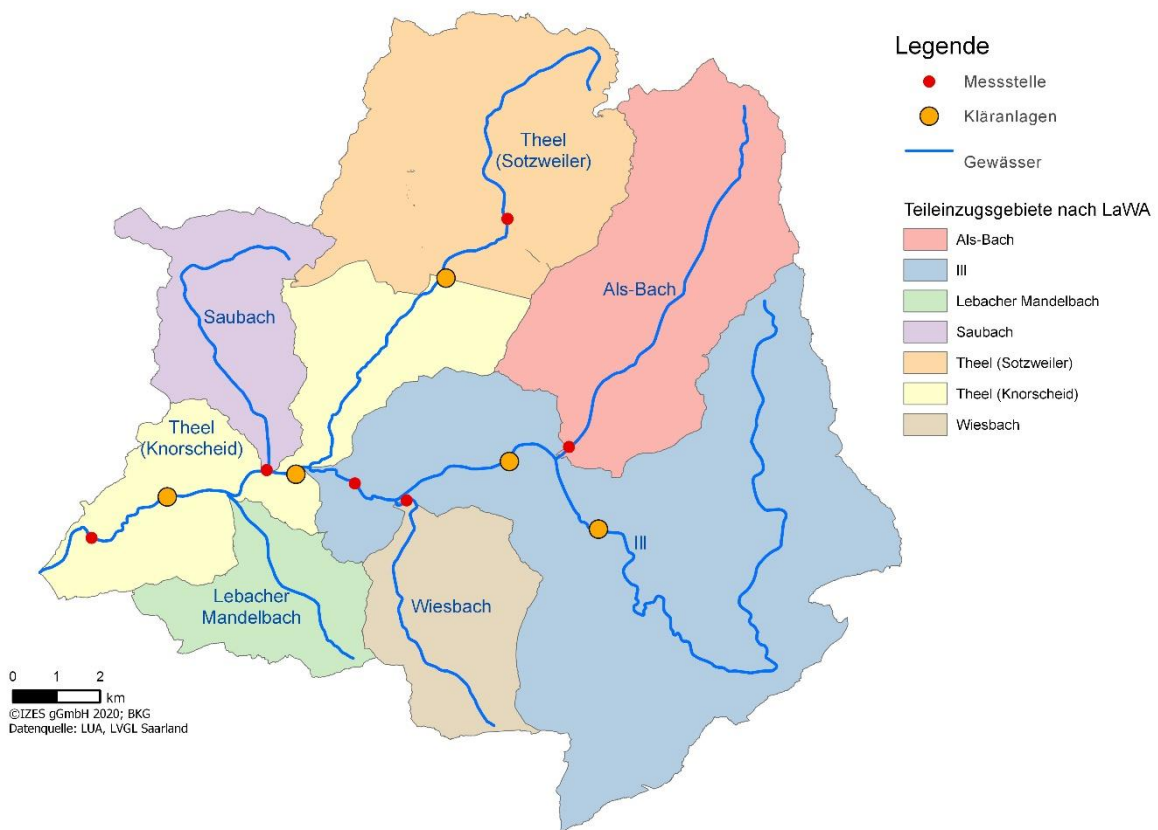


Abbildung 2: Das Einzugsgebiet der Theel mit Teileinzugsgebieten (Daten: LVGL)

Die Fläche im Einzugsgebiet der Theel ist größtenteils landwirtschaftlich geprägt. Am Oberlauf der Theel betragen Acker- und Grünlandflächen etwas mehr als 57 % und die Waldfläche rund 17 %. 23,6 % können dem Gebiet als Siedlungsfläche zugeordnet werden. Acker- und Grünlandflächen am Unterlauf der Theel betragen 46,5 %, Wald ca. 25 % und Siedlungsfläche 27,4 %. Das Einzugsgebiet des Saubachs umfasst fast 16 % Siedlungsfläche. Landwirtschaftlicher Nutzfläche können 67 % zugeordnet werden. Die Waldfläche beträgt ca.

15 %. Des Weiteren fließt der Saubach in die Theel (siehe Tabelle 3). Den höchsten Anteil an Siedlungsfläche hat das Einzugsgebiet der Ill (>29 %). Da entlang der Ill mehrere größere Ortschaften liegen. In diesem Einzugsgebiet betragen Acker- und Grünlandflächen 51,5 %. Die Waldfläche in diesem Einzugsgebiet umfasst 18 %. Weitere Bäche zur Ill sind Alsbach und Wiesbach (siehe Tabelle 3).

Insgesamt zeigt sich in Tabelle 3, dass für das gesamte Einzugsgebiet von Theel und Ill die Verteilung der Nutzungsformen ungefähr gleich ist: Im Mittel liegt die Siedlungsfläche bei 23 % und die landwirtschaftliche genutzte Fläche bei 28 % und die bewaldeten Fläche bei 18,5 %.

Tabelle 3: Flächenverteilung in den Gewässereinzugsgebieten

	Theel Knorscheid	Theel (Sotzweiler)	Saubach	Lebacher Mandelbach	Ill (Bubach)	Alsbach	Wiesbach
Siedlung (inkl. Verkehrsflächen)	23,6%	27,4%	15,9%	21,8%	29,6%	17,1%	28,3%
Wald	17,2%	25,1%	15,1%	13,3%	17,9%	25,2%	15,7%
Grünland	27,2%	30,6%	34,6%	28,2%	33,4%	28,7%	26,3%
Acker	30,0%	15,8%	32,3%	35,9%	18,1%	27,3%	28,2%
Unland	1,2%	0,7%	1,8%	0,4%	0,4%	1,0%	1,3%

2.1.1 Gewässer

Wie bereits einleitend zu diesem Kapitel erwähnt, umschließt das Einzugsgebiet der Theel das Einzugsgebiet der Ill. Die Theel ist ca. 25 km und mündet bei Körprich (Lebach) in die Prims. Die Ill ist ca. 30 km lang und somit das größte Fließgewässer im Einzugsgebiet und das größte Nebengewässer der Theel (Schmitt et al. 2018). Die größeren Bäche, die auch im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie beprobt werden, sind: Ill, Lebacher Mandelbach und Saubach. Die Ill ist das größte Nebengewässer der Theel. In sie fließen Alsbach und Wiesbach.

Abbildung 3 gibt einen Überblick über das Einzugsgebiet. Zu der kartographischen Einordnung der Gewässerlage ist die Einbindung der Bäche geographisch durch das Höhenprofil möglich. Neben den Gewässern sind die Stellen zur Messung des ökologischen Zustandes verortet. Farblich ist deren Zustand gekennzeichnet.

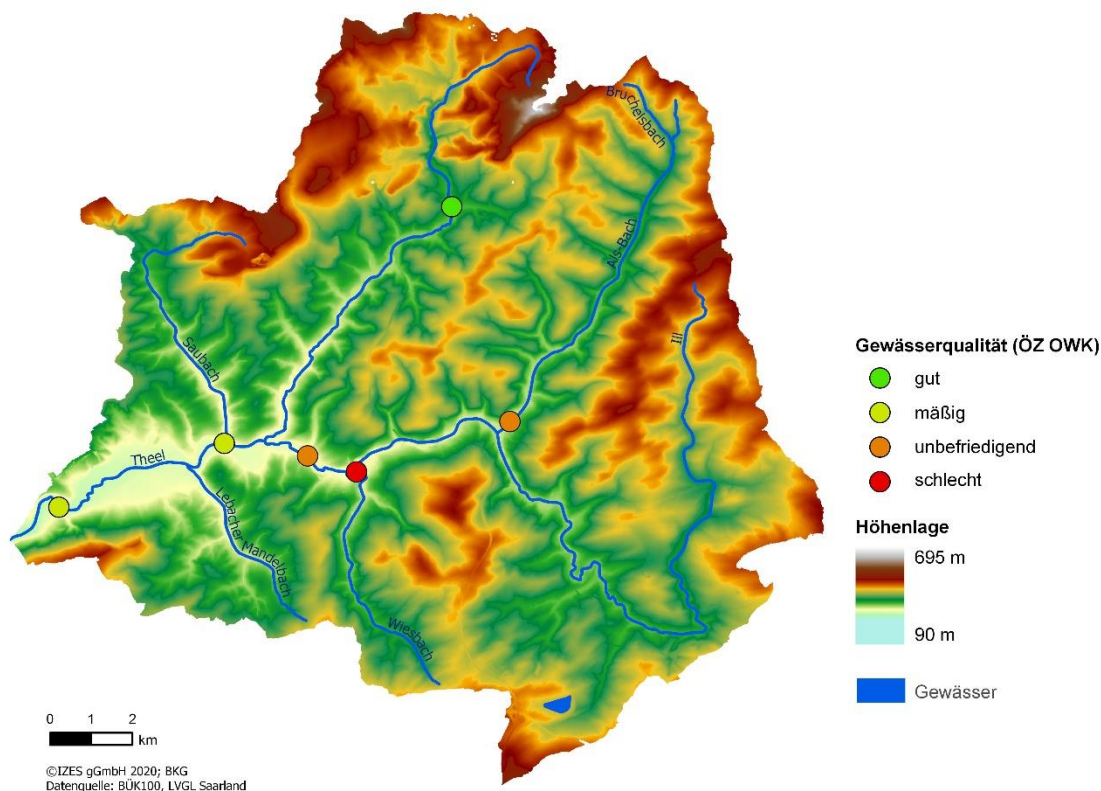


Abbildung 3: Gewässerübersichtskarte mit Messstellen und farbliche Kennzeichnung des ökologischen Zustandes (2013-2018)

Die ökologische Bewertung des saarländischen Oberflächenwasserkörper (OWK) basiert in der Studie von Schmitt et al. aus dem Jahr 2012 (vgl. Schmitt et al. 2018). Eine Anfrage beim Landesamt für Umwelt- und Arbeitsschutz (LUA) bestätigt, dass auch im Jahr 2020 diese Karte die einzig aktuell frei verfügbare Karte darstellt. Dennoch konnten auf Nachfrage beim LUA aktualisierte Werte zur Verfügung gestellt werden (siehe dazu Tabelle 4 und Abbildung 3).

In Tabelle 4 stellt einen allgemeinen Überblick über den Gewässerzustände dar. Insgesamt zeigt sich, dass prinzipiell eine Verbesserung stattgefunden hat. Da die untersuchten Parameter nicht nur auf den Eintrag an Phosphor und Phosphaten zurückzuführen sind, haben diese Werte für die vorliegende Studie nur eine geringe Aussagekraft, da die Zuordnung im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) neben Phosphor auch eine Vielzahl anderer Parameter umfasst.

Tabelle 4: Ökologischer Zustand der Gewässer im Vergleich 2012 und 2013-2018

Hauptgewässer	Zeitraum	ÖZ OWK	Zeitraum	ÖZ OWK
Theel: Knorscheid	2012	unbefriedigend	2013-2018	mäßig
Saubach	2012	schlecht	2013-2018	mäßig
Theel: Sotzweiler	2012	mäßig	2013-2018	gut
Ill: Bubach	2012	schlecht	2013-2018	unbefriedigend
Wiesbach	2012	schlecht	2013-2018	schlecht
Alsbach	2012	schlecht	2013-2018	unbefriedigend

2.1.2 Geologische Rahmenbedingungen im Einzugsgebiet

Die verschiedenen Bodentypen beschreiben die Summe der wichtigen Standorteigenschaften und der Entwicklung der Böden auf dem anstehenden Gestein. Je nach Gestein haben sich verschiedene Bodenarten (Schluff, Ton und Lehm) entwickelt, die wichtig zur Bestimmung der Nährstoffverfügbarkeit und der Wasserspeicherkapazität sind. Die exakte Beschreibung der Bodenart ist neben dem Bodentypus bedeutend für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit und die daraus abgeleitete landwirtschaftliche Bewirtschaftung (vgl. Info-Box 1).

Die Fruchtbarkeit eines Bodens ist von der jeweiligen Beschaffenheit abhängig. Die natürliche Fruchtbarkeit des Bodens hängt maßgeblich von den folgenden Bodenbestandteilen ab:

- den ursprünglichen Mineralen und Mineralneubildungen,
- dem Humus in Form von Nährhumus und Dauerhumus (Stickstoffquelle, Wasserspeicher, Gefügebildner),
- die nutzbare Feldkapazität,
- Bodenluft,
- Biomasse (Bodenorganismen).

Info-Box 1: Bodenfruchtbarkeit (BLV 2006)

Das Bodengefüge (Bodenstruktur) beschreibt die Anordnung der festen Bodenbestandteile und ihren Zusammenhalt. Aus der Art dieser Anordnung ergeben sich die Hohlräume im Boden, d.h. sein Porenvolumen und seine Porengrößenverteilung. Die unterschiedlich großen Mineralkörner im Boden, ihre Zusammenfügung zu Aggregaten, deren Lagerung untereinander sowie die von Bodentieren und Pflanzenwurzeln erzeugten Röhren, regeln als Bodengefüge den Wasserhaushalt, die Durchlüftung und die Erwärmung der Böden (BLV 2006).

Dabei ist vor allem das Korngefüge von Bedeutung, denn je größer die Körnung desto schlechter können Wasser und Nährstoffe gebunden werden und desto unfruchtbarer ist der Boden. Besonders gut geeignet sind Böden, die über eine unterschiedlich große Körnung verfügen. In diesen unterschiedlich großen Zwischenräumen versickert das Wasser mal schneller und mal langsamer. Außerdem ist dies förderlich für das Pflanzenwachstum, da sich das Wurzelwerk in den Zwischenräumen entwickeln kann.

Im Einzugsgebiet von Theel und Ill (vgl. Abbildung 4) liegt als vorherrschender Bodentypus Braunerde und diverse Unterarten vor. Braunerde ist in Europa einer der am weit verbreitetsten Bodentypen (vgl. Westermann).

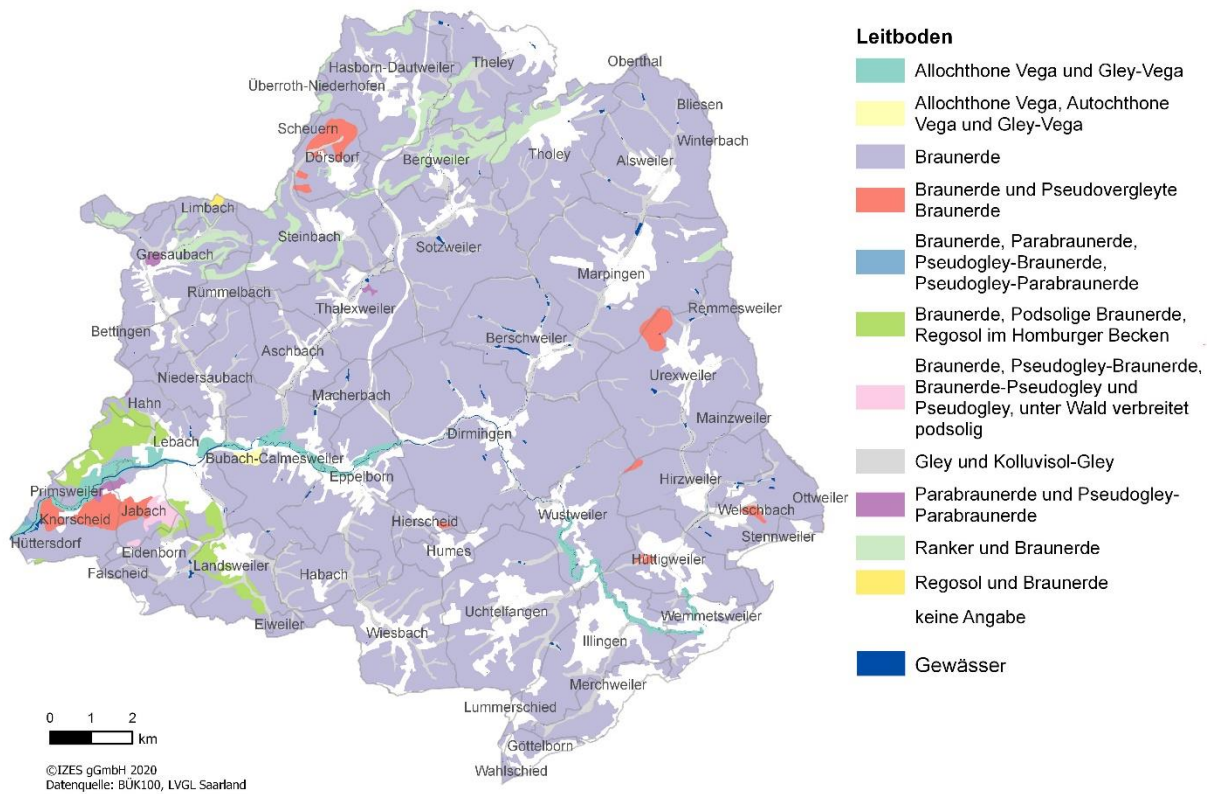


Abbildung 4: Leitböden im Einzugsgebiet von Theel und Ill

2.2 Landwirtschaft im Einzugsgebiet von Theel und Ill

In diesem Kapitel werden die landwirtschaftlichen Gegebenheiten des Einzugsgebietes dargestellt. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der landwirtschaftlichen Nutzung und ihren Wechselwirkungen mit dem Einzugsgebiet. Dabei sollen bereits erste Überlegungen in Hinsicht auf die in Kapitel 2.3 (Hypothesen) beschriebenen Einflussfaktoren adressiert werden.

2.2.1 Darstellung der Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Nutzung

Infolge der landwirtschaftlichen Nutzung ändern sich die Eigenschaften des Bodens. Diese können die natürliche Bodenfruchtbarkeit positiv als auch negativ beeinflussen (BLV 2006). Die wichtigsten Maßnahmen zur Förderung und Erhalt der Bodenfruchtbarkeit werden sowohl in der konventionellen als auch in der ökologischen Landwirtschaft angewendet, Unterschiede bestehen eher im Bereich der Schwerpunktsetzung bei den einzelnen Maßnahmen.

Wichtige Maßnahmen zur Erhaltung und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit sind in der guten landwirtschaftlichen Praxis (BLV 2006) niedergelegt:

- Zufuhr organischer Substanzen (Stroh, Ernterückstände, Gründüngung, organische Dünger wie Wirtschaftsdünger, Gärprodukte und Kompost);

- Anbaudiversifizierung durch vielfältige Fruchtfolgen mit Leguminosen, Wechsel zwischen Blatt- und Halmfrüchten sowie zwischen Winter und Sommerkulturen, Zwischenfruchtanbau, Brache und Mischkulturen;
- Gute Nährstoffversorgung (sachgemäßer Düngereinsatz zum richtigen Zeitpunkt entsprechend dem Pflanzenbedarf);
- Optimaler pH-Wert (zunehmende Versauerung behindert die Bodenorganismen)
- Ungestörte Lebensbedingungen ;
- Konservierende Bodenbearbeitung, ausreichende Feuchtigkeit, Wärme und Durchlüftung.

Mit knapper werdenden Ressourcen sowie unter dem Gesichtspunkt des Gewässerschutzes wird der Begriff *Bodenfruchtbarkeit* zunehmend mit der Effizienz der Nährstoffumsetzungen im Boden gleichgesetzt, anstatt wie in der Vergangenheit mit alleinigem Fokus auf den Pflanzenerträgen (vgl. Haas 2010).

2.2.1.1 Phosphor in der Landwirtschaft

Phosphor ist dabei ein wichtiger Bestandteil der modernen Agrarwirtschaft. Als Düngemittel wird er dem Boden zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit und zur Erhöhung des Ernteertrages zugeführt. Die Düngemenge richtet sich nach der Bodengehaltsklasse (siehe dazu Kapitel 3.2.1), um eine Überdüngung oder Unterversorgung des Bodens zu verhindern.

In der Info-Box 2 werden die Eigenschaften von Phosphor in der Landwirtschaft zusammengefasst. Diese Eigenschaften von Phosphor müssen bei der Analyse der Eintragsfunde durch die Landwirtschaft bedacht werden.

Im Vergleich zu anderen Pflanzennährstoffen, zeichnet sich Phosphor durch folgende Eigenschaften aus:

- *Geringe Mobilität*: Bedingt durch eine geringe Mobilität im Boden müssen Pflanzen einen Großteil ihres Bedarfs an Phosphor durch Phosphor aus früheren Düngemaßnahmen decken, die im Boden gebunden wurden.
- *Vermeidbare Verluste ausgeschlossen*: Phosphor geht auf Böden in der Regel nicht durch Auswaschung und generell nicht gasförmig verloren. Es gibt auf Böden mineralischen Ursprungs praktisch keine unvermeidbaren Verluste. Durch eine gute ackerbauliche Praxis können Verluste wie bspw. Erosion, Auswaschung, Abschwemmung und Drainage verhindert werden.
- *Langfristige Ausnutzung von P-Düngern* schlecht vorhersehbar

Info-Box 2: Phosphor in der Landwirtschaft (Schnug et al. 2015 und Schnug et al. 2019)

Die beschriebenen Maßnahmen fördern die Aktivität der Bodenmikroorganismen und unterstützen die Mobilisierung des im Boden gebundenen Phosphors. Insbesondere hohe pH-Werte und enge Fruchtfolgen ohne Anteil an Leguminosen erschweren die Phosphoraufnahme der Pflanzen (FiBL 2012). Jedoch kann in ökologischen Betrieben trotz dieser Maßnahmen die ausreichende Phosphorversorgung zum Problem werden (vgl. Haas 2010).

In den Studien von Schmitt et al. (2018) wird in Bezug auf die landwirtschaftlichen Einträge auf diffuse Quellen verwiesen und Maßnahmen zur Verringerung der Phosphoreinträge bewertet. Dabei wurden die diffusen Quellen nicht differenziert betrachtet. In dieser Studie sollen diese daher anhand von Hypothesen basierend auf landwirtschaftlichen Phosphoreintragspfaden in die Gewässer untersucht werden (siehe Kapitel 2.3).

2.2.2 Anthropogene Einflüsse auf das Einzugsgebiet

Insgesamt 13 Gemeinden haben Flächenanteile im Einzugsgebiet. Dabei hat Lebach den flächenmäßig größten Anteil mit ca. 25 %, Eppelborn ca. 21 %, Marpingen ca. 17 %, Illingen ca. 16 %, Tholey ca. 16 % und Merchweiler mit ca. 2%. Die weiteren Gemeinden haben eher geringe Flächenanteile im Einzugsgebiet. Dieser kann aus der Tabelle 5: entnommen werden:

Tabelle 5: Gemeindeanteile im Einzugsgebiet von Theel und Ill

Gemeinde	Flächenanteil in %
Lebach	24,71
Eppelborn	20,92
Marpingen	17,40
Illingen	16,45
Tholey	15,51
Merchweiler	2,41
Schmelz	0,91
Quierschied	0,50
Schiffweiler	0,46
Ottweiler	0,34
Heusweiler	0,26
St. Wendel	0,08
Oberthal	0,04

Für die weitere statistische Betrachtung des Einzugsgebietes wurden nur Gemeinden mit Flächenanteilen > 1% betrachtet. Insbesondere die Verteilung der Anteile der genutzten Flächen für Siedlungs- und Landwirtschaft ist von Interesse. Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel angeführt, liegt die Einwohnerdichte bei rund 400 Personen pro km², wobei es sich bei der betrachteten Fläche um ca. 20 % (Siedlungsfläche) des Einzugsgebietes handelt. Der Anteil an Ackerfläche beträgt 24 % und der Anteil an Grünlandfläche 31 % (vgl. LVGL Saarland 2018). In die weitere Betrachtung wird ein Anteil von 55 % der Fläche für agrarwirtschaftliche Zwecke angenommen (siehe Abbildung 5)².

Zum Vergleich lag in der Betrachtung von Schmitt et al. (2018) lag der Anteil der Siedlungsfläche bei 16 % des Einzugsgebietes. Der Anteil an Ackerfläche betrug 21 % und der Anteil an Grünlandfläche 31 %. Diese Daten zeigen die Veränderungen der Flächennutzung in

² Die Abweichung der Flächenverteilung zu S. 12 f. ist in der Aggregation der Daten geschuldet.

der letzten Dekade. Eine Ausweitung der Siedlungsfläche hat dabei stattgefunden und die agrarwirtschaftlich genutzte Fläche abgenommen.

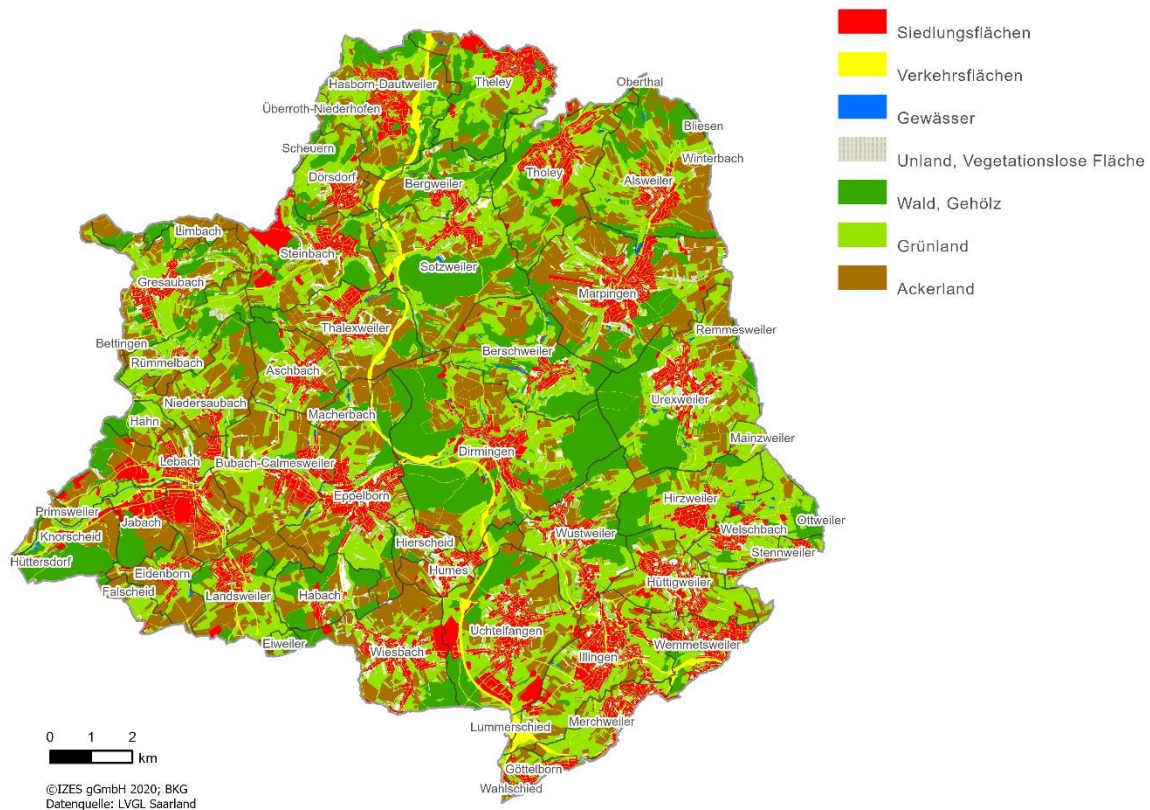


Abbildung 5: Flächennutzung im Einzugsgebiet

Die Flächennutzung im Einzugsgebiet ist durch die Landwirtschaft geprägt. Insgesamt beträgt die landwirtschaftlich genutzte Fläche über 12000 ha. Hiervon liegen 5200 ha im Gebiet Theel, Saubach und Mandelbach und rund 6800 ha im Einzugsgebiet III, Alsbach und Wiesbach. Weitere Aufteilung der Nutzungsflächen sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Flächennutzung im Einzugsgebiet in Hektar.

Hektar (ha)	Theel Knorscheid	Theel Sotzweiler	Saubach	Lebacher Mandelbach	III	Alsbach	Wiesbach
Ackerland	917	600	529	458	1.390	950	438
Verkehrsfläche	307	429	120	113	827	157	131
Siedlungsfläche	412	611	141	166	1.442	439	308
Gewässer	26	11	4	4	45	22	2
Wald, Gehölz	525	954	247	169	1.373	879	244
Grünland	830	1.162	565	360	2.564	1.000	409
Unland, Vegetationslose Fläche	36	27	30	6	32	35	20

Zur Beseitigung der Haushaltsabwässer stehen fünf Kläranlagen im Einzugsgebiet zur Verfügung. Die Kläranlagen im Einzugsgebiet der Theel haben folgende Ausbaugrößen:

Sotzweiler 12.600 Einwohner, Bubach-Calmesweiler 24.500 und Lebach 17.500 Einwohner. Im Einzugsbereich der Ill hat die Kläranlage Wustweiler eine Ausbaugröße von 41.000 und die Kläranlage in Dirmingen eine Ausbaugröße von 12.600 Einwohner (Schmitt et al. 2018). Diese entsprechen alle der Größenklasse 4 und für diesen Kläranlagentypus gilt bisher eine Anforderung für die Ablaufkonzentration (Überwachungswert) von 2 mg/l Gesamtposphor (vgl. Leitfaden der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. 2011³).

2.2.3 Schutzgebiete und Ill- Renaturierung

An der Ill werden seit 1994 biotoplenkende Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Gewässerzustands durchgeführt. Es wurden Maßnahmen wie Rückbau von Wehren, verrohrten Bachabschnitten, naturnahe Gestaltung Gewässerrandstreifen und einer extensiven Landwirtschaft (Grünland) im Kerngebiet bzw. Ausgrenzung der Landwirtschaft in direkter Gewässernähe umgesetzt.

Im Einzugsgebiet Theel und Ill gibt es verschiedene Arten an Schutzgebieten. Für einen besseren Überblick sind die verschiedenen vorkommenden Schutzgebiete und Wasserschutzzonen in Abbildung 6 graphisch dargestellt. Insgesamt sind 7348 ha Landschaftsschutzgebiet und 1229 ha Naturschutzgebiet. Davon sind ca. 30 % Ackerfläche und ca. 38 % Grünland.

Trotz verschiedener Maßnahmen, die im siedlungswirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Bereich inzwischen durchgeführt wurden (z.B. Renaturierung, Gewässerrandstreifen), können die Orientierungswerte der WRRL für den guten chemischen Zustand der Gewässer insbesondere hinsichtlich Stickstoff und Phosphor, noch nicht überall erreicht werden. Jedoch sind dies langfristige Maßnahmen die zum jetzigen Zeitpunkt noch keine abschließenden Aussagen zulassen.

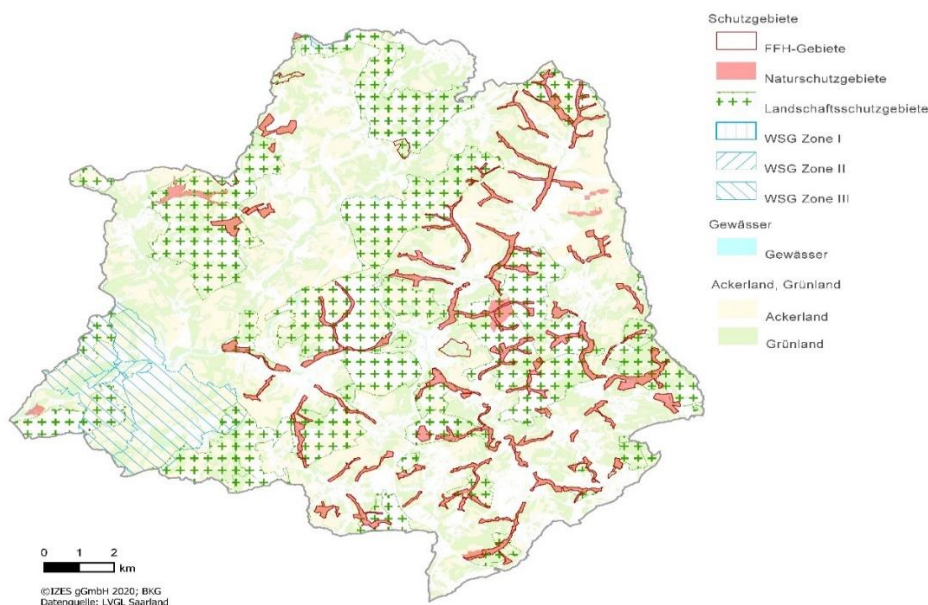


Abbildung 6: Schutzgebiete im Einzugsgebiet Theel und Ill (Izes gGmbH 2020)

³ Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz - AbwAG)

2.3 Mögliche Phosphoreinträge aus diffusen landwirtschaftlichen Quellen

Betrachtet man die diffusen landwirtschaftlichen Einträge unter diesen Aspekten, lassen sich Hypothesen aufstellen, die ursächlich für den Eintrag von Phosphor in Theel und Ill sein können. Die Hypothesen gliedern sich in drei Bereiche: Einerseits werden Hypothesen zur Verursachung untersucht, andererseits werden Hypothesen überprüft, inwieweit die Lösungsansätze wie beispielsweise Düngeverordnung oder ökologischer Landbau den Eintrag von Phosphat beeinflussen. Als weiteren Aspekt werden Hypothesen zur Einträgen aus der Siedlungswasserwirtschaft betrachtet, um einen holistischen Überblick über mögliche Phosphateinträge zu geben. Abbildung 7 fasst die Hypothesen graphisch zusammen.

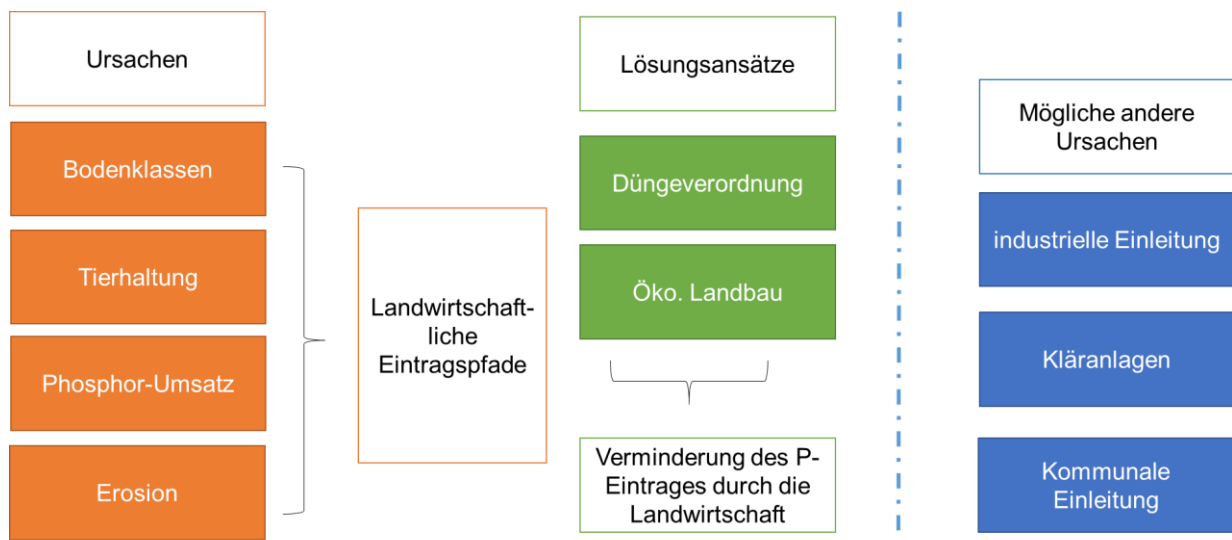


Abbildung 7: Überblick über die Hypothesen zu den Phosphoreinträgen ins Gewässer

Im Folgenden sollen die Überlegungen in Bezug zu den Hypothesen erläutert werden. Dabei wird zuerst die Hypothese ausformuliert und im Anschluss detaillierte ausgeführt.

1. Bodenklasse

Wenn in der Region Theel und Ill Böden mit den Bodenklassen D und E vorliegen, würde eine Phosphat-Düngung zu einer akuten Eutrophierungsgefahr führen.

Routineverfahren der Düngeempfehlung können die Komplexität der Faktoren mit Einfluss auf die P- Verfügbarkeit im Boden nur bedingt berücksichtigen. Die Einteilung der Böden in Bodengehaltsklassen bewertet das im Boden pflanzenverfügbare Phosphat basierend auf der Bodenuntersuchung mittels chemischer Extraktionsverfahren. In *Tabelle 7* sind die Grenzwerte der jeweiligen Klasse dargestellt. Bei höheren Gehalten im Boden (Klassen D und E) werden durch Düngung keine signifikanten Mehrerträge erreicht (Römer 2014) und die empfohlenen Düngemengen liegen unter der Abfuhr vom Feld. Mit Erreichen der Gehaltsklasse C muss fortan nur noch eine Erhaltungsdüngung durchgeführt werden. Die empfohlenen Düngemengen an Phosphat entsprechen dabei der erwarteten Nährstoffabfuhr mit dem Erntegut vom Feld. Die Bodenuntersuchung auf Phosphat ist für alle Schläge ab 1 Hektar alle 6 Jahre gefordert.

Tabelle 7: Bodengehaltsklassen nach VDLUFA (2018)

A	< 1,5 mg P/100 g Boden,
B	1,5 – 3,0 mg P/100 g Boden,
C	3,1 – 6,0 mg P/100 g Boden,
D	6,1 – 12,0 mg P/100 g Boden,
E	> 12,0 mg P/100 g Boden.

2. Tierhaltung

Der Viehbesatz in der Region Theel und Ill führt dazu, dass zu viel Phosphat durch die Nutzung von Wirtschaftsdüngern in die Böden eingetragen wird⁴.

Regionen mit einer hohen Viehdichte kämpfen mit Nährstoffüberschüssen. Die Verwertung der angefallenen Mengen an Wirtschaftsdünger stellt die betroffenen Regionen vor eine Herausforderung, insbesondere wenn in viehstarken Regionen gleichzeitig eine Vielzahl von Biogasanlagen (NaWaRo-Anlagen) existieren und die Nährstoffproblematik verschärfen. Speziell in Regionen mit einer großen Anzahl an Schweinemastbetrieben treten häufiger problematische Einträge von Phosphat durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern auf. Dies liegt daran, dass bedingt durch die Physiologie der Schweine, diese den pflanzlichen als auch zugefütterten Phosphor zu 80 % wieder ausscheiden (vgl. Hasselmann 2017). In Regionen mit einer intensiven Tierhaltung werden durch die Ausbringung von Wirtschaftsdünger häufig Phosphatgehalte im Boden eingestellt, die aus pflanzenbaulicher Sicht nicht erforderlich und aus Gründen des Gewässerschutzes kritisch zu beurteilen sind (Römer 2014).

3. Phosphat-Umsatz der Kulturpflanzen

Die Düngemenge und die Umsetzungsmenge (Pflanzenverfügbarkeit) der Pflanze sind nicht kohärent, so dass ein Phosphor-Überschuss entsteht.

Phosphor, welcher mittels Düngeprodukten den Pflanzen zugeführt wird, reagiert im Boden und ist dann als organisch gebundener Phosphat nur noch teilweise für die Pflanzen verfügbar. Daher liegt die Hypothese nahe, dass nur ein Teil des im Anwendungsjahr ausgebrachten Phosphats von den Pflanzen direkt genutzt wird. Der Rest bleibt im Boden gebunden und ist somit nicht mehr direkt für die Pflanzen verfügbar (Schnug et al. 2003). Phosphorverluste durch Auswaschung und Erosion sind somit wahrscheinlicher und eine Gewässereutrophierung möglich.

⁴ In dieser These wird zudem überprüft, ob Biogasanlagen zu einer Verstärkung der Problematik der Phosphorbelastung durch Wirtschaftsdünger beitragen.

4. Erosion

Der Erosionsschutz gehört zur Düngeverordnung und ist ein wichtiger Bestandteil der Cross Compliance Regelungen. Diese Auflagen tragen zur Verringerung der Phosphoreinträge in die Gewässer bei.

a. Wind- und Wassererosion

Die Veränderungen der Düngeverordnung und Anreize durch Cross Compliance führen dazu, dass sich die Anbauverfahren auf erosionsgefährdeten Standorten verbessert haben. Dadurch werden einerseits der Boden und andererseits die Gewässer geschützt.

b. Extreme Wetterereignisse

Das Aufkommen von extremen Wetterereignissen in den letzten zehn Jahren wie beispielsweise lange Trockenperioden oder punktueller Starkregen führen dazu, dass zu viel Phosphat in die Gewässer eingetragen wird.

Zeitlich und örtlich stark eingegrenzte Wetterereignisse führen zu einer zeitweisen Erhöhung der Phosphoreinträge durch punktuelle und erosive Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft.

5. Rechtsrahmen: Düngung

Ein angepasster Rechtsrahmen zur Düngung hat in den letzten Jahren zu einer effektiveren Anwendung von Düngemitteln geführt, und somit zu einer Verringerung der Einträge in Gewässer beigetragen.

In der vergangenen Dekade wurde vor allem die Düngeverordnung mehrfach angepasst. Großteils sind diese Anpassungen aufgrund der europäischen Wasserrahmenrichtlinie bzw. Nitratrichtlinie nötig gewesen. Durch diese Novellierungen sollte eine stetige Verbesserung der Gewässergüte nachvollzogen werden können.

6. Ökologischer Landbau

Ökologische Landwirtschaft gilt als besonders gewässerschonend, die marktbedingte Umstellung vieler Betriebe führt zu einer Verringerung des Phosphateintrags in Gewässer.

Die Nachfrage nach ökologisch produzierten Agrarprodukten ist in der vergangenen Dekade stark gestiegen, so dass viele Betriebe auf ökologische Landwirtschaft umgestellt haben. Da diese Art der Landwirtschaft sich auch an Gewässerschutzparametern orientiert, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Gewässer erholen.

7. Mögliche andere Eintragspfade

Unter diesem Aspekt sollen weitere mögliche Eintragspfade beleuchtet und beurteilt werden. Dabei sind die Analyse und die Beurteilung von Phosphordaten des Landesamtes für Umwelt- und Arbeitsschutz, der Universität des Saarlandes als auch des EVS zentral.

3 Ergebnisse bisher erstellter Studien

Für das Einzugsgebiet von Theel und Ill liegen bereits eine Vielzahl an Untersuchungen vor. Diese bedienen sich unterschiedlicher Datenerhebungsverfahren und Methoden zur Datenauswertung. Allen Studien ist das Ziel gemein, Möglichkeiten zur Verbesserung der Wasserqualität im Rahmen der Wasserrahmenrichtlinie aufzuzeigen.

Besondere Beachtung in der regionalen Landwirtschaft fanden die Studien von Kubiniok & Honecker (2015) und Schmitt et al. (2018), da beide Studien weitreichende Eingriffe in die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsweise darstellen. Insbesondere der Ausbau bzw. die Etablierung einer Modellregion für Ökolandbau wurde als einzige Möglichkeit erachtet, um die Gewässerqualität zu verbessern. In Bezug auf die Landwirtschaft verweist die aktuellere Studie von Schmitt et al. (2018) ausschließlich auf Kubiniok & Honecker (2015).

Weitere Studien im Einzugsgebiet sind ein äußerst umfangreiches Gewässer-Monitoring des Lehrstuhls für anorganische Chemie und analytische Chemie und Radiochemie der Universität des Saarlandes (Berichte 2006 & 2011) als auch eine Dissertation am Lehrstuhl für Physische Geographie und Umweltforschung an der Universität des Saarlandes (Kieppurning, 2018).

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Datenerhebungen der Studien Schmitt et al. (2018) und eingeschränkt Kubiniok & Honecker (2015) diskutiert. Im Folgenden werden Fragestellungen in Bezug auf die Landwirtschaft in den Studien aufgezeigt und bewertet. Im letzten Teil wird detailliert beschrieben welche Rolle die Abwasserwirtschaft an der Eutrophierung der Gewässer spielt bzw. welche Maßnahmen in Kläranlagen zu einer Senkung der P-Konzentration in den Gewässern führen.

3.1 Detaillierte Betrachtung der Studie von Schmitt et al. (2018)

Die Studie von Schmitt et al. (2018) wurde mit dem Ziel beauftragt, Erkenntnisse zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu gewinnen und konkret dadurch die phosphorbedingten ökologischen Defizite in den Fließgewässern des Ill-Theel-Gebietes zielgerichtet reduzieren zu können. Sie enthält bezüglich des Phosphors als Kernaussage eine Abschätzung der emittierten Jahresfrachten an Gesamtphosphor, unterteilt in Kläranlagenabläufe (10,6 t; 34,7 %), Mischwasserentlastungen (6,0 t; 19,7 %) und Einträgen aus der Landwirtschaft (14,0 t; 45,6 %). Darauf aufbauend werden Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge vorgeschlagen.

3.1.1 Ausschließliche Betrachtung von Gesamtphosphor falscher Ansatz

In der Systematik der EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist eines der gesetzlichen Ziele der „ökologisch gute Zustand“ der Oberflächengewässer. Dies schließt als „biologische Qualitätskomponenten“ den Zustand der Kieselalgen (Diatomeen) und der höheren Wasserpflanzen (Makrophyten) ein. Da seit Jahrzehnten bekannt ist, dass die Phosphorkonzentration im Gewässer eine zentrale Rolle für die pflanzliche Artengemeinschaft spielt, wurden von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) zum einen Methoden entwickelt, wie diese Qualitätskomponenten im Gewässer bewertet werden können und zum anderen durch Studien ermittelt, welcher statistische Zusammenhang zwischen den o. g. Komponenten und den Phosphorkonzentrationen im Gewässer besteht. Auf dieser Basis

wurden entsprechende Festlegungen in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) des Bundes getroffen. Dabei wurde u. a. in Tabellen, getrennt nach Seen und Fließgewässern und differenziert nach Gewässertypen, „Orientierungswerte“ für die mittleren Konzentrationen eines Jahres an Gesamtphosphor bzw. ortho-Phosphat definiert. Diese Konzentrationen sollen anzeigen, ab welchen Schwellenkonzentrationen es extrem unwahrscheinlich ist, den guten Zustand bezüglich der o. g. Qualitätskomponenten zu erreichen. In der Systematik der WRRL ist die Phosphorkonzentration lediglich eine Hilfsgröße zur Erreichung des gesetzlichen Ziels, des „guten ökologischen Zustands“. Daher wurden in der OGewV auch nur „Orientierungswerte“ und keine juristisch verbindlichen Grenzwerte festgelegt.

Die dafür grundlegenden Arbeiten für Fließgewässer erfolgten in einer von der LAWA beauftragten Studie (Halle und Müller 2014). Die darin ermittelten Schwellenwerte wurden im Wesentlichen von der LAWA übernommen und später in die OGewV aufgenommen. Für Mittelgebirgsbäche wie an Ill und Theel betragen die Orientierungswerte für Gesamtphosphor 0,1 mg/l und für ortho-Phosphat-P 0,07 mg/l. Schon während der Erstellung der o. g. Studie wurde in der LAWA die Frage diskutiert, dass nach unwidersprochener jahrzehntelanger Erkenntnis Pflanzen nur im Wasser gelösten Phosphor, im Gewässer als ortho-Phosphat vorliegend, nutzen können, feststoffgebundenen Phosphor dagegen nicht unmittelbar, sondern erst nach Umwandlung zu ortho-Phosphat (Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (KBU) 2015). Da aber in den Fließgewässern auf Basis der damals von den Bundesländern gelieferten Daten nicht nur in Bezug auf ortho-Phosphat, sondern auch bezüglich Gesamtphosphor eine signifikante Korrelation zu den Kieselalgenbefunden festgestellt werden konnte, wurde auch für Gesamt-Phosphor ein Vorschlag für einen Orientierungswert gemacht, der in die OGewV übernommen wurde.

Erst nach Inkrafttreten der OGewV 2016 wurde in einer neuen 2017 veröffentlichten LAWA-Studie der gleichen Autoren (Halle und Müller 2017) auf Basis eines erweiterten Datensatzes festgestellt, dass es im niedrigen Konzentrationsbereich von 0,1 mg/l Gesamtphosphor im Unterschied zu höheren Konzentrationen keine Korrelation mehr gibt zwischen der Konzentration dieses Parameters und dem Trophieindex (Kieselalgen), wohl aber weiterhin eine Korrelation mit der ortho-Phosphat-Konzentration:

„Die beschriebene Problematik ist ein Beleg dafür, dass sich der Trophieindex erst oberhalb von 0,1 mg/l TP zur Indikation der Gesamtphosphorkonzentration eignet. Wie jedoch bereits die Untersuchungen im Rahmen der ortho-Phosphat-Orientierungswertableitungen für Diatomeen innerhalb des ersten ACP-Projekts LFP O 3.12 (HALLE & MÜLLER 2014) und die in Kapitel 5.3.3 dargestellten Ergebnisse der taxaspezifisch hergeleiteten ortho-Phosphat-Schwerpunktkonzentrationen für Diatomeen im Abgleich mit ihren jeweiligen Trophieklassifizierungen gezeigt haben, scheint der Trophieindex dagegen durchaus zur Indikation auch geringerer Phosphatkonzentrationen und zwar der ortho-Phosphatkonzentrationen geeignet zu sein. Da letztlich nicht Gesamtphosphor, sondern ortho-Phosphat als bioverfügbare Form trophisch wirksam ist, liegt der Rückschluss nahe, dass innerhalb der unteren Konzentrationsbereiche bei den ausgewerteten Proben kein signifikanter Zusammenhang mehr zwischen den Gesamtphosphor- und den ortho-Phosphat-Konzentrationen gegeben ist, so dass hier auch der Trophieindex nicht mehr aussagefähig für die Gesamtphosphorkonzentration sein kann.“

Mit Hilfe der Daten hessischer Fließgewässer des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) kann die Annahme von Halle und Müller zur Erklärung der Befunde bestätigt werden:

In Abbildung 8 sind die prozentualen Anteile von ortho-Phosphat-P zu Gesamtphosphor auf Basis der jeweiligen Jahresmittelwerte in Intervalle der jeweiligen Gesamt-P-Jahresmittelkonzentration geordnet und als Perzentilverteilung dargestellt. Man erkennt, dass bei höheren Gesamt-P-Konzentrationen oberhalb 0,2 mg/l der ortho-Phosphat-Anteil relativ hoch ist und im Median zwischen 67 % und 81 % liegt. Gleichzeitig ist die Streuung der Werte relativ gering. Dies erklärt, warum Halle und Müller bei höheren Gesamt-P-Konzentrationen eine Korrelation der biologischen Befunde zu Gesamt-P fanden. Insgesamt sinkt der Anteil an ortho-Phosphat hin zu kleineren Gesamt-P-Konzentrationen und liegt bei Werten kleiner als 0,1 mg/l im Median nur noch bei 44 %. Gleichzeitig ist die Streuung der ortho-Phosphat-Anteile deutlich größer. Dadurch ist bestätigt, dass nur das gemessene ortho-Phosphat biologisch wirksam ist bezüglich der Entwicklung der Kieselalgen, nicht jedoch der feststoffgebundene Phosphor. Die Korrelation zwischen Gesamtphosphor und dem Trophieindex bei höheren Konzentrationen beruht auf einer Ko-Korrelation mit ortho-Phosphat, die bei niedrigeren Konzentrationen nicht mehr gegeben ist. Diese Zusammenhänge sind ein Indiz, dass höhere Jahresmittelkonzentrationen von Gesamtphosphor und damit verbundenen höheren ortho-Phosphat-Anteilen auf Eintragsquellen zurückgeführt werden können, durch die insbesondere ortho-Phosphat und nicht feststoffgebundener Phosphor eingeleitet wird.

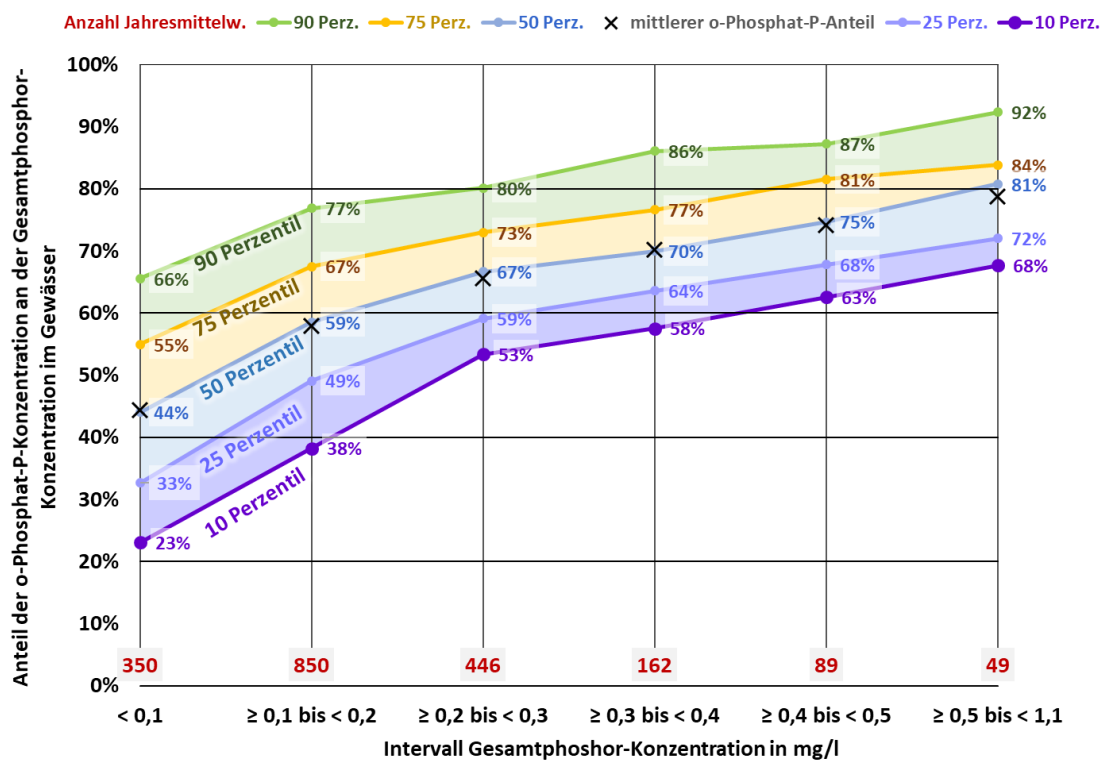


Abbildung 8: Anteil der ortho-Phosphat-P-Konzentration an der Gesamt-P-Konzentration; Datenbasis: 1.946 Jahresmittelwertepaare (2010 - 2018) von 313 Messstellen mit 28.057 Einzelproben (Quelle: HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE)

Darauf aufbauend stellt sich die Frage, welche P-Einträge im Ill-Theel-Gebiet aus ortho-Phosphat bestehen oder so beschaffen sind, dass sie während der Fließzeit von schätzungsweise einigen Stunden oder einem Tag relevante Mengen an ortho-Phosphat freisetzen:

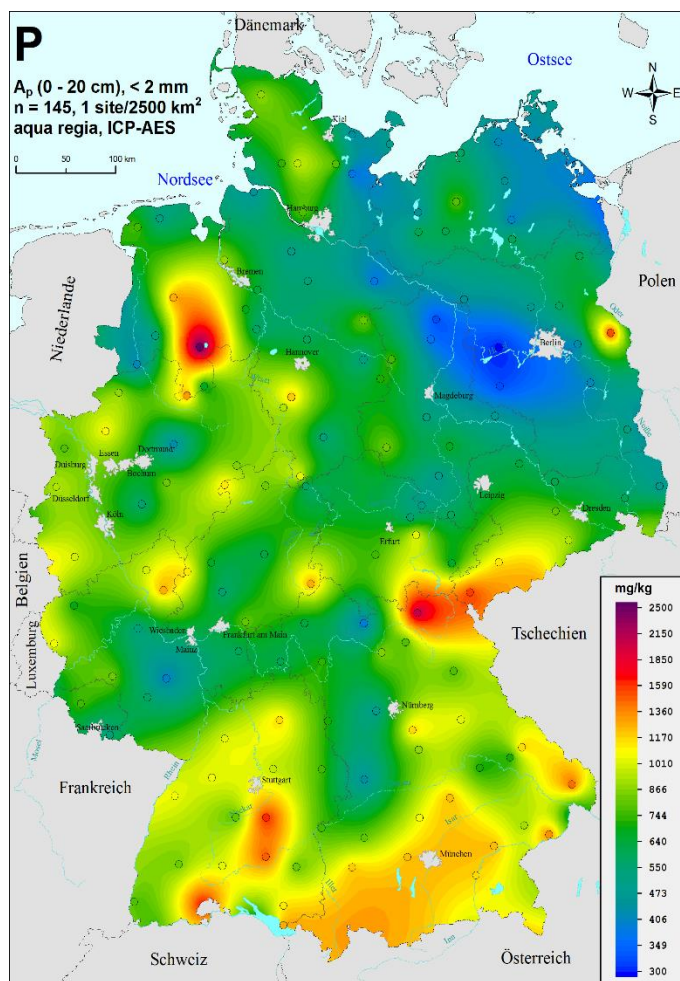
Bei kommunalen **Kläranlagen** besteht bei den hier typischen Ablaufkonzentrationen von 0,5 bis 0,9 mg/l Gesamtphosphor der größte Anteil aus ortho-Phosphat (Böhler und Siegrist 2008). Doch auch der in den abfiltrierbaren Stoffen des Kläranlagenablaufs gebundene Phosphor wird teilweise als ortho-Phosphat freigesetzt. Bei Versuchen an der TU Darmstadt (Cornel, Schaum und Lutze 2015) wurden Schwebstoffe aus zwei Kläranlagen, eine mit Eisensalzen, die andere mit Aluminiumsalzen zur P-Fällung, in gewässertypischen Konzentrationen in Rheinwasser suspendiert und die Freisetzung von ortho-Phosphat bei verschiedenen Temperaturen ermittelt. Wie erwartet, stieg die Freisetzung mit erhöhten Temperaturen. Schon nach einer Stunde waren 20 % des Phosphors in Lösung gegangen, nach 14 Tagen waren es bei 25 Grad C bei den Proben mit Eisenfällung bis zu 80 %, bei den Proben mit Aluminiumfällung bis zu 90 %. Nach zwei Tagen betrug bei 25 Grad C die Rücklösung knapp 40 % (ca. 50 %). Bei einer niedrigeren Temperatur war auch die Rücklösung geringer. Die Studie zeigt, dass der emittierte Feststoff-P aus Kläranlagen in den kleineren Mittelgebirgsbächen wie Ill und Theel aufgrund der kurzen Fließzeit nur zu einem geringen Anteil eutrophierungsrelevant sein kann, in größeren Flüssen unterhalb, insbesondere bei Stauhaltung und Niedrigwasser und der damit verbundenen längeren Aufenthaltszeit, z. B. bei der Saar und der Mosel gerade in den Sommermonaten erheblich sein kann.

Durch die im Ill-Theel-Gebiet häufigen **Mischwasserentlastungsanlagen** wird durch Regenwasser verdünntes Rohabwasser direkt in die Gewässer eingeleitet. Da es im Ill-Theel-Gebiet keine besonderen größeren Industrieanlagen gibt, ist davon auszugehen, dass der im Rohabwasser enthaltene Phosphor vorwiegend durch die menschlichen Ausscheidungen herrührt. Im Urin liegt P weitgehend als ortho-Phosphat vor (Siegrist und Boller 1999), im Kot in Form von biologisch leicht abbaubaren Verbindungen. Daher ist davon auszugehen, dass schon an der Entlastungsstelle vorwiegend ortho-Phosphat in das Gewässer eingeleitet wird und je nach Wassertemperatur und Fließzeit durch den mikrobiologischen Abbau ein weiterer erheblicher Teil des im Kot enthaltenen Phosphors als ortho-Phosphat freigesetzt wird.

Bei den **Einträgen aus der Landwirtschaft** muss unterschieden werden zwischen der Wassererosion, durch die Bodenpartikel in die Gewässer gelangen und der Abschwemmung. Auch nach den in Deutschland verwendeten Nährstoffeintragsmodellen (u. a. MONERIS, MePhos) (Heidecke et al. 2015) wird unter der Erosion nur der partikelgebundene Phosphor betrachtet, während unter dem Begriff Abschwemmung der Transport von gelöstem ortho-Phosphat erfasst wird, der bei starkem Regen von den landwirtschaftlichen Flächen abgespült wird. Im Boden liegen nur wenige Prozent des gesamten Phosphors gelöst als ortho-Phosphat vor (Pecoroni et al. 2014). Dieser direkt pflanzenverfügbare Phosphor wird in der landwirtschaftlichen Praxis u. a. durch die CAL-Analyse erfasst, bei der eine getrocknete Bodenprobe in mit organischen Säuren angesäuertem Wasser geschüttelt wird und danach der im Wasser gelöste Phosphor gemessen wird. Dadurch werden größere Mengen an ortho-Phosphat freigesetzt als bei Schütteln mit destilliertem Wasser. Da in Fließgewässern wie Ill und Theel die organischen Säuren des CAL-Verfahrens fehlen, wird mit der CAL-Methode mehr Phosphor in Lösung gebracht als in einem typischen Fließgewässer nach einem erosiven

Eintrag innerhalb weniger Stunden möglich ist. Die deutsche Düngeverordnung von 2020 legt eine Grenzkonzentration an CAL-Phosphor von 87 mg P/kg Boden fest, ab der nur noch höchstens bis in Höhe der voraussichtlichen Phosphor-Abfuhr gedüngt werden darf. Diese Konzentration ist auch typisch für viele Mittelgebirgsregionen in Deutschland. In Hessen lagen 2011 die CAL-P-Konzentrationen im Mittel bei ca. 73 mg/kg. Die Gesamtposphorkonzentration liegt dagegen hier im Mittel in Ackerböden bei über 800 mg P pro kg Boden), also mehr als dem 10fachen. Die CAL-Konzentrationen dürften in den vergangenen Jahren tendenziell geringer geworden sein.

Nach den Daten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe liegen die Gesamtposphor-Konzentrationen in saarländischen Ackerböden in einem ähnlichen Konzentrationsbereich wie in Hessen (siehe Abbildung 9). Nach Einschätzungen von Dr. Linckh vom Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz des Saarlandes ist davon auszugehen, dass die Ackerböden des Landes in der Regel Konzentrationen an CAL-Phosphor unterhalb der o. g. Grenzkonzentration der Düngeverordnung haben, so dass auch im Saarland nur ca. 10 % des gesamten im Boden enthaltenen Phosphors direkt pflanzenverfügbar ist.



Skaleneinteilung optimiert für Deutschland

Abbildung 9: Phosphor in deutschen Ackerböden; Daten aus GEMAS-Projekt, Geologisches Jahrbuch B 102 von 2014, Dr. Birke, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

„Der überwiegende Teil des Phosphors ist im Boden gebunden und kann weiter in anorganische Phosphate, sorbiertes Phosphat und organisch gebundenes Phosphat unterschieden werden (Pecoroni et al. 2014). Das anorganisch gebundene Phosphat ist hauptsächlich abhängig von dem Ausgangsgestein, aus dem der Boden durch Verwitterung entstanden ist. Dort liegt der Phosphor vorwiegend als Mineral Apatit vor, in dem der Phosphor fest gebunden ist. Zu Pflanzenverfügbarkeit solcher Mineralien stellt die Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt fest: „Schwerlösliche P-Formen stellen keine langsamer wirkende Reserve dar. Unter gegebenen Standortbedingungen nahezu unlösliches P kann von Pflanzen auch langfristig allenfalls in sehr geringem Maße genutzt werden“ (Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt (KBU) 2015). Sorbiertes Phosphat ist dagegen nicht so fest gebunden und kann im Lauf der Zeit ortho-Phosphat freisetzen. Das gilt auch für organisch gebundenes Phosphat, das z. B. als abgestorbene Biomasse im Humus enthalten ist und bei temperaturabhängigem weiteren biologischen Abbau ortho-Phosphat freisetzt. Aber auch diese Prozesse bei sorbiertem Phosphat und organischem Phosphat laufen so langsam ab, dass sie in einem Mittelgebirgsbach nicht relevant werden. Bei einer Betrachtung der Korngrößen der in Gewässer eingeschwemmten Bodenpartikel ist anorganisch gebundener Phosphor fast nur im Feinkorn <60 µm enthalten und nicht im Sand oder Feinsand. Organisch gebundener Phosphor ist, soweit er aus abgestorbener oder lebender Biomasse (Mikroorganismen) enthalten ist, zwar auch in größeren Partikeln vorhanden; diese haben aber ein geringeres spezifisches Gewicht im Vergleich zu Sand. Daher werden sowohl Partikel mit sorbiertem als auch mit organisch gebundenem Phosphat aufgrund der hohen Schleppkraft des Wassers in Mittelgebirgsbächen nicht in relevanten Mengen abgelagert, so dass ihre Aufenthaltszeit im Bach der kurzen Aufenthaltszeit des Wassers entspricht. Daher ist davon auszugehen, dass in den Mittelgebirgsbächen im Ill-Theel-Gebiet die Einträge von Bodenpartikeln keine nennenswerte Rolle für die Eutrophierung dieser Gewässer spielen können und daher bei den landwirtschaftlichen Einträgen nur die Abschwemmung von ortho-Phosphat relevant ist. Aufgrund der Mengenverhältnisse von CAL-Phosphor zu Gesamtphosphor im Boden können diese Einträge nur eine kleine Rolle spielen.

Studien aus Tschechien mit seinen Mittelgebirgslandschaften wurden von der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe in einer „Strategie zur Minderung der Nährstoffeinträge in Gewässer in der internationalen Flussgebietseinheit Elbe“ zusammengefasst dargestellt (Rosendorf et al. 2018). Dort sind die o. g. Zusammenhänge wie folgt zusammengefasst:

„Bei der Bewertung der Quellen der Phosphorverbindungen für die Gewässer in Tschechien ist das Risiko aus den Formen zu berücksichtigen, in denen Phosphor in der aquatischen Umwelt vorkommt (Borovec et al. 2010). Besonders risikobehaftet sind gelöste Phosphate, die von aquatischen Organismen direkt verwertet werden können. Zur zweiten besonders risikoreichen Gruppe gehören Partikel mit in organischen Verbindungen gebundenem Phosphor, aus denen nach schnellem Zerfall Phosphate entstehen. Vor allem handelt es sich um Material aus Kläranlagen, aber auch um Biomasse aus Fischteichen. Am risikoärmsten sind Mineralpartikel, in denen Phosphor (außer Apatit) hauptsächlich in Komplexen mit Eisen und Aluminium gebunden ist. Dabei handelt es sich vor allem um Erosionsmaterial.“

Neuere Phosphormodellierungen, die meist im Auftrag einzelner Bundesländer durchgeführt wurden, z. B. für Nordrhein-Westfalen (Tetzlaff et al. 2020), für Rheinland-Pfalz (Tetzlaff et al.

2019) und für Baden-Württemberg (Haile 2019) tragen diesem Sachverhalt Rechnung, indem sie neben Gesamtphosphor durch Anwendung von Korrekturfaktoren auch den Eintrag von ortho-Phosphat modellieren. Dabei wird der Beitrag durch Erosion auf null gesetzt. Dadurch reduziert sich der errechnete Beitrag der Landwirtschaft an der Jahresfracht erheblich.

Zwischenfazit:

Die alleinige Betrachtung der Konzentrationen und Einträge von Gesamtphosphor führt schon vom theoretischen Ansatz her zu falschen Ergebnissen, wenn sie als Grundlage für Maßnahmen gegen die Gewässereutrophierung verwendet werden soll. Die Bedeutung landwirtschaftlicher Bodeneinträge wird überschätzt und die Bedeutung der Abwasserentsorgung wird unterschätzt. Dessen ungeachtet sind Maßnahmen zum Erosionsschutz sowohl aus Gründen des Bodenschutzes als auch zur Vermeidung gewässerschädlicher Feststoffeinträge (Verschlammung) sinnvoll.

3.1.2 Ausschließliche Betrachtung der P-Jahresfrachten ökologisch nicht relevant

Die Studie von Schmitt et al. (2018) betrachtet ausschließlich den Gesamt-P-Eintrag als Jahresfrachten und den Beitrag verschiedener Eintragsquellen zu den Jahresfrachten. Mit Hilfe dieser Jahresfrachten wird unter Verwendung des mittleren Abflusses im Gewässer eine mittlere Konzentration errechnet. Dies führt jedoch in einem dynamischen System wie in einem Fließgewässer zu grob falschen Ergebnissen. Die Methode wäre allenfalls dann gerechtfertigt, wenn im Jahresverlauf der prozentuale Frachtbeitrag der Eintragsquellen immer gleich hoch wäre. Dies ist jedoch nicht der Fall. Ziel einer Studie zur Herleitung der wirksamen Maßnahmen gegen die Eutrophierung in den betreffenden Bächen müsste sein, den Beitrag verschiedener Eintragsquellen zu den ortho-Phosphat-Konzentrationen in den Gewässern zu erfassen, insbesondere in der Vegetationszeit bzw. den Beitrag zu der Jahresmittelkonzentration, bzgl. der die biologischen Effekte von Halle und Müller kalibriert wurden.

Anhand von Auswertungen zu hessischen Gewässern lassen sich die Zusammenhänge besser verstehen: Abbildung 10 basiert auf Messungen von sechs hessischen Flüssen während 10 Jahren. An diesen Flüssen betreibt das HLNUG Gewässermessstationen, in denen ca. alle 8 Minuten Flusswasser entnommen und in ein Probenahmegefäß für eine Wochenmischprobe überführt wird. Pro Jahr werden auf diese Weise je 52 Wochenproben in Hessischen Landeslabor u. a. auf Gesamtphosphor untersucht. In der Nähe der Messstationen befindet sich ein Abflusspegel, so dass aus Wochenabfluss und Wochenkonzentrationen Wochen-P-Frachten ermittelt werden können. Insgesamt gehen daher in diese Auswertung 60 Jahresverläufe mit ca. 3120 Wochenproben ein. Damit hat die Auswertung eine hohe Repräsentativität. Um die Werte verschiedener Gewässer mit verschiedenen Belastungen und verschiedenen Abflüssen vergleichbar zu machen, wurde für jede der 60 Jahresdatenreihen der Jahresmedian ermittelt und für jede Woche die prozentuale Abweichung zu diesem Median. Auf diese Weise entsteht für jede Woche eines Jahres ein Datenkollektiv von 60 Abweichungen, von denen jeweils die Perzentilverteilung ermittelt wurde. In der Abbildung ist im Jahresverlauf der Median sowie das 25- und das 75-Perzentil der Abweichungen und damit der typische Verlauf dargestellt.

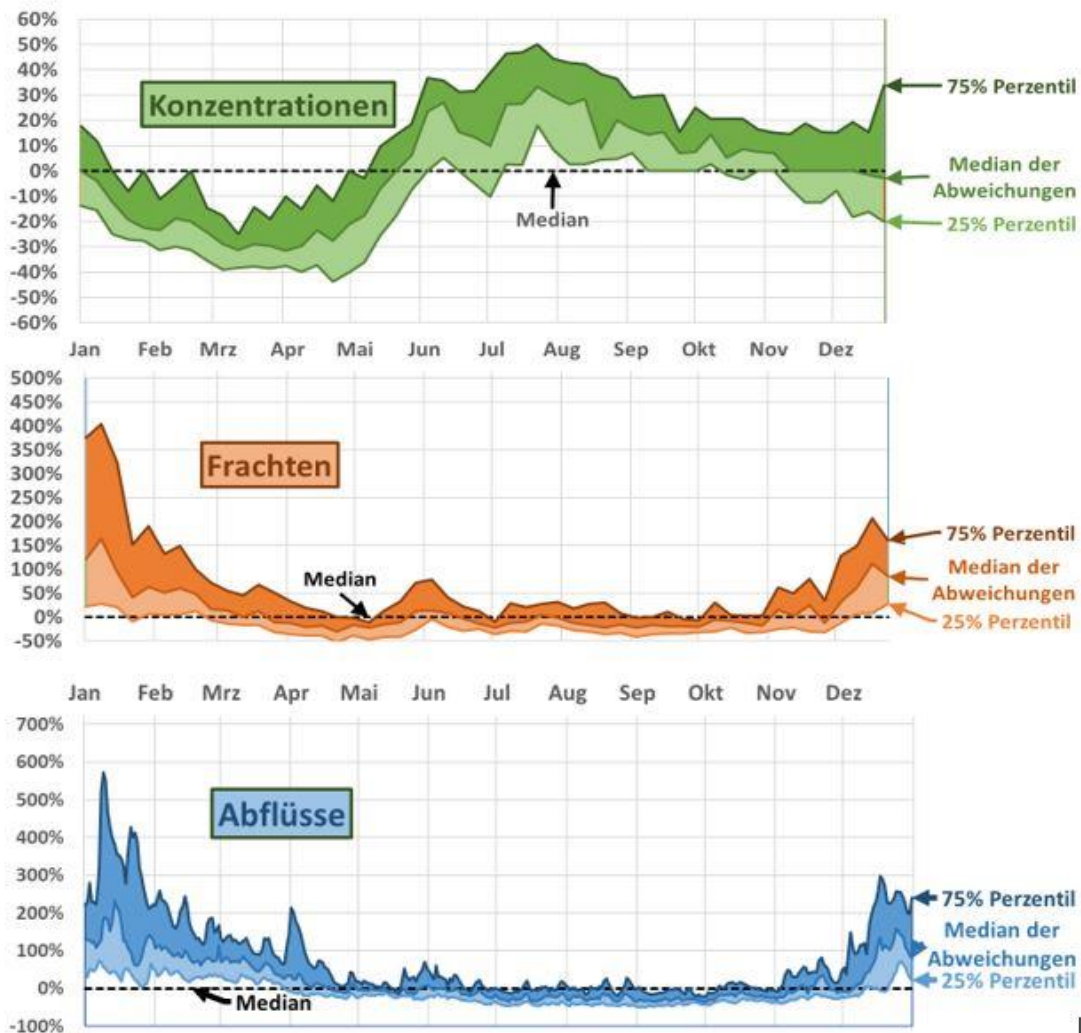


Abbildung 10: Jahresverlauf der Konzentrationen und Frachten von Gesamt-Phosphor und der Abflüsse als Abweichung von den Jahresmedianen von Main, Fulda, Werra, Lahn (Oberbiel), Nidda und Kinzig der Jahre 2010-2019, (Quelle HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE)

Es zeigt sich, dass die Jahresverläufe von Gesamt-P-Konzentration und Gesamt-P-Frachten völlig unterschiedlich sind. Die Konzentrationen entsprechen in den Wintermonaten Januar und Dezember im Mittel dem Jahresmedian, führen aber im Frühjahr zu einem deutlichen Minimum. In dieser Zeit beginnt die Wachstumszeit der Algen und Wasserpflanzen, die dem Wasser ortho-Phosphat entziehen. Da auch die größeren der beprobten Flüsse von kleineren Bächen und Flüssen mit geringer Wassertiefe gespeist werden, sind die Algen bei Betrachtung des ganzen Einzugsgebiets zum erheblichen Teil auf den Steinen und Oberflächen im Gewässerbett aufwachsend, so dass der darin enthaltene Phosphor vorübergehend festgehalten wird und nicht mehr die Messstation erreichen kann. Später dienen diese Algen teilweise als Nahrung für Fische und Kleintiere, werden verdaut und so wird wieder ortho-Phosphat freigesetzt. Im Herbst bzw. beginnendem Winter stirbt diese Biomasse zum größten Teil ab und setzt nach mikrobiologischem Abbau den gespeicherten Phosphor wieder frei. Da in dieser Zeit die Wasserführung wieder steigt, ist die Verdünnung dann höher, so dass die Konzentrationen nicht ansteigen. Auffällig ist aber das Konzentrationsmaximum in den

Sommermonaten. Dafür lassen sich mehrere Gründe anführen. Am wichtigsten dürfte aber sein, dass die Flüsse zu dieser Zeit normalerweise Niedrigwasser führen, während die Kläranlagen weiter kontinuierlich einleiten. Auch in wochenlangen Trockenperioden, wie sie z. B. in den Sommern von 2018 bis 2020 festzustellen waren und in denen es keine regenbedingten Einträge geben kann, blieben die Konzentration relativ hoch.

Die Phosphorfrachten sind dagegen klar an die Abflussmengen der Gewässer gekoppelt und erreichen in den Wintermonaten typischerweise ihr Maximum, das durchaus mehrere hundert Prozent über dem Median liegen kann; die geringsten P-Frachten sind im Sommer bei Niedrigwasser festzustellen, wenn die Phosphorkonzentration am höchsten ist. Die Konzentrationsunterschiede im Jahresverlauf betragen für die Hälfte der Datenreihen (vom 25-Perzentil bis zum 75-Perzentil) zwischen -40 % und +50 %, während sie bei der Fracht zwischen -50 % und +400 % betragen. Diese Zusammenhänge sind durch die Messungen von Klein et al. (2010) auch an Ill und Theel schon vor Jahren festgestellt worden: „wird deutlich, dass die höchsten Konzentrationen an Gesamt-Phosphat in den Sommermonaten bei kurzen starken Niederschlagsereignissen und die höchsten Frachten bei den höchsten Abflüssen in den Monaten November bis Januar auftreten.“

Zwischenfazit:

Die alleinige Betrachtung der Jahresfrachten und der Beiträge der verschiedenen Eintragsquellen ist für Eutrophierung nicht maßgebend. In den Hochwasserwellen, die typischerweise in den Wintermonaten festzustellen sind, werden große Teile der Jahresfracht an feststoffgebundenem Phosphor transportiert, ohne dass dies zu einer Eutrophierung führen kann. Wichtig dagegen ist, wie groß die Beiträge der verschiedenen Eintragsquellen in der Vegetationszeit für die mittlere Konzentration an ortho-Phosphat sind; die absoluten P-Frachten sind zu diesen Zeiten im Vergleich zum Winterhalbjahr aber sehr gering. Eine einfache Umrechnung der Jahresfrachten auf eine mittlere Konzentration unter Nutzung der mittleren Wasserführung des Gewässers (MQ), wie sie Schmitt et al. vorgenommen haben, führt aufgrund dieser Zusammenhänge zu groben Fehlern.

3.1.3 Berechnung der landwirtschaftlichen Einträge beruht auf unrealistischen Annahmen

Schmitt et al. (2018) bilanzierten die P-Einträge wie folgt: Die Emissionen der Kläranlagen wurden anhand der vorliegenden Messwerte im Rahmen der Eigenkontrolle durch den EVS kalkuliert. Diese betragen für die Messjahre 2014/2015 10,6 t/a. Die Eintragsfrachten der im Einzugsgebiet zahlreichen Mischwasserentlastungen wurden von Schmitt et al. selbst über eine eigene Modellierung mit 6,0 t/a abgeschätzt. Zur Ermittlung der diffusen Eintragsfrachten wurden die Daten von Kubiniok und Honecker von 2015 genutzt (siehe Tabelle 8). Daraus errechneten sich als landwirtschaftliche Einträge in das gesamte Einzugsgebiet 14,0 t.

Tabelle 8: Durchschnittliche Flächeneintragsraten aus diffusen Quellen Im Einzugsgebiet von Ill und Theel nach (Kubiniok und Honecker 2015), zitiert und verwendet von (Schmitt et al. 2018)

Eintragsquelle diffus	N-Flächeneintragsraten aus diffusen Quellen [kg N/(ha·a)]	P-Flächeneintragsraten aus diffusen Quellen [kg P/(ha·a)]
Acker (Landwirtschaft)	34,77	2,59
Grünland (Landwirtschaft)	16,35	0,22
Wald	1,47	0,08
Unland	12,85	0,61
Grünfläche	6,39	0,18

Als Summe der Einträge ergeben sich 30,6 t/a. Ebenso wie die Daten der diffusen Einträge wurde Schmitt et al. vom Auftraggeber vorgegeben, bei ihren Rechnungen davon auszugehen, dass es im Gewässer zu einem 50 %igem „P-Abbau und Rückhalt“ komme, dem alle o. g. Einträge unterliegen sollen. Unter Anwendung dieser „Retention“, die prinzipiell auch bei MONERIS-Modellrechnungen angewandt wurde (z. B. Behrendt und Opitz 2000), wurde die Eintragsfracht auf 15,3 t halbiert. Um die Güte dieser Rechnungen zu belegen, wurde diese Fracht durch den Jahresabfluss des Gewässers an den entsprechenden Messstellen dividiert und eine nicht näher begründete „Hintergrundbelastung“ addiert:

„

$$\text{Konzentration} = \frac{\text{Fracht} * 75\% \text{ für Nges (50\% für Pges)}}{\text{MQ an dieser Stelle}} + \text{Hintergrundbelastungen (Nges = 1,4 mg/l, Pges = 0,05 mg/l)}$$

“

Die daraus errechnete Konzentration wurde mit der tatsächlich gemessenen mittleren Konzentration an den Messstellen verglichen. Da die Abweichung an den häufig beprobten Messstellen weniger als +100 % bzw. -50 % betrug (genauere Daten sind in dem doppeltlogarithmischen Diagramm nicht erkennbar, wurden die Abweichungen als „akzeptabel eingestuft“.

Diese Vorgehensweise ist unrealistisch und die aus Sicht der Autoren akzeptable Abweichung reiner Zufall. Es wird von Kubiniok und Honecker (2015) in keiner Weise begründet, worauf eine derart hohe Retention begründet ist. In einem See ohne nennenswerte Strömung ist eine Retention plausibel: Eingetragene Feststoffe können sedimentieren und die bei Entzug von ortho-Phosphat aus dem Wasser aufgewachsenen Algen und andere Wasserpflanzen sterben im Herbst und Winter weitgehend ab und sedimentieren ebenfalls. Auf diese Weise baut sich im Lauf der Jahre eine immer stärkere Sedimentschicht auf, in der Phosphor gebunden ist. Hat der See einen Zulauf und einen Ablauf, wird daher im Mittel der Ablauf geringere P-Frachten haben als der Zulauf. In einem Mittelgebirgsbach sind jedoch andere Verhältnisse vorzufinden:

Zum einen besteht der größte Teil des Phosphors aus gelöstem ortho-Phosphat. Dieses wird mit der Strömung weitertransportiert. Eine Retention kann nur insofern auftreten, dass sensible Pflanzen bzw. Algen in der Vegetationszeit ortho-Phosphat aufnehmen. Dieser wird jedoch innerhalb des gleichen Jahres durch biologischen Abbau wieder an das Wasser abgegeben. Dadurch ändert sich die Jahresfracht nicht (siehe auch Kapitel 3.1.2). Ergänzend muss festgestellt werden, dass in Ill und Theel ortho-Phosphat gegenüber dem Bedarf und

der Nutzung von Pflanzen weit im Überschuss vorliegt, so dass im Jahresmittel nur ein kleiner Teil des gelösten Phosphors von Pflanzen genutzt werden kann (siehe auch Kapitel 3.4).

Zum anderen wird an kleine Partikel gebundener eingetragener Phosphor in einem Mittelgebirgsbach fast vollständig mit der Strömung weitertransportiert (siehe auch Kapitel 3.1.2). Bleibt bei Niedrigwasser in strömungsberuhigten Zonen etwas dieses Materials liegen, wird es bei höherer Wasserführung weitertransportiert. Partikel aus erosiven Einträgen sind aber verbunden mit starken Niederschlägen, die oft zu einer hohen Wasserführung führen und damit zu einer hohen Schleppkraft. Daher ist es nach den Erfahrungen des HLNUG zur Sedimentprobenahme in solchen Bächen ausgesprochen schwierig und aufwendig, selbst kleine Mengen feinkörniger Sedimente zu finden, die für diverse Schadstoffanalysen benötigt werden. Neuere Phosphormodellierungen tragen diesen Zusammenhängen Rechnung, indem bei Mittelgebirgsbächen keine Retention angenommen wird (Wendland et al. 2010):

„Zur Validierung wurden die P-Einträge aller betrachteten diffusen und punktuellen Eintragspfade summiert und die Retention für die Gewässer ermittelt, die einem Talsperreneinfluss unterliegen (Tetzlaff 2006). Eine Retention in Fließgewässern ohne Talsperreneinfluss wird hier nicht weiter betrachtet, da die Pegel überwiegend an schnell fließenden Mittelgebirgsbächen liegen. Zwar erfolgen in gewissem Umfang eine Sedimentation von partikulär gebundenem P sowie eine Sorption bzw. die Pflanzenaufnahme von gelöstem P. Diese ist bei Betrachtung langjähriger Zustände jedoch unerheblich, da nur eine vorübergehende, jedoch keine dauerhafte Entfernung aus dem aquatischen System erfolgt.“

Auch neuere Studien des Forschungszentrums Jülich für Rheinland-Pfalz (Tetzlaff et al. 2019) und Nordrhein-Westfalen rechnen ohne Retention oder beschränken eine Retentionsrechnung auf Stauseen oder gestaute Fließgewässer (Tetzlaff et al. 2020)

Lässt man aber in der Rechnung von Schmitt et al. die Retention weg, kommt man zu unrealistisch hohen Gesamtfrachten (siehe Kap. 3.4). Die Frachten der Kläranlagen sind durch die Eigenkontrollmessungen hinreichend genau bekannt. Das Ergebnis der Modellierung der Einträge aus Mischwasserentlastungen ist naturgemäß schon weniger genau, da hier viele Abschätzungen in die Rechnung eingehen. Die größten Unsicherheiten bestehen aber in Bezug auf die unterstellten hohen Einträge aus der Landwirtschaft. Hätten Schmitt et al. die Rechnung ohne Berücksichtigung einer Retention ausgeführt, würde alleine der Eintrag von Kläranlagen und Mischwasserentlastungen zu einer Summe von 16,6 t/a führen, also wenig mehr als die errechneten 15,3 t/a unter Annahme einer 50 %igen Retention. Die weitere Rechnung hätte dann ebenfalls zu einer „akzeptablen Abweichung“ geführt, selbst wenn kein landwirtschaftlicher Eintrag angenommen worden wäre.

Es entspricht auch nicht dem Stand der Erkenntnis, dass fast alle diffusen Einträge der Landwirtschaft zuzurechnen sind. Dazu ist die Argumentation von Schmitt et al. auch widersprüchlich. Zum einen wird in der Rechnung der Gewässerkonzentrationen aus den Frachten (s. o.) eine Hintergrundkonzentration von 50 µg/l berücksichtigt, zum anderen aber in der Frachtbilanzierung unterstellt, es gebe keine nennenswerte Hintergrundbelastung. Tatsächlich zeigen die hessischen Daten, dass auch in Gewässern, die aus Waldgebieten kommen, das Wasser nicht phosphorfrei ist. Es gibt Einträge aus dem Grundwasser und aus

dem Zwischenabfluss. Böden in Forststandorten haben nach Pecoroni et al. (2014) in Hessen eine P-Konzentration im Median von über 400 mg/kg. Auch hier kommt es bei starken Niederschlägen zu einem Transport von Bodenpartikeln, der erheblich sein kann. Schließlich gräbt sich jeder Mittelgebirgsbach bei Hochwasser weiter in das Gelände ein und transportiert daher Bodenpartikel mit nicht zu vernachlässigenden Phosphorgehalten.

Gemäß den Ausführungen in Kap. 3.1.2 ist es allerdings wegen der ungleichen Verteilung der P-Frachten im Lauf des Jahres mit hohen Frachten bei hohen Abflüssen nicht ohne große Fehler möglich, von der Jahresfracht unter Verwendung des Mittelwassers auf eine Jahresmittelkonzentration zu schließen.

Zwischenfazit:

Die Berechnung der Phosphor-Gesamteinträge ist unrealistisch, da insbesondere die landwirtschaftlichen Einträge unrealistisch hoch angesetzt sind. Nur durch die nicht begründete realitätsferne Annahme, dass 50 % des eingetragenen Phosphors im Gewässer dauerhaft verbleiben und an den Messstellen nicht gemessen werden können, wird der Fehler zu hoher Ansätze bei den Einträgen wieder auf ein realistisches Maß reduziert.

3.1.4 Gesamtbewertung zur Bilanzierung der Phosphoreinträge von Schmitt et al. (2018)

Die Eintragsbilanzierung in der Studie von Schmitt et al. enthält so viele unzutreffende Ansätze, dass sie hinsichtlich der Bedeutung der Landwirtschaft für die Gewässereutrophierung von Theel und Ill nicht verwertbar ist. Dies liegt insbesondere an der Vorgabe des Auftraggebers, ausschließlich den Parameter Gesamtphosphor und nicht ortho-Phosphat zu betrachten und der Vorgabe, die von Kubiniok und Honecker (2015) kalkulierten Einträge aus der Landwirtschaft zu verwenden und eine Retention von 50 % im Gewässer zugrunde zu legen. Im Einzelnen sind folgende Mängel festzustellen, die in der Summe nicht nur zu quantitativ, sondern auch zu qualitativ falschen Aussagen führen:

Bei der ausschließlichen Betrachtung von Gesamtphosphor wird nicht die unterschiedliche Bioverfügbarkeit verschiedener in die Gewässer eingetragener Phosphorverbindungen berücksichtigt. Dadurch wird der Beitrag der Landwirtschaft im Mittelgebirgsraum um ca. den Faktor 10 überschätzt.

Die ausschließliche Betrachtung von Jahresfrachten führt zu falschen Schlussfolgerungen, da die mittlere Konzentration in der Vegetationszeit im Gewässer biologisch entscheidend ist. Die höchsten Gewässerkonzentrationen sind jedoch im Sommer festzustellen, auch dann, wenn regenbedingte Einträge auszuschließen sind, während die höchsten Frachten in die Wintermonate fallen. Daher haben die das ganze Jahr über einleitenden Kläranlagen prinzipiell einen höheren Anteil an der mittleren Konzentration im Gewässer als es ihrem Anteil an der Jahresfracht entspricht.

Wegen der extrem ungleichen Verteilung von P-Frachten einerseits und P-Konzentrationen andererseits ist es auch nicht möglich, ohne große Fehler als Beleg für eine hinreichend genaue Bilanzierung der Jahresfrachten diese Frachten mit Hilfe der mittleren Wasserführung bzw. der Wassermenge eines Jahres auf eine mittlere Jahreskonzentration umzurechnen.

Eine Retention von 50 % ist weder durch chemische, biologische noch physikalische Prozesse in einem Mittelgebirgsbach bei den dort zu messenden Konzentrationen von Gesamtposphor mit einem hohen Anteil an ortho-Phosphat und dem Fehlen von Seen oder Talsperren erklärbar. Eingebrachter Phosphor wird fast vollständig weitertransportiert; ein kleiner Teil kann für kurze Zeit zurückgehalten werden, bevor auch dieser weitertransportiert wird. Die viel zu hoch kalkulierten Einträge aus der Landwirtschaft führen rechnerisch zu überhöhten Gesamteinträgen. Erst die angenommene Retention, die alle Eintragspfade gleichermaßen betreffen soll, führt durch die Halbierung der Einträge wieder zu realistischen Gewässerfrachten.

3.2 Landwirtschaftlich bedingte Ursachen

In den vergangenen Jahren wurden u.a. aufgrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) viele Anpassungen in der Landwirtschaft durchgeführt. Die Düngeverordnung sowie der Förderrahmen wurden angepasst, um die Nährstoffeinträge zu verringern. Die Einträge aus diffusen Quellen der Landwirtschaft müssten sich demnach in der letzten Dekade sukzessive verringert haben. Die in Kapitel 2.3 aufgeworfenen Hypothesen sollen diesem Einwand Rechnung tragen und dabei helfen den Phosphoreintrag der Landwirtschaft realistisch einzuschätzen.

3.2.1 Bodengehaltsklasse

Wenn in der Region Theel und Ill Böden mit den Bodenklassen D und E vorliegen, würde eine Phosphat-Düngung zu einer akuten Eutrophierungsgefahr führen.

Die Überprüfung der Hypothese anhand von Rahmendaten gestaltet sich als schwierig, da für das Saarland keine zentral gesammelten Daten zur Bodengehaltsklasse vorliegen. Jeder Landwirt bestimmt spätestens alle sechs Jahre die Bodengehaltsklasse seiner Schläge und baut darauf seine Düngeplanung auf. Aus fachlicher Sicht wäre es sinnvoll, alle drei Jahre die Grundnährstoffe zu analysieren (vgl. LWK Niedersachsen 2018).

Zum Themenkomplex der Bodengehaltsklassen berichtet Herr Linckh vom Ministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Gespräch 23.03.2020), *dass in den 70er und 80er Jahren auf den saarländischen landwirtschaftlichen Flächen ein Überschuss an Phosphor in den Böden vorhanden war. Aufgrund von fallenden Preisen für Getreide und anderen landwirtschaftlichen Produkten war das Kosteneinsparungspotenzial bei Phosphatdüngemitteln naheliegend. Somit konnten die Landwirte kostengünstiger produzieren.* Daher ist die These naheliegend, dass im Einzugsgebiet von Theel und Ill keine Bodengehaltsklassen D und E vorliegen. In einer Zeitreihenuntersuchung haben Albert/ Sundheim (2004) dieses Phänomen für die Region Sachsen bestätigt. Sie konnten zeigen, dass ausschließlich Bodengehaltsklassen mit einer geringen Phosphoranreicherung aufgrund der verringerten Düngemittelgabe heutzutage vorliegen.

Insbesondere im Ökolandbau führt eine Phosphordüngung mit Wirtschaftsdünger zu einem geringeren Phosphorgehalt im Boden. Diese Annahme bestätigen u.a. Studien von Albert/ Sundheim (2004). Dort konnte gezeigt werden, dass die Phosphat-Versorgung von 47 % der Flächen im Ökolandbau im Bereich niedrig oder sehr niedrig liegen.

Da wie einleitend angeführt, im Saarland keine zentral gesammelten Bodengehaltsdaten erfasst werden, kann dies als Hinweis betrachtet werden, dass es sich im Saarland und somit

auch im Einzugsgebiet von Theel und Ill eher um Bodengehaltsklassen mit einem Phosphorbedarf handelt. So ist davon auszugehen, dass die meisten Betriebe dem Düngebedarf der jeweiligen Feldfrucht entsprechend düngen. In der Studie von Zorn et al. (2016) wird darauf hingewiesen dass insbesondere in Ackerbauregionen eine starke Einschränkung der Phosphordüngung erfolgt, was teilweise bereits Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit zeigt. Der in Kapitel 2.1.2 erläuterte Zusammenhang zwischen Bodentypus und Phosphorspeicherung ist ebenso relevant für die Bodenklassifizierung. Es ist zudem anzumerken, dass die Phosphorspeicherkapazität im Boden allein durch Bewirtschaftungsmaßnahmen (insbesondere Grünland) kaum verändert werden kann (vgl. Bohner et al. 2014). Aufgrund dessen zählt diese zu den bewirtschaftungsunabhängigen Bodenfaktoren. Der Phosphorsättigungsgrad im Boden wird durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst und daher ist die Untersuchung und Feststellung der Bodengehaltsklassen wichtig, da dies die Basis der Phosphordüngung ist.

Für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Einzugsgebiet von Theel und Ill bedeutet dies, dass ein besonderes Augenmerk auf die Phosphordüngung gelegt werden muss, da wie von Bohner et al. (2014) ein positiver Zusammenhang zwischen Phosphoranreicherung auf Grünland (Bodentypus Braunerde) und einer Gewässereutrophierung festgestellt werden konnte.

Die Bodenklassifizierung ist Grundlage jeglicher Düngeempfehlung. Die Bodenuntersuchung auf den Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor wird zumeist nach den VDLUFA-Methoden durchgeführt, diese erfasst jedoch organisch gebundene Phosphate nur unzureichend. Dies liegt zum einem am großen analysetechnischen Aufwand und den damit verbundenen hohen Kosten. Zudem sind die Ergebnisse nur eine Momentaufnahme mit begrenzter Aussagekraft für die tatsächliche Aufnahme der Pflanzen (vgl. Leinweber et al. 2020).

Zu einer Verbesserung der Gewässerqualität in Bezug auf Phosphor wäre eine transparente und zentrale Erfassung der Bodengehaltsklassen wichtig. Somit könnten Rückschlüsse auf den Phosphorgehalt des Bodens gezogen werden und Maßnahmen gegen eine Gewässereutrophierung passgenau für Acker- und Grünland erarbeitet und durchgeführt werden.

Die Verifizierung bzw. Falsifizierung der Hypothese zu den Bodengehaltsklassen wäre stichhaltiger, wenn zentral gesammelte Daten zu den Gehaltsklassen vorliegen würden. Dennoch ist die Einschätzung von Herrn Linckh in Verbindung mit den Untersuchungen von Albert/ Sundheim (2004) ein Indiz für Bodengehaltsklassen mit geringem Phosphorgehalt.

Zur Verbesserung einer Abschätzung des Phosphatgehalts in saarländischen Böden wäre eine zentrale Erfassung nötig. In anderen Bundesländern ist das bereits üblich (Beispiel Baden Württemberg).

Auch sollte, wie von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen vorgeschlagen, überlegt werden, ob eine Erhebung der Grundnährstoffe alle drei Jahre dem Ziel einer Verringerung des Phosphoreintrages dienlich ist.

3.2.2 Tierhaltung

Der Viehbesatz in der Region Theel und Ill führt dazu, dass zu viel Phosphor durch die Nutzung von Wirtschaftsdüngern in die Böden eingetragen wird.

In Regionen mit hohen Viehdichten stellt die Verwertung der angefallenen Mengen an Wirtschaftsdünger eine Herausforderung dar, insbesondere wenn in viehstarken Regionen die Nährstoffproblematik durch eine hohe Dichte an Biogasanlagen (insbesondere NaWaRo-Anlagen) verschärft wird (vgl. Kubiniok 2005). Laut Kubiniok et al. (2005) führt eine erhöhte Großviehdichte zu einer sehr hohen Belastung durch diffuse Stickstoff- und Phosphoreinträge. Speziell in Regionen mit einer großen Anzahl an Schweine- bzw. Geflügelmastbetrieben treten häufiger problematische Einträge von Phosphat durch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern auf. Dies liegt daran, dass bedingt durch die Physiologie der Schweine, diese den pflanzlichen als auch zugefütterten Phosphat zu 80 % wieder ausscheiden (vgl. Hasselmann 2017).

Die Betrachtung der Viehdichte für die Region Theel und Ill erfolgte im Rahmen der Studie von Kubiniok et al. (2005) und Kubiniok & Honecker (2015). Auf Basis der Daten von 2003 war der Viehbesatz mit Ausnahme der Gemeinde Eppelborn (0,9 GVE/ha) rückläufig und wurde damals insgesamt für die Region Theel und Ill als unproblematisch bewertet. In Kubiniok/ Honecker 2015 wurde ein durchschnittlicher Viehbestand von rund 0,6 GVE/ha berücksichtigt, welcher sich damals im bundesweiten Mittel befand. Eine Unterscheidung innerhalb der Tierarten erfolgte nicht. Abbildung 11 zeigt die Viehdichte in den Gemeinden im Einzugsgebiet in den Jahren 2010 und 2016.

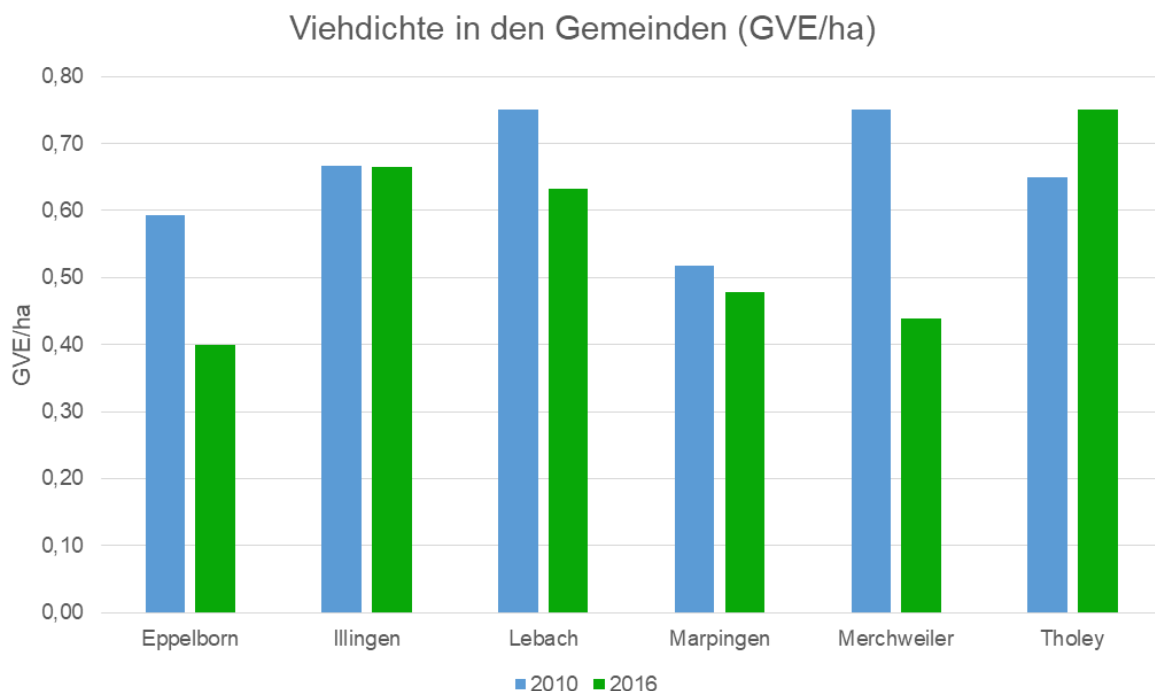


Abbildung 11 Viehdichte in den Gemeinden im Einzugsgebiet Theel und Ill (auf Basis Agraratlas NRW)

Hierbei ist festzustellen dass die Viehdichte 2016 (Durchschnitt 0,56 GVE/ha) im Vergleich zu 2010 (Durchschnitt 0,65 GVE/ha) in den Gemeinden abgenommen hat und innerhalb der Gemeinden Eppelborn, Lebach, Marpingen und Merchweiler zwischen 0,4 bis 0,6 GVE/ha schwankt. Nur in der Gemeinde Illingen mit einem gleichbleibenden Viehbesatz von 0,68 GVE/ha und der Gemeinde Tholey mit einem Anstieg auf 0,75 GVE/ha in 2016 konnte ein gegenteiliger Verlauf festgestellt werden. Insgesamt ist die Viehdichte aber im Vergleich zu dem Jahr 2010 im Untersuchungsgebiet gesunken. Im Vergleich mit der Viehdichte in Nordrhein-Westfalen, die im Jahr 2016 mit 2,5 GVE/ha die höchste Viehdichte in Deutschland darstellte, kann die Viehdichte im Einzugsgebiet von Theel und Ill als unproblematisch bewertet werden (LWK Nordrhein-Westfalen 2017)⁵.

Des Weiteren ist auch die Problematik bezüglich der Schweinehaltung für das gesamte Saarland als nicht gefährdend zu beurteilen, da der Schweinebestand seit Jahren extreme Rückläufe verzeichnet und zwischen den Jahren 2011 bis 2018 um > 70 % saarlandweit gesunken ist (IZES 2020). In den Hauptgemeinden des Einzugsgebietes Theel und Ill betrug der Rückgang der Schweinehaltung knapp 40 %⁶. Dies sind im Jahr 2016 2140 Schweine und im Jahr 2010 3533 Schweine. Aufgrund dieser rückläufigen Zahlen ist die Schweinehaltung generell als unkritisch zu bewerten.

Auch eine zusätzliche Verschärfung durch eine hohe Dichte von Biogasanlagen auf NaWaRo-Basis ist saarlandweit in Bezug auf Phosphoreinträge in Gewässer eher unproblematisch. Im Saarland gibt es derzeit insgesamt 16 aktive Biogasanlagen von denen sich nur zwei Anlagen im Einzugsgebiet Theel und Ill befinden. Zur Einordnung der Biogasanlagen ist die regional vorhandene Tierproduktion zu beachten. Ein kW installierte Leistung ist von der Futterfläche sowie der Gülle bzw. Gärrestaubsbringung vergleichbar mit einer Großvieheinheit. Daher werden im Rahmen der agrarstrukturellen Planung die beiden Faktoren installierte Leistung in kW sowie die aufgestallte GVE in der Region auf die gesamt landwirtschaftliche Nutzfläche verteilt (Reinhold 2013). Für die Region Theel und Ill mit einer gesamtinstallierten Leistung der beiden Anlagen von 1320 kW (IZES 2020), 6314 GVE und einer LNF von 10779 ha würde das eine um die Biogasanlagen bereinigte GVE/ha von 0,71 GVE/ha ergeben und kann somit als nicht bedeutsam eingestuft werden. Zusätzlich zu erwähnen wäre noch der Gülletransport aus anderen Regionen bzw. Ländern in das Einzugsgebiet Theel-Ill. Diese Mengen an Wirtschaftsdünger betragen im Jahr 2019 412,46 t (LWK, 2020). Umgerechnet unter der Annahme von 20 m³/ Tier und Jahr ergäbe dies einen Besatz von 6335 GVE/ inkl. Biogas entspricht dies einer Viehdichte von unverändert 0,71 GVE/ha.

Die Hypothese, dass zu viel Phosphor in die Gewässer Theel und Ill durch eine übermäßige Tierhaltung gelangt, kann nicht verifiziert werden. Im Einzugsgebiet ist die Viehbesatzdichte < 1 GVE/ha und hat keinen Einfluss auf erhöhte Phosphorkonzentrationen.

Die Falsifikation der Hypothese kann auch aufrecht erhalten werden, wenn in die Berechnung der Betrieb von Biogasanlagen miteingerechnet wird.

⁵ Im Rahmen des Förderprogramms für extensive Grünlandbewirtschaftung innerhalb der AUKM-Maßnahmen entspricht extensiv einem Gesamtviehbesatz von 1,4 GVE je Hektar LF

⁶ Eigene Berechnung basierend auf Agraratlas NRW 2016

In dieser Studie blieben die Einfuhr von Mineraldüngern in die Region Theel-III aufgrund nicht feststellbarer Mengen unberücksichtigt. Zu beachten gilt auch dass die Wirtschaftsdüngermengen sind die auf den Betrieben im Theel-III Gebiet anfallen, jedoch ist es möglich dass die Betriebe diese Wirtschaftsdünger auch auf Flächen außerhalb des Projektgebietes ausbringen. Ebenso ist es umgekehrt der Fall, das der Anfall von Wirtschaftsdüngern tierhaltender Betriebe aus anderen Regionen, welche Flächen im Einzugsgebiet Theel-III bewirtschaften nicht berücksichtigt wurde. Dies ist aufgrund mangelnder Datenlage und der Komplexität sowie den jährlichen Schwankungen unberücksichtigt geblieben.

3.2.3 Phosphat-Umsatz der (Kultur)pflanzen

Die Düngemenge und die Umsetzungsmenge (Pflanzenverfügbarkeit) der Pflanze sind nicht kohärent, so dass ein Phosphor-Überschuss entsteht.

Das Phosphatverhalten im Boden sowie die Phosphat-Aufnahme durch die Pflanzen stehen in Abhängigkeit zu folgenden Faktoren:

- Kulturzustand des Bodens (Struktur)
- pH-Wert des Bodens (nicht sauer)
- biologischen Aktivität des Bodens (Bodenorganismen)
- Verteilung Phosphor-Dünger im Boden

Dies sind Grundvoraussetzungen für eine optimale Phosphor-Mobilisierung und Düngewirkung. Der Düngbedarf an Phosphat richtet sich nach der Nährstoffabfuhr der anzubauenden Frucht bzw. Fruchtfolge, dem Nährstoffgehalt des Bodens und dem Anbaustandort (Klima, Boden). Die erhöhte Phosphor-Düngung und die langjährigen Empfehlungen der Phosphorvorratsdüngung liegen begründet in der langsamen Phosphor-Mobilisierung im Boden. Ein Großteil des Phosphors liegt als organischer Phosphor im Boden vor und ist somit nicht direkt für die Pflanzen verfügbar. Aus den organischen Phosphorverbindungen muss Phosphor erst enzymatisch freigesetzt werden, so dass die Enzymaktivitäten im Boden eine bedeutende Rolle spielen. Nach Auffassung der Wissenschaftler der Universität Rostock ist die Enzymaktivität im Boden entscheidender als der Gehalt an organischem Phosphor (vgl. Leinweber 2020).

Überschüssiger Phosphor kann somit durch Erosion in angrenzende Gewässer eingebracht werden. Um dies zu verhindern ist eine Fruchtfolge mit Zwischenfrüchten ratsam. Einerseits kann durch den Anbau einer Zwischenfrucht das Erosionsrisiko vermindert und andererseits das enzymatische Potenzial zur Phosphor-Mobilisierung am Standort verbessert werden (vgl. Leinweber 2020). Durch die verbesserte Phosphor-Mobilisierung der Pflanze wird das im Boden gebundene Phosphat wieder pflanzenverfügbar und kann von der Nachfolgefrucht genutzt werden (vgl. IZES 2013). Zur Gewährleistung der Phosphor-Versorgung der Hauptkultur und um die Düngung zu reduzieren, sollte eine Zwischenfrucht gewählt werden, die in der Lage ist, den Phosphor des Bodens umzuwandeln und so für die Hauptkultur nutzbar zu machen. Zu diesen Pflanzen gehören Phacelia, Buchweizen, Ölrettich, Senf, Camelina, Mexikanische Sonnenblume und Wicke. Der Vorteil, den die Nutzung dieser Zwischenfrüchte

birgt, ist die Phosphor-Mobilisierung und die Reduzierung der Phosphordüngung (vgl. IZES 2016).

Viele Studien konzentrieren sich auf die Nitratkonzentration im Boden bzw. auf die Nutzung der Vorfrucht, um eine optimale Nitratversorgung der Hauptkultur zu gewährleisten. Dasselbe gilt für Phosphor, da dieser durch den Anbau der oben erwähnten Zwischenfrüchte aktiviert werden kann. Ein positiver Nebeneffekt ist die Reduktion des Phosphordüngers und eine Verbesserung des Humusgehaltes.

Eine optimale Versorgung der Pflanze mit Phosphor ist wichtig für das Pflanzenwachstum und zur Verringerung des Eintrags von Nitrat in Gewässer. Grundsätzlich gilt zu beachten dass die Phosphor- und Nitratdüngung in engem Zusammenhang stehen. Die optimale Phosphorversorgung der Pflanzen beeinflusst die Nitrataustragsrate.

Aus den vorhandenen Daten für die Region Theel und Ill lässt sich nicht abschätzen in welchem Ausmaß ein Phosphorüberschuss besteht. Wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, gibt es einen negativen Nährstoffsaldo. Dieser gibt Auskunft über die Mehr- oder Mindermengen an Phosphat, die innerhalb des betrachteten Bewirtschaftungszeitraums ausgebracht wurden. Aufgrund der Datenlage im Saarland ist keine Aussage zu den Bodengehaltsklassen möglich. Zudem wird bei der Klassifizierung der Bodenklassen, der in diesem Kapitel betrachtete organisch gebundene Phosphor, nicht analysiert.

Die tatsächliche Umsetzungsmenge (Pflanzenverfügbarkeit) im Einzugsgebiet Theel und Ill lässt sich nicht bestimmen. Daher lässt sich die Hypothese weder falsifizieren noch verifizieren.

Die Bedeutung des Zwischenfruchtanbaus als erosionsmindernde Maßnahme wird in Kapitel 3.2.4 für das Saarland erläutert.

3.2.4 Erosionsschutz

Die bisherigen Studien für das Einzugsgebiet Theel und Ill betonen Erosion als Haupteintragspfad von Phosphor durch die Landwirtschaft. Aufgrund dessen werden im folgenden Kapitel zwei Hypothesen betrachtet: Wind- und Wassererosion (3.2.4.1) und Erosion durch Extremwetterereignisse (3.2.4.2). Erosion durch Wind und Wasser stellt den übergeordneten Part dar, da es das Thema allgemein behandelt. Der Fokus neben einer allgemeinen Analyse des Themas liegt auf den Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen die im Rahmen von Cross Compliance zum Schutz vor Erosion angewendet werden. Das Unterkapitel zu Extremwetterereignissen fokussiert sich auf eine Auswertung von Niederschlagsdaten der letzten Dekade und verweist auf klimatische Veränderungen, die eine Erhöhung des Erosionsrisikos begünstigen.

3.2.4.1 Wind- und Wassererosion

Der Erosionsschutz gehört zur Düngeverordnung und ist ein wichtiger Bestandteil der Cross Compliance Regelungen. Diese Auflagen tragen zur Verringerung der Phosphoreinträge in die Gewässer bei.

Der Bodenabtrag durch Wind- und Wassererosion gehört zu den langfristigen nicht wieder gutzumachenden Schäden im Boden. Bei der Bodenerosion gehen mit dem Boden wertvolle Nährstoffe und Humus verloren. In welchem Maße Böden durch Erosion gefährdet sind, hängt von dem Zusammentreffen verschiedener Faktoren ab (siehe Tabelle 9):

Tabelle 9 Einflussfaktoren erosionsgefährdete Böden (BLV, 2006)

Einflussfaktoren	Wassererosion	Winderosion
Vegetation	Unbewachsene, offengehaltene Böden oder Anbau spät deckender Früchte	
Relief	Hanglage	Windexponierte Lagen ohne Landschaftselemente
Bodenart	Schluffige Böden, fein und mittelsandreiche Böden und Moorböden	
Bodenstruktur	Verdichtete Boden mit hohem Oberflächenabfluss, stark gelockerte Böden oder puffige Böden	Frostgare, zu fein bearbeitete oder puffige Böden
Witterung	Starkregen, Schneeschmelze und Regen auf gefrorenem Unterboden	Hohe Windstärke nach längerer Trockenheit
Bewirtschaftung	Große Schläge, einförmig bestellte Hänge, Bearbeitung in Richtung Gefälle, Grünlandumbruch	Große Schläge, einförmig bestellte Hänge, Grünlandumbruch

Der Bodenabtrag bedingt durch Wassererosion auf ackerbaulich genutzten Flächen zählt heute als bedeutendste Quelle diffuser Feststoffeinträge und feststoffgebundener Nährstoffeinträge in Fließgewässer (UBA 2017). Durch den unsachgemäßen Einsatz von Wirtschaftsdüngern kann es schnell zu erheblichen Einträgen an Phosphat in die Gewässer kommen (BLV 2006). Kiepurning (2018) begründet den Abtrag darin, dass insbesondere Phosphate aus der Mineral- und Wirtschaftsdüngung an die Bodenpartikel der Ton und Schluff Fraktion gebunden sind und durch die Mobilisierung und den Transport dieser Partikel, in den Oberflächenabfluss gelangen.

In einer österreichischen Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich die Braunerde aufgrund ihres hohen Gehaltes an amorphen Sesquioxiden durch eine große Phosphor-Speicherkapazität in den obersten 10 cm Boden auszeichnet (vgl. Bohner et al. 2014). Dies lässt darauf schließen, dass eine Gefährdung von Gewässern durch erosiven Phosphoreintrag gegeben ist. Bohner et al. (2014) bewerten die Gefahr einer Gewässereutrophierung durch Erosion daher als begünstigt.

Die im Gebiet Theel und Ill vorliegenden Böden sind durch einen hohen Sandgehalt geprägt. Aufgrund der hohen Feinsand und Schluffgehalte sind die Böden anfällig für Bodenerosion (Kubiniok 1999). Dies führt dazu, dass beim Zusammentreffen mehrerer Einflussfaktoren z.B.

hoher Sandgehalt und geringe Vegetationsbedeckung, nährstoffreiche Oberböden stark erosionsgefährdet sind. Des Weiteren begünstigen die auf einem Großteil der Flächen mittlere bis mittelstarke Hangneigung sowie die durch die Flurbereinigung erhöhten Schlaggrößen, die Bodenerosion auf den Ackerflächen.

In der Studie von Kieburning (2018⁷) wird die Sedimentaustragsrate im Flächenmittel bei 7,5 t/ha/a im Jahr 2015 (vgl. 1961 6,3 t/ha/a) geschätzt. Allerdings gibt Kieburning (2018) zu bedenken, dass eine große Spannweite der Werte (0- 16,3 t/ha/a) auf den einzelnen Untersuchungsflächen besteht. Verglichen mit der Hangabtragsrate zeigen alle Untersuchungsflächen von Kieburning im Einzugsgebiet Theel und Ill, auf denen ein Sedimentabtrag festgestellt wurde, dass dort jährlich mehr als 5 t/ha/a Bodenmaterial ausgetragen werden. Kieburning (2018) kommt zu dem Erkenntnis dass zwischen 1961 und 2015, im Mittel 68 % des am Hang mobilisierten Bodenmaterials aus den Ackerflächen abgetragen wurden. Im Laufe des Betrachtungszeitraums ist der Sedimentaustrag um 2,5 % gestiegen. Als Einflussfaktoren konnten Hangneigung und erosive Hanglänge identifiziert werden, hier spielt insbesondere die Bodenerosion auf Ackerflächen die dominante Steuergröße.

Honecker, U., Weber, G., & Kubiniok, J. (2014) zeigen, dass auf rund 11 % der erosiv wirksamen Ackerfläche die Hangabtragsrate 5 t/ha/a übersteigt und somit nur auf diesen Flächen ein Sedimentaustrag stattfindet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass nur ein geringer Anteil der Ackerflächen im Einzugsgebiet Theel und Ill von Bodenerosion betroffen ist und für den tatsächlichen Nährstoffeintrag in die Gewässer verantwortlich sein kann. Mittels der Feststellung der Hangabtragsraten können sogenannte Hotspots mit einer Hangabtragsrate über 5 t/ha/a identifiziert werden. Der Anteil wird im Untersuchungsgebiet auf ca. 3 % der Ackerflächen geschätzt.

Seit 2015 haben sich die gesetzlichen Vorgaben wiederholt geändert. Im Jahr 2015 ist die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union in Kraft getreten. Des Weiteren umfassen die Regelungen zu Cross Compliance bis zum Jahr 2020 bereits eine Vielzahl an Mindestpraktiken der Bodenbearbeitung zur Begrenzung von Erosion und Erhaltung des Anteils der organischen Substanz im Boden. Die Mindestanforderungen richten sich nach Grad der Wasser- und Winderosionsgefährdung. Die Flächen wurden durch die Bundesländer bestimmten Wassererosionsgefährdungsklassen nach Cross Compliance zugeordnet.

Bei der Einführung des Erosionsschutzkatasters 2010 im Saarland galten 44 % der Ackerflächen als gefährdet und 27 % als stark gefährdet, welche den besonderen Bewirtschaftungsauflagen von Cross Compliance unterliegen (Schlag, 2010). Diese Zuordnung der Bodenerosionsklassen für die verschiedenen Gewässer im Einzugsgebiet Theel und Ill zeigt Abbildung 12. Die orange eingefärbten Flächen sind Ackerflächen mit einer mittleren bis hohen Erosionsgefahr (CCW1). Während die roten Ackerflächen eine sehr hohe Erosionsgefährdung aufweisen (CCW2). Die Auswertung des Erosionsschutzkatasters ergab, dass im Einzugsgebiet Theel und Ill derzeit 21 % der Ackerflächen in CCW1 und 10 % der Ackerfläche in CCW 2 eingestuft sind. Bei einer

⁷ Der Betrachtungszeitraum der Studie beträgt 55 Jahre, von 1960 - 2015 und das Bezugsjahr ist 2015.

Betrachtung der Gemeinden mit großen Flächenanteilen im Einzugsgebiet Theel und III liegt der Anteil erosionsgefährdeter Flächen in den Gemeinden Eppelborn (35 %) und Marpingen (37 %) am höchsten.

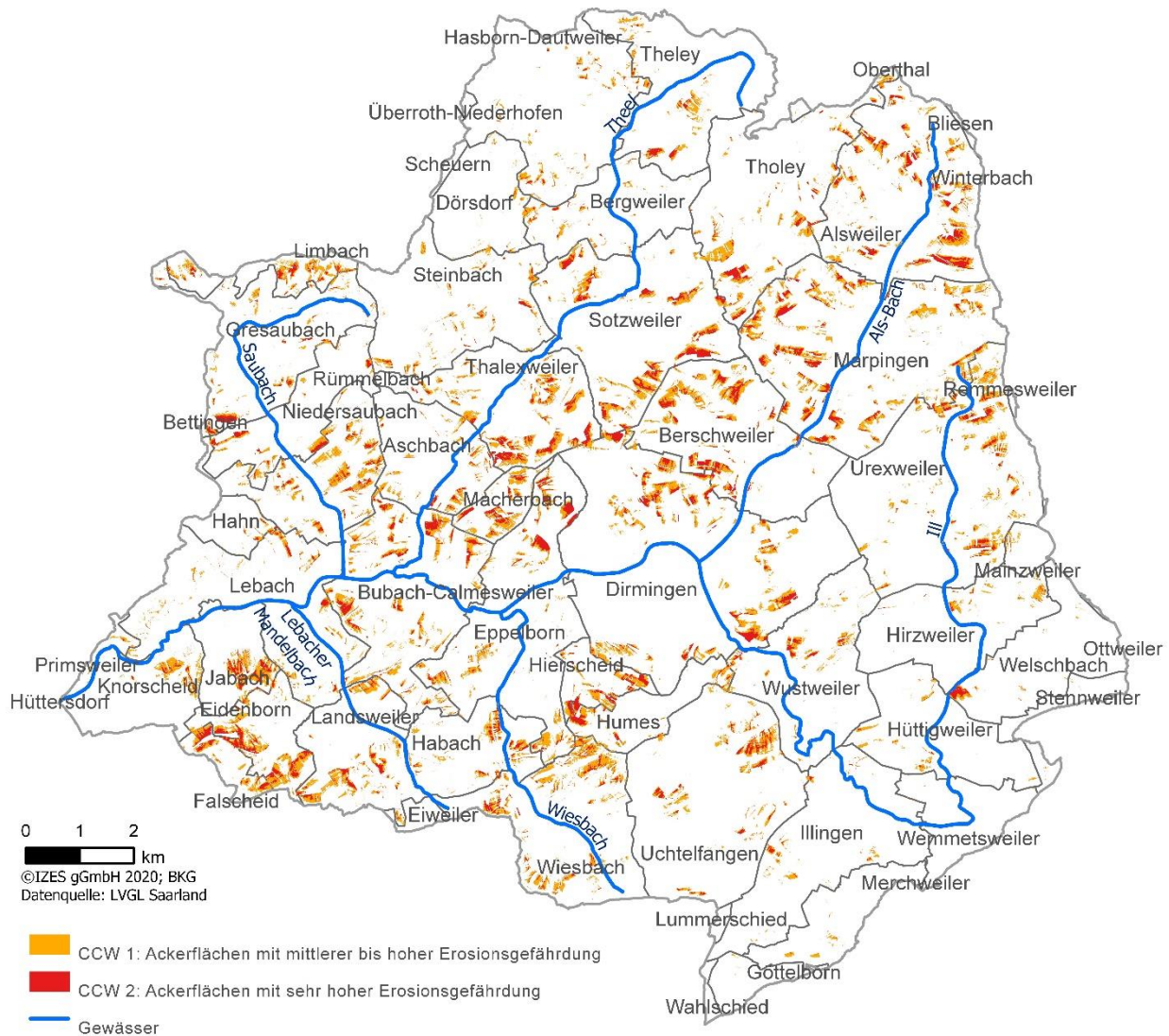


Abbildung 12 CCW 2018 Erosionsklassen im Einzugsgebiet von Theel und III (IZES, 2020)

Die vorgeschlagenen Maßnahmen zur Minderung der sedimentgebundenen Phosphoreinträge in den geprüften Studien (Kubiniok & Honecker 2015, 2018 und Kiepurning 2018) umfassen die Verminderung der Hanglänge, da ein direkter Zusammenhang zum Feststoffaustrag festgestellt werden konnte. Im Rahmen der guten fachlichen Praxis werden zudem eine konservierende Bodenbearbeitung mit einer flachen Bodenbearbeitungstiefe, reduzierte Überfahrten und Mulchsaat angeraten. Des Weiteren wirkt eine 100 % Einführung des Zwischenfruchtanbaus auf Ackerflächen um ca. 38 % erosionsreduzierend.

Ebenfalls wird eine flächendeckende Umstellung auf eine ökologische Bewirtschaftungsweise empfohlen. Es gilt zu beachten, dass diese Empfehlungen auf einem Ökoflächenanteil von 10 % aus dem Jahr 2007 basieren, dieser hat sich in den letzten Jahren entscheidend erhöht (siehe Kapitel 3.3.2). Im Bereich der ökologischen Bewirtschaftungsweise liegt laut Kiepurning

(2018), Kubiniok & Honecker (2015) sowie Schmitt et al. (2018) das größte Verringerungspotenzial mit einer Eintragsreduzierung um mehr als 50 %. Dies entspricht einer Reduktion des Bodenabtrags auf bis zu 1,56 t/a (Kieppurning 2018). Auch Kubiniok & Honecker (2015) nennen den Ökolandbau als wichtigste Maßnahme zur Reduzierung der Phosphat-Einträge ins Gewässer.

Das Zusammenspiel der genannten Maßnahmen (Fruchtfolgegestaltung, konservierende Bodenbearbeitung etc.) zur Reduzierung der Bodenerosion wurde bereits von Kubiniok/Honecker (2015) anhand von zwei regional üblichen Fruchtfolge-Szenarien überprüft. Die Szenarien entstammen dem Handbuch „Standortangepasste und gewässerschonende Fruchtfolgen und Anbauverfahren für Energiepflanzen zur Nutzung in Biogasanlagen für die Region Ill-Theel“ (IZES 2013). Der gewässerschonende Biomasseanbau kann die Flächenausstragsrate an Phosphor um bis zu 30 % verringern.

Das Saarland fokussiert die folgenden Maßnahmen im Bereich Erosionsschutz: Zwischenfruchtanbau, Untersaaten, Integration naturbetonter Strukturelemente, ökologische Vorrangflächen, Beschränkung Bodenbearbeitung (zeitliche Pflugverbote), Einarbeitung Ernterückstände, sowie keine Beseitigung von Landschaftselementen (Hecken, Sträucher, Feuchtgebiete).

Im Rahmen der Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (SEPL 2014-2020) wurden im Saarland speziell unter erosionsschutzrelevanten Gesichtspunkten folgende Maßnahmen gefördert:

- Die Beibehaltung von Zwischenfrüchten oder Untersaaten über den Winter
- Blühflächen (Integration naturbetonter Strukturelemente)
- Extensive Dauergrünlandflächen

Laut Doluschitz/ Kühne (2019), die die laufenden Maßnahmen im Rahmen von SEPL (2014-2020) für das Saarland bewerten, wurden insbesondere die Maßnahmen zum Erhalt und Förderung der Biodiversität, der Verbesserung des Gewässerschutzes und dem Erosionsschutz teilweise bundesweit überdurchschnittlich in Anspruch genommen. Hierzu zählen die Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), die bis zum Jahr 2017 mit 239 Verträgen umgesetzt wurden. Auch die Umstellung auf ökologischen Landbau kann mit 133 Verträge beziffert werden.

Der Anteil des Zwischenfruchtanbaus ist im Saarland mit nur 1091 ha eher gering (infolge der Überschneidung mit den Greening-Maßnahmen) sowie der extensive Dauergrünlanderhalt tragen laut Doluschitz/ Kühne (2019) bereits erheblich zum Erosionsschutz und somit zur Verbesserung des Wassermanagements auf der Fläche und der Wasserqualität bei. Insgesamt ist der Erosionsschutz jedoch auch wirksam in der ersten Säule der GAP (Greening) verankert.

Für das Einzugsgebiet Theel und Ill ist es nicht möglich abzuschätzen bis zu welchem Maße die 2014 in Kraft getretenen Erosionsschutzvorgaben sowie die Empfehlungen des Handbuchs „Standortangepasste und gewässerschonende Fruchtfolgen und Anbauverfahren für Energiepflanzen zur Nutzung in Biogasanlagen für die Region Ill-Theel“ einzelbetrieblich umgesetzt werden. Mittels einer Darstellung der verschiedenen angebauten Nutzungskulturen können lediglich Einschätzungen dahingehend abgeleitet werden.

Die folgende Abbildung 13 veranschaulicht die derzeitige Flächennutzung. Die Abbildung ist unterteilt in Grünland und die drei häufigsten angebauten Ackerkulturen (Weizen, Mais, Raps) in den Gemeinden im Einzugsgebiet.

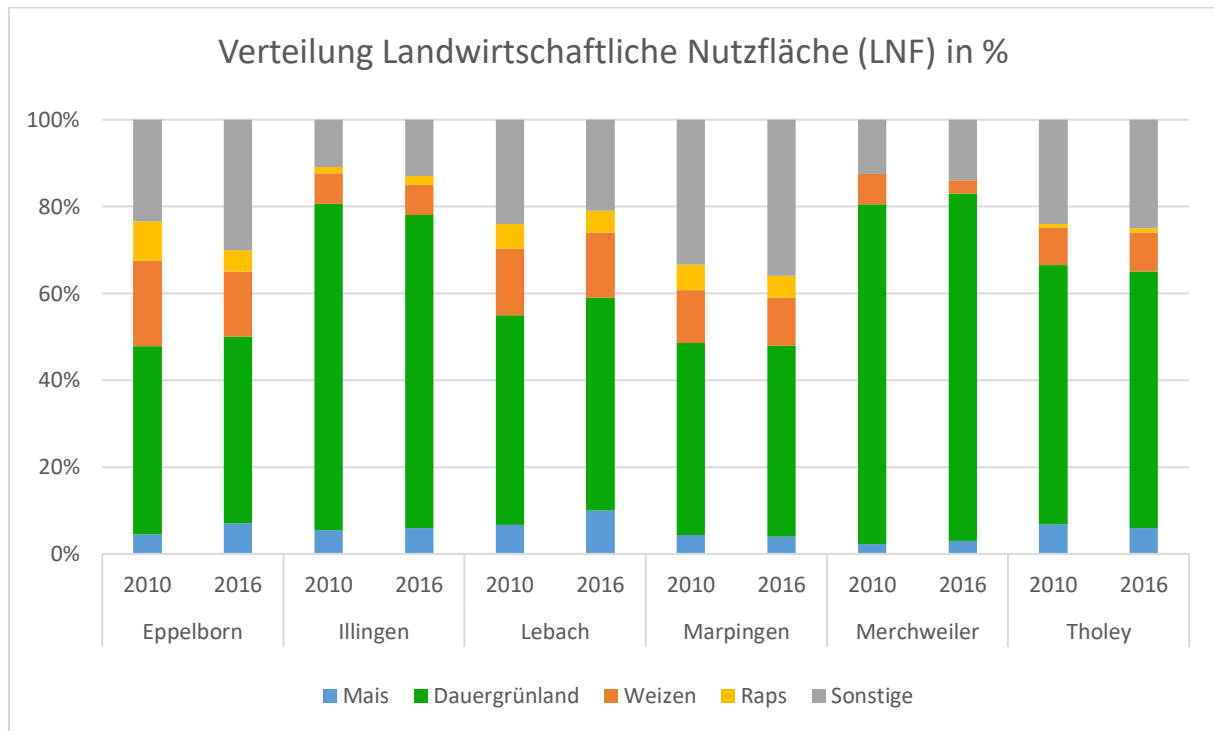


Abbildung 13 Verteilung LNF 2010 und 2016 im Einzugsgebiet Theel und Ill (IZES 2020)

Grundsätzlich gilt es festzuhalten, dass der Anteil an Dauergrünland in den Gemeinden im Einzugsgebiet Theel und Ill im Jahr 2016 zwischen 40- 60 % je nach Gemeinde schwankt. Das Saarland ist im Vergleich zu anderen Regionen bekannt für seinen hohen Grünlandanteil mit einem Mittel von 54 % und in den Gemeinden im Einzugsgebiet Theel und Ill liegt dieser gemittelt bei 58 %⁸. Bezogen auf die tatsächlichen Flächen im Einzugsgebiet Theel und Ill liegt der Grünlandanteil im Durchschnitt bei 54 % (Ackerland 41 %, sonstige landwirtschaftliche Nutzung 5 %) der landwirtschaftliche Nutzung⁹. Der gemittelte Grünlandanteil ist im Vergleich zu 2010 fast unverändert. Die Einführung des Grünlandumbruchsverbots 2013, ist auch innerhalb der Cross Compliance „Greening“ Auflagen geregelt, um den Erhalt von Dauergrünland zu schützen. Innerhalb der drei Hauptnutzungskulturen auf dem Ackerland sind ebenfalls nur geringe Änderungen zwischen den Jahren 2010 und 2016 erkennbar. Der Maisanbau, welcher ohne weitere Maßnahmen aufgrund seiner späten Bodendeckung als sehr erosionsgefährdet gilt, ist zwischen 2010 und 2016 um ca. 1 % auf fast 6% gestiegen, was im Vergleich zu anderen Bundesländern immer noch einen sehr geringen Anteil darstellt. Abbildung 14 zeigt die geografische Verteilung der verschiedenen Kulturarten für das Einzugsgebiet Theel und Ill. Auf Ackerland ist Getreide nach wie vor die vorherrschende Kultur (vgl. Kubiniok & Honecker 2015, Kubiniok 2010: Getreide Hauptkultur).

⁸ LAL Daten Verschnitt mit Agraratlas NRW 2016 bezogen auf Gesamtfläche der im Einzugsgebiet liegenden Gemeinden

⁹ LVGL- Daten 2018 basierend auf den reinen LN im Einzugsgebiet Theel und Ill

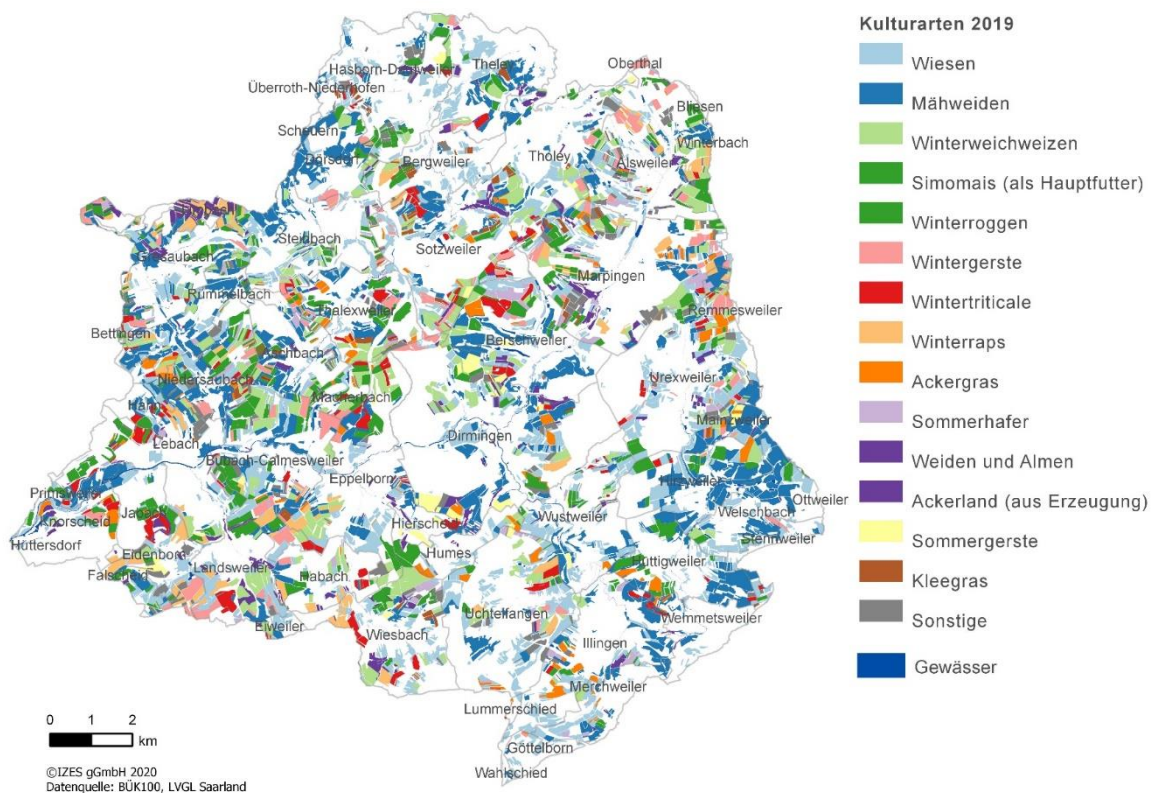


Abbildung 14 Angebaute Kulturen im Einzugsgebiet Theel und Ill für das Jahr 2019 (IZES)

Die große Streuung der Nutzungskulturen lässt die Schlussfolgerung zu, dass hier bereits breite Fruchtfolgen angebaut werden. In Tabelle 10 wird die Landnutzung in Kategorien zusammengefasst aus dem Jahr 2016 und zur Verdeutlichung der Karte in Abbildung 14 das Jahr 2019 dargestellt.

Tabelle 10 Übersicht Landnutzung 2016 und 2019 (auf Basis LALDaten)

Verteilung LNF	2016	2019
Getreide	29,9 %	30,1 %
Eiweißpflanzen	1,0 %	0,7 %
Ölsaaten	3,7 %	4 %
Ackerfutter	3,2 %	4,7 %
Hackfrüchte	0,1 %	0,2 %
Silomais	7,14 %	6,35 %
Dauergrünland	52,2 %	51,14 %
Stilllegung	0,5 %	2,09 %

Eine weitere These aus Kubiniok (2005), die eine Erosionsgefahr durch einen sehr hohen Hackfruchtanbau (Rübe, Kartoffel etc.) vermutet, kann aus aktuellen Anbaustatistiken nicht bestätigt werden. In der Region findet nur ein geringfügiger Kartoffelanbau statt (0,24 % der Ackerfläche), zum Teil Biokartoffeln. Es findet keinerlei Anbau von Zuckerrüben oder Futterrüben statt (LAL 2019).

Einfluss III-Renaturierung auf diffusen Stoffeintrag (Kubiniok et al. 2005)

An der Ill werden seit 1994 biotoplenkende Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Gewässerzustands umgesetzt. Hier wurden verschiedene Maßnahmen wie Rückbau von Wehren, verrohrten Bachabschnitten, naturnahe Gestaltung Gewässerrandstreifen und einer extensiven Landwirtschaft (Grünland) im Kerngebiet bzw. Ausgrenzung der Landwirtschaft in direkter Gewässernähe umgesetzt. Diese Maßnahmen wirken zum Teil Erosionshemmend und würden somit auch zur Verringerung von Phosphateinträgen durch die Landwirtschaft führen.

Die bisherigen Gewässerdaten zeigen an der Messstelle in Eppelborn nur geringe Effekte auf die Verbesserung der Gewässerqualität hinsichtlich Nitrat und Phosphor. Trotz verschiedener Maßnahmen, die im siedlungswirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Bereich inzwischen durchgeführt wurden (z.B. Renaturierung, Gewässerrandstreifen), können Orientierungswerte der WRRL für den guten chemischen Zustand der Gewässer insbesondere hinsichtlich Stickstoff und Phosphor nicht immer erreicht werden.

Die Forscher des Lehrstuhls für analytische und anorganische Chemie der Universität des Saarlandes wiesen jedoch daraufhin, dass diese Maßnahmen langfristig wirken und zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht final bewertet werden können.

3.2.4.2 Extremwetterereignisse

Das Aufkommen von extremen Wetterereignissen in den letzten zehn Jahren wie beispielsweise lange Trockenperioden oder punktueller Starkregen führen dazu, dass zu viel Phosphat durch Erosion in die Gewässer eingetragen wird.

Neben dem zuvor beschriebenen Phänomen der Bodenerosion durch Wind und Wasser soll in diesem Kapitel besonders darauf eingegangen werden, dass sich Extremwetterereignisse bedingt durch den Klimawandel auf Abtragungen und Auswaschungen im Einzugsgebiet von Theel und Ill auswirken.

Ein wichtiger Einflussfaktor für den Auftritt von Bodenerosion durch Wasser ist die Niederschlagsintensität. In Regionen mit häufigen Starkregenereignissen ist die Erosionsgefahr am höchsten. Starkregen, Dauerregen und Trockenperioden tragen verstärkt zu einem erosiven Abtrag ein (vgl. Beisecker et. al. 2020).

Natürliche Einflussfaktoren von Erosion sind die Niederschlagsintensität (Klima), Erosionsanfälligkeit der Korngröße (Boden) und das Gefälle des Geländes (Geländebeschaffenheit) (vgl. Umweltbundesamt 2020). Grundsätzlich sind starke Niederschläge in Verbindung von erosionsanfälligen Böden mit Hangneigung von einem

hohen Risiko betroffen. Auch langandauernde Trockenheitsperioden tragen zu einer Erhöhung des Erosionsrisikos bei.

Stark- und Dauerregenereignisse werden vom Deutschen Wetterdienst wie folgt definiert (siehe Tabelle 11):

Tabelle 11: Definition Stark- und Dauerregen nach [Deutschem Wetterdienst](#):

Starkregen		Schwellenwerte
	Starkregen	15 bis 25 l/m ² in 1 Stunde 20 bis 35 l/m ² in 6 Stunde
	Heftiger Starkregen	25-40 l/m ² in 1 Stunde 35-60 l/m ² in 6 Stunden
	Extrem heftiger Starkregen	> 40 l/m ² in 1 Stunde > 60 l/m ² in 6 Stunden
Dauerregen		
	Dauerregen	25 bis 40 l/m ² in 12 Stunden 30 bis 50 l/m ² in 24 Stunden 40 bis 60 l/m ² in 48 Stunden 60 bis 90 l/m ² in 72 Stunden
	Ergiebiger Dauerregen	40-70 l/m ² in 12 Stunden 50-80 l/m ² in 24 Stunden 60-90 l/m ² in 48 Stunden 90-120 l/m ² in 72 Stunden
	Extrem ergiebiger Dauerregen	>70 l/m ² in 12 Stunden >80 l/m ² in 24 Stunden >90 l/m ² in 48 Stunden >120 l/m ² in 72 Stunden

Lang anhaltender Niederschlag mit geringer Intensität erhöht in den Winter- und Frühjahrsmonaten das Erosionsrisiko. Von Juni bis zum Spätsommer können dahingegen auftretende Stark- und/oder Gewitterregen zu einem erhöhten Erosionsrisiko beitragen. Das Bundesumweltamt gibt als Faustformel an, dass „Regenereignisse mit mehr als zehn Millimeter (10 Liter) Niederschlag auf einem Quadratmeter [können] Bodenerosion auslösen [können]“ (Umweltbundesamt 2020).

Hiller et al. (2007) zeigen, dass sich bereits durch einen Bodenbedeckungsgrad von etwa 30 % positiv auf den Bodenabtrag auswirkt. Dabei kann der Bodenabtrag bei Starkregenereignissen kann somit beispielsweise durch den Anbau von Zwischenfrüchten verringert werden.

Neben der Bodenbedeckung ist auch die Bearbeitungsweise des Ackerbodens von Bedeutung. Eine langjährige reduzierte Bodenbearbeitung, ein höherer Gehalt an organischer Substanz im oberen Teil des Bodens und mehr und kontinuierliche Makroporen reduzieren das Risiko des erosiven Abtrages. Dabei sind konservierende Bodenbearbeitungs- sowie Direktsaatverfahren wichtig (vgl. Beisecker et al. 2020).

In einem Projekt der IZES gGmbH für den Regionalverband Saarbrücken zur Bewältigung von Klimafolgen konnte im Rahmen einer Modellierung von Extremwetterereignissen, dass bei Jahrhundertwetterereignissen die Fruchtart keine Erosionshinderung darstellt. Für Extremwetterereignissen mit einer Eintrittshäufigkeit von 20 Jahren konnten jedoch Unterschiede in der Fruchtfolge berücksichtigt werden.

Diese Modellierungen dienen hauptsächlich zur Einschätzung des Ausmaßes von Extremwetterereignissen. Wichtig zur Vermeidung von Erosion durch Extremwetterereignissen sind die oben beschriebenen Maßnahmen. Diese können im besten Fall den Abtrag von landwirtschaftlicher Nutzfläche verhindern und einen Eintrag in die Gewässer unterbinden. Dabei wird einerseits der Eintrag von Phosphat in die Gewässer vermieden und zudem auch der Abtrag der Humusschicht, die für die Bodenfruchtbarkeit wichtig ist.

Die Anwendung von Erosionsschutzmaßnahmen wie reduzierte Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau etc. kann den Phosphat-Austrag vermindern. Die genaue Wirksamkeit auf landwirtschaftlichen Flächen muss jedoch noch nachgewiesen werden. Prinzipiell lässt sich die Hypothese verifizieren dennoch lässt sie sich in Bezug auf die Erosion (Wind und Wasser) sowie Extremwetterereignisse nicht quantifizieren. Die Vorteile des Erosionsschutzes sollten zur Verringerung der Nährstoffeinträge in Gewässer stärker gefördert werden.

In Bayern, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg u.a. werden Maßnahmen zum Erosionsschutz explizit gefördert. Geeignete Förderregelungen könnten auch hier eine gute Möglichkeit sein, den Erosionsschutz zu verstärken.

3.3 Landwirtschaftliche Lösungen und deren Folgen für die Phosphoreinträge

3.3.1 Rechtsrahmen: Düngung

Ein angepasster Rechtsrahmen zur Düngung hat in den letzten Jahren zu einer effektiveren Anwendung von Düngemitteln geführt, und somit zu einer Verringerung der Einträge in Gewässer beigetragen.

Die Wirkzusammenhänge zwischen Düngepraxis und Eutrophierung der Meere und Fließgewässer werden erst seit Mitte der 1980er Jahre verstärkt öffentlich diskutiert (vgl. EUCC- Die Küsten Union Deutschland e.V.). Zur Entlastung der Meere wurden in Europa bereits Ende der 1980er Jahre Maßnahmen formuliert, die sich auf den Phosphateintrag und dessen Minderung bezogen. Im Jahr 2000 wurde die Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) verabschiedet, in der Ziele und Richtwerte formuliert wurden, um einen guten chemischen Zustand der Oberflächengewässer zu erreichen (Art. 4.1 WRRL).

Auch auf die deutsche Düngegesetzgebung hat sich dies ausgewirkt. Rechtlicher Bestandteil der guten fachlichen Praxis sind in Deutschland die Verordnungen im Zusammenhang mit dem Düngegesetz (DüG). Seit dem Jahr 2009, werden in diesem Gesetz das Inverkehrbringen von Düngemitteln als auch die Düngung an sich geregelt. Ziel ist es, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten bzw. zu verbessern sowie der Schutz der Umwelt und der Gesundheit des Menschen. Düngeverordnung (DüV) und Düngemittelverordnung (DüMV) dienen dazu, die Durchführung und Anwendung der Dünger näher zu bestimmen.

In der Studie von Schmitt et al. (2018) fanden Überlegungen zu den Veränderungen im Düngerecht keinen Eingang. Daher ist es naheliegend, Anpassungen in der Düngepraxis und deren Auswirkungen auf die Gewässereutrophierung zu evaluieren. In den vergangenen zehn Jahren wurden die Gesetze zur Düngung konsequent novelliert¹⁰ und um Aspekte des Gewässerschutzes angepasst und stärker in den Fokus gerückt. Aufgrund der EG-Nitratrichtlinie (Novelle 2017), Wasserrahmenrichtlinie, Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie und anderen werden aktuell die Gesetze zum Themenkomplex Düngung überarbeitet, um somit die Gewässergüte in Deutschland zu verbessern.

Zum 1. Mai 2020 ist die neue Düngeverordnung in Kraft getreten. Die aktuellen Vorgaben für die Phosphor-Düngung beinhalten verschärfte Auflagen zur Verbesserung des Gewässerschutzes. Die jeweiligen Landesverordnungen können weitergehende Vorgaben enthalten.

1. **Düngebedarfsermittlung** für alle Schläge > 1 ha aufgrund des betriebsspezifischen Ertragsniveaus im Mittel von 5 Jahren (vorher 3 Jahre). Diese Regelung soll die zunehmenden Witterungsextreme berücksichtigen.
2. **Streichung des Nährstoffvergleich:** Ersatzweise müssen ab Inkrafttreten für jeden Schlag bzw. jede Bewirtschaftungseinheit die Düngungsmaßnahmen mit Angabe zu Art und Menge der ausgebrachten Nährstoffe (Stickstoff, Phosphat) und die Schlaggröße innerhalb von zwei Tagen aufgezeichnet werden. Diese dürfen den errechneten Düngebedarf der Pflanzen nicht überschreiten.
3. **Gewässerabstände:** Die Abstandsflächen zu Gewässern, auf denen nicht gedüngt werden darf, ist mit der DüV (Stand 28. April 2020) erweitert worden. Im Saarland gelten darüber hinaus die Vorschriften des § 56 Absatz 3 des Saarländischen Wassergesetzes (Stand 13.02.2019), wonach die Düngung bis 10 m von der Uferlinie untersagt ist. Durch die Saarländische Ausführungsverordnung zur DüV (Stand 8. Januar 2021) werden zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Phosphat (Eutrophierung) weitere Einschränkungen verfügt. Da das Saarland keine eutrophierten Gebiete ausgewiesen hat, gilt § 13a Absatz 5 DüV, womit im gesamten Land die erweiterten Abstandsauflagen bei der Düngung zu Oberflächengewässern einzuhalten sind (§ 13a Absatz 3 Satz 3 Nummer 4).
4. **Sperrfristen:** Die neuen Vorgaben zu den Sperrfristen für Festmist von Huf- und Klautieren oder Kompost und die Begrenzung der Grünlanddüngung auf 80 kg N/ha aus flüssigen organischen Düngern greifen bereits ab Herbst 2020. Neu eingeführt wurde eine Sperrfrist für die Ausbringung von Düngemitteln mit einem wesentlichen Gehalt an Phosphat (mehr als 0,5 % Phosphat in der Trockenmasse).
5. **Verbot von Ausbringen von Dünger auf gefrorene Flächen:** Flächendeckend gilt ab 2021, dass Stickstoff und phosphathaltige Dünger nicht mehr auf gefrorenem Boden ausgebracht werden dürfen. Stickstoff- oder phosphathaltige Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel dürfen weiterhin nicht aufgebracht werden, wenn der Boden für diese Stoffe nicht aufnahmefähig ist. Der

¹⁰ Novelle Düngeverordnung seit 2006 bis heute: 2006, 2007, 2009, 2010, 2012, 2017, 2020 vgl. <https://www.buzer.de/gesetz/7081/l.htm>

Boden ist nicht aufnahmefähig, wenn er überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder schneebedeckt ist. Bisher gab es eine Ausnahmeregelung bei gefrorenem Boden, um Bodenverdichtungen durch Befahrung zu vermeiden. Diese Ausnahmeregelungen sind komplett gestrichen worden. Auch Festmist von Huf- oder Klauentieren und Kompost darf nicht mehr bei gefrorenem Boden gefahren werden.

Die Bundesländer sind jetzt verpflichtet nach Erfüllung der folgenden drei Kriterien Phosphorgebiete auszuweisen:

- Wo die Werte entweder für den guten ökologischen Zustand für ortho-Phosphat, Phosphor oder für Gesamtphosphor¹¹ laut Oberflächengewässerverordnung überschritten sind und
- Die biologischen Qualitätskomponenten (Phytobenthos/ Makrophyten) laut Oberflächengewässerverordnung nicht die Klasse „guter Zustand“ erreichen
- Wo durch Modellierungs- oder Monitoringergebnisse eine Eutrophierung durch signifikante Nährstoffeinträge (Phosphat) aus landwirtschaftlichen Quellen nachgewiesen worden sind.

Die entsprechende Verwaltungsvorschrift ist seit Januar 2021 in kraft getreten.

Info-Box 3: Ausweisung Phosphorgebiete im Rahmen der Novellierung der DüV 2020 (Hüther 2020)

Die aktuell novellierte Düngeverordnung (2020) enthält neue Anforderungen zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft. Insbesondere die bereits von Schmitt et al. (2018) und Kieburning (2018) genannten Maßnahmen wie Erosionsschutz in Abhängigkeit von der Hangneigung, welche in Kapitel 3.2.4 weiter erläutert werden, sind jetzt durch den Gesetzgeber verpflichtend eingeführt worden. Auch die Einführung bzw. Änderungen der Sperrfristen für phosphathaltige Dünger und Wirtschaftsdünger werden im Einzugsgebiet Theel und Ill zu einer Vermeidung der oberflächigen Abschwemmung in Gewässer durch ungünstige Düngetermine führen. Die spezifischen Auflagen bezüglich der Phosphatdüngung wie

- Ermittlung Gesamtphosphatgehalte der eingesetzten Düngemittel
- Ermittlung Bodenphosphatgehalte vor dem Aufbringen wesentlicher Nährstoffmengen (> 30 kg Phosphat pro ha und Jahr)
- Maximale Phosphor-Entzugsdüngung auf Böden mit mehr als 20 mg Phosphat je 100 g Boden

werden langfristig zu Erleichterungen führen. Der bis zum Jahr 2020 (DüV 2017) angewendete Nährstoffvergleich nach der Feld-Stall-Bilanzmethode ließ bis jetzt im Mittel von sechs Jahren einen Phosphat-Saldo von +10kg/ Phosphat pro Hektar zu. Dieser zulässige Phosphat-Überhang von 10 kg/ Phosphat galt nur für Flächen mit einer Phosphor-Versorgung von bis zu 20 mg P₂O₅ je 100 g Boden. Die Nährstoffbilanzen geben Auskunft über die Mehr- oder Minderungen an Phosphor bzw. Nitrat, die innerhalb eines bestimmten Bewirtschaftungszeitraumes ausgebracht werden. Für die Bewertung des Risikos eines

¹¹ Für Fließgewässer gilt ausschließlich der Ortho-Phosphatwert.

Stoffaustrags ist die Nährstoffbilanz sehr gut geeignet, weil in einem Parameter eine gesamte Stoffbilanzierung zur Verfügung gestellt wird. Je höher der Überschuss an Nährstoffen, umso höher ist auch das Risiko eines Stoffaustrags.

Nach Auswertung einer anonymisierten Erhebung der Nährstoffbilanzen der landwirtschaftlichen Betriebe im Einzugsgebiet Theel und Ill für das Jahr 2018 konnte gezeigt werden, dass im Mittel die Nährstoffbilanz bezogen auf Phosphat mit -8 kg/ha landwirtschaftlicher Nutzfläche unterhalb des Grenzwertes der DüV liegt. Im Jahresvergleich kann von Schwankungen in einer Größenordnung von ± 5 kg/ha landwirtschaftlicher Nutzfläche ausgegangen werden. Somit liegen die gemittelten Nährstoffsalden auch im Jahresvergleich unter dem Grenzwert. Es ist davon auszugehen dass durch diesen negativen Saldo im Durchschnitt keine Nährstoffanreicherung im Boden des Einzugsgebietes Theel und Ill stattfindet und das Risiko eines Stoffaustrages gering ist.

Die Novellierung der DüV ist ein wichtiger Aspekt hinsichtlich der Eintragspfade von Phosphor im Einzugsgebiet von Theel und Ill, da durch die verschiedenen Novellierungen auch die Düngepraxis z.B. durch Sperrfristen und erosionsgefährdete Flächen angepasst werden muss. Vor diesem Hintergrund ist auch die Aktualität der Studie von Schmitt et al. (2018) zu bewerten. Diese bezieht sich in ihren Annahmen für die Landwirtschaft auf die Studie von Kubiniok & Honecker (2015). Schmitt et al. (2018) weisen darauf hin, dass die Messdaten aus den Jahren 2010/2011 stammen und es ist nicht erkenntlich welche Düngepraxis und in dem Zuge welche DüV-Novelle als Grundlage für die Modellierungen diente.

Die Auswirkungen des Rechtsrahmen auf die Düngepraxis und der damit verbundenen Verringerung der Phosphatdüngung sollten sich positiv auf die Nährstoffeinträge in die Gewässer im Einzugsgebiet von Theel und Ill ausgewirkt haben. Auch wenn die vorliegende Studie diesen Zusammenhang nicht anhand der Gewässerdaten nachweisen kann, zeigt die Nährstoffbilanz, dass die Düngung dem Pflanzenbedarf angepasst ist.

3.3.2 Ökologischer Landbau

Ökologische Landwirtschaft gilt als besonders gewässerschonend, die marktbedingte Umstellung vieler Betriebe führt zu einer Verringerung des Phosphateintrags in Gewässer.

Im Rahmen der Studie Kubiniok & Honecker (2015) wurden unterschiedliche Landnutzungsszenarien und deren Einfluss auf die Gewässeremissionsfrachten analysiert. Ein Szenario bildete dabei der ökologische Landbau.

Im ökologischen Landbau steht der Kreislaufgedanke im Vordergrund. Aufgrund der vielfältigen Umweltwirkungen ist der ökologische Landbau auch Teil der Agrarumwelt und Klimamaßnahmen und wird explizit gefördert. Das Ziel des ökologischen Landbaus ist die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Die Düngung und externe Nährstoffzufuhr erfolgt zu allererst zur Versorgung des Bodens und nicht direkt zur Ernährung der Pflanze (Schnug et al. 2003).

Phosphor ist auch im ökologischen Landbau ein unentbehrlicher Pflanzennährstoff. Eine externe Zufuhr ist hier aber lediglich von nicht wasserlöslichen P-Formen erlaubt. Eine bilanzorientierte Entzugsdüngung ist mit diesen Produkten jedoch schwierig und es besteht die Gefahr einer Unterversorgung, mit negativen Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit

(Schnug et al. 2003). Insbesondere in viehlosen ökologisch bewirtschafteten Betrieben kann es zu einer P-Unterversorgung kommen, welches die Pflanzenentwicklung beeinträchtigt (BLV 2006).

Info-Box 4: Ökologischer Landbau

Laut Schmitt et al. (2018) ermöglicht eine flächendeckende Umstellung zur ökologischen Bewirtschaftungsweise, dass hierdurch die Güteklasse durchgängig bis zur Mündung der Ill in die Theel und im Unterlauf der Theel die Güteklasse GUT fast erreicht werden kann. Die Ergebnisse von Schmitt et al. (2018) basieren auf den Szenarien in der Studie von Kubiniok & Honecker (2015). Die Berechnung dieser Szenarien basierte auf einer Datengrundlage im landwirtschaftlichen Bereich von 2010/ 2011.

Der Ökolandbau wird seit Jahren im Saarland intensiv gefördert. Seit 2011 wurden bereits viele Betriebe und landwirtschaftliche Nutzflächen auf eine ökologische Bewirtschaftungsweise umgestellt. In den Gemeinden im Einzugsgebiet Theel und Ill ist der ökologische Landbau von 2010 bis 2016 um >40 % angestiegen. Abbildung 15 zeigt die Entwicklung des Ökolandbaus der einzelnen Gemeinden.

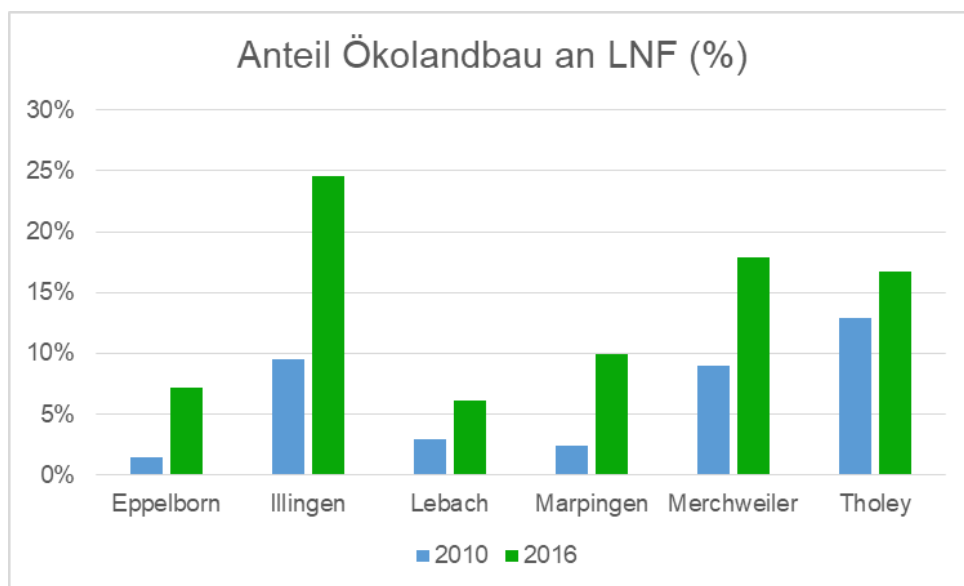


Abbildung 15 Ökolandbau in % der landwirtschaftlichen Nutzfläche in den Gemeinden im Einzugsgebiet Theel und Ill

Die Studien von Schmitt et al. (2018) und Kubiniok & Honecker (2015) nennen den ökologischen Landbau als Maßnahme mit dem größten Potenzial zur Reduzierung von Phosphor-Einträgen aus der Landwirtschaft an. Sie ermittelten ein Reduktionspotenzial von ca. 50 %. Allerdings basiert diese Annahme auf den Daten zur Anzahl der ökologisch bewirtschafteten Flächen aus dem Jahr 2011. Abbildung 15 verdeutlicht, dass bereits im Jahr 2016 ein deutlicher Anstieg an Ökolandbau im Einzugsgebiet stattgefunden hat und das Einsparpotenzial durch den Eintrag aus der Landwirtschaft sich bereits reduziert haben muss.

Auch wenn unter rein ökologischen Aspekten es sinnvoll wäre, die gesamte Landwirtschaft auf eine ökologische Betriebsweise umzustellen, tragen die Kosten und Risiken für diese Veränderung die einzelnen Betriebe. In dem Portal Agrarwissen werden folgende Punkte als Vor- bzw. Nachteile gelistet, die bei der Entscheidung zur Betriebsumstellung bedacht werden müssen:

Vorteile

- weniger Kosten für Pflanzenschutzmittel;
- je nach Feldfrucht deutlich höhere Preise;
- bessere Akzeptanz bei Nachbarn und Verbrauchern;
- geringere Betroffenheit durch gesetzliche Novellierungen: zukünftig ist mit verstärkten Restriktionen bei Pflanzen- und Gewässerschutz zu rechnen;
- der durchschnittliche Gewinn ist im Vergleich zu konventionell wirtschaftenden Betrieben höher, was jedoch auch zu großen Teilen an den deutlich höheren Direktzahlungen je Hektar liegt;

Nachteile

- höhere Personalkosten je Hektar, da auch deutlich mehr Arbeitsgänge zur Bewirtschaftung notwendig sind;
- deutlich geringere Erträge je Hektar;
- Schwankungen bei der Qualität der Ernte;
- die schlechtere Haltbarkeit der Produkte kann zu höheren Ausfällen führen
- deutlich erhöhtes Ertragsrisiko, aufgrund der streng einzuhaltenden Vorgaben
- höhere Verwaltungskosten durch Zertifizierungsvorgaben und Dokumentationen
- teure Umstellungsphase durch zumeist notwendige Investitionen zur Einhaltung der Auflagen.

Eine Umstellung zur ökologischen Bewirtschaftung muss daher gut durchdacht und geplant sein. Die Umstellung kann nicht als flächendeckende Lösung angesehen werden, sondern muss immer individuell für den einzelnen Betrieb getroffen werden. Daher ist es wichtig, dass die Vorteile für das Ökosystem und den Gewässerschutz betont werden, aber jedem die Freiheit einer Entscheidung über die Ausübung seiner beruflichen Tätigkeit obliegt. Zudem weisen Doluschitz & Kühne (2019) daraufhin dass die intensive Förderung des Ökolandbaus immer an das aktuelle Marktgeschehen und die Nachfrage an Bioprodukten gekoppelt sein muss.

Der folgende Absatz enthält die Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirates für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz: *„Der ökologische Landbau ist ein vergleichsweise umweltfreundliches System, von dem auch Innovationsimpulse für die gesamte Landwirtschaft ausgehen. Er sollte deshalb auch weiterhin gefördert werden. Aber mehr Ökolandbau ist nicht in jeder Hinsicht nachhaltiger, so dass eine Komplettumstellung der Landwirtschaft nicht das Ziel sein sollte. Die häufig (zu) pauschale Gegenüberstellung von konventionell versus bio trifft nicht die Qualität der Landwirtschaft mit ihren vielfältigen Betriebskonzepten. Vom Grundsatz her und global gedacht sind nachhaltigere Landbausysteme mit höherer Flächennutzungseffizienz als im Ökolandbau, wie er derzeit definiert ist, denkbar.“* (WBAE 2020: 31).

Durch eine ökologische Bewirtschaftungsweise können die Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft reduziert werden. Der Ökolandbau wurde im Einzugsgebiet Theel und Ill zunehmend erweitert. Diese Entwicklung müsste sich in den Phosphorkonzentrationen der Gewässer widerspiegeln.

Eine Forderung der Ausweitung von ökologischer Landwirtschaft ist nicht nur der Begründung des Gewässerschutzes zu rechtfertigen.

3.4 Abwasserentsorgung als Ursache für die Eutrophierung von Theel und Ill

In Hessen liegen umfangreiche Daten und detaillierte Erkenntnisse zum Phosphoreintrag in Gewässer vor (Seel 2019). Daher soll überprüft werden, ob die vorliegenden Daten zu Theel und Ill vergleichbar sind mit der hessischen Situation und welche Rückschlüsse daraus gezogen werden können. In Hessen sind als Hauptursache die Einleitungen der Kläranlagen identifiziert; die landwirtschaftlichen Einträge spielen nur eine geringe Rolle.

Es liegen Daten des Landesamts für Umwelt- und Arbeitsschutz (LUA) vor, das regelmäßig die betreffenden Gewässer untersucht. Die Universität des Saarlandes (UdS) in Saarbrücken hat in den Jahren 2018/2019 mit mobilen automatischen Messstationen Untersuchungen im Einzugsgebiet gemacht (Meyer et al. 2021) und der Entsorgungsverband Saar (EVS), der die Kläranlagen betreibt, stellte Eigenkontrolldaten bereit. Im Detail liegen die in Tabelle 12 genannten Daten für weitere Auswertungen und Bewertungen vor. Der Autor hat mit dem Auftraggeber vereinbart, dass darüber hinaus keine weiteren Daten, insbesondere zu den Abwasseranlagen, erfragt werden.

Table 12: Datenreihen

Herkunft	Zeitraum	
LUA	2010-2019	Theel (Knorscheid) und Ill (Bubach): Konzentrationen von ortho-Phosphat, Gesamtphosphor, Nitrat von monatlichen Stichproben; 2016: 6 Proben
	2014, 2017	Alsbach; Theel (Sotzweiler); Saubach; Wiesbach: Konzentrationen von ortho-Phosphat und Gesamtphosphor von je 6 äquidistanten Stichproben aus beiden Messjahren
	2010-2019	Niederschlagsdaten für Theley, Lebach, Sotzweiler, Wustweiler; Abfluss: Lebach, Eppelborn
UdS	05.04.2018-19.03.2019	Alsbach: Frachten von Gesamtphosphor, ortho-Phosphat; Konzentration: Ammonium, Nitrat, Gesamtphosphat, ortho-Phosphat
	01.07.2018-30.10.2019	Ill: Frachten von Gesamtphosphor, ortho-Phosphat; Konzentration: Ammonium, Nitrat, Gesamtphosphat, ortho-Phosphat
	09.04.2018-08.10.2019	Theel: Frachten von Gesamtphosphor, ortho-Phosphat; Konzentration: Ammonium, Nitrat, Gesamtphosphat, ortho-Phosphat
EVS	2017-2019	Daten für die 5 Kläranlagen im Einzugsgebiet: <ul style="list-style-type: none"> • Tagesabwassermengen • Gesamtphosphorkonzentrationen im Zulauf • Gesamtphosphorkonzentrationen im Ablauf
EVS	2011-2019	Daten für die 5 Kläranlagen im Einzugsgebiet: <ul style="list-style-type: none"> • Jahresabwassermenge • Jahresmittelwerte Gesamtphosphor-Konzentrationen im Ablauf

Umfang und Qualität der Daten sind unterschiedlich: Die Messfrequenz der Eigenkontrolle der Phosphor-Ablaufkonzentrationen differiert bei den fünf Kläranlagen. Bei der Kläranlage Sotzweiler liegen tägliche Werte vor, bei den Kläranlagen Wustweiler und Bubach wurde an sechs Tagen in der Woche gemessen. Bei der Kläranlage Lebach wurde unregelmäßig, meist aber an zwei Tagen pro Woche gemessen, während bei der Kläranlage Dirmingen nur ein Messwert pro Woche vorliegt. Daten zur Abwassermenge liegen dagegen von allen Kläranlagen von allen Wochentagen vor. Zur Berechnung der Phosphorfrachten wurden die Datenlücken der Konzentrationen durch lineare Interpolation zwischen dem Messwert vor und dem Messwert nach der Lücke gefüllt. Zu einer geringeren Genauigkeit bei den Frachtermittlungen führt auch, dass im Unterschied zu den Regelungen in anderen Bundesländern keine 24-Stunden-Mischproben untersucht wurden.

An der von der Universität des Saarlandes betriebenen mobilen Messstation an der Theel kam es aufgrund technischer Störungen zu mehreren mehrtägigen Ausfällen, die insgesamt 38 der 510 untersuchten Tage umfassten. Aufgrund der großen Dynamik war es hierbei problematisch, die Lücken mit einfachen rechnerischen Verfahren zu füllen. Daher wurden bei den weiteren Auswertungen und Berechnungen, z. B. von Jahresfrachten, diese Tage nicht berücksichtigt, so dass es zu Minderbefunden gegenüber einem kompletten Messjahr kommt. Bei Vergleichen mit den Kläranlagenfrachten wurden die Tagesfrachten der Kläranlagen an den „Lückentagen“ der Gewässermengungen ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Messstation an der Ill ist dagegen nur an einem Tag ausgefallen; der entsprechende Messwert konnte aufgrund eines gleichmäßigen Konzentrationsverlauf an den entsprechenden Tagen gut abgeschätzt werden.

3.4.1 Vergleich von Gewässerabschnitten mit Kläranlagen oberhalb der Messstelle mit Gewässerabschnitten ohne Kläranlagen

Dem HLNUG liegen langjährige Datenreihen der ortho-Phosphat-Konzentrationen von 313 repräsentativen Messstellen hessischer Fließgewässer-Wasserkörper vor.

Die jeweiligen Dreijahresmittelwerte sind in der Abbildung 16 als Säulendiagramm dargestellt. Dabei sind die Werte der 238 Messstellen mit Kläranlageneinfluss der Größe nach geordnet in hellgrün, die 75 Messstellen ohne Kläranlageneinfluss in dunkelgrün dargestellt. Man erkennt, dass die Konzentrationen der Messstellen mit Kläranlagen im Mittel mehrfach so hoch sind wie diejenigen ohne Kläranlageneinfluss. Obwohl bei den Wasserkörpern ohne Kläranlageneinfluss häufig Mischwasserentlastungen oberhalb liegen und obwohl häufig das Einzugsgebiet intensiv landwirtschaftlich genutzt wird, sind hier in der Regel die Orientierungswerte der OGewV für ortho-Phosphat eingehalten. In den vergangenen Jahren wurde durch verschiedene Recherchen des HLNUG, Bachbegehungen und Sonderprobenahmen versucht zu klären, warum ca. 10 % der Wasserkörper den Orientierungswert überschreiten, obwohl keine Kläranlagen einleiten. Bisher konnte an einigen dieser meist kleinen Bäche erkannt werden, dass ein Abwassereinfluss gegeben ist (Mischwasserentlastung; andere kommunale Einleitungen, etc.). An keinem einzigen Bach wurde bisher ein Hinweis gefunden, dass landwirtschaftliche Einträge maßgebend sind. An einem dieser Bäche wurde eine einzige Mischwasserentlastung saniert mit der Folge, dass daraufhin die Orientierungswerte eingehalten wurden.

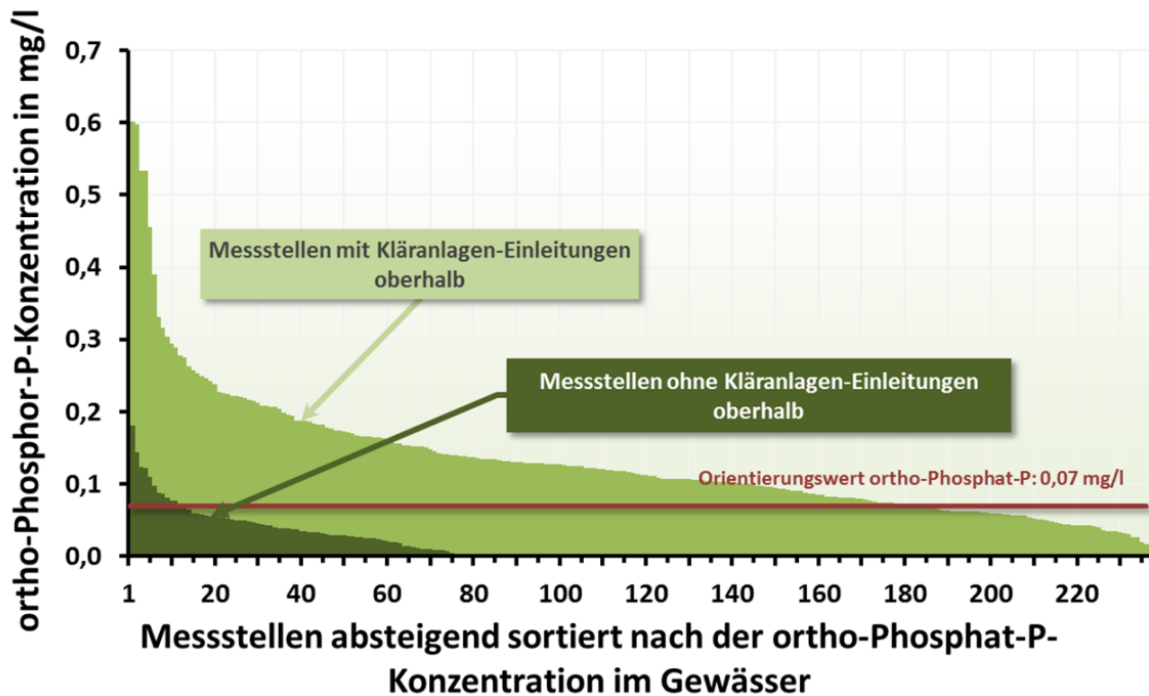


Abbildung 16: ortho-Phosphat-P-Konzentrationen an repräsentativen Messstellen differenziert nach Kläranlagen-Einfluss; Durchschnitt aus maximal 3 Messjahren mit jeweils mindestens 12 Stichproben von 2007-2017; Quelle: HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE

Das LUA Saarbrücken beprobt an Theel und Ill zwei Messstellen regelmäßig monatlich seit vielen Jahren: Theel Knorscheid und Ill Bubach, beide in der Nähe der jeweiligen Mündung (siehe Abbildung 17).

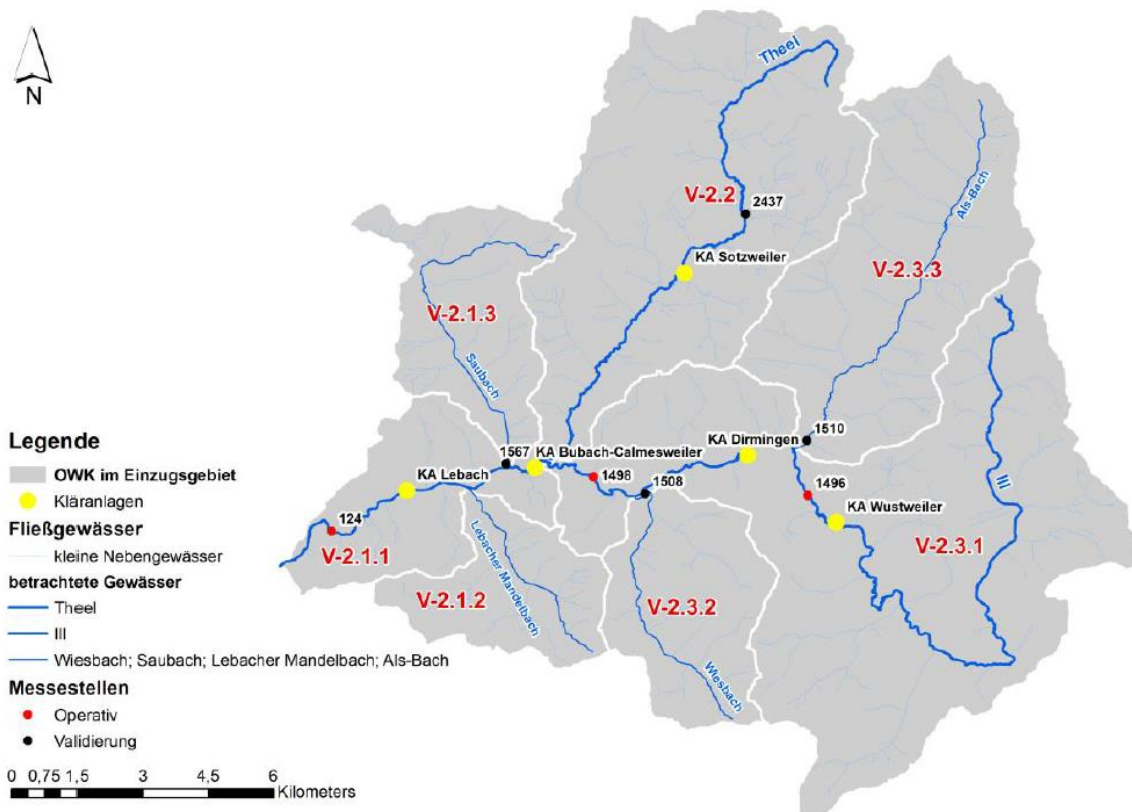


Abbildung 17: Karte des Einzugsgebietes von Theel und Ill mit Gewässermessstellen und Kläranlagen (Schmitt et al. 2018)

Die Nebengewässer Alsbach, Saubach und Wiesbach sowie die obere Theel Sotzweiler (oberhalb der Kläranlage) wurden vom LUA nur im Rahmen von Sonderuntersuchungen in den Jahren 2014 und 2017 je 6-mal äquidistant untersucht, so dass von diesen Messstellen von jedem Kalendermonat je eine Stichprobe vorliegt. Alle 5 Kläranlagen leiten oberhalb der Hauptmessstellen an Theel und Ill ein; an den Nebengewässern und dem Theel-Oberlauf gibt es dagegen keine Kläranlagen.

In Tabelle 13 werden die Mittelwerte aus den Jahren 2014 und 2017 dieser Messstellen miteinander verglichen. Die Nebengewässer zeigen im Vergleich zu Ill und Theel-Unterlauf ein deutlich niedrigeres Konzentrationsniveau bei ortho-Phosphat und Gesamtphosphor. Die ortho-Phosphat-Werte sind 4- bis 6-mal geringer und unterschreiten den Orientierungswert mit Ausnahme des Wiesbachs, der einen Mittelwert leicht oberhalb des Orientierungswertes zeigt. Die landwirtschaftliche Nutzung ist in allen Teileinzugsgebieten ähnlich (vgl. Kapitel 3.2); daher scheiden landwirtschaftliche Einträge als Erklärung für die Befunde aus. Auch ist bemerkenswert, dass oberhalb aller Messstellen zahlreiche Mischwasserentlastungen einleiten, die sicher einen erheblichen Beitrag zur P-Jahresfracht in den Gewässern erbringen, aber dennoch an den gravierenden Konzentrationsunterschieden zwischen Mündungsbereich von Ill und Theel einerseits und den Nebengewässern andererseits nichts ändern. Auch die Gesamtphosphorwerte der Nebengewässer sind unterhalb oder nahe an den Orientierungswerten. Diese Daten geben einen deutlichen Hinweis, dass die Bäche im Theel-Ill-Gebiet sich hinsichtlich des Einflusses von Kläranlagen ähnlich verhalten, wie für hessische Gewässer in Abbildung 16 gezeigt werden konnte.

Tabelle 13: Konzentrations-Mittelwerte aus den Messjahren 2014 und 2017, Daten LUA

	ortho-Phosphat-P (mg/l)	Pges (mg/l)
Orientierungswert	0,07 mg/l	0,1 mg/l
Theel Knorscheid	0,24	0,30
Ill Bubach	0,24	0,29
Alsbach Dirmingen	0,049	0,090
Saubach	0,059	0,107
Theel Sotzweiler	0,041	0,075
Wiesbach	0,081	0,107

Die Universität des Saarlandes hat die Phosphor-Konzentrationen 2018 und 2019 an Theel und Ill in der Nähe der Mündung sowie am Alsbach in seinem Mittellauf kontinuierlich gemessen (siehe Tabelle 14). Diese statistisch bestens abgesicherten Mittelwerte zeigen den gleichen Zusammenhang, wie er anhand der teilweise wenigen Daten des LUA erkannt werden konnte. Der Anteil an ortho-Phosphat-P ist bei den niedrigen Konzentrationen im Alsbach zudem mit 54 %, bezogen auf die Jahresmittelwerte, deutlich niedriger als an Theel und Ill. Auch dies entspricht der hessischen Datenlage, wie sie in Kap. 3.1.1 beschrieben ist.

Tabelle 14: Konzentrations-Mittelwerte aus kontinuierlichen Messungen mit mobilen Messstationen, Daten UdS

	ortho-Phosphat-P (mg/l)	Pges (mg/l)	ortho-Phosphat- P-Anteil (%)
Orientierungswert	0,07 mg/l	0,1 mg/l	
Theel Knorscheid 9.4.18 - 8.4.19	0,218	0,268	81
Theel Knorscheid 9.10.18 - 8.10.19	0,215	0,258	83
Ill Bubach 1.7.18 – 30.6.19	0,158	0,209	76
Ill Bubach 31.10.18 – 30.10.19	0,166	0,220	75
Alsbach Marpingen 5.4.18 – 20.3.19	0,046	0,085	54

3.4.2 Abhängigkeit der Gewässerkonzentration von den Kläranlagenkonzentrationen

In mit hoher Frequenz untersuchten hessischen Flüssen zeigt sich ausgehend von Messdaten aus 10 Jahren ein statistisch außerordentlich gut gesicherter Zusammenhang zwischen den Jahresmittelwerten der Gewässerkonzentrationen von ortho-Phosphat bzw. Gesamtposphor mit den Kläranlagenablaufkonzentrationen. An den betreffenden Gewässermessstationen wird ca. alle 8 Minuten eine Wasserprobe aus dem Fluss in ein Probenahmegefäß überführt und nach einer Woche als Mischprobe u. a. auf Gesamtposphor untersucht. Aus analytischen Gründen wird ortho-Phosphat in einer wöchentlichen Stichprobe untersucht. Daher liegen in jedem Messjahr für beide Parameter jeweils 52 Ergebnisse aus äquidistanten Proben vor. Für die Berechnung abflussgewichteter Jahresmittelwerte der Konzentrationen liegen die Jahresmittelwerte der Gesamtposphor-Konzentrationen in den Abläufen der oberhalb der Messstation gelegenen Kläranlagen sowie die jeweilige Jahresabwassermenge vor. Der abflussgewichtete Wert ist die Summe der P-Frachten der Kläranlagen dividiert durch die Summe der Jahresabwassermengen.

In Abbildung 18 ist die Abhängigkeit zwischen diesen Ablaufkonzentrationen und der Gewässerkonzentration für fünf verschiedene hessische Flüsse mit einem Einzugsgebiet zwischen 445 km² (Schwarzbach) und ca. 7000 km² (Fulda) dargestellt. Trotz der von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlichen Wettersituation und der Verwendung von Kläranlagenjahresdaten mit einem nicht unerheblichen statistischen Fehler lässt sich eine lineare Abhängigkeit statistisch sicher nachweisen; in den Grafiken ist dies für Gesamtposphor dargestellt. Die Abweichungsmaße R² liegen zwischen 0,88 und 0,97. Die Steigung der Ausgleichsgeraden ist ein Maß für den mittleren Abwasseranteil im Gewässer, der Achsenabschnitt zeigt den Beitrag anderer Eintragsquellen zu den Phosphorkonzentrationen. Mit Hilfe der Ausgleichsgeraden lässt sich auch gut abschätzen, welche Ablaufkonzentration der Kläranlagen erreicht werden müssen, um die Orientierungswerte zu unterschreiten unter der Voraussetzung, dass andere Maßnahmen, insbesondere Verbesserungen bei der Mischwasserentlastung keinen großen Beitrag leisten.

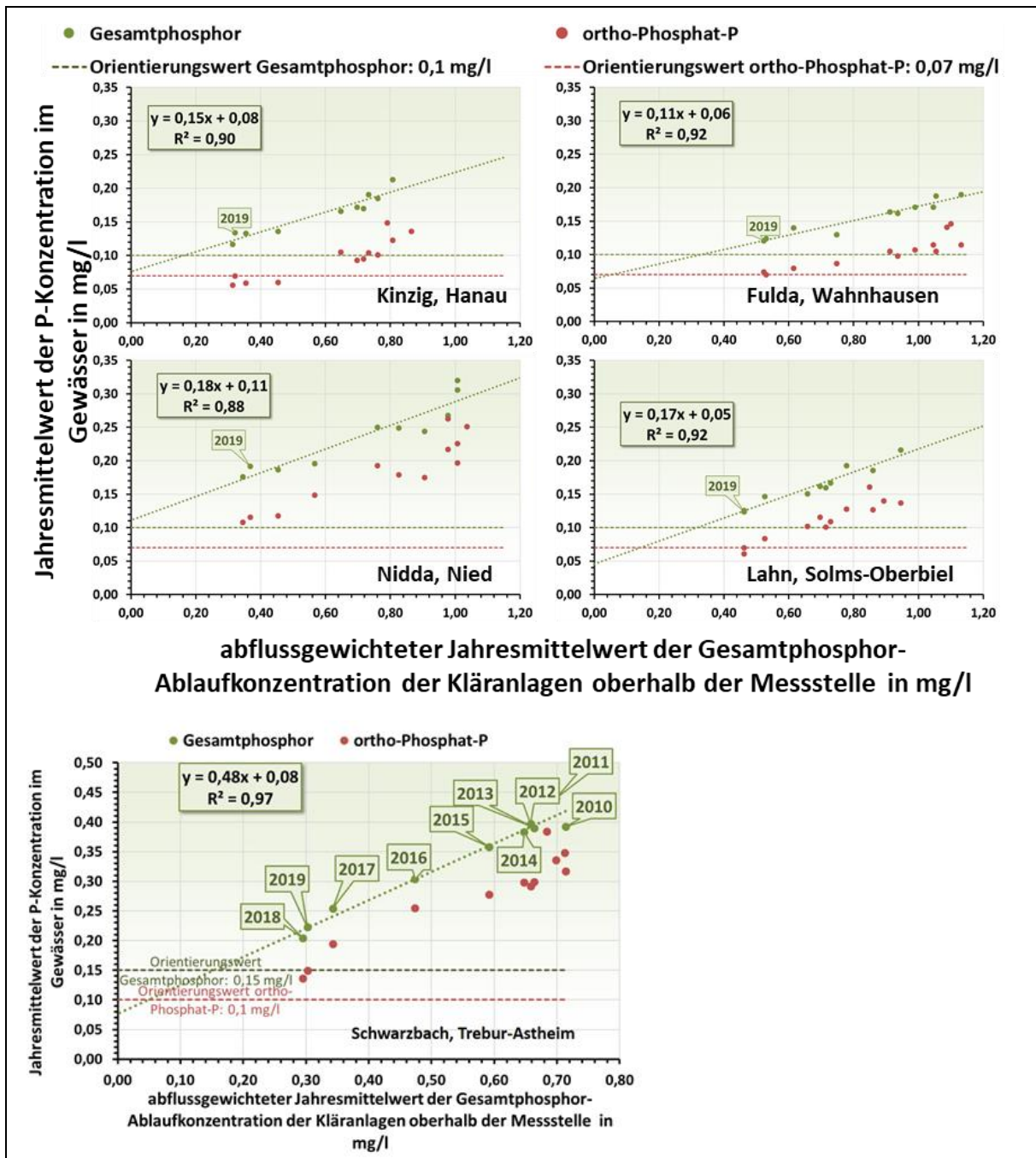


Abbildung 18: Abhängigkeiten zwischen Gewässerkonzentrationen und Ablaufkonzentrationen der entsprechenden Kläranlagen an hessischen Flüssen (Quelle HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE)

Auch an Theel (Abbildung 19) und Ill (Abbildung 20) führen die Verbesserungen an der Ablaufkonzentration der Kläranlagen, insbesondere der Kläranlage Wustweiler, zu verringerten Konzentrationen in den Gewässern. Die Abweichungsmaße der Ausgleichsgeraden sind nicht so gut wie bei den hessischen Beispielen (0,80 an der Theel, 0,67 an der Ill). Dies mag daran liegen, dass pro Jahr nur jeweils 12 Stichproben, in einem Jahr nur 6, an den Gewässern vorlagen anstelle von 52 Werten bei den hessischen Beispielen. Das schlechtere Abweichungsmaß speziell an der Ill kann aber auch darin begründet sein, dass hier eine besonders große Fremdwasserproblematik vorliegt (siehe Kap. 3.4.5), wodurch eine größere Abweichung in den Gewässerkonzentrationen in Abhängigkeit vom Wettergeschehen gegeben sein kann.

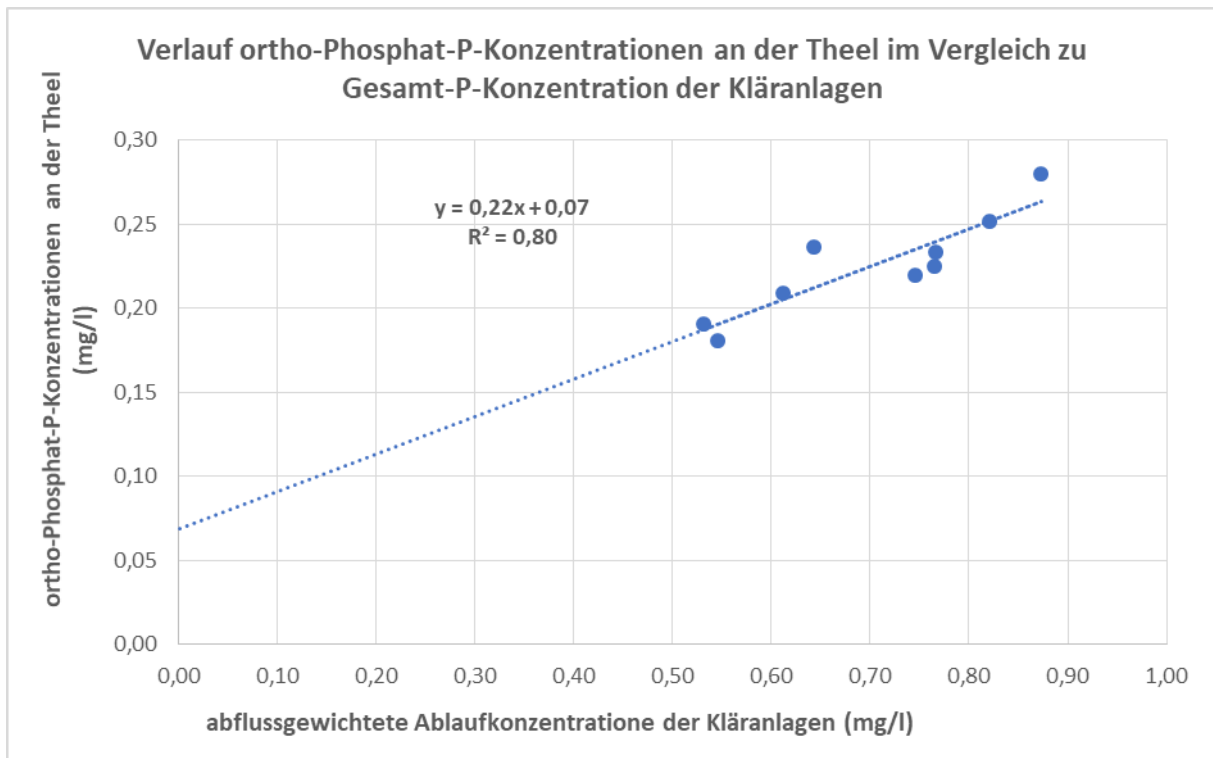


Abbildung 19: Abhängigkeit zwischen ortho-P-Konzentrationen an der Theel und den Ablaufkonzentrationen der entsprechenden Kläranlagen der Jahre 2011 bis 2019

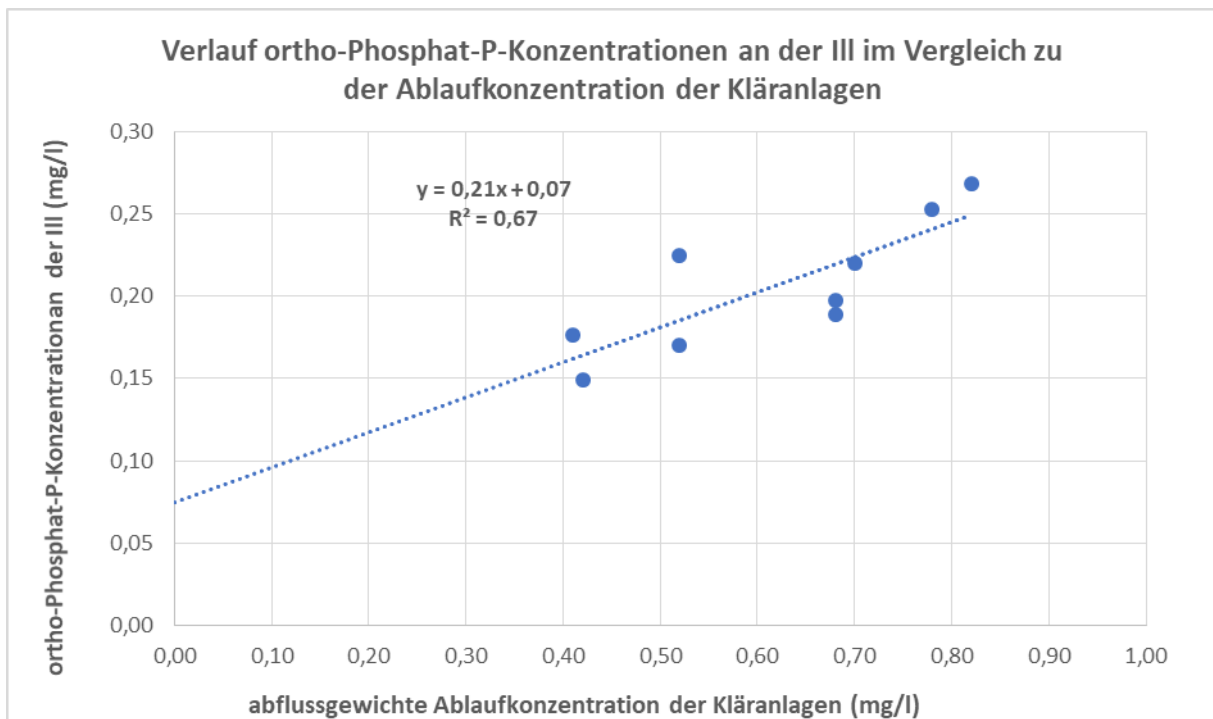


Abbildung 20: Abhängigkeit zwischen ortho-P-Konzentrationen an der III und den Ablaufkonzentrationen der entsprechenden Kläranlagen der Jahre 2011 bis 2019

Dennoch sind die dargestellten Zusammenhänge ein weiterer deutlicher Hinweis, dass an Theel und III die Kläranlagenanläufe die mit Abstand bedeutendste Ursache für die hohen ortho-Phosphat-Konzentrationen sind.

3.4.3 Anteil von ortho-Phosphat an Gesamtphosphor und Jahresverlauf

Sowohl an der Theel als auch an der Ill sind die Anteile von ortho-Phosphat an Gesamtphosphor, berechnet auf Basis der jeweiligen Jahresmittelkonzentrationen, sehr hoch (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Vergleicht man die Daten mit den hessischen Ergebnissen in Tabelle 13 in Kapitel 3.4.1, liegen sie im oberen Bereich der Perzentilverteilung für das Kollektiv von mittleren Jahreskonzentrationen von Gesamtphosphor zwischen 0,2 und 0,3 mg/l. Dies ist ein Anzeichen, dass hauptsächlich abwasserbürtige Einträge bei den mittleren Konzentrationen dominieren und nicht erosive Einträge von landwirtschaftlichen Flächen. Wären Einträge von eingeschwemmten Bodenpartikeln dominierend, müsste der Anteil an ortho-Phosphat eher klein sein (siehe Kapitel 3.4.1).

Tabelle 15: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen in der Theel, Knorscheid; Daten LUA; Mittelwert aus kontinuierlichen Messungen vom 9.4.18-8.10.19; Daten UdS

	ortho-P (mg/l)	Pges (mg/l)	Anteil ortho-Phosphat-P (%)
2010	0,259	0,278	93
2011	0,280	0,311	90
2012	0,225	0,258	87
2013	0,233	0,278	84
2014	0,252	0,280	90
2015	0,220	0,229	96
2016	0,209	0,265	79
2017	0,236	0,321	74
2018	0,181	0,236	77
2019	0,190	0,197	97
2018/2019	0,229	0,279	83

Tabelle 16: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen in der Ill, Bubach; Daten LUA; Mittelwert aus kontinuierlichen Messungen vom 1.7.18-30.10.19; Daten UdS

	ortho-P (mg/l)	Pges (mg/l)	Anteil ortho-Phosphat-P
2010	0,274	0,297	92
2011	0,268	0,298	90
2012	0,189	0,222	85
2013	0,220	0,263	84
2014	0,253	0,276	91
2015	0,198	0,211	94
2016	0,170	0,218	78
2017	0,224	0,297	76
2018	0,149	0,215	69
2019	0,176	0,218	81
2018/2019	0,179	0,232	76

Weitere Erkenntnisse bringen der Jahresverlauf des ortho-Phosphat-Anteils und die Abhängigkeit von dem Abfluss des Gewässers, der durch die Niederschläge geprägt ist. Dies ist in Abbildung 21 am Beispiel der Theel dargestellt, die Daten der Ill sind qualitativ sehr

ähnlich. Man erkennt, dass bei Abflussspitzen der ortho-Phosphat-Anteil deutlich reduziert ist. Im Minimum während der Messperiode sinkt er im Juni 2018 an einem Tag auf ca. 20 %. Am Vortag gab es im Einzugsgebiet Gewitter mit Starkniederschlägen. In den vier Niederschlagsmessstationen in Theley, Sotzweiler, Lebach und Wustweiler wurden Tageswerte zwischen 41 mm und 57 mm und damit die höchsten des Jahres registriert. Daten zur Niederschlagsintensität liegen hier nicht vor, aber aufgrund der Medienberichte ist von einer hohen Intensität auszugehen, die in Nachbarregionen zu Überschwemmungen geführt hat. Bei derartigen Niederschlägen ist von hohen Bodeneinträgen auszugehen, sei es von landwirtschaftlichen Flächen, von Wald- und sonstigen Flächen oder durch Erosion im Gewässerbett selbst. Auf die Mittelwerte des ortho-Phosphat-Anteil haben derartige Regenereignisse aber nur wenig Einfluss, da es an den meisten Tagen trocken ist oder nur wenig Regen fällt. Daher liegt in der Messperiode der UdS an der Theel der Mittelwert bei 83 %, der Median sogar bei 87 %. An der Ill ist der Mittelwert 76 %, der Median 80 %. Ein Teil des partikelgebundenen Phosphors muss den Kläranlagen zugerechnet werden, da diese je nach Qualität der Nachklärung ca. 0,1 mg/l bis 0,2 mg/l Feststoff-Phosphor emittieren, der auf der Fließstrecke bis zur Messstelle nur zum kleinen Teil ortho-Phosphat freisetzt.

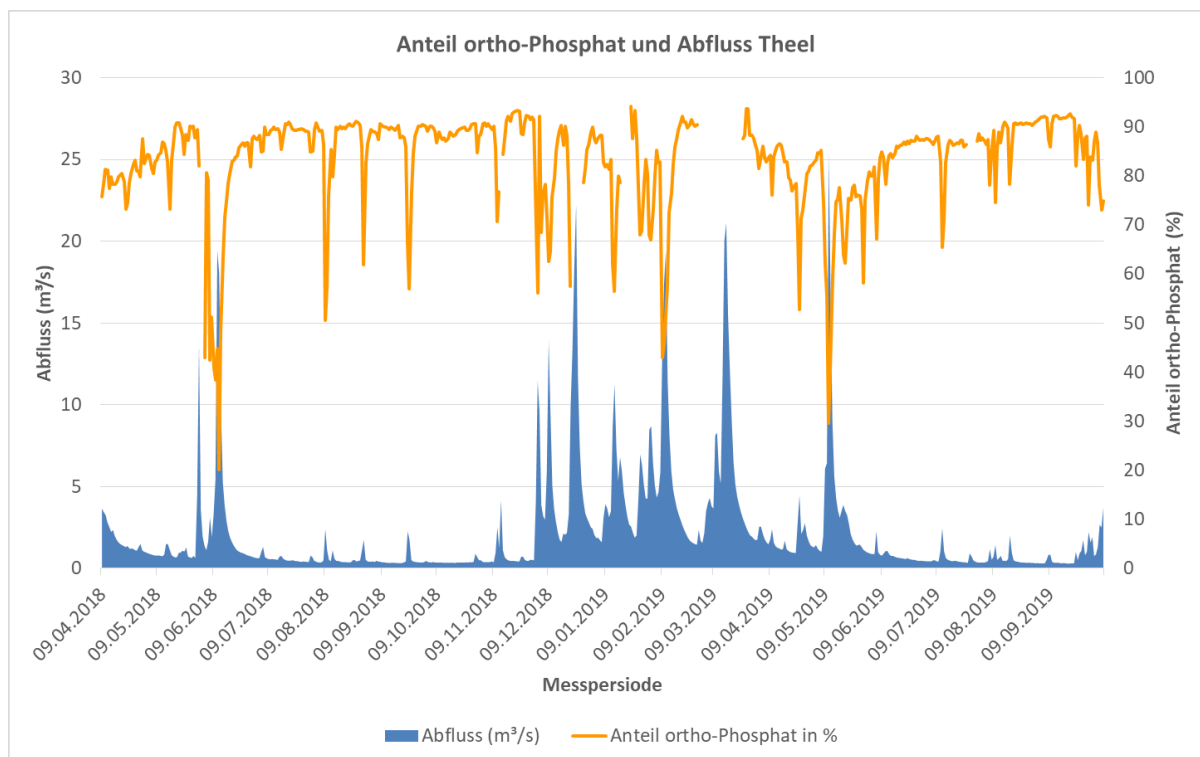


Abbildung 21: Prozentualer Anteil von ortho-Phosphat-Phosphor an Gesamt-Phosphor im Vergleich zum Abfluss an der Theel, Knorscheid

In Abbildung 22 ist am Beispiel der Theel dargestellt, wie sich die Konzentrationen von Gesamtphosphor und der Gewässerabfluss im zeitlichen Verlauf des Jahres ändern. Wie für die hessischen Flüsse gezeigt, sind die Konzentrationen bei niedrigen Abflüssen am höchsten, während sie bei den höheren Abflüssen, die hauptsächlich im Winterhalbjahr aufgetreten sind, deutlich niedriger liegen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Kläranlageneinleitungen an den meisten Messtagen maßgebend sind für die Konzentrationen und im Sommer bei Niedrigwasser weniger Verdünnungswasser für die Abläufe der Kläranlagen zur Verfügung steht.

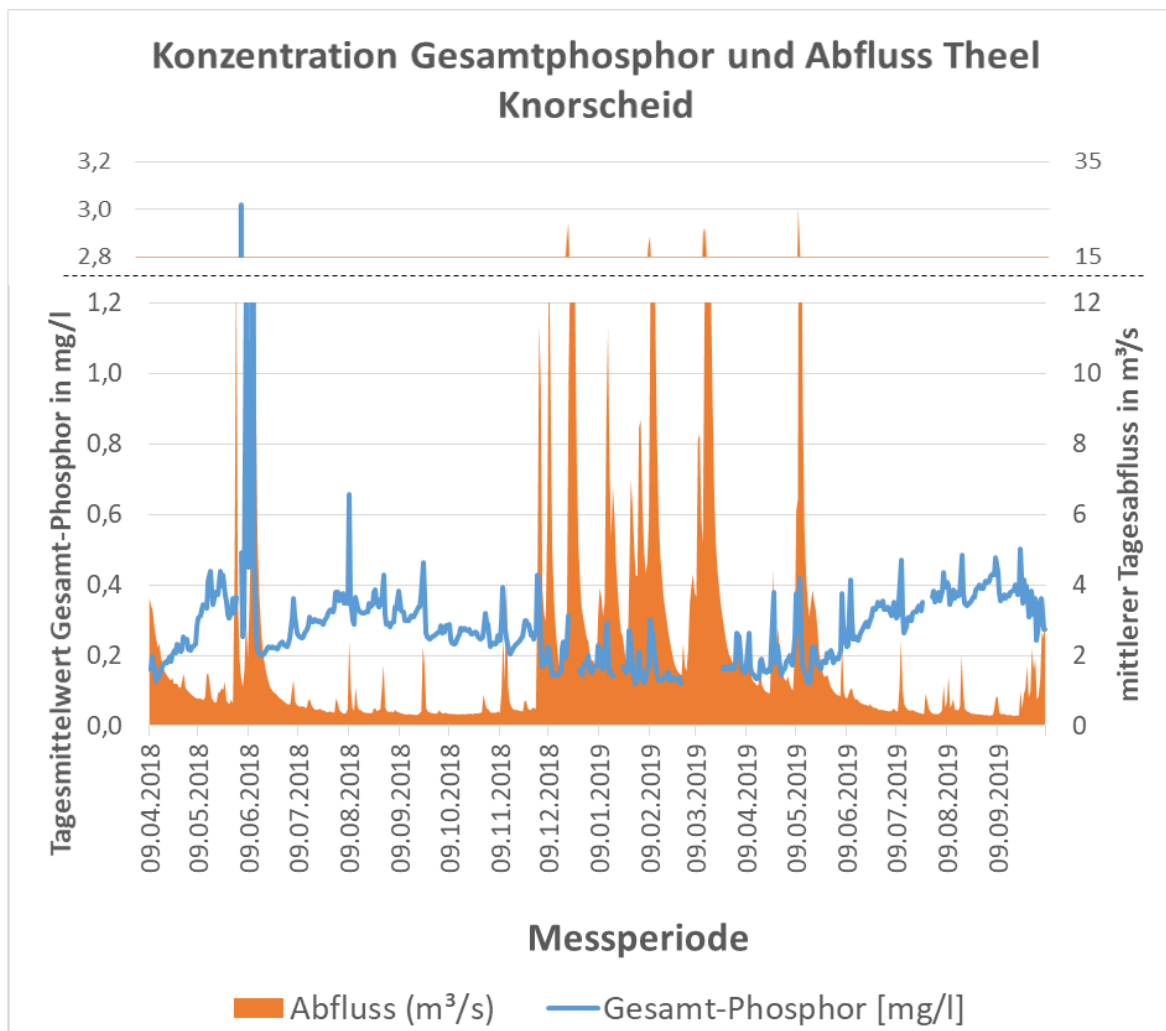


Abbildung 22: Konzentration von Gesamtphosphor als Tagesmittelwerte aus den online-Messungen der UdS an der Theel im Vergleich zum Abfluss der Theel

3.4.4 Fracht- und Konzentrationsauswertungen der Daten der UdS

Um die Zusammenhänge zwischen Konzentrationen, Frachten und Niederschlägen besser verstehen zu können, wurden ausgehend von den Daten der Messkampagne der UdS weitere Auswertungen vorgenommen, die in den Tabelle 17 und Tabelle 18 sowie in der Abbildung 24 zusammengefasst sind. Dabei wurde, um den Einfluss der oben diskutierten Jahresgänge bei Konzentrationen, Frachten und Abflüssen zu begrenzen, die jeweils über ein Jahr hinausgehenden Messperioden der UdS zu je einjährigen Datenreihen aufgeteilt, so dass die jeweils erste Berechnungsperiode (BT1) die Zeit vom Beginn der Messungen bis zum 365. Tag nach Beginn umfasst, die zweite Berechnungsperiode vom letzten Tag der Messperiode bis zum 365. Tag zurückgerechnet (BT2) umfasst; analog wurden die Berechnungsperioden an der Ill definiert (BI1 und BI2). Dadurch stehen vier Berechnungsperioden zur Verfügung, die sich an der Theel um sechs Monate, an der Ill um neun Monate überschneiden.

Die Summe der Jahresfrachten der 5 Kläranlagen an der Gesamtphosphor-Jahresfracht der Theel betragen 33 % für BT1 und 45 % für BT2. Der deutliche Unterschied zwischen beiden Perioden erklärt sich allein durch die schweren Unwetter vom 11.6.18, die zu Überschwemmungen und Hochwasser geführt hatten und zu einer Phosphorfracht an diesem

Tag von ca. 5 t geführt haben. Ohne diese Zusatzfracht wäre der Kläranlagenanteil bei BT1 genauso hoch gewesen wie bei BT2. Obwohl der Anteil der Tagesfracht an der Jahresfracht bei Gesamtphosphor ca. 27 % und bei ortho-Phosphat-Phosphor ca. 19 % betrug und die Tagesmittelwerte der Konzentrationen mit ca. 3 mg/l Gesamt-Phosphor und ca. 1,4 mg/l ortho-Phosphat-Phosphor relativ hoch waren, ist der Beitrag zu den mittleren Konzentrationen klein. Diese sind nur 3,1 % bzw. 1,6 % kleiner, wenn der 11.6. bei der Berechnung der Jahresmittelwerte nicht berücksichtigt wird.

An der III ist der Anteil der beiden Kläranlagen oberhalb der Messstelle mit 40 % bzw. 41 % für BI1 bzw. BI2 ähnlich hoch wie an der Theel.

Um den Einfluss von Regentagen auf die Jahresmittelwerte der Gewässerkonzentrationen, der Jahres-Gewässerfrachten und der Anteile der Kläranlagenfrachten an der Gewässerfracht besser beurteilen zu können, wurde jeweils errechnet, welche Werte sich ergeben, wenn 10 % oder 25 % der Messtage mit den höchsten Abflüssen im Gewässer nicht berücksichtigt werden. Die Abflüsse wurden als indirektes Maß für die Niederschläge verwendet, da die Niederschlagsmessstationen im Einzugsgebiet nicht ausreichen, um z. B. kleinräumige Gewitterregen hinreichend zu erfassen. Bei der Verwendung der Abflüsse wird allerdings in Kauf genommen, dass bei den o. g. Datenkollektiven auch Trockentage erfasst werden, bei denen der Abfluss nur aufgrund der im Winterhalbjahr erhöhten Quellschüttungen und erhöhtem Zwischenabfluss nach stärkeren Niederschlägen erhöht ist.

Bereits die Rechnung mit 10 % wie oben beschrieben hat eine erhebliche Reduktion der Jahresfrachten zur Folge: Die Gesamtphosphor-Jahresfracht reduziert sich um 46 % bis 60 % in den vier Messperioden; die entsprechenden Konzentrationen in den Gewässern ändern sich mit Werten zwischen -1,4 % und 1,6 % praktisch nicht (siehe Tabelle 17). Der Anteil der Gesamtphosphor- Kläranlagenfracht an der Gewässerfracht steigt auf ein enges Intervall von 68 % bis 71 %. Bei ortho-Phosphat reduzieren sich die Jahresfrachten der Gewässer etwas weniger stark im Vergleich zu Gesamtphosphor mit Werten zwischen 36 % und 49 %. Die mittleren Jahreskonzentrationen steigen jedoch signifikant an zwischen 2,3 % und 4,6 %. Eine Berechnung des Kläranlagenanteils ist bei diesem Parameter nicht möglich, da von den Kläranlagen nur Ablaufkonzentrationen von Gesamtphosphor vorliegen.

Tabelle 17: mittlere Konzentrationen und Frachten an der Theel, Knorscheid

Messperiode	Konzentration Gesamt-P (mg/l)	Konzentration ortho-Phosphat-P (mg/l)	Gesamt-P-Fracht in Theel (Kg)	ortho-Phosphat-P-Fracht in Theel (kg)	Gesamt-P_Fracht Kläranlagen Wustweiler, Lebach, Sotzweiler, Bubach, Dirmingen (kg)	Anteil Kläranlagen-Fracht an Theel-Fracht Gesamt-P (%)
9.4.18-8.4.19 BT1	0,268	0,218	18601	11671	6110	33
9.4.18-8.4.19 BT1 Ohne 10% der Tage mit höchstem Abfluss	0,264	0,223	7429	5925	5048	68
Differenz in %	-1,40%	2,30%	-60%	-49%	-17%	
9.4.18-8.4.19 BT1 Ohne 25% der Tage mit höchstem Abfluss	0,272	0,235	4390	3682	3580	82
Differenz in %	1,50%	7,80%	-76%	-68%	41%	
9.10.18-8.10.19 BT2	0,258	0,215	13471	9400	6090	45
9.10.18-8.10.19 BT2 Ohne 10% der Tage mit höchstem Abfluss	0,262	0,225	7317	5980	5105	70
Differenz in %	1,6%	4,6%	-46%	-36%	-16%	
9.10.18-8.10.19 BT2 Ohne 25% der Tage mit höchstem Abfluss	0,276	0,239	4539	3832	3673	81
Differenz in %	7,00%	11%	-66%	-59%	-40%	

Da Kläranlagen bei den hier festgestellten Gesamtposphor-Ablaufkonzentrationen zum großen Anteil ortho-Phosphat emittieren und sich zumindest ein Teil des partikelgebundenen Phosphors je nach Wassertemperatur und Fließzeit bis zur Messstelle in ortho-Phosphat umgewandelt hat (siehe Kapitel 3.1.1), dürfte der Kläranlagenanteil bei der 10 %-Variante noch höher sein. Schon bei dieser Variante wird deutlich, dass sich Frachten und Konzentrationen gegenläufig verhalten, womit die hessische Datenlage (siehe Kap. 3.1.2) bestätigt wird: Die Regentage führen zwar zu deutlich erhöhten Jahresfrachten, aber im Mittel nicht zu erhöhten mittleren Jahres-Konzentrationen. Im Gegenteil: Die ortho-Phosphat-Konzentrationen verringern sich im Mittel sogar. Zwar ist auch aus hessischen Datenreihen bekannt, dass an einzelnen Tagen auch die Konzentrationen ansteigen, wie es oben für den 11. Juni gezeigt wurde, aber im Mittel ist der Effekt der höheren Abflüsse, der zu einer Verdünnung der Abwässer führt, offenbar der dominierende. Am Beispiel der III (BT1) kann das in Abbildung 23 genauer betrachtet werden.

Die Zunahme der Konzentration mit niedrigeren Abflüssen ist die statistische Grundtendenz, aber an einzelnen Tagen kann die Konzentration auch bei höherem Abfluss nach oben davon abweichen. Dies kann man dadurch erklären, dass Kläranlagen und MWE sehr schnell nach Regenfällen zu erhöhten P-Einträgen in das Gewässer führen, während das „verdünnende Wasser“ aus der Fläche, z. B. durch Zwischenabfluss, zeitverzögert an der Messstelle ankommt.

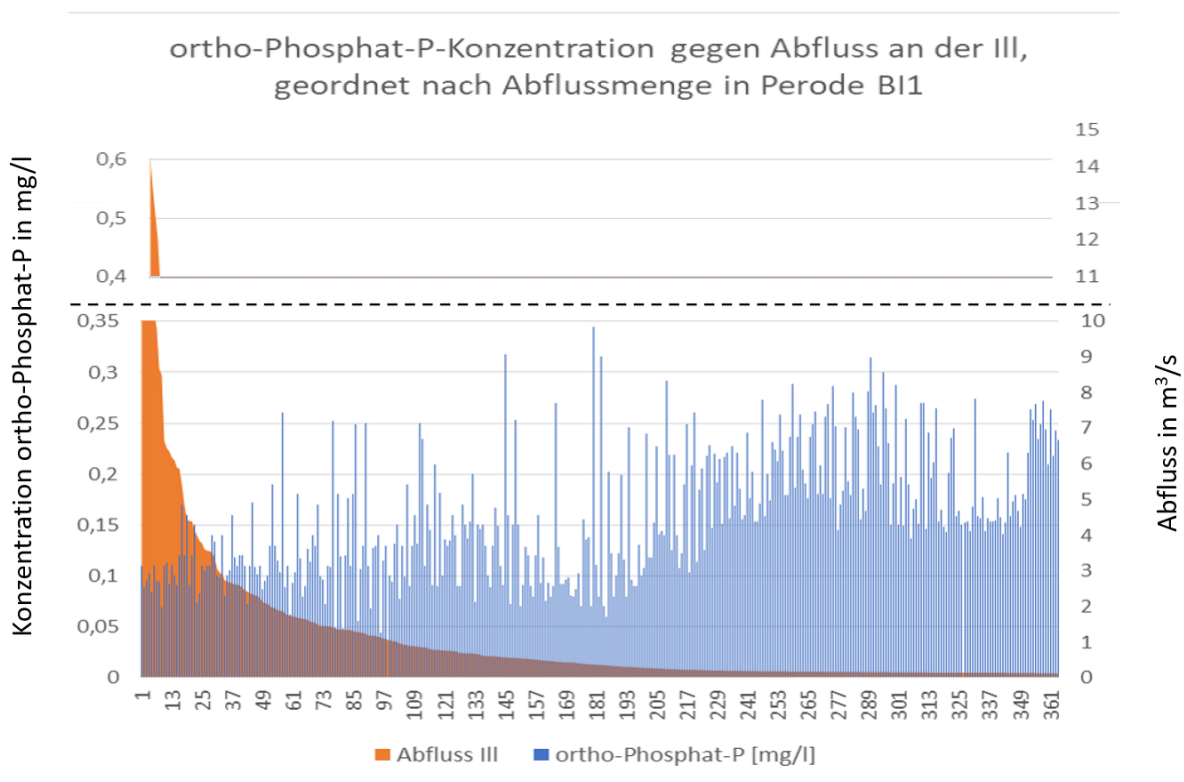


Abbildung 23: ortho-Phosphat-P-Konzentrationen im Vergleich zum Abfluss an der III (BI1), Daten geordnet nach Höhe des Abflusses, Abfluss bei 10 m³/s gekappt

Bei der 25 %-Variante sind die oben dargestellten Zusammenhänge noch deutlicher erkennbar: Die Gesamtposphor-Jahresfrachten der Gewässer verringern sich um Werte zwischen 66 % und 76 %; die entsprechenden Konzentrationen erhöhen sich um 1,5 % bis 7 %.

Der niedrige Wert ist durch die Unwetter vom 11.6 bedingt und erhöht sich auf 4,6 %, wenn dieser Tag nicht berücksichtigt wird. Die ortho-Phosphat-Konzentrationen steigen um 7,8 % bis 11 %. Die Gewässerfrachten von Gesamtphosphor verringern sich dagegen um 66 % bis 76 %, die von ortho-Phosphat um 59 % bis 71 %. Die Anteile der Kläranlagen an den Gewässerjahresfrachten steigen an der Theel auf 82 % (BT1) bzw. 81 % (BT2) und in beiden Perioden an der Ill auf 96 %.

Die Kläranlagenjahresfrachten selbst reduzieren sich wie zu erwarten bei den beiden Varianten 10 % und 25 % überproportional, da die Tagesabwassermengen an Tagen mit erhöhtem Gewässerabfluss durch Niederschlagswasser und Fremdwasser steigt.

Insgesamt bestätigen auch diese Daten und Auswertungen die in Hessen gewonnenen Erkenntnisse, wonach hohe Gesamtphosphor- und ortho-Phosphat-Konzentrationen im zeitlichen Mittel zum weit überwiegenden Anteil durch Kläranlagenemissionen verursacht sind. Dies gilt für ortho-Phosphat in noch stärkerem Maß als für Gesamtphosphor. Die an relativ wenigen Tagen festzustellenden niederschlagsbedingten Zusatzeinträge tragen zwar zu einem erheblichen Anteil zu der Jahresfracht im Gewässer bei. Die entsprechend hohen Tagesfrachten sind aber vorwiegend auf die dabei auftretenden hohen Abflüsse zurückzuführen, während die Konzentrationen im Mittel sogar niedriger sind als an den trockenen Tagen bei niedriger Wasserführung. Dies ist insbesondere bei ortho-Phosphat ausgeprägt, wo eine feuchte Witterung mit hohen Abflüssen zu deutlich niedrigeren Konzentrationen im Vergleich zum Jahresmittel führt. Dieser Effekt ist nicht nur auf Niederschläge der entsprechenden Tage zurückzuführen, sondern auch auf die jahreszeitliche Verteilung der Abflusshöhe. Im hydrologischen Winterhalbjahr kommt es aufgrund der geringeren Verdunstung des Niederschlags zur Grundwasserneubildung, zu erhöhten Quellschüttungen und zu vermehrtem Zwischenabfluss. Dadurch werden die Kläranlageneinleitungen besser verdünnt als im abflussarmen hydrologischen Sommerhalbjahr.

Tabelle 18: mittlere Konzentrationen und Frachten an der III, Bubach

Messperiode	Konzentration Gesamt-P (mg/l)	Konzentration ortho-Phosphat-P (mg/l)	Gesamt-P-Fracht in III (Kg)	ortho-Phosphat-P-Fracht in III (kg)	Gesamt-P_Fracht Kläranlagen Wustweiler+ Dirmingen	Anteil Kläranlagen-Fracht an III-Fracht Gesamt-P (%)
1.7.18-30.6.19 BI1	0,209	0,158	6787	4247	2732	40
1.7.18-30.6.19 BI1 Ohne 10% der Tage mit höchstem Abfluss	0,211	0,163	3114	2273	2200	71
Differenz in %	1,0%	3,2%	-54%	-46%	-19%	
1.7.18-30.6.19 BI1 Ohne 25% der Tage mit höchstem Abfluss	0,218	0,171	1633	1236	1568	96
Differenz in %	5,30%	8,90%	-76%	71%	-43%	
31.10.18-30.10.19 BI2	0,220	0,166	7480	4768	3099	41
31.10.18-30.10.19 BI2 Ohne 10% der Tage mit höchstem Abfluss	0,222	0,172	3764	2766	2578	68
Differenz in %	0,90%	3,6%	-50%	-42%	-17%	
31.10.18-30.10.19 BI2 Ohne 25% der Tage mit höchstem Abfluss	0,232	0,181	1633	1236	1568	96
Differenz in %	5,5%	9,0%	-76%	-71%	-43%	

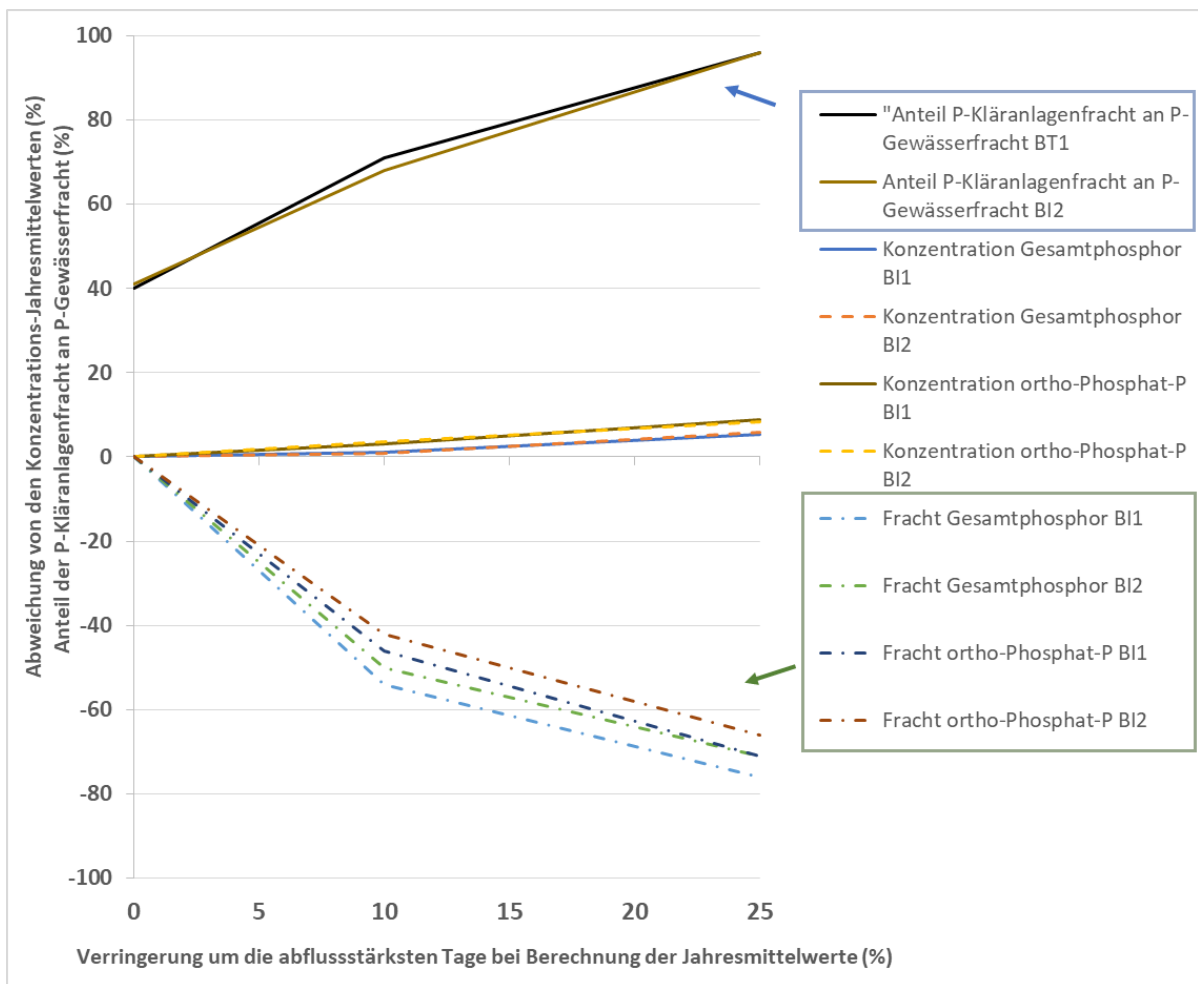
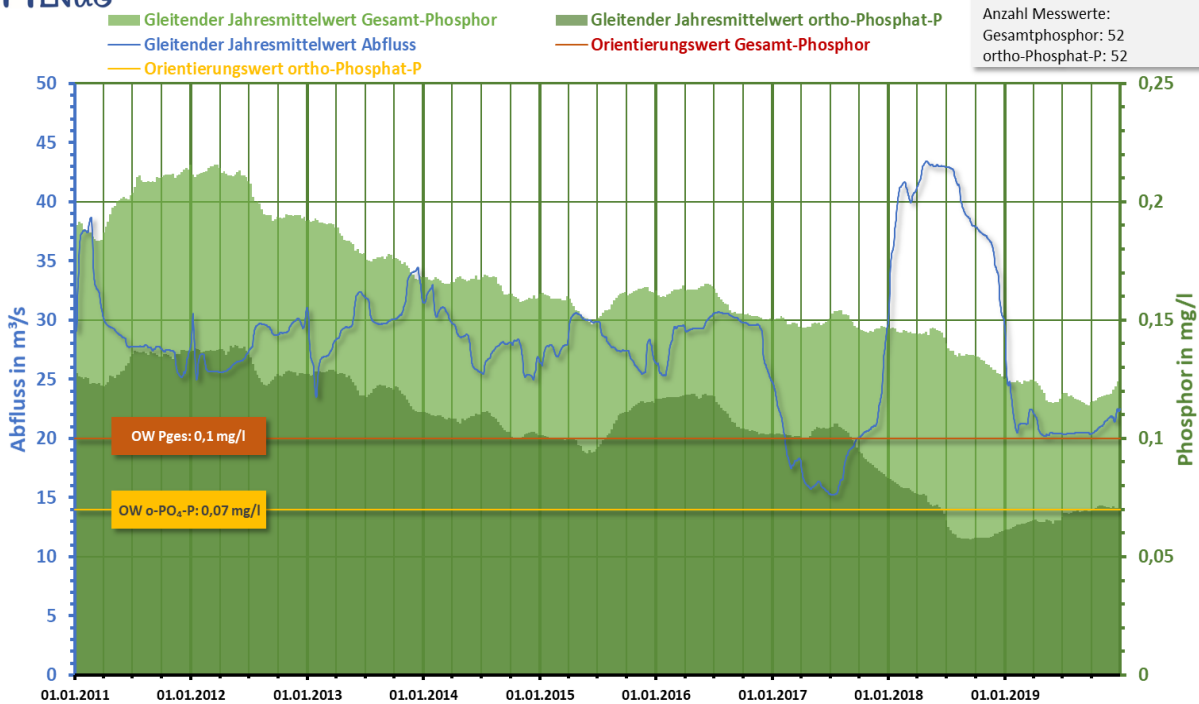


Abbildung 24: Prozentuale Änderungen von mittlerer Jahreskonzentration von Gesamt-Phosphor und ortho-Phosphat-Phosphor in der III, Änderung der entsprechenden Jahresfrachten und Änderung des prozentualen Anteils der Jahres-Kläranlagenfracht von Gesamt-Phosphor an der Jahresfracht in der III, wenn bei der Berechnung 10 % bzw. 25 % der Messtage mit dem höchsten Abfluss der III nicht berücksichtigt werden.

Hessische Daten bestätigen die o. g. Aussagen. In Abbildung 25 sind die gleitenden Jahresmittelkonzentrationen für ortho-Phosphat-P und für Gesamtphosphor dargestellt.

Gleitende Jahresmittelwerte Phosphor an der Lahn bei Oberbiel



Gleitende Jahresmittelwerte Phosphor an der Lahn bei Oberbiel

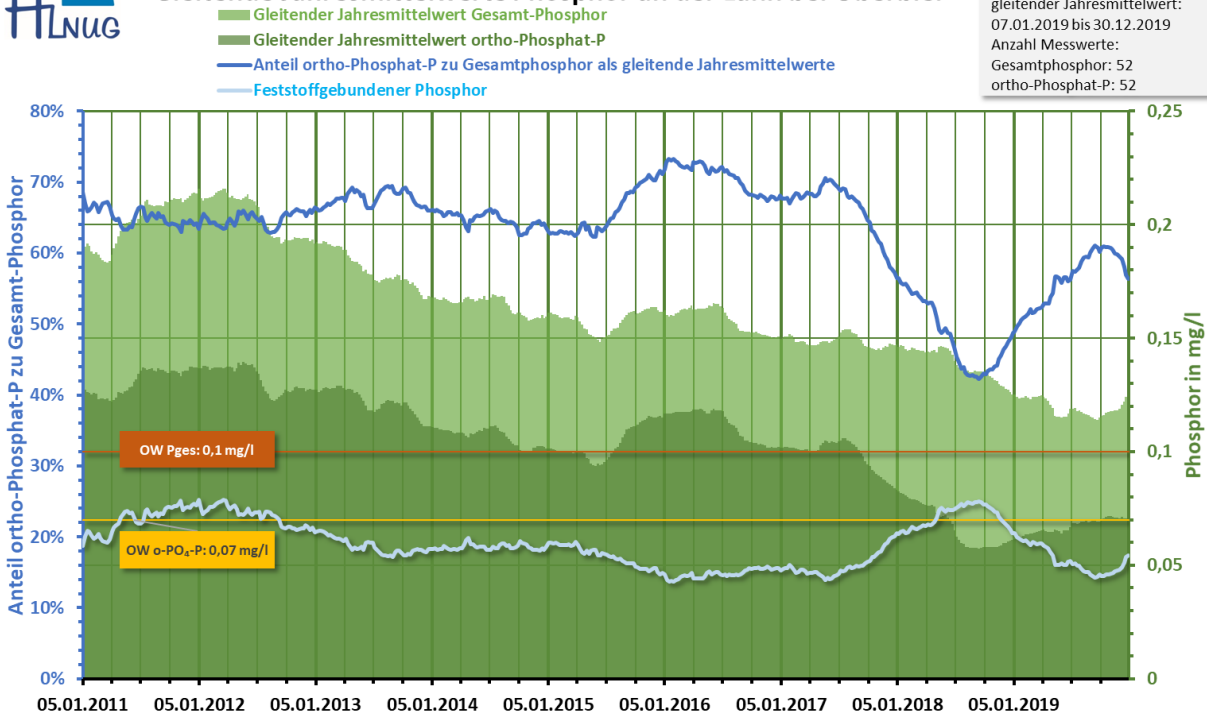


Abbildung 25: Abhängigkeit der mittleren Jahreskonzentrationen von ortho-Phosphat-P und Gesamtphosphor vom Jahresmittelwert des Abflusses an der Lahn bei Oberbiel; EZG ca. 3400 km² (Quelle HESSISCHES LANDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, UMWELT UND GEOLOGIE).

Dargestellt sind in beiden Grafiken die Verläufe der Konzentrationen von ortho-Phosphat-P (dunkelgrün) und Gesamtphosphor (hellgrün) als gleitende Jahresmittelwerte. Seit 2011 haben Maßnahmen an Kläranlagen zu einer Reduzierung bei beiden Parametern geführt. In der Abbildung 25 ist als blaue Linie zusätzlich der Jahresmittelwert des Abflusses dargestellt. Man erkennt, dass es in den Jahren 2017/2018 eine deutliche Änderung beim Abfluss gegeben hat: Mitte 2017 war ein Minimum von ca. 15 m³/s erreicht. Bis zum 2. Quartal 2018 stieg dann die Jahreswasserführung insbesondere durch den regenreichen Winter auf ca. 43 m³/s, also fast um das Dreifache an. Die Effekte sind in der unteren Grafik zu sehen: Verursacht durch die in dieser Zeit intensiv laufenden P-Reduktionsmaßnahmen an den Kläranlagen fiel die ortho-Phosphat-Konzentration steil ab und erreichte im dritten Quartal 2018 ein Minimum. Die Gesamtphosphorkonzentration reduzierte sich allerdings nicht im gleichen Maß, so dass zum Zeitpunkt des ortho-Phosphat-Minimums der feststoffgebundene Phosphor, als hellblaue Linie eingezeichnet, im langjährigen Maximum war. Dementsprechend verringerte sich der ortho-Phosphat-Anteil (dunkelblaue Linie) auf ein langjähriges Minimum. Im Folgejahr reduzierte sich der Abfluss aufgrund des trockenen Sommers 2018 und des trockenen Winters 2018/2019 wieder außergewöhnlich stark auf ca. 20 m³/s Mitte 2019. Dadurch stiegen die ortho-Phosphat-Konzentrationen wieder an, obwohl die Kläranlagen nachweislich genauso viel Phosphor emittierten wie im Vorjahr. In der gleichen Zeit fielen die Gesamtphosphorkonzentrationen, so dass der feststoffgebundene Phosphor wieder die gleiche Konzentration erlangte wie im Minimum des Abflusses 2017. Daraus lässt sich schließen, dass vor allem die hohen Wasserführungen im Winter 2017/2018 die Konzentration von feststoffgebundenem Phosphor im Jahresmittel um ca. 0,35 mg/l erhöht haben, der Differenz zwischen den Minima und dem Maximum. Die ortho-Phosphat-P-Konzentration hat sich dagegen um ca. 0,14 mg/l verringert. Dies sind für die mittlerweile relativ niedrig Phosphor-belastete Lahn prozentual deutliche Effekte. Bei einer Übertragung auf das Theel-III-Gebiet muss jedoch beachtet werden, dass das Konzentrationsniveau für ortho-Phosphat dort ca. dreimal so hoch ist.

3.4.5 Mischwasserentlastung und Landwirtschaft als Quellen für Phosphor-Zusatzeinträge

Da zumindest bei den Jahresfrachten in den Gewässern die Beiträge von Mischwasserentlastungen (MWE) und diffusen Einträgen prinzipiell erheblich sein können, stellt sich die Frage, welche Bedeutung diese an Theel und III und welche unter den diffusen Einträgen die Landwirtschaft haben kann. Schmitt et al. (2018) schätzen den Gesamtphosphoreintrag durch MWE im gesamten Theel-Einzugsgebiet mit 6 t/a ab. Dieser Wert lässt sich eingeschränkt mit den anhand der Daten der UdS und des EVS errechneten Jahresfrachten im Gewässer und in den Abläufen der Kläranlagen vergleichen. Die in Tabelle 17 genannten Werte berücksichtigen allerdings nicht die Datenlücken durch Ausfall der Messstation, die mit 38 der 365 Tage eines Jahres erheblich sind, zumal der Ausfall überproportional an Tagen höherer Wasserführung stattfand. Berücksichtigt man in der Periode BT2 alle Tage, erhöht sich die Jahresfracht der Kläranlagen von 6090 kg auf 7281 kg, also um 19,6 %, obwohl die Datenlücken mit 38 Tagen nur 10,4 % ausmachten. Werden die Datenlücken durch lineare Interpolation gefüllt, erhöht sich die Gewässer-P-Fracht von 13471 kg auf 17657 kg, also um 31 %. Würde man die von Schmitt et al. abgeschätzten 6 t für den MWE-Beitrag und die 7281 kg der Kläranlageneinleitungen zugrunde legen, ergäbe sich ein prozentualer Anteil der Punktquellen an der Gewässerfracht von ca. 75 %. Eine äquivalente

Rechnung für die Periode BT1 würde zu einem geringeren Beitrag führen. Diese Periode ist aber aufgrund der großen quantitativen Bedeutung der Unwetter vom 11.6.18 eher untypisch, da solche Niederschlagsereignisse nur selten und nicht in jedem Jahr in der gleichen Region auftreten.

Hinweise, dass die Frachten aus den MWE erheblich sein müssen, kann man auch aus den Daten der EVS entnehmen. Im Kanalsystem der 5 Kläranlagen im Einzugsgebiet liegen offensichtlich erhebliche Fremdwasserprobleme vor:

Die Abbildung 26 zeigt, wie sich am Beispiel der größten Kläranlage in Wustweiler die Abwassermenge im Jahresverlauf verändert. Während die Anlage bei Trockenwetter im Sommer ca. 6000 m³ pro Tag aufnimmt, steigert sich diese Menge im feuchten Winter 2017/2018 auf fast 50000 m³, der von der EVS genannten maximalen Aufnahmemenge. Am Kurvenverlauf ist deutlich erkennbar, dass dieser Maximalwert über Tage und z. T. Wochen kontinuierlich erreicht wird. Daraus lässt sich indirekt schließen, dass auch über Tage oder Wochen kontinuierlich an oder in der Nähe der Kläranlage Mischwasser abgeschlagen wird, wahrscheinlich aber auch in den oberhalb liegenden Bereichen des Kanalsystems. Solche Verhältnisse entsprechen nicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Auch das Verhältnis von Trockenwetterzufluss im Sommer mit den genannten 6000 m³ pro Tag -im Sommer 2018 sind es nur ca. 5000 m³- zu der maximal aufgenommen Abwassermenge ist extrem weit. Das Abwasser von Haushalten und Gewerbe wird im Verhältnis 1:8 bis 1:10 verdünnt, was sich auch an den P-Zulaufwerten zeigt. Vom 21.11.17 bis zum 9.2.18 wird der Überwachungswert für Phosphor bereits im Zulauf kontinuierlich unterschritten. Nicht nur tageweise, sondern in mehrtägigen Perioden ist der Zulauf sogar auf Konzentrationen von unter 1 mg/l verdünnt (25.11. bis 3.12.17; 10.12. bis 16.12.17; 27.12.17 bis 8.1.18; 16.1. bis 4.2.18). In diesen Zeiten kann das Abwasser auch bezüglich anderer Parameter nicht mehr effektiv gereinigt werden. In den anderen 4 Kläranlagen ist die Situation ähnlich. Daher ist zu vermuten, dass die Kalkulation von Schmitt et al. (2018) zu den Frachten aus MWE nicht zu unrealistisch hohen Ergebnissen geführt hat.

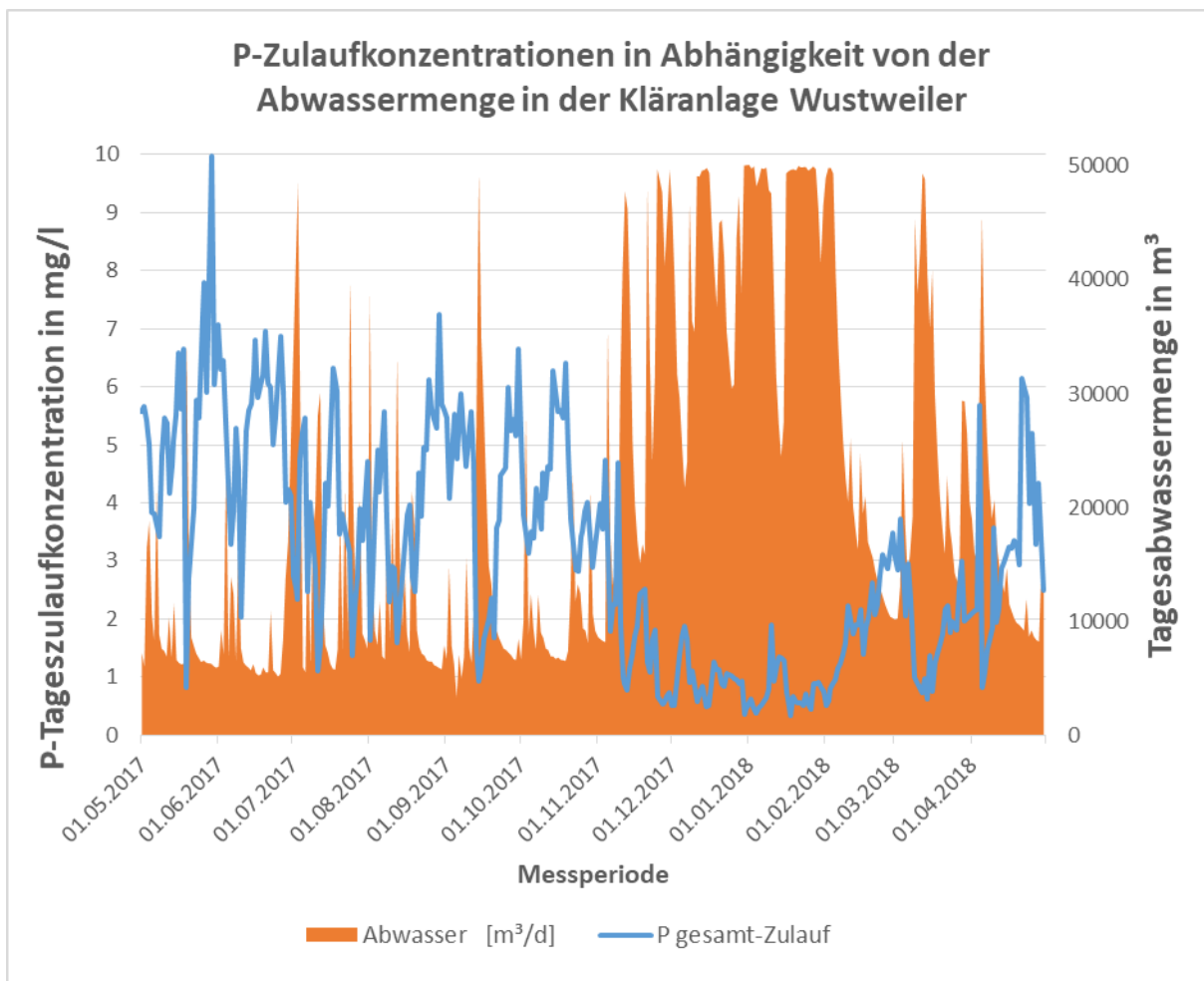


Abbildung 26: Gesamtphosphor-Zulaufkonzentrationen in die Kläranlage Wustweiler in Abhängigkeit von der Abwassermenge vom 1.5.2017-30.4.2018 (Excel KA 2017-2019 Interpol komplett)

Ein weiterer Hinweis, dass bei den Frachten die MWE im Vergleich zur Landwirtschaft maßgebend sind, ergibt sich aus der jahreszeitlichen Verteilung der Tage mit hohen P-Frachten auf das Sommer- bzw. Winterhalbjahr. Es zeigt sich, dass an der III 90 % dieser Tage auf das Winterhalbjahr entfallen, bei der Theel waren es 70 % (siehe Tabelle 19).

Tabelle 19: Verteilung der 20 Messtage mit den höchsten Gesamtphosphorfrachten auf das Sommer- und Winterhalbjahr

Messperiode	Anteil an Gesamt-P-Jahresfracht (%)	April-Sept (Tage)	Okt-März (Tage)
BI1	43	2	18
BI2	40	2	18
BT1	56	6	14
BT2	39	6	14

In den Publikationen zur Wassererosion, z. B. (Landwirtschaftskammer NRW, 2007) wird erosiver Regen dagegen insbesondere den Gewitterregen des Sommerhalbjahrs zugeordnet (siehe Abbildung 27).

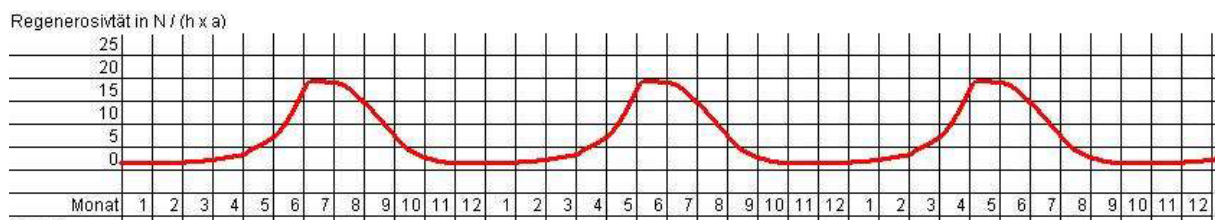


Abbildung 27: Beispielhafte Jahresverteilung der Regenerosivität, aus „Bodenerosion durch Wasser“, Landwirtschaftskammer NRW, 2007

Um diese Zusammenhänge besser zu verstehen, könnte ermittelt werden, z. B. anhand von Regenradar-Aufzeichnungen, wie viele erosive Regenereignisse es während der Messkampagne der UdS tatsächlich gegeben hat. Dabei könnte auch untersucht werden, inwieweit Bodeneinträge in Gewässer ausgehend von verschmutzten asphaltierten oder betonierten Flächen, z. B. von Feldwegen, eine Rolle spielen. Solche Einträge sind prinzipiell auch bei geringeren Regenintensitäten möglich, wenn erosive Bodenabträge auf den Ackerflächen selbst auszuschließen sind.

Wichtiger für das Eutrophierungsgeschehen, wie in Kap. 3.1 dargestellt, ist aber der Beitrag der verschiedenen Quellen zur Konzentration von ortho-Phosphat. Umfangreiche Studien aus den Mittelgebirgsregionen in Tschechien, die von Rosendorf et al. im Auftrag der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe zusammengefasst dargestellt sind (Rosendorf 2018) kommen zu dem Schluss, dass die Landwirtschaft dabei keine große Bedeutung hat. Danach liegt der Flächeneintrag von ortho-Phosphat-P aus rein landwirtschaftlichen Einzugsgebieten bei „0,5 bis 1,4 kg/km² pro Jahr. Die angegebenen Werte nähern sich demnach sehr oft dem natürlichen Hintergrund.“ Umgerechnet auf die Theel mit ihren 218 km² Einzugsgebiet würde das einer Jahresfracht von 109 kg bis 305 kg entsprechen. Die ortho-Phosphat-P-Jahresfrachten liegen an der Theel bei 11671 kg (BT1) bzw. 9400 kg (BT2) ohne Berücksichtigung der Tage, an denen wegen des Ausfalls der Messstation keine Daten vorliegen. Der Anteil der Landwirtschaft an der Jahresfracht betrüge dann zwischen 0,9 % und 3,2 %. Da diese Einträge wetterbedingt aber nur wenigen Tagen im Jahr zuzurechnen wären, wäre der Beitrag zur mittleren Konzentration des Jahres vernachlässigbar klein. Die Mediankonzentration von ortho-Phosphat-P in kleinen Gewässern mit rein landwirtschaftlichem Einzugsgebiet ist dementsprechend sehr gering und wird von den gleichen Autoren mit 0,024 mg/l angegeben.

Prinzipiell nicht vernachlässigt werden können ggf. weitere Eintragsquellen, wie sie bei Phosphormodellierungen regelmäßig erfasst werden, z. B. Kleinkläranlagen, Zwischenabfluss, Grundwasser, ggf. Regenkanäle, Drainagen, etc. Dazu liegen dem Autor keine Daten aus dem Einzugsgebiet vor.

3.5 Fazit und Empfehlungen

Die biologischen Defizite aufgrund zu hoher Phosphoreinträge in Theel und Ill sind abhängig von den mittleren Konzentrationen von ortho-Phosphat und nicht von den ortho-Phosphat-Frachten. Es konnte anhand der Messdaten des LUA und der UdS gezeigt werden, dass die im Vergleich zu dem Orientierungswert der OGewV sehr hohen Jahresmittelkonzentrationen weitgehend auf die Einträge der fünf einleitenden Kläranlagen zurückgeführt werden können. Dies ergibt sich insbesondere aus folgenden Auswertungen:

- Die ortho-Phosphat-Konzentrationen sind an den nicht von Kläranlagenabläufen beeinflussten Nebengewässern bzw. dem Oberlauf der Theel um den Faktor 3 bis 5 niedriger als die Konzentrationen von Theel und Ill in Mündungsnähe, nachdem diese die Abläufe der Kläranlagen aufgenommen haben. Alle Teileinzugsgebiete sind ansonsten gut vergleichbar, sei es hinsichtlich der Flächennutzung oder dem Anschluss von Mischwasserentlastungen.
- Die Verbesserungen der P-Ablaufkonzentration an einzelnen Kläranlagen in den letzten neun Jahren haben analog zu Feststellungen aus Hessen zu einer signifikanten Verringerung der Gewässerkonzentrationen mit ortho-Phosphat geführt. Aus dem rechnerischen Zusammenhang lässt sich schließen, dass hypothetisch ohne Kläranlageneinleitungen an Theel und Ill noch eine Konzentration im Bereich des Orientierungswertes verbleiben würde. Diese im Vergleich zu hessischen Bächen ohne Kläranlageneinleitung immer noch relativ hohe Belastung ist wahrscheinlich auf sehr hohe Einträge aus Mischwasserentlastungen und die damit zusammenhängenden hohen Fremdwassereinträgen in das Kanalsystem zurückzuführen.
- Hohe ortho-Phosphat-Konzentrationen treten hauptsächlich zu den Niedrigwasserzeiten im hydrologischen Sommerhalbjahr auf, insbesondere in Trockenperioden, wenn es keine niederschlagsabhängigen Einträge geben kann, aber die Kläranlagen weiterhin einleiten. Dann ist auch der ortho-Phosphat-Anteil am Gesamtphosphor extrem hoch und entspricht der Relation in den Kläranlagenabläufen. Zu hohen Frachten im Gewässer kommt es dagegen hauptsächlich im Winterhalbjahr im Zusammenhang mit Hochwasserwellen. Die hohen Frachten sind dann fast ausschließlich auf höhere Abflüsse und nicht auf höhere Konzentrationen zurückzuführen. Bei ortho-Phosphat sind die Konzentrationen dann sogar besonders niedrig.
- Tage mit großen Regenmengen -hauptsächlich im Winter- und daraus resultierenden hohen Abflüssen sind so selten im Jahresverlauf, dass sie die durch die Trockenzeiten geprägten mittleren Konzentrationen an ortho-Phosphat nicht wesentlich beeinflussen können. Dies gilt unabhängig davon, aus welchen Eintragsquellen diese hohen Tagesfrachten stammen. Daher kann in Verbindung mit der hessischen und der tschechischen Datenlage auch weitgehend ausgeschlossen werden, dass landwirtschaftliche Einträge einen nennenswerten Beitrag zu den eutrophierungsbedingten Defiziten in Theel und Ill leisten.
- Es konnten keine Unterschiede zu den Zusammenhängen gefunden werden, wie sie vom Autor anhand 10-jähriger umfangreicher Messungen und Auswertungen von hessischen Gewässern (Seel 2019) und von den tschechischen Autoren (Rosendorf et al. 2018) festgestellt worden sind.

Die Verbesserung der Phosphor-Ablaufkonzentrationen an den Kläranlagen sollte daher Priorität haben. Durch eine gute Steuerung der Fällmittelzugabe in Verbindung mit einer Zweipunktfällung, ggf. flankiert durch konventionelle Maßnahmen zur Verbesserung der Nachklärung wie hydraulische Berechnungen und der Installation von Einlaufbauwerken, ist es anhand der Erfahrungen in Hessen innerhalb von ca. zwei Jahren normalerweise möglich, die mittlere P-Ablaufkonzentration auf Werte von 0,2 bis 0,3 mg/l zu begrenzen. Dies sind die kostengünstigsten Maßnahmen, um die Gewässerkonzentrationen deutlich zu reduzieren (Theilen 2015). Solche Ablaufwerte sind im Hinblick auf die relativ hohen Abwasseranteile in den Gewässern auch mindestens notwendig. Parallel sollten verstärkt Maßnahmen zur Sanierung bzw. zum Ausbau von MWE sowie zur Reduzierung des Fremdwassers weitergeführt werden. Dies ist allein schon aufgrund des erheblich größeren Kostenvolumens, aber auch der notwendigen Untersuchungen und Planung nur mittel- und langfristig leistbar. Je nach fachlicher Einschätzung zum Zeithorizont dieser Maßnahmen ist es ggf. notwendig, schon jetzt die Ausstattung einzelner Kläranlagen mit einer Flockungsfiltration zu planen. Dadurch ist es möglich, die P-Ablaufwerte auf 0,1 mg/l bis 0,2 mg/l zu begrenzen.

Von weiteren Maßnahmen in der Landwirtschaft ist kein positiver Effekt auf die Eutrophierung von Theel und Ill zu erwarten. Dennoch ist es aus Bodenschutzgründen sinnvoll, Maßnahmen gegen die Wassererosion zu ergreifen; auch der Eintrag von Boden ist gewässerschädigend, da z. B. das Lückensystem des Gewässerbetts - ein wertvoller Lebensraum - verstopft werden kann. Abstandsflächen zu Gewässern schützen einen ökologisch wertvollen Lebensraum. Zudem ist die Begrenzung der Düngung mit Phosphor auf das von den Ackerpflanzen benötigte Maß sinnvoll, da Phosphor ein endlicher Rohstoff ist.

4 Literaturverzeichnis

- AGRARWISSEN: Wann sich die Umstellung von konventioneller auf Ökolandwirtschaft für Ackerbauern lohnt. <https://www.agrarwissen.com/betrieb-recht/biologische-landwirtschaft/wann-sich-die-umstellung-von-konventioneller-auf-oekolandwirtschaft-fuer-ackerbauern-lohnt/> (zuletzt abgerufen am 12.06.2020)
- ALBERT E., SUNDHEIM L. (2004): Reduzierte Phosphatdüngung – Folgen für die Bodenfruchtbarkeit IN: Folgen negativer Nährstoffbilanzen in Ackerbaubetrieben. Tagung Würzburg: <https://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/uid/publikationen/tagungsband2004.pdf> (zuletzt abgerufen: 29.05.2020).
- BARTH, B., KUBINIOK, J. (2003): Bodenerosion in ackerbaulich genutzten Gebieten des Saarlandes. - Chronologie, Ausmaß und GIS-gestützte Prognose. - Posterbeitrag Nr. P-060, VDLUFA-Schriftenreihe 59/I (2003), 115. VDLUFA-Kongress, Saarbrücken
- BEHRENDT H. und OPITZ D. (2000): RETENTION OF NUTRIENTS IN RIVER SYSTEMS: DEPENDENCE ON SPECIFIC RUNOFF AND HYDRAULIC LOAD.- HYDROBIOLOGIA, 410, 2000
- BEISECKER, R. DIEßELBERG, F. HANNAPPEL, S., SEITH, T., SENONER, F., STROM, A., ZETTL, E. (2020): Veränderungen der Wasseraufnahme und -speicherung landwirtschaftlicher Böden und Auswirkungen auf das Überflutungsrisiko durch zunehmende Stark- und Dauerregenereignisse. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- BLV BUCHVERLAG GMBH & Co. KG (2006): Pflanzliche Erzeugung. München.
- BOHNER, A., WEIßENSTEINER, C., FRIEDEL, K. J. (2014): Phosphor-Speicherkapazität und Phosphor-Sättigungsgrad in österreichischen Böden des Dauergrünlandes. 4. Umweltökologisches Symposium 2014, 49 – 60.
- Böhler und Siegrist: „Möglichkeiten zur Optimierung der chemischen Phosphorfällung an hessischen Kläranlagen“, EAWAG-Gutachten, 2008, https://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/2_umsetzung/hintergrundinformationen/m_glichkeiten_zur_optimierung_der_chemischen_phosphorf_llung_an_hessischen_kl_ranlagen.pdf
- Cornel, Schaum und Lutze: Gutachten zur Rücklösung von Phosphor im Gewässer aus Feststoffen von Kläranlagenabläufen, Technische Universität Darmstadt, 2015 https://flussgebiete.hessen.de/fileadmin/dokumente/5_service/Hintergrunddokumente_2015/Gutachten_P-Rueckloesung_aus_Feststoffen_Maerz2015.pdf

- DAHLEM GMBH (2008): Umsetzung der WRRL. Herstellung des guten stofflichen Zustandes - Szenario Phosphor. Im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Darmstadt.
- DOLUSCHITZ R., KÜHNE O. (2019): ELER – Saarländischer Entwicklungsplan für den ländlichen Raum 2014 – 2020 (SEPL 2014-2020) – Laufende Bewertung zum Jährlichen Zwischenbericht für das Jahr 2018.
https://www.saarland.de/dokumente/thema_landwirtschaft/Laufende_Bewertung_Kalenderjahr_2017.pdf (zuletzt abgerufen: 29.05.2020)
- FORSCHUNGSINSTITUT FÜR BIOLOGISCHEN LANDBAU (FiBL) (2012):
<https://orgprints.org/21814/1/berner-etal-2012-mb-1576-bodenfruchtbarkeit.pdf>
 (zuletzt abgerufen: 29.05.2020).
- HAAS, G. (2010): Wasserschutz im ökologischen Landbau: Leitfaden für Land- und Wasserwirtschaft. Bad Honnef. <http://forschung.oekolandbau.de> unter BÖL-Bericht-ID 16897 (zuletzt abgerufen: 29.05.2020).
- HAILE, CHRISTIAN, AKTUALISIERUNG DER BEWIRTSCHAFTUNGSPLÄNE NACH WRRL– MODELLIERUNG DER NÄHRSTOFFEINTRÄGE IN DIE FLIEßGEWÄSSER BADEN-WÜRTTEMBERGS, VORTRAG, LANDESANSTALT FÜR UMWELT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2019
- HALLE UND MÜLLER: „KORRELATIONEN ZWISCHEN BIOLOGISCHEN QUALITÄTSKOMPONENTEN UND ALLGEMEINEN CHEMISCHEN UND PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN PARAMETERN IN FLIEßGEWÄSSERN“, LAWA-ENDBERICHT PROJEKT O 3.12, 2014
- HALLE UND MÜLLER: „ERGÄNZENDE ARBEITEN ZUR KORRELATION ZWISCHEN BIOLOGISCHEN QUALITÄTSKOMPONENTEN UND ALLGEMEINEN PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN PARAMETERN IN FLIEßGEWÄSSERN“, LAWA-ABSCHLUSSBERICHT PROJEKT O 3.15, 2017
- Hasselmann S. (2017): PHOSPHOR IN DER LANDWIRTSCHAFT – FORSCHER EXPERIMENTIEREN MIT FUTTER UND TIER. [HTTPS://WWW.DEUTSCHLANDFUNKKULTUR.DE/PHOSPHOR-IN-DER-LANDWIRTSCHAFT-FORSCHER-EXPERIMENTIEREN-MIT.976.DE.HTML?DRAM:ARTICLE_ID=400656](https://www.deutschlandfunkkultur.de/phosphor-in-der-landwirtschaft-forscher-experimentieren-mit.976.de.html?DRAM:ARTICLE_ID=400656) (ZULETZT ABGERUFEN: 29.05.2020).
- HEIDECHE ET AL.: „ENTWICKLUNG EINES INSTRUMENTES FÜR EIN FLUSSGEBIETSWEITES NÄHRSTOFFMANAGEMENT IN DER FLUSSGEBIETSEINHEIT WESER“ AGRUM+-WESER, THÜNEN-REPORT 21, 2015, [HTTPS://WWW.THUENEN.DE/MEDIA/PUBLIKATIONEN/THUENEN-REPORT/THUENEN-REPORT_21.PDF](https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/thuenen-report_21.pdf)
- HILLER, HILLER, D.A.; JACOBS, G. & ELHAUS, D. (2007): Bodenerosion durch Wasser – Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). Münster.
- HONECKER, U., WEBER, G., KUBINIOK, J. (2014): Modellierung von Landnutzungsszenarien zur Abschätzung der wassergebundenen Nährstoffemissionen in einem Einzugsgebiet der rural-urbanen Landschaft Mitteleuropas. In Wasser - Landschaft - Mensch in

Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft - Beiträge zum Tag der Hydrologie am 20./21. März 2014 an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt (Bd. 34.14). Hennef.

HÜTHER, J. (2020): Die Regeln werden strenger. In: DLG-Mitteilungen 06/2020, Frankfurt. S. 16-18.

INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE- IKSE (2018): Strategie zur Minderung der Nährstoffeinträge in Gewässer in der internationalen Flussgebietseinheit Elbe, Magdeburg.

INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIE UND STOFFSTROMSYSTEME (IZES) (2015): Policies to support crops with higher contribution to P or N recycling (crop rotation). Working Paper 37. <http://www.izes.de/de/projekte/inemad-improved-nutrient-and-energy-management-through-anaerobic-digestion>. (zuletzt abgerufen 08.06.2020)

INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIE UND STOFFSTROMSYSTEME (IZES) (2012): Gewässerschonende und standortangepasste Fruchtfolgen und Anbauverfahren für Energiepflanzen zur Nutzung in Biogasanlagen für die Region Ill-Theel. Handbuch. Hrsg. Zweckverband Natura Ill-Theel.

INSTITUT FÜR ZUKUNFTSENERGIE UND STOFFSTROMSYSTEME (IZES) (2020): Aktualisierung der Bioenergiedaten im Saarland. Saarbrücken.

KIEPURNING A. (2018): Quantifizierung diffuser Fest- und Nährstoffeinträge aus Ackerflächen in Fließgewässersysteme – Eine Untersuchung am Beispiel des Theel-III-Einzugsgebietes, Saarland.

KLEIN, C., MEYER, A., BECK, H. (2011): Einzugsgebiet Theel und Ill 2010/2011 – Gewässer-Monitoring. <http://www.gewaesser-monitoring.de/> (zuletzt abgerufen: 29.05.2020).

KOMMISSION BODENSCHUTZ BEIM UMWELTBUNDESAMT (KBU): POSITION // MAI 2015, SCHONUNG VON PHOSPHOR-RESSOURCEN AUS SICHT EINER NACHHALTIGEN BODENNUTZUNG UND DES BODENSCHUTZES, 2015

KUBINIOK, J., WEICKEN, H.-M. (1989): Anthropogene Relief- und Bodenveränderungen im Saarland - dargestellt an Beispielen aus dem östlichen Bliesgau und dem Prims- Blies-Hügelland. – In: Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität des Saarlandes, Bd. 36, S. 293-308, Saarbrücken.

KUBINIOK, J., BARTH, B. (1996): Anthropogene Bodenveränderungen im ländlichen Raum des Saarlandes. - In: Magazin Forschung (Univ. d. Saarlandes), Nr. 1 (1996), S. 8 – 19, Saarbrücken.

KUBINIOK, J. (1998): Ausmaß und Abschätzung der aktuellen Bodenerosion im Saarland. - In: Mosella, Eau et Morphologies, Nr. 3-4, S. 61-74, Metz.

- KUBINIOK, J. (1999): Bodenerosion im Saarland – Historische Entwicklung und Aktuelles Ausmaß. - In: Saar-Lor-Lux Bodenschutz, Saarbrücker Geographische Arbeiten Band 46, S. 65-75, Saarbrücken.
- KUBINIOK, J.; HONECKER, U. (2015): Modellierung des Einflusses unterschiedlicher landwirtschaftlicher Nutzungsszenarien im Einzugsgebiet von Ill und Theel auf Wasserrahmenrichtlinien-relevante Parameter. Abschlussbericht. Hg. v. Zweckverband natura Ill-Theel.
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2018): Empfehlungen zur Grunddüngung. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK Ewi0v6KX1_LpAhWZ6aYKHQDMDQAQFjAAegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fm.lwk-niedersachsen.de%2F%3Ffile%3D22858&usg=AOvVaw3aCuvo3AFScmQUivDRyVb (zuletzt abgerufen: 29.05.2020)
- Landwirtschaftskammer NRW (2007), Bodenerosion durch Wasser,
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NORDRHEIN-WESTFALEN (2017): Nährstoffbericht 2017 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein- Westfalen. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/naehrstoffbericht-2017.pdf> (zuletzt abgerufen: 29.05.2020).
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) SAARLAND (2020): Email vom 12.10.2020
- BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA) (2015): Arbeitspapier II. RaKon Teil B Arbeitspapier II: Hintergrund- und Orientierungswerte für physikalisch-chemische Qualitätskomponenten zur unterstützenden Bewertung von Wasserkörpern entsprechend EG-WRRL. https://www.gewaesser-bewertung.de/files/rakon_b_-_arbeitspapier-ii_stand_09012015.pdf (zuletzt abgerufen am 10.09.2020)
- LEINWEBER, P., BAUM, C., ZACHER, A. (2020): Jetzt auch noch der Phosphor. In: DLG Mitteilungen 06/2020, S. 13-15. Frankfurt.
- MEYER ET AL.: ÜBERWACHUNG VON FLIEßGEWÄSSERN IM SAARLAND IN EINEM ONLINE-MONITORING PROGRAMM, ABSCHLUSSBERICHT THEEL – ILL – ALSBACH, MESSUNGEN VOM APRIL 2018 BIS OKTOBER 2019, 2021
- PARMA, S. (1980): THE HISTORY OF THE EUTROPHICATION CONCEPT AND THE EUTROPHICATION IN THE NETHERLANDS. HYDROBIOLOGICAL BULLETIN VOLUME 14, S. 5–11.
- PECORONI, FRIEDRICH, SEHR UND FUCHS: PHOSPHORGEHALTE IN HESSISCHEN BÖDEN UND BODENAUSGANGSGESTEINEN, GEOL. JB.; WIESBADEN 2014
- REINHOLD G. (2013): Biogaserzeugung in Regionen mit niedrigem Tierbesatz. Abschlussbericht. <http://www.tll.de/www/daten/pflanzenproduktion/nawaro/biogas/biog0613.pdf>

- ROEMER, W. (2014): Die Versorgung der deutschen Ackerböden mit Phosphat und die Herausforderungen der Zukunft. Bodenschutz 4, 125-130. In: Umweltbundesamt (2015): Schonung von Phosphor-Ressourcen aus Sicht einer nachhaltigen Bodennutzung und des Bodenschutzes. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/schonung-von-phosphor-ressourcen-aus-sicht-einer> (zuletzt abgerufen am 08.06.2020)
- Rosendorf et al.: Strategie zur Minderung der Nährstoffeinträge in Gewässer in der internationalen Flussgebietseinheit Elbe, IKSE 2018
- SCHLAG M. (2010): Förderprogramme können die Auflagen versüßen –Erstes Erosionsschutzkataster im Saarland. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt. <https://www.lw-heute.de/index.php?redid=17798> (zuletzt abgerufen am 08.06.2020)
- SCHMITT, T. G., KNERR, H., ZHOU, J., GRETZSCHEL, O. (2018): „Erarbeitung einer Handlungsanleitung zur Ermittlung der Herkunft von Nährstoffbelastungen im Einzugsgebiet von Ill und Theel“. Studie im Auftrag des Zweckverbandes Natura Ill-Theel. Deutschland. Schlussbericht 2018.
- SCHNUG, E. ROGASIK, J., HANEKLAUS, S. (2003): Die Ausnutzung von Phosphor aus Düngemitteln unter besonderer Berücksichtigung des ökologischen Landbaus. In: Landbauforschung Völkenrode 53(2003)1, pp. 1-11. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/zi029526.pdf
- SCHNUG, E., DE KOK, L., FROSSARD, E. (2015): Phosphorus: 100 % zero. Springer (in press)
- SCHNUG, E., KRATZ, S., SCHICK, J., HANEKLAUS, S. (2019): Phosphor, alles nur eine Frage der Verfügbarkeit. Julius Kühn-Institut (JKI), Braunschweig. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/phosphor.html> (zuletzt abgerufen: 29.05.2020)
- SEEL, PETER: PROGRAMM ZUR REDUZIERUNG DER PHOSPHOREINTRÄGE IN HESSISCHE FLIEßGEWÄSSER – HINTERGRÜNDE UND ERGEBNISSE, VORTRAG ZUR DWA-LANDESVERBANDSTAGUNG NORD, 2019
- SEEL, P. (2020): Die Phosphor-Modelle führen oft zu falschen Ergebnissen. In: DLG-Mitteilungen 06/2020, S. 18-19. Frankfurt.
- Siegrist und Boller, VSA-Fortbildungskurse 1999: Chemische Phosphorelimination, 1999
- Tetzlaff et al., Modellierung der Phosphor-Einträge aus diffusen und punktuellen Quellen in die Oberflächengewässer des Landes Rheinland-Pfalz, Vortrag, Forschungszentrum Jülich 2019
- Tetzlaff et al., Phosphoreintrag in die Oberflächengewässer, GROWA+NRW 2021, Forschungszentrum Jülich 2020

Theilen, Ulf: Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus kommunalen Kläranlagen, Technische Hochschule Mittelhessen, 2015

UMWELTBUNDESAMT (2020): Erosion. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenbelastungen/erosion#bodenerosion-durch-wasser-eine-unterschatzte-gefahr> (zuletzt abgerufen am 12.10.2020)

UMWELTBUNDESAMT (2017): Einträge von Nähr- und Schadstoffen in die Oberflächengewässer. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/wasser/fliessgewaesser/eintraege-von-naehr-schadstoffen-in-die#nahrstofffrachten-sinken> (zuletzt abgerufen am 08.06.2020)

UMWELTBUNDESAMT (2015): Schonung von Phosphor-Ressourcen aus Sicht einer nachhaltigen Bodennutzung und des Bodenschutzes. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/schonung-von-phosphor-ressourcen-aus-sicht-einer> (zuletzt abgerufen am 08.06.2020)

VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (2018): Neue Empfehlungen des VDLUFA für die P-Düngung. In: VDLUFA-Mitteilungen 02/2018. <https://bit.ly/37njV4t> (zuletzt abgerufen: 29.05.2020)

VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V. (2011): Leitfaden Nr.2-13 – Betrieb von Abwasseranlagen; Die Phosphorbilanz im kommunalen Abwasser. München.

WENDLAND ET AL.: RÄUMLICH DIFFERENZIERTE QUANTIFIZIERUNG DER N- UND P-EINTRÄGE IN GRUNDWASSER UND OBERFLÄCHENGEWÄSSER IN NORDRHEIN-WESTFALEN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DIFFUSER LANDWIRTSCHAFTLICHER QUELLEN; 2010

WESTERMANN BODENTYPEN: Europa-Landwirtschaft <https://diercke.westermann.de/content/bodentypen-978-3-14-100700-8-83-2-0> (zuletzt abgerufen 04.06.2020)

WISSENSCHAFTLICHEN BEIRATES FÜR AGRARPOLITIK, ERNÄHRUNG UND GESUNDHEITLICHEN VERBRAUCHERSCHUTZ (2020): Gutachten. Politik für eine nachhaltigere Ernährung. Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten: www.nachhaltigere-ernaehrung-gutachten.de/ (zuletzt abgerufen am 11.09.2020).