

Zwischenbericht zu den Arbeiten im Projekt

## AGRUM-DE

durchgeführt durch das  
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei im  
Forschungsverbund Berlin e.V. (IGB)

Berichtszeitraum: 01.01.2020 – 31.12.2020

verfasst von  
Markus Venohr und Hong Hanh Nguyen



Dieser fortzuschreibende Bericht dient der Dokumentation von bisher im Projekt durchgeführten Arbeiten, hat aber hinsichtlich der dargestellten Daten, Methoden und Quellen bis zur finalen Version keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

## Inhalt

1	Angaben zum Bearbeitungsstand der dargestellten Ergebnisse und Methoden - neu .....	8
2	Neuorganisation des Workflows zwischen den Modellen des IGB und FZJ - unverändert.....	9
3	Eingangsdaten - überarbeitet.....	10
3.1	Verwendete Eingangsdaten .....	10
3.2	Aufbereitung der Eingangsdaten.....	10
3.2.1	Ableitung der urbanen Flächen aus dem Digitalen Landschaftsmodell (LBM2015) – überarbeitet .....	11
3.2.2	Aufbereitung der FDZ-Daten – überarbeitet.....	11
3.2.3	Abwasser aus privaten Haushalten und durch Laubfall sowie tierische Exkrememente – neu	14
3.2.4	Daten zur Kläranlagen und industriellen Direkteinleitern nach PRTR – neu.....	15
3.2.5	Einzugsgebiete der deutschen Wasserkörpereinzugsgebiete nach Wasserrahmenrichtlinie – unverändert .....	16
3.3	Datengrundlage für die Modellvalidierung – zu bearbeiten .....	17
4	Modellierung und Berechnungsansätze.....	18
4.1	Einträge aus urbanen Systemen.....	18
4.1.1	Abflüsse von versiegelten urbanen Flächen - neu .....	18
4.1.2	Nährstoffeinträge über Trennkanalisationen - neu .....	21
4.1.3	Nährstoffeinträge von Mischkanalisationsüberläufen - neu.....	22
4.1.4	Einträge über Kleinkläranlagen und Bürgermeisterkanäle – neu .....	23
4.1.5	Einträge von nicht an die Kanalisation angeschlossenen Flächen - neu .....	27
4.2	Abschätzung von Sickerwasserverlusten aus der städtischen Kanalisation in das Grundwasser –überarbeitet .....	27
4.2.1	Hintergrund .....	27
4.2.2	Zustand der Kanalisation in Deutschland .....	28
4.2.3	Abschätzung der Exfiltration aus Kanalleckagen.....	31
4.2.4	Bewertung der getroffenen Annahmen und mögliche Weiterentwicklungen .....	37
4.3	Gewässerinterne Retention - zu bearbeiten .....	37
5	Ergebnisse.....	37
5.1	Eingangsdaten .....	37
5.1.1	Atmosphärische Deposition .....	37
5.1.2	Versiegelte urbane Flächen.....	40
5.1.3	Bevölkerung und Anschlussverhältnisse .....	43
5.1.4	Speichervolumen in der Mischkanalisation .....	51
5.2	Einträge aus urbanen Systemen.....	54

5.2.1	Mischkanalisationsüberläufe.....	54
5.2.2	Trennkanalisation .....	56
5.2.3	Kleinkläranlagen .....	58
5.2.4	Exfiltration aus Kanalisationsleckagen .....	64
5.2.5	Nicht an die Kanalisation angeschlossene urbanen Flächen.....	66
5.2.6	Kleine Kläranlagen (50-2000 EW) .....	67
5.2.7	Einträge aus urbane Systeme in Oberflächengewässer (ohne KomKA und InDir) .....	70
5.2.8	Einträge aus urbane Systeme in die Boden-Grundwasserzone .....	72
5.2.9	Kommunale Kläranlagen (> 2000 EGW) .....	74
5.2.10	Industrielle Direkteinleiter .....	76
5.3	Gesamteinträge in die Gewässer.....	78
5.4	Retention in Oberflächengewässern – zu bearbeiten.....	82
5.5	Modellvalidierung – Stand 30.6.2020 .....	82
6	Literatur .....	84

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Datenschnittstellen zwischen FZJ (beige) und IGB (blau) zur Modellierung der Nährstoffeinträge aus urbanen Systemen. ....	9
Abbildung 2: Wasserverbrauch auf Kreisebene in Deutschland für das Jahr 2013 (Statistikportal, 2013).....	15
Abbildung 3: Lage der Kommunalen Kläranlagen und der Industriellen Direkteinleiter. ....	16
Abbildung 4: Schematische Darstellung der berücksichtigten Eintragspfade für urbane Systeme. ....	18
Abbildung 5: Absolute Häufigkeits- und Summenverteilung der Trinkwasserverbräuche im ländlichen Raum nach Straub (2008). ....	25
Abbildung 6: Zusammenhang zwischen dem Alter und der unmittelbaren Sanierungsbedürftigkeit von Kanälen in Bayern nach Krönlein u.a. (2015) und abgeleitet für Deutschland auf Basis von Angaben der DWA (2015) und Daten des FDZ für das Jahr 2013.....	28
Abbildung 7: Anteil der Kanalhaltungen mit einem Alter von mehr als 40 Jahren (Baujahr 1980) nach FDZ (2013) auf Gemeindeebene. ....	29
Abbildung 8: Ableitung der Länge der privaten Kanalisation in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte, basierend auf Daten des FDZ und einer angenommenen Gesamtlänge der privaten Kanalisation von $1100 \cdot 10^3$ km nach DWA (2016). ....	31
Abbildung 9: Änderung der Exfiltration aus Kanalleckagen während und nach einem Starkniederschlagsereignis in Raststatt nach Held u.a. (2007). ....	34
Abbildung 10: konzeptionelle Abbildung des Berechnungsansatzes zur Abschätzung der Exfiltrationsverluste aus Kanalleckagen. ....	36
Abbildung 11: Gesamt-Stickstoffdeposition auf urbane Flächen nach Pinetti-3 (Schaap, Hendriks, u. a., 2018) für das Jahr 2013.....	38
Abbildung 12: Anteil der urbanen Fläche an der Gemeindefläche in % nach LBM 2015 (BKG, 2018). ....	40
Abbildung 13: Anteil der versiegelten Flächen an der urbanen Fläche in % nach LBM 2015 (BKG, 2018).....	41
Abbildung 14: Anteil der Gemeinden nach Anteil der versiegelten an den bebauten urbanen Flächen. ....	41
Abbildung 15: Bevölkerungsdichte in Einwohner pro Gemeindefläche für das Jahr 2013. ....	43
Abbildung 16: Anteil der an die Kanalisation und eine Kläranlage angeschlossenen Bevölkerung auf Gemeindeebene für das Jahr 2013. ....	44
Abbildung 17: Anteil des Lockergesteins nach IHME1500 (BGR, 2018). ....	45
Abbildung 18: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an eine Kleinkläranlage die über direkt über ein Roher oder einen Graben in die Oberflächengewässer einleiten für das Jahr 2013. ....	46
Abbildung 19: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an eine Kleinkläranlage die über ein boden-Grundwasserpassage einleiten für das Jahr 2013.....	47
Abbildung 20: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an eine Kleinkläranlage die über eine Kanalisation einleiten für das Jahr 2013 .....	48
Abbildung 21: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an abflusslose Gruben, der Inhalt an eine Kläranlage abgeführt wird für das Jahr 2013. ....	49
Abbildung 22: Längenananteil der Mischkanalisation an der Summe von Misch- und Schmutzwasserkanalisation für das Jahr 2013.....	51
Abbildung 23: Größe des Speichervolumens der Regenüberlaufbecken in der Mischkanalisation auf Gemeindeebene für das Jahr 2013. ....	52
Abbildung 24: Stickstoffeinträge aus Mischkanalisationsüberlaufereignissen auf Gemeindeebene..	54
Abbildung 25: Phosphoreinträge aus Mischkanalisationsüberlaufereignissen auf Gemeindeebene. .	55

Abbildung 26: Stickstoffeinträge über die Regenkanalisation in Trennsystemen auf Gemeindeebene. .....	56
Abbildung 27: Phosphoreinträge über die Regenkanalisation in Trennsystemen auf Gemeindeebene. .....	57
Abbildung 28: Stickstoffeinträge aus Kleinkläranlagen mit Direkteinleitung über ein Rohr oder einen Graben auf Gemeindeebene. ....	58
Abbildung 29: Stickstoffeinträge in den Untergrund aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über eine Boden-Grundwasserpassage auf Gemeindeebene. ....	59
Abbildung 30: Stickstoffeinträge aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über die Kanalisation (Bürgermeisterkanäle) auf Gemeindeebene. ....	60
Abbildung 31: Phosphoreinträge über Kleinkläranlagen mit Direkteinleitung über ein Rohr oder einen Graben auf Gemeindeebene. ....	61
Abbildung 32: Phosphoreinträge in den Untergrund aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über eine Boden-Grundwasserpassage auf Gemeindeebene. ....	62
Abbildung 33: Phosphoreinträge aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über die Kanalisation (Bürgermeisterkanäle) auf Gemeindeebene. ....	63
Abbildung 34: Stickstoffeinträge in den Untergrund aus Kanalisationsleckagen auf Gemeindeebene. .....	64
Abbildung 35: Phosphoreinträge in den Untergrund aus Kanalisationsleckagen auf Gemeindeebene. .....	65
Abbildung 36: Stickstoffeinträge in den Untergrund aus nicht an die Kanalisation angeschlossenen versiegelten Flächen auf Gemeindeebene. ....	66
Abbildung 37: Phosphoreinträge in den Untergrund aus nicht an die Kanalisation angeschlossenen versiegelten Flächen auf Gemeindeebene. ....	67
Abbildung 38: Stickstoffeinträge aus kleinen Kläranlagen (50-2000 EW) auf Gemeindeebene. ....	68
Abbildung 39: Phosphoreinträge aus kleinen Kläranlagen (50-2000 EW) auf Gemeindeebene. ....	69
Abbildung 40: Gesamte Stickstoffeinträge aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene. ....	70
Abbildung 41: Gesamte Phosphoreinträge aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene. ....	71
Abbildung 42: Gesamte Stickstoffeinträge in den Untergrund aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene. ....	72
Abbildung 43: Gesamte Phosphoreinträge in den Untergrund aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene. ....	73
Abbildung 44: Stickstoffeinleitungen aus kommunalen Kläranlagen nach UBA-Inventar für das Jahr 2016. ....	74
Abbildung 45: Phosphoreinleitungen aus kommunalen Kläranlagen nach UBA-Inventar für das Jahr 2016. ....	75
Abbildung 46: Stickstoffeinleitungen aus industriellen Direkteinleitern nach PRTR (UBA, 2017) für das Jahr 2016. ....	76
Abbildung 47: Phosphoreinleitungen aus industriellen Direkteinleitern nach PRTR für das Jahr 2016. .....	77
Abbildung 48: Vergleich der Einzugsgebietsgröße ermittelt nach FZJ und auf Basis der AUs. ....	82
Abbildung 49: Vergleich von gemessenen und modellierten Gesamtabflüssen. ....	82
Abbildung 50: Vergleich der von beobachteten und modellierten TN-Frachten. ....	83
Abbildung 51: Vergleich von beobachteten und modellierten TP-Frachten. ....	83

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Für die Berechnung der Einträge über urbane Systeme und Punktquellen mit MONERIS verwendete Eingangsdaten.....	10
Tabelle 2: Die zur Modellierung unterschiedenen Anschlussarten und ihre Herleitung aus den FDZ-Daten.....	12
Tabelle 3: Anforderungen an die Ablaufqualität des gereinigten Abwassers bei der Prüfung zur bauaufsichtlichen Zulassung Z.55.x-xxx durch das DIBT, Probennahme als qualifizierte Stichprobe oder als 24-Stunden-Mischprobe (in Klammern), *) Probe ist als 24-Stunden-Mischprobe zu ziehen.	24
Tabelle 4: Zusammenstellung gefundener Zu- und Ablaufkonzentrationen und der ermittelten Retention on Gesamtstickstoff (TN) und Gesamtphosphor (TP) in Kleinkläranlagen.....	26
Tabelle 5: Für Bayern erhobener und für Deutschland abgeleiteter Schadensanteil für Kläranlagen jünger und älter als 40 Jahre.....	29
Tabelle 6: Aus der Literaturstudie abgeleitete und für die Modellierung verwendete Größen und Parameter zur Berechnung der Exfiltration aus Kanalleckagen.....	35
Tabelle 7: Atmosphärische NH <sub>y</sub> - und NO <sub>x</sub> -Deposition auf urbane Flächen nach Pineti-3 (Schaap, Hendriks, u. a., 2018) und LBM 2015 (BKG, 2018). ....	39
Tabelle 9: Zusammenstellung der nach LBM 2015 ausgewiesenen urbanen Flächen und den davon als versiegelt ausgewiesenen Flächenanteilen.....	42
Tabelle 10: Bevölkerung und Art des Anschlusses zur Abwasserbehandlung auf Bundeslandebene für das Jahr 2013.....	50
Tabelle 11: Längenanteil der Mischkanalisation und angeschlossene versiegelte Flächen sowie das absolute und spezifische Speichervolumen (Ausbaugrad) der Regenüberlaufbecken.....	53
Tabelle 12: Stickstoffeinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen Käranlagen (kIKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanlisationsleckagen (EX_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew). ....	78
Tabelle 13: Phosphoreinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen Käranlagen (kIKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanlisationsleckagen (EX_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew). ....	79
Tabelle 14: Stickstoffeinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen Kläranlagen (kIKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanalisationsleckagen (EX_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew). ....	80
Tabelle 15: Phosphoreinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen Kläranlagen (kIKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-	

Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanalisationsleckagen (EX_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew). .....	81
Tabelle 16: Statistische Güteparameter für die Validierung der modellierten Einzugsgebietsgrößen und Abflüsse. ....	82
Tabelle 17: Statistische Güteparameter für die Validierung der modellierten TN-Frachten.....	83
Tabelle 18: Statistische Güteparameter für die Validierung der modellierten TP-Frachten. ....	83

## 1 Angaben zum Bearbeitungsstand der dargestellten Ergebnisse und Methoden - neu

Ein vollständiger Durchlauf aller in AGRUM-DE beteiligten Modelle erfordert eine festgelegte sukzessive Rechenabfolge und eine enge Kooperation zwischen den wissenschaftlichen Mitarbeitern des TI, FZJ und IGB. Für eine Berechnung der Gesamteinträge und der resultierenden Frachten in den Oberflächengewässern ist demnach die Übergabe der entsprechenden Modellergebnisse vom IGB an das FZJ und vom TI/FZJ an das IGB notwendig. Da die (Neu-)Berechnungen noch nicht vollständig abgeschlossen sind, kann keine Neu-Validierung der Ergebnisse erfolgen. Da jedoch die Berechnung der Einträge aus urbanen Systemen weitestgehend unabhängig von den Ergebnissen der Projektpartner ist, konnte diese aktualisiert und hier dargestellt werden.

Demnach beinhalten die in diesem Bericht dargestellten Daten, Methoden und Ergebnisse für die Einträge aus urbanen Systemen und Punktquellen die am IGB nach der 6. Beiratssitzung (30.06.2020) durchgeführten Arbeiten. Für die Modelvalidierung hingegen kann nur der am 30.06.2020 gezeigte Stand dokumentiert werden. Sobald die Modellergebnisse aller Partner vorliegen, wird der Gesamtmodelllauf abgeschlossen und die Validierung aktualisiert und ein Gesamtergebnis präsentiert.

Am IGB wurden nach der 6. Beiratssitzung am 30. Juni sämtliche Berechnungen überarbeitet. Insbesondere folgende Eingangsdaten und Berechnungsansätze wurden aktualisiert:

- Nach intensivem Austausch zwischen IGB und FDZ (Forschungsdatenzentrum) stellte sich heraus, dass falsche Spaltenüberschriften zu den Daten der Anschlussverhältnisse durch das FDZ übermittelt wurden. Die zuvor durchgeführten Korrekturen der Anschlussverhältnisse, sind nun nicht mehr nötig und entfallen.
- Es wurden die Angaben des Versiegelungsgrades urbaner Flächen nach dem Landbedeckungsmodell (LBM, 2015) aktualisiert.
- Aus dem FDZ Datensatz wurden die Einleitungen aus kleinen, öffentlichen Kläranlagen (50 bis 2.000 EW) extrahiert und in den Berechnungen berücksichtigt.
- Nach Absprache mit dem UBA wurde die Extraktion der Angaben zu industriellen Direkteinleitern überarbeitet und aktualisiert.
- Nach Rücksprache mit Thüringen wurde eine Literaturrecherche zur Reinigungsleistung von Kleinkläranlagen und zur Berücksichtigung der Einleitung über ehemalige Bürgermeisterkanäle durchgeführt und in die Berechnungen implementiert. Sie zeigen nun eine gute Übereinstimmung mit deren Daten und Erwartungen.
- Am 01.11.2020 wurde der Ansatz zur Abschätzung der Exfiltrationsverluste aus Kanalleckagen dem Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) Abwasser vorgestellt und diskutiert.
- Zu den Wasserkörperinzugsgebieten liegt bisher immer noch keine verwertbare Version vor, da die zur Verfügung gestellten Wasserkörperinzugsgebiete keine richtigen hydrologischen Einzugsgebiete abbilden und sich stark zwischen den Bundesländern unterscheiden. Um dennoch der Ankündigung für AGRUM-DE gerecht zu werden, wurde intern im IGB eine Zusatzfinanzierung zur Ableitung der Wasserkörperinzugsgebiete bewilligt. Daher wurden zunächst die Berechnungen für die ausländischen Oberlieger aus dem EU-Projekt MARS mit den im UBA verwendeten Einzugsgebieten vorangetrieben. Auf dieser Basis kann eine erste Version des Reduktionsbedarfs für die Meeresschutzziele berechnet werden. Die finalen Ergebnisse sollen dann auf Wasserkörperinzugsgebietsebene bereitgestellt werden.



## 2 Neuorganisation des Workflows zwischen den Modellen des IGB und FZJ - unverändert

Das am IGB verwendete Modell MONERIS berechnet diffuse und punktförmige Einträge über die Eintragspfade atmosphärische Deposition, Abschwemmung, Erosion, Drainagen, Interflow & Grundwasser, sowie urbane Systeme und Punktquellen. Für diese Eintragspfade werden verschiedene temporäre und permanente Abbau-, Transformations- oder Rückhalteprozesse berücksichtigt. Anschließend wird die Retention von Nährstoffen in den Oberflächengewässern modelliert. Innerhalb des Modellverbundes wird die in vorherigen AGRUM Projekten bereits praktizierte Teilung der Modellierung von diffusen Einträgen durch das FZJ und der punktförmigen Einträge aus urbanen Systemen durch das IGB auch für AGRUM-DE angewendet, und die Datenschnittstelle zwischen den beteiligten Modellen noch etwas verfeinert. So werden die Einträge aus Kleinkläranlagen mit einer Einleitung über eine Boden-Grundwasserpassage sowie Exfiltrationsverluste aus beschädigten, undichten Abwasserkanalhaltungen vor der Berücksichtigung möglicher Abbauprozesse in Boden und Grundwasser auf Gemeindeebene an das FZJ übergeben. Im späteren Verlauf werden die gesamten diffusen Einträge wieder an das IGB übergeben, dort mit den anderen Einträgen aus urbanen Systemen zusammengeführt und zur Modellierung der Retention und Frachten in Oberflächengewässern herangezogen.

Die Berechnung der Stickstoff- und Phosphoreinträge über urbane Systeme und Punktquellen erfolgt in AGRUM-DE erstmals deutschlandweit auf Gemeindeebene. Für bisherige deutschlandweite Berechnungen mit MONERIS wurden alle benötigten Eingangsdaten zunächst auf Ebene hydrologischer Teileinzugsgebiete aggregiert. Dadurch ergab sich eine vermeidbare Unschärfe, z.B. bei der Zusammenführung von Einwohnerdichten, Kanalnetzlängen und Speichervolumina der Mischkanalisation. Alle verwendeten Eingangsdaten wurden daher auf Gemeindeebene erstellt bzw. belassen. Nach Berechnung der Einträge erfolgt dann die Aggregation auf Basis der WRRL-Wasserkörper-Einzugsgebiete. Abbildung 1 gibt eine Übersicht über den Arbeitsablauf zwischen FZJ und IGB zur Modellierung der Einträge über urbane Systeme.

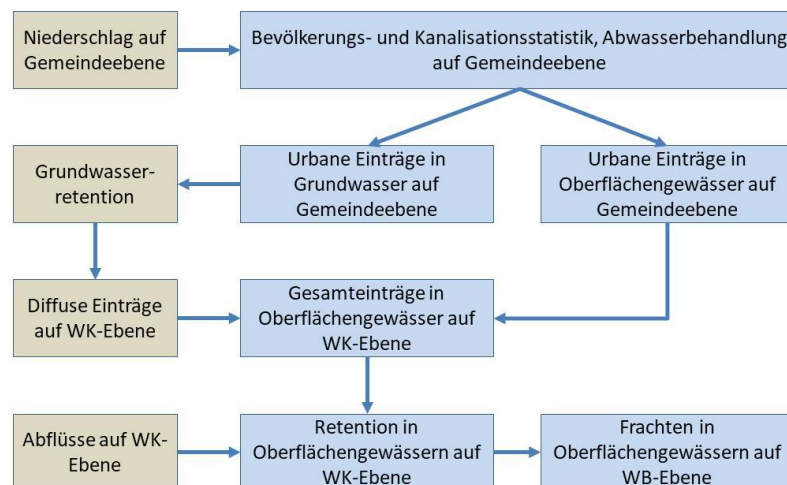


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Datenschnittstellen zwischen FZJ (beige) und IGB (blau) zur Modellierung der Nährstoffeinträge aus urbanen Systemen.

Diese Arbeitsteilung macht es erforderlich, die Modellbestandteile von MONERIS zur Modellierung der Einträge über urbane Systeme sowie der gewässerinternen Retention und dem Transport durch die Flusssysteme zur Küste, aus dem bisherigen Modellkern zu extrahieren und in separaten Teilmodellen zu organisieren.

## 3 Eingangsdaten - überarbeitet

### 3.1 Verwendete Eingangsdaten

Tabelle 1: Für die Berechnung der Einträge über urbane Systeme und Punktquellen mit MONERIS verwendete Eingangsdaten

Name	Beschreibung	Quelle
Bebaute urbane Flächen	Klassen B110, B121, B122 und B142 des Landschaftsbedeckungsmodells	LBM-DE (2015)
Versiegelungsgrad der bebauten Flächen	mittlerer Versiegelungsgrad nach Attribut SIE_AKT_RE, in % der bebauten urbanen Fläche	LBM-DE (2015)
Niederschlag	Mittlerer jährliche Niederschlagssumme im Zeitraum 1980-2010	Bereitstellung innerhalb Projektes durch das FZJ
Bevölkerung	Gesamte Bevölkerung pro Gemeinde	FDZ (2019a)
Angeschlossene Bevölkerung	Statistische Angaben auf Gemeindeebene zu den Anteilen der Bevölkerung der Abwasser über die Kanalisation, kommunale Kläranlagen oder Kleinkläranlagen entsorgt werden	FDZ (2019a), MUGV (2013)
Trenn- und Mischkanalisation	Statistische Angaben auf Gemeindeebene zum Alter und zur Ausbaulänge der Trenn- und Mischkanalisation	FDZ (2019c)
Speichervolumen	Statistische Angaben auf Gemeindeebene zum Speichervolumen von Regenüberlaufbecken und Regenrückhaltebecken	FDZ (2019b)
Wasserverbrauch	Wasserbereitstellung auf Kreisebene in l/Einwohner und Tag	Statistikportal (2013)
Kläranlageninventar	Frachten, Abwassermenge, Ausbaugröße und technische Spezifizierungen der Kläranlagen > 2000 EGW	Bereitstellung innerhalb Projektes durch das UBA
Hydrogeologie	IHME1500 - International Hydrogeological Map of Europe 1:1,500,000	
Liste noch nicht abgeschlossen, wird im Laufe des Projektes ggfs. vervollständigt und angepasst.		

### 3.2 Aufbereitung der Eingangsdaten

Alle Berechnungen der Einträge aus urbanen Systemen wurden auf Gemeindeebene durchgeführt. Zusätzlich wurden kommunale Kläranlagen und Industrielle Direkteinleiter über die Lage der

Einleitstelle berücksichtigt. Die ermittelten mittleren flächenspezifischen Einträge werden als Rasterkarte (10 m Auflösung) für die urbanen Flächen pro Gemeinde dargestellt und über die ArcGIS-Funktion „zonale Statistik“ auf die hydrologischen Einzugsgebiete übertragen. Hierbei werden zunächst die durch das UBA bereitgestellten Analysegebiete (AU) verwendet und, sobald verfügbar, die Einzugsgebiete der Wasserkörper nach EU-WRRL verwendet. Weitere Details zur Datengrundlage und -aufbereitung werden im Folgenden aufgeführt.

### 3.2.1 Ableitung der urbanen Flächen aus dem Digitalen Landschaftsmodell (LBM2015) – überarbeitet

Die urbane Fläche wurde aus dem LBM (2015) unter Verwendung der Landschaftsbedeckungsattribute B110, B121, B122, B142 abgeleitet. Diese Landbedeckungen stellen teilweise Mischnutzungen dar und können nicht als vollständig versiegelt angenommen werden. Das LBM (2015) bietet daher zwei Attribute zur Abschätzung des Versiegelungsanteils:

- 1) SIE\_BKG: Versiegelungsanteil basierend auf LBM-DE2012 und Basis-DLM
- 2) SIE\_AKT\_RE: Versiegelungsanteil auf Basis von Satellitenbildklassifizierung (RE = RapidEye).

Für SIE\_BKG wurde in Abhängigkeit von der Kombination von Landschaftsbedeckung und Landnutzung über eine definierte Kreuztabelle ein Versiegelungsanteil festgelegt. Für SIE\_AKT\_RE wurde zusätzlich der tatsächliche Versiegelungsanteil über ein teil-automatisiertes Verfahren abgeleitet. Mit einer Bildauflösung der RapidEye Satellitenbilder von 5\*5 m auf Bodenhöhe, bildet diese Datengrundlage die derzeit höchste räumliche Auflösung zur Ermittlung des Versiegelungsanteils (siehe Dokumentation LBM (2015)). Durch dieses Verfahren kann jedoch auch für Flächen die nicht als urban ausgewiesen sind, ein Versiegelungsanteil > 0 % ausgewiesen werden. Aus diesem Grund wurde der mittlere Versiegelungsanteil auf Gemeindeebene nur für die auch als urban attributierten Flächen berücksichtigt. Zur Berechnung der über die Kanalisation abgeführten Wassermengen wurden anschließend nur die versiegelten Flächen berücksichtigt.

**Anmerkung:** Im Modelllauf bis Juni 2020 der als Grundlage für die Ergebnisvorstellung bei der 6. Beiratssitzung am 30.06.2020 diente, wurde der mittlere Versiegelungsanteil noch für alle in SIE\_AKT\_RE enthaltenen Flächen ermittelt und liegt deutlich unter dem nun ermittelten mittleren Versiegelungsanteil.

### 3.2.2 Aufbereitung der FDZ-Daten – überarbeitet

Angaben zu Bevölkerungszahlen, Anschlussverhältnissen, Abwasserentsorgung und -behandlung sowie zur Kanalisation basieren auf folgenden Datensätzen des Forschungsdatenzentrums (FDZ) und beziehen sich jeweils auf das Jahr 2013, weil zu Projektbeginn die Daten für 2016 noch nicht zur Verfügung standen:

- 1) EVAS 32251 – Wassereigenversorgung und -entsorgung privater Haushalte - „Anschlussverhältnisse“
- 2) EVAS 32212 – Erhebung der öffentlichen Abwasserentsorgung - „Kanalnetze“
- 3) EVAS 32213 – Erhebung der öffentlichen Abwasserbehandlung – „Schmutzwasser“

Die aus diesen Datensätzen abgeleiteten und verwendeten Informationen werden im Folgenden dargestellt.

#### **Angeschlossene Bevölkerung**

Für die Ableitung der Anschlussverhältnisse standen folgenden Attribute zur Verfügung:

EF5 - Zahl der Einwohner, die nicht an eine öffentliche Kanalisation angeschlossen sind, gesamt

EF6 - Einwohner mit Anschluss an Kleinkläranlagen (Bestandteil von EF5)

EF7 - Einwohner mit Anschluss an Abflusslose Gruben, Entsorgung an eine zentrale Abwasserbehandlungsanlage (Bestandteil von EF5)

EF8 - Einwohner mit Anschluss an Abflusslose Gruben, ohne Entsorgung an eine zentrale Abwasserbehandlungsanlage (Bestandteil von EF5)

EF9 - Zahl der Einwohner mit Anschluss an eine öffentliche Kanalisation, aber ohne Anschluss an eine zentrale Abwasserbehandlungsanlage

EF10 - Anzahl der Einwohner insgesamt

Nicht immer stimmte in den original Daten des FDZ auf Gemeindeebene die Summe von EF6, EF7, EF8 und EF9 mit den Angaben zu EF5 überein. Es wurde im Folgenden immer mit der Summe der Einzelangaben (EF6-EF9) gerechnet und die Angaben zu EF5 nicht weiter berücksichtigt.

Grundsätzlich wurde davon ausgegangen, dass keine ungereinigten Abwässer in das Grundwasser oder Oberflächengewässer eingeleitet werden. Demnach müssen Abwässer die nicht in einer öffentlichen (50 bis 2000 EW) oder kommunalen (> 2000 EW) Kläranlage behandelt werden, mindestens in einer Kleinkläranlage (< EW) behandelt werden. Dies gilt insbesondere für EF9 (ehemals Bürgermeisterkanäle) und für EF8 für die angenommen wird, dass die vorgereinigten Abwässer über eine Boden-Grundwasserpassage eingeleitet werden. Für Kleinkläranlagen (EF6) kann zusätzlich zwischen einer Direkteinleitung (Rohr oder Graben) in einen Vorfluter oder eine indirekte Einleitung über eine Boden-Grundwasserpassage unterschieden werden. Hierzu standen jedoch keine Angaben durch das FDZ zur Verfügung. Daher wurde hier der Ansatz nach Behrendt et al. (2003) und Venohr et al. (2011) angesetzt, der die Einleitungsart über die hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrunds ableitet. Hierbei wird angenommen, dass nur im Lockergesteinsbereich eine Einleitung in den Untergrund zulässig ist. So wird der Anteil der Kleinkläranlagen die über eine Boden-Grundwasserpassage einleiten direkt über den prozentualen Anteil des Lockergesteins auf Gemeindeebene abgeleitet. Insgesamt können somit die in Tabelle 2 beschriebenen Anschlussarten unterschieden und ins Modell implementiert werden.

**Tabelle 2: Die zur Modellierung unterschiedenen Anschlussarten und ihre Herleitung aus den FDZ-Daten.**

Name	Beschreibung	Berechnet als
$EW_{K,KA}$	Einwohner mit Anschluss an die Kanalisation und eine Kläranlage	$EF10 - EF6 - EF7 - EF8 - EF9$
$EW_{AG}$	Einwohner mit Anschluss an eine Abflusslosegrube	EF7
$EW_{klKA,direkt}$	Einwohner mit Anschluss an Kleinkläranlagen mit Einleitung über Rohr/Graben	$EF6 * (1 - \text{Anteil Lockergestein})$
$EW_{klKA,GW}$	Einwohner mit Anschluss an Kleinkläranlagen mit Einleitung über Boden-Grundwasserpassage	$EF6 * (\text{Anteil Lockergestein}) + EF8$
$EW_{klKA,Kanal}$	Einwohner mit Anschluss an Kleinkläranlagen, die über eine Kanalisation einleiten (Bürgermeisterkanäle)	EF9

### **Anschluss der versiegelten urbanen Fläche an Trenn- und Mischkanalisation**

Die Gesamtlänge des Kanalnetzes wurde direkt aus den Angaben des FDZ auf Gemeindeebene übernommen und beinhaltet die Längen der Misch-, Schmutz-, und Regenwasserkanalisationen. Für die Abschätzung der Anschlussverhältnisse der versiegelten urbanen Flächen an die Kanalisation wurden nur die Misch- und Regenwasserkanalisation verwendet, da beide Kanaltypen an die Flächen

angeschlossen sind. Im Gegensatz dazu ist die Schmutzwasserkanalisation an die Häuser angeschlossen wodurch kein direkter Zusammenhang mit der angeschlossenen versiegelten Fläche bestehen muss. In jedem Fall würde eine Berücksichtigung der Ausbaulängen von Schmutz- und Regenwasserkanalisation zu einer Überschätzung des Ausbaulängenanteils beider führen. Die an die jeweiligen Kanalnetze angeschlossenen versiegelten Flächen wurden entsprechend Gl. 1 berechnet.

$$AURB_{MK,TK} = AURB_{GES} \cdot AURB_{VERS} \cdot EW_{K,KA} \cdot L_{MK,TK} \quad \text{Gl. 1}$$

$AURB_{MK,TK}$  = an die Misch- (MK) oder Trennkanalisation (TK) angeschlossene versiegelte Fläche in km<sup>2</sup>

$AURB_{GES}$  = gesamte nach LBM (2015) ausgewiesene urbane Fläche

$AURB_{VER}$  = Versiegelungsanteil in % der urbanen Fläche

$EW_{K,KA}$  = Bevölkerung mit Anschluss an Kanalisation und Kläranlage im Einwohnern

$L_{MK,TK}$  = Anteil der Misch- oder Trennkanalisation an der Summe von Misch- und Schmutzwasserkanalisation

### **Versiegelte urbane Fläche ohne Anschluss an die Kanalisation**

Insbesondere im ländlichen Raum gibt es Haushalte, die nicht an die Kanalisation und eine Kläranlage angeschlossen sind, da der Anschluss an eine öffentliche Kanalisation zu aufwändig ist oder diese schlichtweg nicht vorhanden ist. In diesen Fällen ist davon auszugehen, dass auch versiegelte Flächen im gleichen Maße nicht an die Kanalisation angeschlossen sind. Daher wird, wie in Gl. 1 bereits dargestellt, der Anschlussgrad bei der Berechnung der an die Kanalisation angeschlossenen Flächen berücksichtigt. Im Umkehrschluss verbleibt bei einem Anschlussgrad < 100 % eine versiegelte Restfläche, die nicht an die Kanalisation angeschlossen ist. Diese wird nach Gl. 2 berechnet. Da in Kleinkläranlagen die Behandlung von nicht-häuslichem Abwasser untersagt ist, wird diesen auch keine angeschlossene versiegelte Fläche zugeordnet.

$$AURB_{NA} = AURB_{VER} - AURB_{TR} - AURB_{MK} \quad \text{Gl. 2}$$

$AURB_{NA}$  = nicht an die Kanalisation angeschlossene Flächen in km<sup>2</sup>

$AURB_{VER}$  = versiegelte urbane Fläche in km<sup>2</sup>

$AURB_{TR}$  = an die Trennkanalisation angeschlossene Fläche in km<sup>2</sup>

$AURB_{MK}$  = an die Mischkanalisation angeschlossene Flächen in km<sup>2</sup>

### **Speichervolumen der Mischkanalisation**

Die Angaben zum Speichervolumen wurden durch das FDZ auf Gemeindeebene zur Verfügung gestellt, jedoch pro Betreiber und bezogen auf den Hauptsitz der jeweiligen Firma. Dadurch kommt es zu einer Verzerrung und Konzentration der räumlichen Verteilung der gemeldeten Speichervolumina. Um diese zu vermeiden wurden die Daten auf Kreisebene aggregiert und für jeden Kreis ein mittleres Speichervolumen berechnet. Dazu wurden zunächst auf Gemeindeebene die an die Mischkanalisation angeschlossene versiegelte Fläche nach Gl. 1 berechnet und anschließend zusammen mit der angeschlossenen Fläche auf Kreisebene aggregiert. Das Speichervolumen auf Kreisebene wurde dann als Verhältnis aus Speichervolumen und der an die Mischkanalisation angeschlossene versiegelte Fläche berechnet. In MONERIS wird das Speichervolumen als relative Größe verwendet, Meissner (1991) und Brombach und Michelbach (1998) gehen davon aus, dass das

Speichervolumen bei 100 % Ausbaugrad 23,3 m<sup>3</sup>/ha beträgt und bei einem Ausbaugrad von 10 % null ist. Diese Bedingungen lassen sich durch Gl. 3 realisieren.

$$MK_{PSV} = 3.8627 \cdot MK_{SV} + 10 \quad \text{Gl. 3}$$

$MK_{PSV}$  = relatives Speichervolumen in %  
 $MK_{SV}$  = Speichervolumen der Mischkanalisation in m<sup>3</sup>/ha

### **Alter der Trenn- und Mischkanalisation**

Die Datensätze des FDZ enthalten die Längenangaben von Misch- und Schmutzwasserkanalisation unterschieden nach dem Baujahr der Kanalisation, Klassifiziert in 10 Jahresschritten (z.B. 1961-1970, 1971-1980,...). Das Alter der Kanalisation wurde auf Gemeindeebene längengewichtet als Mittelwert für die Misch- und Schmutzwasserkanalisation berechnet. Da die Regenwasserkanalisation für die Berechnung der Exfiltrationsverluste nicht berücksichtigt wurde, bleibt diese bei der Altersbestimmung unberücksichtigt.

### **Einleitungen von kleinen Kläranlagen**

Für die Einleitungen aus kommerziellen Kläranlagen wurde das Kläranlageninventar des UBA verwendet. Dieses enthält jedoch nur Angaben zu Anlagen mit mehr als 2000 Einwohnergleichwerte (EGW). Somit sind die Einleitungen aus Kläranlagen mit 50 bis 2000 EGW hier unberücksichtigt und wurden aus Daten des FDZ ermittelt. Die Einleitungen aus kleinen Kläranlagen werden nur aggregiert auf Gemeindeebene weitergegeben somit ist keine punktgenaue Verortung der Einleitstelle, sondern nur eine summarische Berücksichtigung auf Gemeindeebene möglich.

Die Daten zu Kleinen Kläranlagen wurden dem FDZ-Datenblatt „EVAS 7S\_32212\_Abwasserentsorgung“ entnommen und umfassen Angaben zu den angeschlossenen Einwohnern, der Abwassermenge und den Gesamtstickstoff- und Gesamtphosphorkonzentrationen. Hier wurden zunächst die Anlagen mit weniger als 2000 Einwohnerwerte (EW) selektiert, anschließend die Frachten berechnet und diese auf Gemeindeebene aggregiert, da nur so ein Export zur Weiterverarbeitung erlaubt war.

**Anmerkung:** Am 10.11.2020 wurde durch Antje Ullrich (UBA) beim BLAK-Abwasser der Vorschlag eingebracht, die Daten in nicht auf Gemeindeebene aggregierter Form weiterzugeben. Dies wurde von den Teilnehmern weitestgehend unterstützt. Ggfs. kann noch während der Projektlaufzeit mit den Daten der individuellen kleinen Kläranlagen gerechnet werden was eine bessere Verortung und Zuordnung zu den Flusseinzugsgebieten ermöglichen würde.

Da das UBA deutlich höhere Einleitungen aus kleinen Kläranlagen ermittelt hat, wurde noch ein weiterer Termin beim FDZ vereinbart um die Originaldaten erneut zu prüfen. Corona-bedingt hat sich dieser Termin verzögert, sodass die Überprüfung erst im Dezember erfolgen und es noch zu Änderungen der Eingangsdaten und der Ergebnisse für diesen Eintragspfad kommen kann.

**3.2.3 Abwasser aus privaten Haushalten und durch Laubfall sowie tierische Exkremente – neu**  
Für Kleinkläranlagen und Mischkanalisationsüberläufe müssen die Abgaben von häuslichem Abwasser berücksichtigt werden. Für die Abschätzung der Abwassermenge wird das verbrauchte durch die Wasserversorger bereitgestellte Wasser zu Grunde gelegt. Der Wasserverbrauch liegt in Liter pro Einwohner und Tag auf Kreisebene durch das Statistikportal (2013) vor (Abbildung 2). Diese Zahlen beinhalten auch den Wasserverbrauch durch kleine kommerzielle Nutzer und liegen potentiell

über dem tatsächlichen Verbrauch in privaten Haushalten (siehe auch Kapitel 5.2.6). Sie stellen jedoch die beste flächendifferenzierte Abschätzung der Wasserbräuche dar und werden allgemeinüblich für diese Berechnungen verwendet.

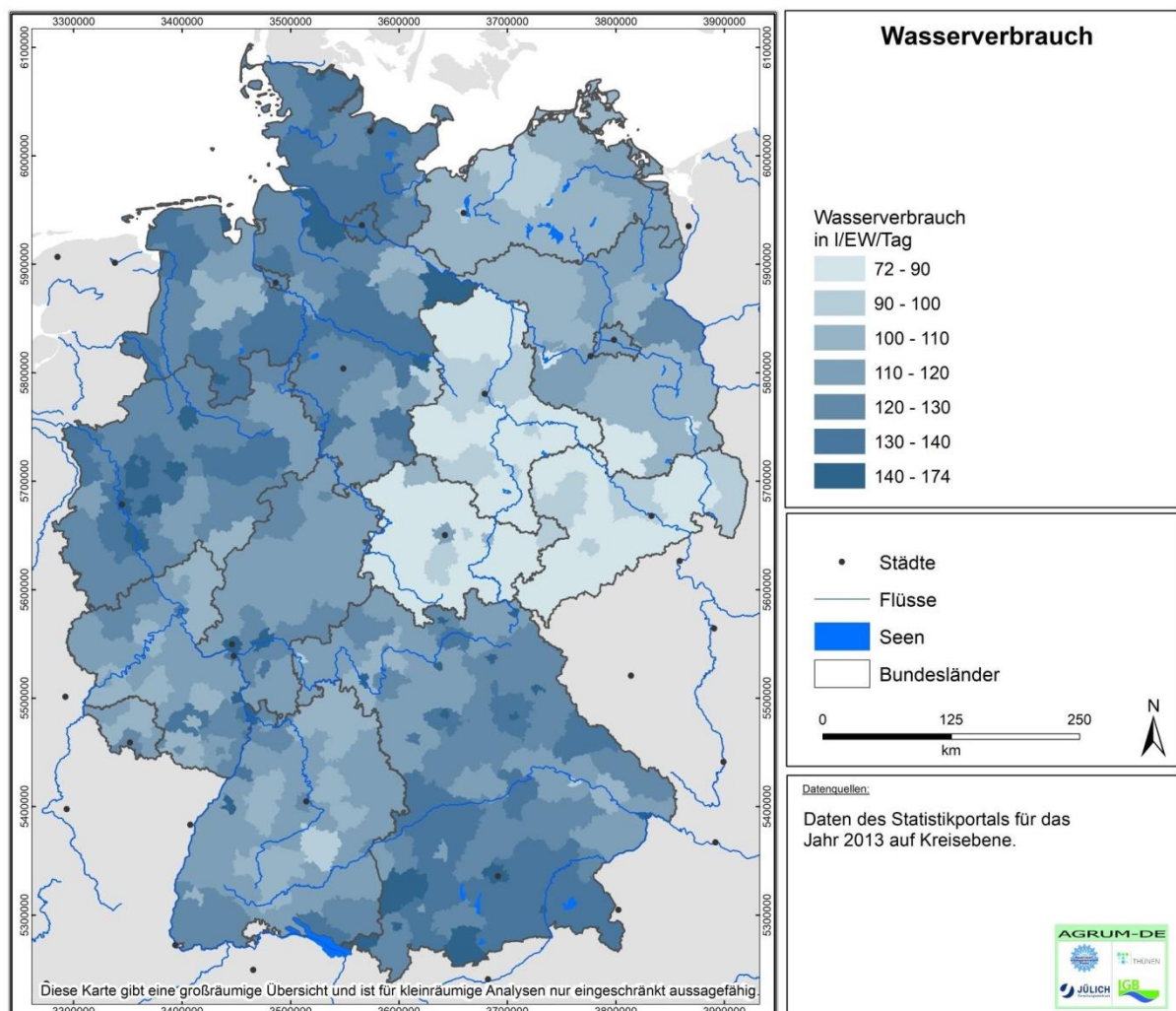


Abbildung 2: Wasserverbrauch auf Kreisebene in Deutschland für das Jahr 2013 (Statistikportal, 2013)

Des Weiteren werden personenspezifische Nährstoffabgaben zur Abschätzung der Nährstofffrachten benötigt. Diese belaufen sich für Stickstoff auf 11 g N/(Einwohner-Tag) und für Phosphor auf 1,9 g P/(Einwohner-Tag) (Behrendt, Kornmilch, u. a., 2002; Venohr, Hirt, u. a., 2011) und beinhalten gelöste und partikuläre Fraktionen und auch Anteile aus der Anwendung von Wasch- und Geschirrspülmitteln.

Für urbane Flächen wird ein zusätzlicher Stickstoffeintrag von 4 kg N/ha/a aus Laubfall und tierischen Exkrementen angesetzt (Behrendt, Kornmilch, u. a., 2002; Venohr, Hirt, u. a., 2011).

### 3.2.4 Daten zur Kläranlagen und industriellen Direkteinleitern nach PRTR – neu

Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Direkteinleitern wurden dem durch das UBA bereitgestellten Kläranlageninventar und Angaben des PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) entnommen. Das Kläranlageninventar umfasst Werte zu Abfluss und Frachten von Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor für insgesamt 4562 Kläranlagen mit mehr als 2000 EGW aus den Jahren 2008, 2010, 2012, 2014 und 2016. Für die Berechnungen wurden die Daten des Jahres

2016 verwendet, da der Datensatz für 2016 am umfassendsten ist und auch die Lage der Einleitstelle, nicht wie in den Vorjahren die Lage der Kläranlage, angegeben wurde. Aus den Daten des PRTR wurden, in Absprache mit dem UBA, nur die Angaben zur Kategorie „industrielle Freisetzungen“ verwendet. Beide Datensätze lagen mit expliziten Koordinaten der Einleitungsstellen vor und wurden direkt den Flächen der Gemeinde, des Einzugsgebiets oder Bundeslands zugeordnet.

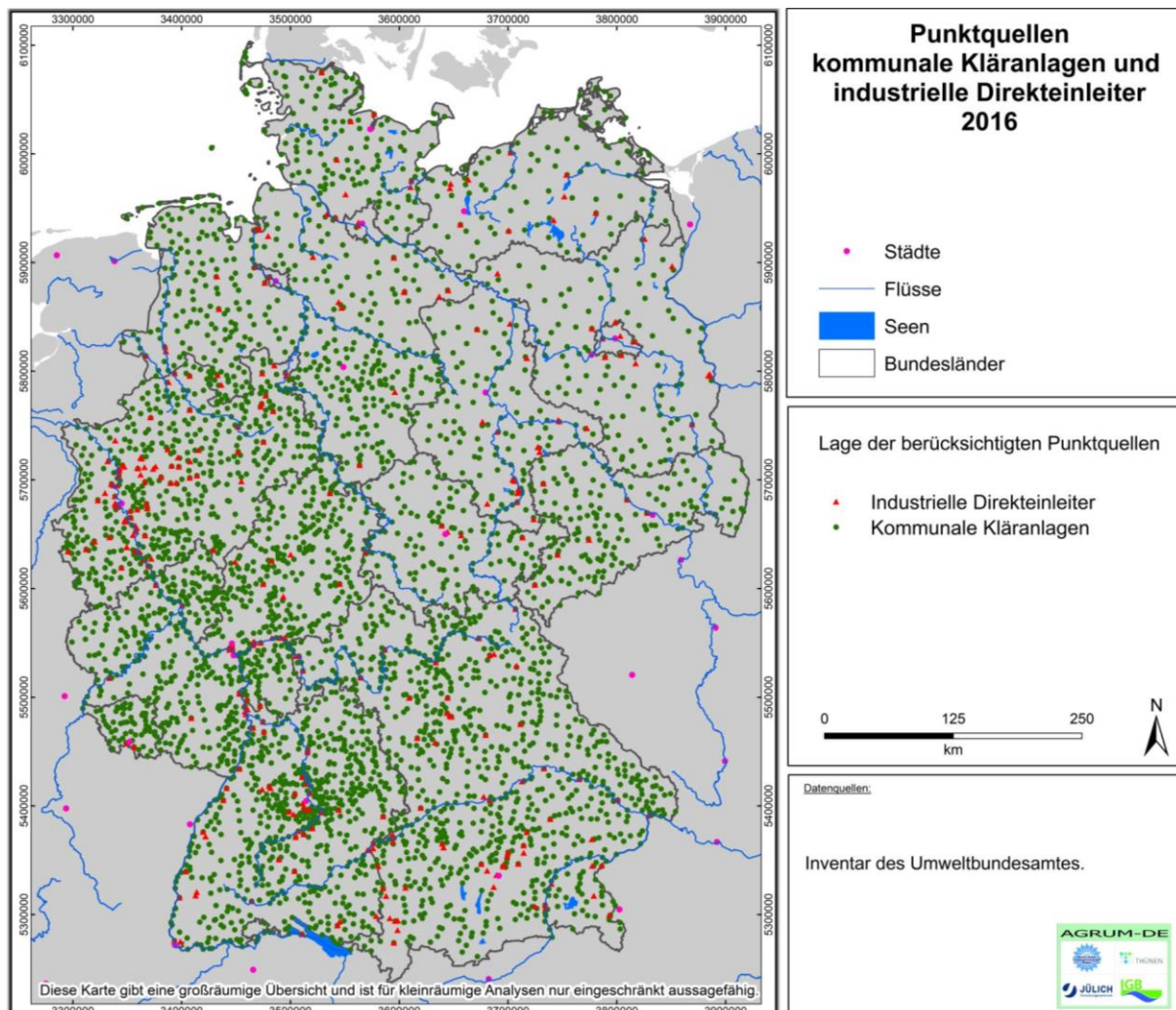


Abbildung 3: Lage der Kommunalen Kläranlagen und der Industriellen Direkteinleiter.

### 3.2.5 Einzugsgebiete der deutschen Wasserkörpereinzugsgebiete nach Wasserrahmenrichtlinie – unverändert

Die Modellierung der gewässerinternen Retention und der resultierenden Frachten soll in AGRUM-DE auf Ebene der etwa 11.000 Wasserkörper nach Wasserrahmenrichtlinie erfolgen. Die Fließgewässer-Wasserkörper sind in Deutschland als Linienelemente ausgewiesen, dazugehörige Einzugsgebiete liegen jedoch nur für die deutlich höher aufgelösten Drain Basins (etwa 400.000) vor. In aggregierter Form bilden die Drain Basins das Einzugsgebiet der Wasserkörper, jedoch liegt kein geeigneter Code zur Zuweisung und Aggregation der Drain Basins zu den Wasserkörpern vor. Die Erzeugung der Wasserkörpereinzugsgebiete erforderte daher folgende Arbeitsschritte:

- 1) Weitestgehend manuelle Zuweisung der Wasserkörper ID (Polyline, IDs: EU\_CD\_RW (Flüsse), EU\_CD\_LW (Seen)) zu allen zugehörigen Drain-Basins (Polygon). Manche Wasserkörpereinzugsgebiete enthalten gleichzeitig Fluss- und Seewasserkörper. In diesem Fall wurde jeweils der Flusswasserkörper verwendet, da sie die hydrologische Verbindung zwischen Gebieten definieren (die EU\_CD\_LW wurde ebenfalls mitgeführt). In einigen Fällen



stimmte zudem die Ausdehnung bzw. Lage der Wasserkörper (Polyline) nicht mit den Grenzen der Drain Basin-Polygone überein. In diesem Fall wurde jeweils der Wasserkörper mit dem größten Längenanteil für die Zuweisung der RW-ID berücksichtigt.

- 2) Die Gewässerkennzahl bzw. in einigen Fällen die Gebietskennzahl enthalten hierarchische Information zu den Entwässerungsgebieten der jeweiligen Drain-Basins. Diese wurde verwendet die jeweiligen Unterlieger zu ermitteln und deren ID als Entwässerungs-ID (To-ID) übernommen.
- 3) Über eine GIS-basierte Nachbarschaftsanalyse wurde überprüft ob die identifizierten Entwässerungsgebiete an das Ursprungsgebiet räumlich angrenzen. Für etwa 6000 Gebiete war dies nicht der Fall, so dass hier die To-ID nochmals manuell festgelegt wurde.
- 4) Über die ARC-GIS Funktion „Dissolve“ wurden die Drain Basins zu Wasserkörpereinzugsgebieten zusammengeführt.
- 5) Durch Lücken oder Überlappungen zwischen den Einzugsgebietsgrenzen der Drain-Basins ergaben sich für die so erzeugten Wasserkörpereinzugsgebieten-Polygone entsprechende Fehler, die zunächst über „Repair Geometry“ behoben wurden.

Noch ausstehende Arbeitsschritte umfassen die Festlegung einer Aggregierungsregel zur regionalen Zusammenfassung der Küstendirekteinzugsgebiete (Drain Basins) sowie der Handhabung von Wasserkörpern die zunächst Deutschland verlassen, dann aber wieder nach Deutschland fließen. Zusätzlich steht noch eine abschließende Überprüfung der Wasserkörpereinzugsgebiete sowie des erzeugten Abflussbaums (z.B. über die Darstellung der aufsummierten Einzugsgebietsflächen) aus.

### 3.3 Datengrundlage für die Modellvalidierung – zu bearbeiten

Für die Modellvalidierung wurden von der BfG Daten für den Zeitraum von 1980 bis 2010 zu 463 Abflusspegeln bereitgestellt.

194 Gütemessstellen bereitgestellt vom UBA, 2010-2016

Allen 194 Gütemessstellen konnte ein Pegel zugewiesen werden

Davon habe 126 ein Einzugsgebiet das vollständig in Deutschland liegt

Aber nur für 71 Gütemessstellen lagen Daten von BfG-Pegeln vor

Für 34 ergaben sich Abweichungen zwischen AU-Einzugsgebieten Pegelmetadaten von > 15%

Für 12 Gütemessstellen lagen keine oder nicht ausreichende Daten für eine Frachtberechnung vor.

Frachtvergleich auf Basis von 57 (P) /48 (N) Datensätzen durchgeführt.

## 4 Modellierung und Berechnungsansätze

### 4.1 Einträge aus urbanen Systemen

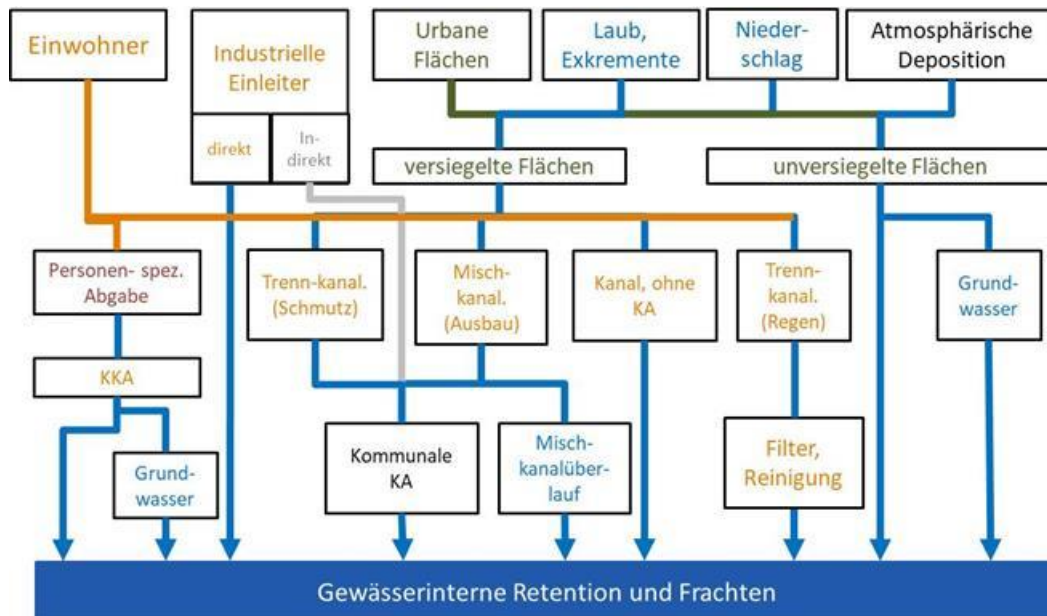


Abbildung 4: Schematische Darstellung der berücksichtigten Eintragspfade für urbane Systeme.

#### 4.1.1 Abflüsse von versiegelten urbanen Flächen - neu

Die Berechnung der Abflüsse von versiegelten urbanen Flächen erfolgt über den Abflussbeiwert nach Heaney, Huber, u. a. (1976) (Gl. 3). Mit steigendem Anteil der versiegelten Fläche nimmt demnach der Abflussbeiwert zu.

$$QURB_{ratio} = 0.15 + 0.75 \frac{AURB_{VER\%}}{100} \quad \text{Gl. 4}$$

$QURB_{ratio}$  = Abflussbeiwert, ohne Einheit

$AURB_{VER\%}$  = Anteil der versiegelten urbanen Fläche, in %

Der Abfluss von den versiegelten urbanen Flächen berechnet sich anschließend in Abhängigkeit vom Abflussbeiwert, dem Jahresniederschlag sowie der versiegelten Fläche. Er spiegelt wider, wie viel des gefallenen Jahresniederschlags aufgrund des Versiegelungsgrads in die Kanalisation gelangt (Gl. 5).

$$QN_{VERS} = \frac{QURB_{ratio} \cdot N_a \cdot AURB_{VER} \cdot 1000000}{1000} \quad \text{Gl. 5}$$

$QN_{VERS}$  = Abfluss von versiegelten urbanen Flächen, in  $m^3/a$

$N_a$  = Jahresniederschlag, in  $mm/m^2/a$

$AURB_{VERS}$  = versiegelte urbane Fläche, in  $km^2$

Neben dem durch Niederschläge erzeugten und dem häuslichen Abwasser ist noch gewerbliches Abwasser zu berücksichtigen. Für die Berechnung der Menge des gewerblichen Abwassers wird der Ansatz von Mohaupt, Sieber, u. a. (1998) verwendet. Dieser geht von einem Anteil der gewerblichen

Fläche an der gesamten urbanen Fläche von 0,8 % aus, wobei hier anstelle von  $QURB_{ratio}$  eine Regenabflussspende von 1 l/ha/s angesetzt wird.

Diese Vorgehensweise wird grundsätzlich für alle versiegelten urbanen Flächen angewendet. Im Weiteren unterscheiden sich die Berechnungsansätze in Abhängigkeit vom Kanalisationstyp. Im Unterschied zur Trennkanalisation oder nicht an die Kanalisation angeschlossenen Flächen, wird für die Mischkanalisation nicht der gesamte erzeugte Abfluss berücksichtigt, sondern nur der Teil der während Starkniederschlägen durch Überlaufereignisse in die Gewässer gelangt (siehe Kapitel 4.1.3). Zusätzlich muss hier noch der Anteil des Abwassers aus den angeschlossenen Haushalten berücksichtigt werden.

### Abwasser aus Überlaufereignissen der Mischkanalisation

Im Gegensatz zu normalen Regenereignissen, ist das Mischkanalisationssystem bei Starkregenereignissen nicht in der Lage, die gesamte Wassermenge aufzunehmen und den Kläranlagen zuzuführen. Die überschüssige Wassermenge wird über Mischkanalisationssysteme meist ohne Behandlung dem Oberflächengewässer zugeführt. Dieser als Entlastung bezeichnete Vorgang, kann für Oberflächengewässer eine extreme Belastung darstellen. Hierzu muss zunächst die Anzahl der Starkniederschlagsereignisse ermittelt werden. Dies kann bei stündlichen oder täglichen Zeitreihen über eine definierte maximale Niederschlagsmenge erfolgen. Liegen die jährlichen Niederschlagssummen als Karte vor, erfolgt die Abschätzung in MONERIS nach Gl. 6.

$$SNT = 0,0000012 N_a^{2,5} \quad \text{Gl. 6}$$

SNT = Anzahl der Starkregenereignisse, in Tage/a

$N_a$  = Jahresniederschlagssumme, in mm/a

Es ist davon auszugehen, dass Entlastungen nicht bei jedem Starkregenereignis stattfinden und auch nicht den ganzen Tag andauern. Deshalb wird eine effektiv wirksame Zahl der Starkregentage unter Berücksichtigung des Speichervolumens in der Mischkanalisation abgeleitet. Die Zahl der effektiven Starkregentage ergibt sich aus dem Verhältnis der Entlastungsraten mit und ohne Speichervolumen (Gl. 7).

$$SNT_{eff} = SNT \frac{ER_{MK,SV}}{ER_{MK,SV=0}} \quad \text{Gl. 7}$$

$SNT_{eff}$  = effektive Anzahl der Starkregenereignisse, in Tage/a

$ER_{MK,SV}$  = Entlastungsrate der Mischkanalisation mit Speichervolumen, in %

$ER_{MK,SV=0}$  = Entlastungsrate der Mischkanalisation ohne Speichervolumen, in %

Nach Meissner (1991) kann man die Entlastungsrate nach Gl. 8 bestimmen, wobei für  $ER_{MK,SV=0}$  das Speichervolumen  $MK_{SV}$  auf 0 gesetzt wird.

$$ER_{MK} = \left( \frac{\frac{4000 + 25 \cdot R_q}{0,551 \cdot R_q}}{\frac{MK_{PSV}}{100} \cdot 23,3 + \frac{36,8 + 13,5 \cdot R_q}{0,5 \cdot R_q}} \right) - 6 + \frac{N_a - 800}{40} \quad \text{Gl. 8}$$

$ER_{MK}$  = Entlastungsrate der Mischkanalisation in %

$N_a$  = Jahresniederschlag in mm/a

$MK_{PSV}$  = Speichervolumen in der Mischkanalisation in %

$R_q$  = Regenabflussspende in l/ha/s

Für die Regenabflussspende  $R_q$  wird in allen Gemeinden ein konstanter Wert von 1 l/ha/s angenommen. Die Berechnung des insgesamt in die Mischkanalisation eingeleiteten Abwassers erfolgt über Gleichung (Gl. 9).

$$Q_{MK} = QEW_{MK} + QN_{MK} \quad \text{Gl. 9}$$

Hier wird, die niederschlagserzeugte Abwassermenge,  $QN_{MK}$  nach Gl. 5 unter Berücksichtigung der an die Mischkanalisation angeschlossenen versiegelten Fläche (inkl. gewerblicher Fläche) und der einwohnererzeugte Anteil durch Gl. 10 berechnet.

$$QEW_{MK} = \frac{EW_{MK} \cdot Q_{EW}}{1000} \cdot 365 \quad \text{Gl. 10}$$

$QEW_{MK}$  = durch Einwohnern an Mischkanalisationsüberlaufungen erzeugtes Abwasser in m<sup>3</sup>/a

$EW_{MK}$  = an die Mischkanalisation angeschlossene Einwohner

$Q_{EW}$  = Wasserverbrauch in l/EW/Tag

Zur Berechnung der Nährstoffkonzentration während Überlaufereignissen, wird zusätzlich das Wasservolumen in den Regenüberlaufbecken berücksichtigt (Gl. 11).

$$QSV_{MK} = AURB_{MK} \frac{23,3}{100} MK_{PSV} 100 \quad \text{Gl. 11}$$

$QSV_{MK}$  = in Regenüberlaufbecken gespeichertes Abwasservolumen in m<sup>3</sup> / Tag

$AURB_{MK}$  = an die Mischkanalisation angeschlossene versiegelte Flächen in km<sup>2</sup>

$MK_{PSV}$  = relatives Speichervolumen in %

Damit lässt sich die gesamte bei Überlaufereignissen an die Gewässer abgegebene Abwassermenge, für die Tage und Dauer der Überlaufereignisse nach Gl. 12 berechnen.

$$QMK_{\ddot{U}E} = \left( \frac{QEW_{MK} + QN_{MK}}{365} + QSV_{MK} \right) \cdot SNT_{eff} \frac{ER_{MK}}{100} \frac{MK_{\ddot{U}D}}{24} \quad \text{Gl. 12}$$

$QMK_{\ddot{U}E}$  = gesamte durch Überlaufereignisse an Oberflächengewässer abgegebene Abwassermenge in m<sup>3</sup>/a

$ER_{MK}$  = Entlastungsrate der Mischkanalisation in %

$MK_{\ddot{U}D}$  = Mittlere Dauer der eines Überlaufereignisses, inklusive der sich aus den zuvor in die Kanalisation eingeleiteten Abwässer in Stunden/Tag

Die gesamte, sich an Überlaufanlagen im Mischsystem befindliche Abwassermenge ergibt sich entsprechend aus Gl. 13. Diese Gleichung dient später der Berechnung der Nährstoffkonzentrationen während Überlaufereignissen.

$$QMK_{\text{ÜT}} = \left( \frac{QEW_{MK} + QN_{MK}}{365} \right) \cdot SNT_{eff} \quad \text{Gl. 13}$$

$QMK_{\text{ÜT}}$  = Gesamtabwassermenge die sich an Überlaufanlagen in der Mischkanalisation befinden in  $\text{m}^3/\text{a}$

#### 4.1.2 Nährstoffeinträge über Trennkanalisationen - neu

Für Einträge über die Trennkanalisation wird nur die Regenwasserkanalisation berücksichtigt, da der Schmutzwasseranteil vollständig in Kläranlagen behandelt wird und somit über den Eintragspfad Punktquellen bzw. kleine Kläranlagen mit 50 bis 2000 EW. Zunächst werden die Konzentrationen für das niederschlagsbürtige Abwasser von versiegelten urbanen Flächen berechnet (Gl. 18), wobei die atmosphärische Deposition auf urbanen Flächen und der zusätzliche Eintrag über Laubfall und tierische Exkremete berücksichtigt werden.

$$CTK_{AURB,N,P} = \frac{AD_{N,P} + LE_N}{QN_{AURB,TK}} \quad \text{Gl. 14}$$

$CTK_{AURB,N,P}$  = Konzentration von N oder P über an die Trennkanalisation angeschlossene Flächen in  $\text{kg}/\text{a}$

$AD_{N,P}$  = Gesamte atmosphärische Deposition auf versiegelt urbane Flächen in  $\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$

$LE_N$  = N-Einträge durch Laubfall und tierische Exkremete in  $\text{kg}/\text{km}^2/\text{a}$

Für gewerbliche Flächen wird eine konstante Konzentration im Regenablauf von 2  $\text{mg N}/\text{l}$  angenommen. So ergibt sich die gewichtete mittlere Konzentration im Regenwasser der Trennkanalisation nach Gl. 19.

$$CTK_{N,P} = \frac{CTK_{AURB,N,P} \cdot QN_{AURB,TK} + 2 \cdot QN_{AGEW,TK}}{QN_{AURB,TK} + QN_{AGEW,TK}} \quad \text{Gl. 15}$$

$CTK_{N,P}$  = mittlere gewichtete Konzentration von Stickstoff oder Phosphor in der Trennkanalisation in  $\text{mg}/\text{l}$

$QN_{AURB,TK}$  = niederschlagsbürtiger Abfluss von versiegelten an die Trennkanalisation angeschlossenen urbanen Flächen in  $\text{m}^3/\text{a}$

$QN_{AGEW,TK}$  = niederschlagsbürtiger Abfluss von versiegelten an die Trennkanalisation angeschlossenen Gewerbeflächen in  $\text{m}^3/\text{a}$

In MONERIS ist zusätzlich die Möglichkeit vorgesehen den Effekt einer Reinigung durch Retentionsbodenfilter (RBF) und Retentionsklärbecken (RKB) abzubilden. Dazu kann auf

Gemeindeebene der Anteil der mit Retentionsbodenfiltern und Retentionsklärbecken ausgestatteten Haltungen der Regenkanalisation berücksichtigt werden (Gl. 20).

$$CTK_{Ret,N,P} = CTK_{N,P} \cdot \frac{(100 - R_{RKB,N,P}) \cdot TK_{RKB}}{100} \cdot \frac{(100 - R_{RBF,N,P}) \cdot TK_{RBF}}{100} \quad \text{Gl. 16}$$

$CTK_{Ret,N,P}$  = resultierende mittlere N- oder P-Konzentration in der Trennkanalisation am Auslass von RKB oder RBF in mg/l

$R_{RKB,N,P}$  = Rückhalt von N oder P in Retentionsklärbecken (RKB) in %

$TK_{RKB}$  = Anteil der mit einem RKB ausgestatteten Trennkanalisation in %

$R_{RBF,N,P}$  = Rückhalt von N oder P in Retentionsbodenfilter (RBF) in %

$TK_{RBF}$  = Anteil der mit einem RBF ausgestatteten Trennkanalisation in %

Die Retention in RKB wurde nach Fuchs, Scherer, u. a. (2010) auf 22 % (TN) bzw. 74 % (TP) und die in RBF auf 42 % (TN) und 33 % (TP) festgelegt. Aufgrund fehlender differenzierter flächendeckender Angaben wurde der Anteil der Regenkanalisation mit RBF konstant auf 5 % und mit RKB auf 25 % aus der letzten deutschlandweiten Modellierung für das UBA übernommen (Fuchs, Scherer, u. a., 2010; Venohr, Hirt, u. a., 2011; Venohr, Gadegast, u. a., 2014).

$$N, P_{TK} = CTK_{Ret,N,P} \cdot QURB_{TK} \frac{1000}{1000000} \quad \text{Gl. 17}$$

$N, P_{TK}$  = durch die Trennkanalisation in die Oberflächengewässer eingeleiteter Stickstoff und Phosphor in t/a

#### 4.1.3 Nährstoffeinträge von Mischkanalisationsüberläufen - neu

Basierend auf den oben berechneten Tagen mit Überlaufereignissen und den damit korrespondierenden Abwassermengen lassen sich die Einträge durch Überlaufereignisse basierend auf der atmosphärischen Deposition, den Einträgen durch Laubfall und Exkrementen (nur Stickstoff) sowie den personen-spezifischen Nährstoffabgaben berechnen. Hierzu wird zunächst die mittlere Konzentration in der Mischkanalisation an Tagen mit Überlaufereignissen berechnet (Gl. 18, Gl. 19, Gl. 20).

$$CMK_{N,P,\dot{U}T} = \left( \frac{N, P_{EW,MK} + N, P_{A,MK}}{QMK_{\dot{U}T} \cdot 1000} \right) \cdot 1000000 \quad \text{Gl. 18}$$

$CMK_{N,P,\dot{U}T}$  = Mittlere Nährstoffkonzentration in der Mischkanalisation an Tagen mit Überlaufereignissen in mg/l

$QMK_{\dot{U}T}$  = Gesamtabwassermenge die sich an Überlauf Tagen in der Mischkanalisation befinden in m<sup>3</sup>/a

mit:

$$N, P_{EW,MK} = \frac{EW_{N,P}}{1000} EW_{MK} \cdot SNT_{eff} \quad \text{Gl. 19}$$

$N, P_{EW,MK}$  = Abgabe von Stickstoff (N) oder Phosphor (P) von an die Mischkanalisation angeschlossenen Einwohnern an Tagen mit Überlaufereignissen in der Mischkanalisation in kg/a

$EW_{N,P}$  = personenspezifische N- oder P-Abgabe in g/EW/Tag

$SNT_{eff}$  = effektive Anzahl der Starkregenereignisse, in Tage/a

$$N, P_{A, MK} = \frac{(AD_{N,P} + LE_N) \cdot AURB_{MK}}{365} SNT_{eff} \quad \text{Gl. 20}$$

$N, P_{A, MK}$  = Anfall von N oder P über an die Mischkanalisation angeschlossene Flächen in kg/a  
 $AD_{N,P}$  = Gesamte atmosphärische Deposition auf versiegelt urbane Flächen in kg/km<sup>2</sup>/a  
 $LE_N$  = N-Einträge durch Laubfall und tierische Exkremete in kg/km<sup>2</sup>/a  
 $AURB_{MK}$  = an die Mischkanalisation angeschlossene versiegelte Fläche in km<sup>2</sup>

Die Stickstoff- und Phosphoreinträge durch Mischkanalisationsüberlaufereignisse ergeben sich abschließend aus den mittleren Konzentrationen während eines Überlaufereignisses und der Entlasteten Abwassermenge nach Gl. 21.

$$N, P_{MKÜ} = CMK_{N,P,ÜT} \cdot QMK_{ÜE} \frac{1000}{1000000} \quad \text{Gl. 21}$$

$N, P_{MKÜ}$  = durch Mischkanalisationsüberlaufereignisse in die Oberflächengewässer eingeleiteter Stickstoff und Phosphor in t/a

#### 4.1.4 Einträge über Kleinkläranlagen und Bürgermeisterkanäle – neu

Bei Kleinkläranlagen (KKA) können drei verschiedene Systeme unterschieden werden

- Einleitung nach Vorreinigung über ein Rohr oder einen Graben
- Einleitung nach Vorreinigung über eine öffentliche Kanalisation
- Einleitung nach Vorreinigung über eine Boden-Grundwasserpassage

Für die ersten beiden Systeme erfolgt nach der Reinigung in der KKA eine direkte Einleitung in die Oberflächengewässer. Beim dritten System erfolgt, bevor die Einträge in die Oberflächengewässer gelangen, ein weiterer Rückhalt der mitgeführten Nährstoffe während der Boden-Grundwasserpassage. Innerhalb des Projektes AGRUM-DE wird dieser Transportweg und die betroffenen Prozesse durch das FZJ abgebildet. So erfolgt hier die Berechnung der Fracht bei Verlassen der KKA und diese wird anschließend zur weiteren Modellierung an das FZJ übergeben.

Da die Behandlung von nicht-häuslichem Abwasser in KKA (z.B. Niederschlagswasser) untersagt ist, wird die Fracht in die KKA aus dem personenspezifischen Wasserverbrauch und den personenspezifischen Nährstoffabgaben berechnet (Gl. 22).

$$N, P_{KKA,in} = \frac{EW_{KKA}}{1000} EW_{N,P} \cdot 365 \quad \text{Gl. 22}$$

$N, P_{KKA,in}$  = Nährstofffrachten am Zulauf zu Kleinkläranlagen in kg/a

$EW_{KKA}$  = Anzahl der Einwohner mit Anschluss an eine (der drei) Kleinkläranlagen

$EW_{N,P}$  = personenspezifische N- oder P-Abgabe in g/EW/Tag

#### Retentionsleistung von KKA

Die Anforderungen an dezentrale Abwasseranlagen (Kleinkläranlagen), die häusliches Abwasser behandeln, sind in den gesetzlichen Regelungen des Bundes und der Länder festgelegt. Die zentrale rechtliche Regelung des Bundes ist hier das Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Der für häusliches und kommunales Abwasser einschlägige Anhang 1 der Abwasserverordnung gilt seit dem 1. August 2002 auch für Kleineinleitungen und ist damit für Kleinkläranlagen anzuwenden. Kleineinleitungen ordnen sich in die Größenklasse 1 ein. Danach gelten für das Abwasser aus Kleinkläranlagen für die

Einleitstelle Konzentrationen von 150 mg CSB/l und 40 mg BSB<sub>5</sub>/l, Anforderungen, die in der Regel nur durch eine biologische Reinigungsstufe erreichbar sind. Da Genehmigungen für den Betrieb von KKA in der Regel alle 10-15 Jahre erneuert werden, kann inzwischen grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass KKA zum überwiegenden Anteil unter dem Zulassungsverfahren des „Deutsche Institut für Bautechnik“ (DIBT) genehmigt wurden (QQ\_Zitat). Damit sind jedoch die angesetzten Reinigungsleistungen in MONERIS und für KKA aber auch (ehemalige) Bürgermeisterkanäle zu überprüfen und –aktualisieren.

Die Reinigungsleistung von Kleinkläranlagen wird in Deutschland über eine Konstruktionsabhängige Ablaufkonzentration geregelt. Seit 2005 wird diese nach den „Zulassungsgrundsätzen für allgemein bauaufsichtliche Zulassung für die Anwendung von Kleinkläranlagen durch das DIBT geregelt und die Leistungsfähigkeit von Kleinkläranlagen in Ablaufklassen eingeteilt.

**Ablaufklasse C:** Zuverlässige Basisreinigung mit Entfernung des Kohlenstoffes (CSB, BSB<sub>5</sub>).

**Ablaufklasse N:** Zusätzlich zur Kohlenstoffelimination wird der Stickstoff oxidiert und damit entgiftet.

**Ablaufklasse D:** Zusätzlich zum Kohlenstoff wird auch der Stickstoff mikrobiologisch aus dem Wasser entfernt.

**Ablaufklasse +P:** Außer Kohlenstoff und Stickstoff wird auch der Phosphor aus dem Abwasser entfernt.

**Ablaufklasse +H:** Nicht nur Kohlenstoff und Stickstoff werden zuverlässig entfernt, sondern es erfolgt eine zusätzliche Hygienisierung, bei der insbesondere Keime herausgefiltert werden.

Durch die zuständigen Behörden, meist die „Untere Naturschutzbehörde“, wird standortabhängig festgelegt, welche Ablaufklasse für die Genehmigung eine Anlage anzusetzen ist. Außerhalb von Karst- und Wasserschutzgebieten ist dies anstelle von Anlagen mit der Reinigungsstufe +H meist die Ablaufklasse C. Die Überprüfung der Anforderungen zum Betrieb, zur Wartung sowie zur Eigenüberwachung finden sich in der DIN 4261-1,-2 und -4. Die einzuhaltenden Ablaufwerte werden durch die AbwV (2004) vorgegeben und in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen durch das DIBT spezifiziert. Die Behörde kontrolliert die Einhaltung der Ablaufwerte durch Eigenüberwachung. Hier müssen nur die Ablaufkonzentrationen verpflichtend gemeldet werden, die in der, der Genehmigung zu Grunde liegenden, Ablaufklasse beschrieben sind (Tabelle 3). Somit liegen für die meisten Kleinkläranlagen keine gemessenen N- und P-Konzentrationen am Ablauf von KKA vor. Auch können die für Ablaufklassen D und +P festgelegten maximalen Ablaufkonzentrationen nicht allgemein angenommen werden, weil die meisten Anlagen nicht auf dieser Grundlage zugelassen sind (siehe z.B. LfU, 2017).

**Tabelle 3: Anforderungen an die Ablaufqualität des gereinigten Abwassers bei der Prüfung zur bauaufsichtlichen Zulassung Z.55.x-xxx durch das DIBT, Probennahme als qualifizierte Stichprobe oder als 24-Stunden-Mischprobe (in Klammern), \*) Probe ist als 24-Stunden-Mischprobe zu ziehen.**

Ablaufqualität nach Reinigungsklassen	CSB	BSB <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> -N	N <sub>anorg</sub>	P <sub>ges</sub>	AFS	Coli
	in mg/l						pro 100 ml
Klasse C	150 (100)	40 (25)				75	
Klasse N (inkl. C)	90 (75)	20 (15)	10			50	
Klasse D (inkl. N)	90 (75)	20 (15)	10	25		50	
Klasse +P (inkl. C/N/D)					2 <sup>*)</sup>		
Klasse +H (inkl. C/N/D)							100



Grundsätzlich lässt sich die Retentionsleistung von KKA durch die Bilanz zwischen Zu- und Ablaufkonzentration abschätzen, allerdings muss dazu auch die gemessene Zulaufkonzentration vorliegen.

### Konzentrationen im Zulauf von KKA

Die Konzentration im Zulauf kann durch die abgegebene Nährstoffmenge und der Wassermenge am Zulauf ermittelt werden. Das Zulaufwasser von KKA darf nur aus häuslichen Abwässern bestehen und nicht mit Niederschlagswasser oder anderem Fremdwasser vermischt werden. Daher korreliert die Zulaufmenge meist mit dem personenspezifischen Trinkwasserverbrauch. Der Trinkwasserverbrauch auf Kreisebene schwankt zwischen 73 und 174 l/EW/Tag und weist im ländlichen Raum und insbesondere in den Bundesländern TH, SN, ST geringere Werte auf. Das einwohnergewichtete Mittel im Jahr 2013 lag bei 121 l/EW/Tag. Nach Straub (2008) sinkt der Wasserverbrauch zusätzlich signifikant mit steigender Arbeitslosenquote und Trinkwasserpreisen. In ihrer Dissertation untersuchte Straub (2008) die Trinkwasserverbrauchsangaben von 356 Kleinkläranlagenbetreibern. Danach liegt der mittlere Verbrauch der Kleinkläranlagenbetreiber bei 70-80 l/EW/Tag und etwa 65 % der Einwohner verbrauchen weniger als 90 l/EW/Tag Trinkwasser. Diese Werte wurden durch andere Studien bestätigt (siehe Straub (2008)). Wie Abbildung 8 zeigt, ergeben sich jedoch auch im ländlichen Bereich (und damit, bei den potentiell an KKA angeschlossenen Haushalten) deutliche Unterschiede im Trinkwasserverbrauch.

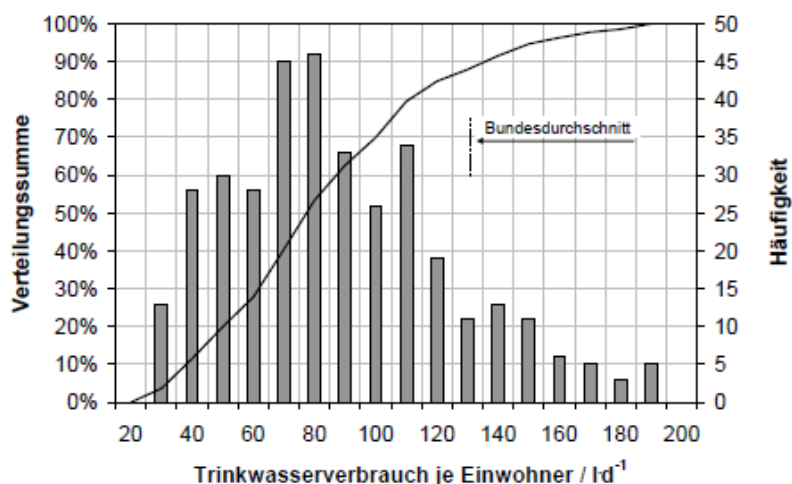


Abbildung 5: Absolute Häufigkeits- und Summenverteilung der Trinkwasserverbräuche im ländlichen Raum nach Straub (2008).

Die hydraulische Auslegungsgröße für Kleinkläranlagen beträgt nach DIN 4261-2 (1984) und DIN-EN-12566-3 (2005) 150 l/EW/Tag. Daraus folgt, dass Kleinkläranlagen oftmals in hydraulischer Unterlast betrieben werden. Da sich die Zulaufkonzentrationen aus einer personenspezifischen Nährstoffabgabe und dem Trinkwasserverbrauch ergeben, ist von einem erheblichen Einfluss der unterschiedlichen Wasserverbräuche auf die Zulaufqualität des Abwassers und damit auf die Reinigungsleistung sowie die Ablaufkonzentrationen der Kleinkläranlagen auszugehen. Weiterhin macht dies eine belastbare Abschätzung der Zulaufkonzentration auf Basis der hier verfügbaren Daten unmöglich.

Es gibt eine Reihe von Studien die sich mit der Retentionsleistung von KKA auseinander gesetzt haben (Tabelle 4). Doch lediglich Straub (2008) berichtet deutschlandweite und anlagentypübergreifende Ablaufkonzentrationen. Allerdings liegen die TN-Ablaufkonzentrationen

teilweise über den durch Straub (2008) dargestellten Zulaufkonzentrationen. Eine Bewertung dieses Sachverhalts erfolgte nicht durch Straub (2008) und daher ist eine Verwendung dieser Werte für die Abschätzung einer TN-Retention nicht sinnvoll.

**Tabelle 4: Zusammenstellung gefundener Zu- und Ablaufkonzentrationen und der ermittelten Retention on Gesamtstickstoff (TN) und Gesamtphosphor (TP) in Kleinkläranlagen.**

Nährstoff	Zulauf	Ablauf	Retention	Grundlage	Quelle
	Konzentration in mg/l		In %		
NGES	99	25	75	Vorgabe Klasse-D Anlagen	DIBT, Z.55.y.xxx
		37	63	Mittelwert $N_{anorg}$ aus Klasse-D Anlagen, Sachsen	(Stich und Milke, 2017)
		40-112	0-60, Mittel: 22	Mittelwert verschiedener Anlagentypen, DE, abgeleitet aus geschätzter Zu- und gemessener Ablaufkonzentration	Straub (2008)
PGES		2	89	Vorgabe Klasse-D Anlagen	DIBT, Z.55.y.xxx
	19	3,8	80	Mittelwert $P_{ges}$ aus Klasse-D Anlagen, Sachsen	(Stich und Milke, 2017)
		14-718	0-31, Mittel: 27	Mittelwert verschiedener Anlagentypen, DE, abgeleitet aus geschätzter Zu- und gemessener Ablaufkonzentration	Straub (2008)

Auf Basis der verfügbaren Daten ist eine eindeutige Bestimmung der mittleren Retentionsleistung von KKA nicht unmittelbar möglich. Die nach DIBT für die Ablaufklassen D und +P festgelegten Ablaufkonzentrationen und daraus resultierenden Abbauraten sind als anzustrebendes Maximum anzusehen, sind aber allenfalls für diese Anlagentypen anzuwenden. Diese Anlagen machen aber nur einen sehr kleinen Anteil der KKA in Deutschland aus. Wie die Auswertungen aus Sachsen und Bayern zeigen, kommt es jedoch auch bei diesen Anlagen immer wieder und teilweise zu erheblichen Überschreitungen der DIBT-Vorgaben, wodurch sich im Mittel auch für D und +P Anlagen deutlich geringere Abbauraten ergeben. Die deutschlandweiten typübergreifenden Auswertungen von KKA Ablaufkonzentrationen nach Straub (2008) und daraus abgeleitete Abbauraten kommen den tatsächlichen mittleren Verhältnissen vermutlich am nächsten. Teilweise sind die hier ermittelten Abbauraten jedoch sehr gering und deuten auf mögliche Fehler im Betrieb, der Probennahme oder der Auswertung hin. Im Mittel ergeben sich nach Straub (2008) mittlere Abbauraten von 22 % für TN und 27 % für TP. Bei den Auswertungen von Straub (2008) ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Daten aus eigenen Messungen in den Jahren 2005 bis 2007, sowie Messwerten aus den Wartungsprotokollen, die entsprechend des Einreichungsdatums der Dissertation, aus den Jahren vor 2006 stammen. In den Jahren zwischen 2005 und 2015 wurde die Nachrüstung von Kleinkläranlagen zur Erfüllung der DIBT Vorgaben deutschlandweit allgemein massiv vorangetrieben. Somit ist davon auszugehen, dass die Überschreitungshäufigkeiten und die Ablaufkonzentrationen abgenommen haben und die mittlere Retentionsleistung der KKA insgesamt zugenommen hat. Daher kann eine mittlere Retentionsleistung im Bereich zwischen 22 bis 63 % (TN) und 27 bis 80 % (TP), respektive abgeleitet nach Straub (2008) und Stich und Milke (2017), angenommen werden. Aus diesen Daten ergeben sich mittlere Abbauraten von 49 % TN und 52 % TP. Somit kann vereinfachend von einer mittleren Abbauraten von etwa 50 % für TN und TP ausgegangen werden. Diese Werte stimmen gut mit den durch Tetzlaff, Kreins, u. a. (2017) für Modellierungen in Thüringen angenommenen

Abbauraten (TN und TP zusammen) von 60 % für vollbiologische und 40 % für Mehrkammeranlagen überein. Aufgrund der für Deutschland vorliegenden Datengrundlage des FDZ kann für unsere Berechnungen jedoch nicht zwischen verschiedenen KKA-Typen unterschieden werden.

Tetzlaff, Kreins, u. a. (2017) haben weiterhin Abbauraten für eine, den sogenannten Bürgermeisterkanälen vorgeschaltete, mechanische Reinigung, von 23 % (TN) und 49 % (nach Eberhardt et al. 2007) angesetzt. Da die novellierte Gesetzesgrundlage eine rein mechanische Vorreinigung grundsätzlich ausschließt, nehmen wir für Bürgermeisterkanäle, d.h. KKA mit Einleitung über die Kanalisation, ebenfalls die oben genannten Abbauraten von 50% für TN und TP an.

Die so ermittelte Retention von 50% wird als Faktor auf die aus den personenspezifischen Nährstoffabgaben am Zulauf (Gl. 22) von KKA angewendet.

#### 4.1.5 Einträge von nicht an die Kanalisation angeschlossenen Flächen - neu

Für nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen wird nur die atmosphärische Deposition und zusätzlich Einträge aus Laubfall und Exkrementen angesetzt. Die ermittelten Einträge werden im Folgenden an das FZJ weitergegeben um dort den Transport und Abbau während der Boden-Grundwasserpassage zu berechnen.

$$N, PK_{AURB,OK} = \frac{(AD_{N,P} + LE_N) \cdot AURB_{NK}}{1000} \quad \text{Gl. 23}$$

$N, P_{AURB,OK}$  = Einträge von versiegelten nicht die Kanalisation angeschlossenen Flächen in t/a

$AD_{N,P}$  = Gesamte atmosphärische Deposition auf versiegelt urbane Flächen in kg/km<sup>2</sup>/a

$LE_N$  = N-Einträge durch Laubfall und tierische Exkremente in kg/km<sup>2</sup>/a

$AURB_{NK}$  = an die Mischkanalisation angeschlossene versiegelte Fläche in km<sup>2</sup>

## 4.2 Abschätzung von Sickerwasserverlusten aus der städtischen Kanalisation in das Grundwasser –überarbeitet

### 4.2.1 Hintergrund

Nach Berger u. a. (2016) sind etwa 20 % der Kanalhaltungen in Deutschland sanierungsbedürftig. Aussagen zur räumlichen Verteilung der Schädigungen liegen jedoch kaum vor und kann Material- und Altersabhängig erheblich variieren. Insbesondere für die Kanalisation, die vor 1960 verbaut wurde können erhöhte Sickerverluste angenommen werden; z.B. Konstruktionsbedingt (stumpf aneinander liegende Rohrenden, die durch eine von außen anliegende Zementschicht verbunden werden) oder Materialbedingt (Verwendung von organischen Dichtmaterialien, z.B. Teer-Hanf-Stricke, die sich im Laufe der Zeit auflösen) (Bütow, Krafft, u. a., 2001).

Bisher gibt es keine deutschlandweite, differenzierte Abschätzung zum Umfang der Exfiltrationsverluste aus Kanalleckagen. Bestehende detaillierte Modelle wurden nur kleinräumig angewendet (z.B. Stadtteilebene) und verlangen umfassende Angaben zur Kanalisation, Schadensform und –umfang, und Wasserführung, sowie weitere Angaben wie z.B. Kolmationsschichtdurchlässigkeit oder Art des umliegenden Gesteins. Erste großräumige Abschätzungen zu Sickerwasserverlusten wurden durch das Forschungszentrum Jülich im Auftrag der Bundesländer NRW und RP durchgeführt. Der Ansatz für NRW basiert auf einem pauschalen Sickerwasserverlust von 15 % aller in die Kanalisation gelangenden menschlichen Ausscheidungen, soll jedoch ebenfalls Einträge von z.B. Friedhöfen oder Komposthaufen in das Grundwasser beinhalten. Die Verteilung der Einträge in das Grundwasser ergibt sich demnach allein aus der

Verteilung der Bevölkerungsdichte. Der zweite Ansatz des FZ Jülich, für RP, berücksichtigt eine Staffelung der Verlustraten in Abhängigkeit vom Alter der Kanalisation: Baujahr vor 1970 (3 % Verluste), zwischen 1971 und 2000 (1 % Verluste) und nach 2000 (0,5 % Verluste). Da sich die Verlustraten für NRW und RP deutlich unterscheiden und in der gesichteten Literatur keine analogen Verlustraten gegeben sind, erfolgte eine unabhängige deutschlandweite Abschätzung der Exfiltrationsverluste auf Basis einer extensiven Literaturrecherche (Nguyen et al., eingereicht) und einem daraus abgeleiteten Berechnungsansatz (Nguyen & Venohr, eingereicht). Im Folgenden werden die Ansätze kurz vorgestellt.

#### 4.2.2 Zustand der Kanalisation in Deutschland

Wie oben erwähnt ergab eine Umfrage der DWA (Berger, Falk, u. a., 2016), dass etwa 20 % der Kanalhaltungen sanierungsbedürftig sind. Eine Studie aus Bayern, basierend auf Sichtung von 90 % aller Kanalhaltungen in Bayern, ermittelte, dass etwa 16 % dieser sanierungsbedürftig sind (Krönlein, Horstmeyer, u. a., 2015). Dieser Studie zu Folge ergibt sich auch ein deutlicher Zusammenhang zwischen Alter der Kanalisation und der Schadenshäufigkeit (Abbildung 6). So wurde hier festgestellt, dass sogar in jüngeren Haltungen schon Schädigungen auftreten können. Dies wurde grundsätzlich wenn auch nicht auf Basis einer systematischen großräumigen Erhebung, durch andere Studien bestätigt (QQ\_Zitat). Nach übereinstimmenden Angaben der DWA und Daten des FDZ gibt es einen deutlichen Gradienten in der Altersverteilung, mit zunehmendem Alter in Abhängigkeit einer zunehmenden Gemeindegröße und meist jüngeren Haltungen in den neuen Bundesländern (Abbildung 7).

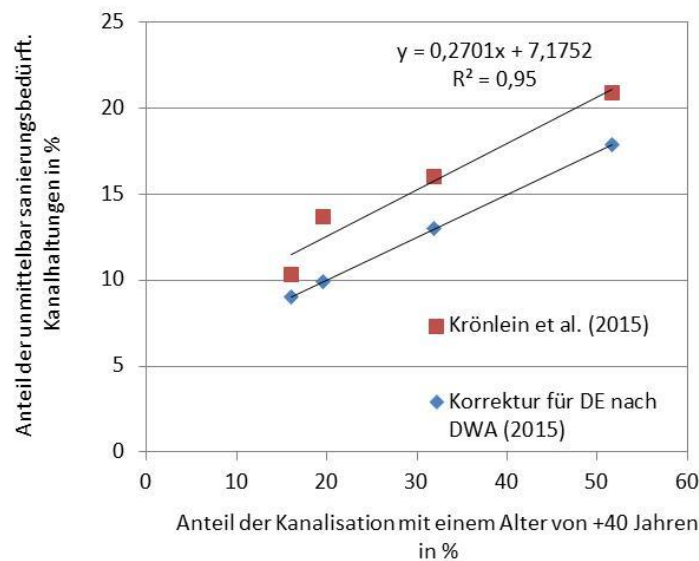


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen dem Alter und der unmittelbaren Sanierungsbedürftigkeit von Kanälen in Bayern nach Krönlein u.a. (2015) und abgeleitet für Deutschland auf Basis von Angaben der DWA (2015) und Daten des FDZ für das Jahr 2013

Der in Abbildung 6 gezeigte, für Bayern abgeleitete, Zusammenhang zwischen Alter und Schadenshäufigkeit wurde auf Basis der durch FDZ bereitgestellten Kanallängen und Altersangaben auf Deutschland übertragen und so angepasst, dass ein mittlerer längen- und altersgewichteter Schadensanteil von 20 % wiedergegeben wird. Somit wird der Schadensanteil auf Gemeindeebene nach Gl. 24 ermittelt.

$$AK_{SB} = \frac{AK_{40}}{100} \cdot 5 + \left( \frac{1 - AK_{40}}{100} \right) \cdot 30 \quad \text{Gl. 24}$$

AK<sub>SB</sub> = Anteil der Sanierungsbedürftigen Kanalisation in %

AK<sub>40</sub> = Anteil der Kanalisation mit einem Alter von mehr als 40 Jahren in %

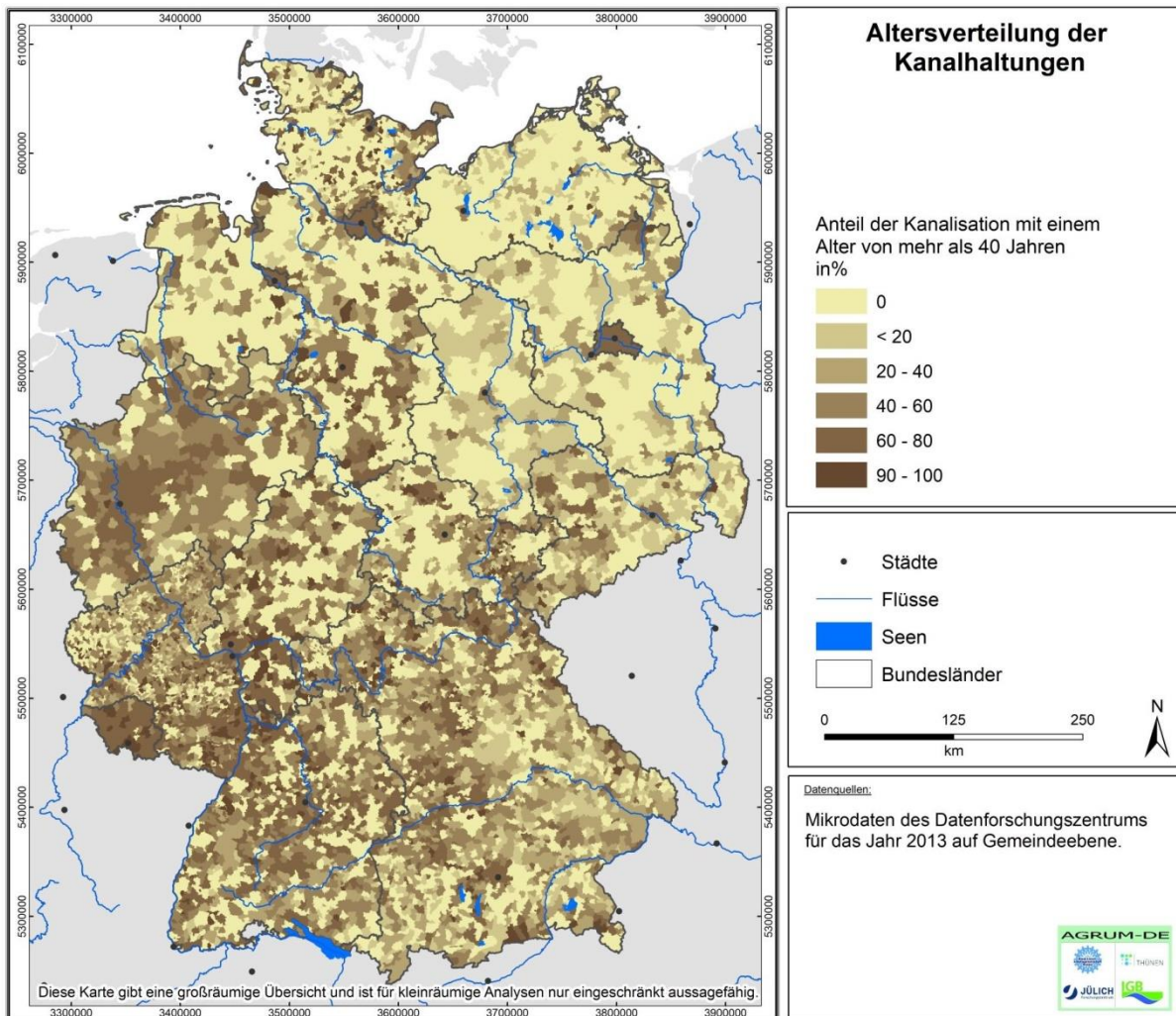


Abbildung 7: Anteil der Kanalhaltungen mit einem Alter von mehr als 40 Jahren (Baujahr 1980) nach FDZ (2013) auf Gemeindeebene.

Tabelle 5: Für Bayern erhobener und für Deutschland abgeleiteter Schadensanteil für Kläranlagen jünger und älter als 40 Jahre.

	Schadensanteil in %	
	100 % jünger als 40 Jahre	100 % älter als 40 Jahre
nach Krönlein, Horstmeyer, u. a. (2015) für Bayern	7	34
Korrektur für DE nach Berger, Falk, u. a. (2016)	5	30

Die Länge der öffentlichen Kanalisation beträgt in Deutschland  $576 \cdot 10^3$  km. Die Länge der privaten Grundstücksentwässerung in Deutschland ist mit etwa  $1100 \cdot 10^3$  km etwa doppelt so lang (DWA, 2016). Zum Alter der privaten Kanalisation liegen keine Informationen vor. Auch ist das Wissen zum Zustand der privaten Kanalisation sehr lückenhaft. Nach DWA (2016) wurden deutschlandweit nur etwa 10 % der privaten Kanalisation gesichtet und ein Bericht beziffert hier keine Schadensanteile. In einer Studie im Auftrag des UBA schätzen Bütow, Krafft, u. a. (2001) den Schadensanteil der privaten Kanalisation in Deutschland auf 75 %. Krönlein, Horstmeyer, u. a. (2015) ermittelten für Bayern einen

unmittelbar sanierungsbedürftigen Anteil von 25 %, wobei etwa 20 % der Haltungen gesichtet wurden. Für die Modellierungen in AGRUM-DE nehmen wir an, dass die Schadensdichte in der privaten Kanalisation im Mittel 3-mal so hoch ist wie die in öffentlichen Kanalhaltungen (

Tabelle 6).

Neben der Gesamtlänge nach DWA (2016) liegen keine differenzierten Angaben zur räumlichen Verteilung der verbauten privaten Kanalisation vor. Für die Abschätzung der Exfiltrationsverluste wurde daher eine Längenverteilung in Anlehnung an die der öffentlichen Kanalisation abgeleitet. Mit abnehmender Bevölkerungsdichte nimmt allgemein die Bebauungsdichte ab und gleichzeitig die mittlere Länge der Kanalisation von einem Hausanschluss bis zur Kläranlage zu. Dieser Zusammenhang wird durch Daten des FDZ grundsätzlich bestätigt (Abbildung 8). Der gefundene statistische Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und verbauter Kanallänge pro angeschlossenen Einwohner wurde linear erhöht, sodass sie der Gesamtlänge der privaten Kanalisation von  $1100 \cdot 10^3$  km entspricht und kann so über die in Abbildung 8 gezeigte Gleichung auf Gemeindeebene ermittelt werden.

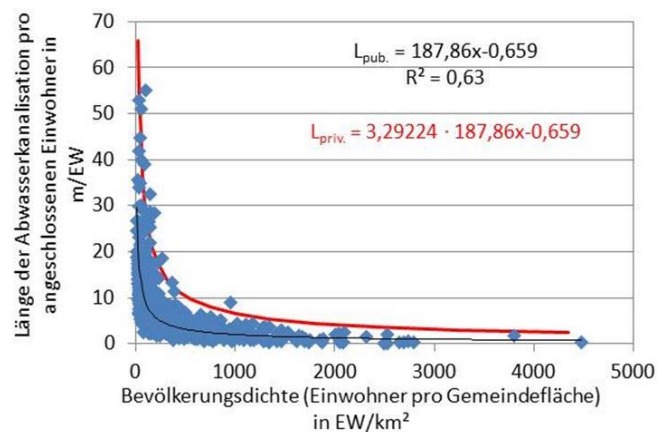


Abbildung 8: Ableitung der Länge der privaten Kanalisation in Abhängigkeit von der Bevölkerungsdichte, basierend auf Daten des FDZ und einer angenommenen Gesamtlänge der privaten Kanalisation von  $1100 \cdot 10^3$  km nach DWA (2016).

#### 4.2.3 Abschätzung der Exfiltration aus Kanalleckagen

Zur Abschätzung der Exfiltration aus geschädigten Kanalhaltungen wurde eine extensive Literaturstudie mit insgesamt 176 internationalen wissenschaftlichen Veröffentlichungen durchgeführt, von denen sich etwa 1/3 auf Studien in Deutschland beziehen. Die meisten beschriebenen Untersuchungen fanden auf Haltungs- und Einzelschadensebene statt. Nur wenige betrachten und quantifizieren die Exfiltration aus Leckagen auf Ebene von Stadtteilen oder größeren Skalen. Nur eine Studie (QQ\_Zitat) modellierte Kanalleckagen auf nationaler Ebene. Diese Studie wurde für die USA unter Berücksichtigung von Grundwasserflurabstandskarten und einem detaillierten digitalen Kanalnetz durchgeführt. Dennoch basiert diese Studie auf kleinräumig erhobenen Daten, die anschließend hoch-skaliert wurden. Somit kann für diese Arbeit, unmittelbar auf keine methodische Grundlage oder Vergleichsstudie zurückgegriffen werden.

Die Exfiltration kann allgemein über Gl. 25 beschrieben werden und ist demnach vor allem vom Wasserstand im Rohr, der Dicke und Durchlässigkeit der Kolmationsschicht und der Größe des Schadens abhängig.

$$Q_{ex} = \Delta H \frac{k_c}{B} \cdot A_{leak} \quad \text{Gl. 25}$$

- $Q_{ex}$  = Exfiltration aus Kanalleckagen in %
- $\Delta H$  = Höhe des Wasserstands im Kanal in m
- $K_c$  = Durchlässigkeit der Kolmationsschicht in m/s
- $B$  = Dicke der Kolmationsschicht in m
- $A_{leak}$  = Schadensgröße in  $m^2$

Mittels der Literaturrecherche wurden die veröffentlichten Wertebereiche für die in Gl. 24 aufgeführten Parameter abgeleitet und in



Tabelle 6 zusammengefasst. Während für die Schadensgröße und Durchlässigkeit der Kolmationsschicht konstante Werte abgeleitet werden konnten, müssen insbesondere für die Dicke der Kolmationsschicht, in Abhängigkeit von Kanaltyp und Wetterbedingungen differenzierte Annahmen getroffen werden. Während in der Schmutzwasserkanalisation von geringen Unterschieden im Wasserstand ausgegangen werden kann, gibt es hier deutliche Unterschiede für die Mischkanalisation. Erhöhte Wasserstände und Durchflussgeschwindigkeiten während Starkniederschlagsereignissen, führen dazu, dass die Kolmationsschicht entfernt werden kann, was in der Regel zu einer geringeren Abdichtung des Schadens und somit zu erhöhten Exfiltrationsraten führt. Erst bei wieder sinkenden Abflüssen im Kanal bildet sich allmählich wieder eine neue Kolmationsschicht aus und Schadensstellen können so fast vollständig abgedichtet werden (Abbildung 9). Dieser Zusammenhang wurde durch (Held, Klinger, u. a., 2007) am Beispiel von Raststatt mit in-situ gemessenen Exfiltrationsraten detailliert untersucht. Auf Basis dieser und anderer Studien (z.B. QQ\_Zitat) wurde ein Zeitverzug zwischen Entfernung und wieder Neuaufbau der Kolmationsschicht, sowie eine mittlere Exfiltrationsrate während dieser Zeit verallgemeinert (

Tabelle 6).

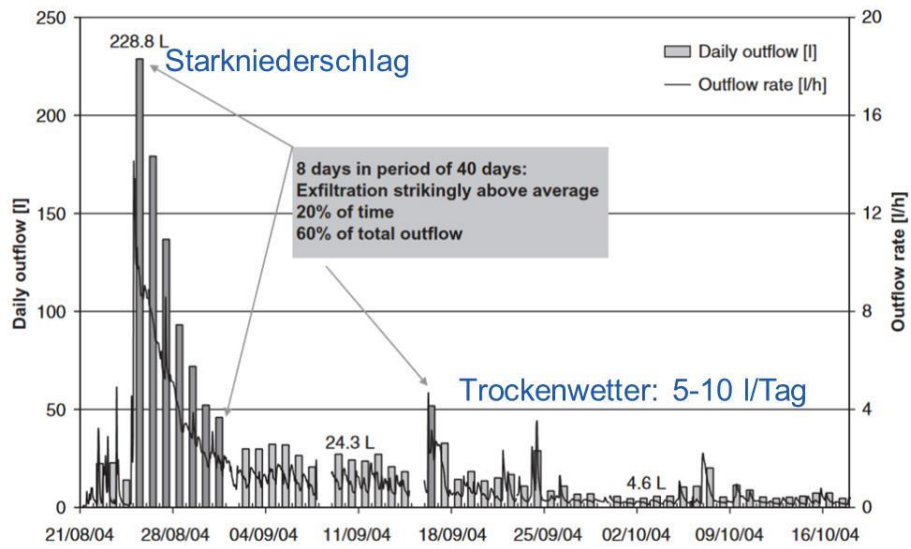


Abbildung 9: Änderung der Exfiltration aus Kanalleckagen während und nach einem Starkniederschlagsereignis in Raststatt nach Held u.a. (2007).

Tabelle 6: Aus der Literaturstudie abgeleitete und für die Modellierung verwendete Größen und Parameter zur Berechnung der Exfiltration aus Kanalleckagen.

Parameter	Einheit	verwendet	Literaturwerte
Private Kanal. Trockenwetter	L/Tag	1	0.6-10.0
Öffentl. Kanal. Trockenwetter		5	
Öffentl. Kanal. Starkniederschlag		120	
- Standard Defektgröße	m <sup>2</sup>	0.002	0.0015-0.018
- Wasserstand in Kanalisation	m	0.01-0.058	0.01-0.6
- Dicke der Kolmationsschicht	m	0.01-0.04	0.01-0.05
- Durchlässigkeit der Kolmationsschicht	m/s	$2.0 \times 10^{-3}$ - $6.0 \times 10^{-5}$	$3.0 \times 10^{-8}$ - $1.0 \times 10^{-4}$
- Durchlässigkeitsfaktor	1/s	0.01	0.001-0.01
<b>Schadenshäufigkeit</b>			
- Private Kanal.	Defekt/km	180	n/a
- Öffentl. Kanal. (vor 1980 gebaut)		90	54-78
- Öffentl. Kanal. (nach 1981 gebaut)		15	
<b>Exfiltrationsrate (priv. &amp; öffentl.)</b>	L/s/km	0.004	< 0.01 – 0.2
- Private Kanalisation	L/s/km	0.002	n/a
- Öffentl. Kanalisation	L/s/km	0.01	0.011 – 2.0

Auf Basis der gefundenen Parameter und Gl. 25 wurden individuelle mittlere Exfiltrationsraten für die öffentliche Schmutzwasserkanalisation, die Mischkanalisation für Trockenwetter und Starkregen sowie die private Kanalisation abgeleitet. Unter Berücksichtigung der ermittelten Schadenshäufigkeit wurden die resultierenden Exfiltrationsraten ermittelt (Gl. 26-Gl. 30).

Für die Berechnung wurde ein zweistufiger Ansatz ausgewählt, der zuerst eine Exfiltration aus der privaten Kanalisation und anschließend eine Exfiltration aus der öffentlichen Kanalisation berechnet (Abbildung 10). Als Berechnungsgrundlage dienten die oben beschriebenen Abwassermengen, effektiven Starkniederschlagstage und Anschlussverhältnisse. Zur Berechnung der Exfiltration von Stickstoff und Phosphor wurden die berechneten Konzentrationen in der Trennkanalisation sowie der Mischkanalisation während Überlaufereignissen verwendet (Gl. 15 und Gl. 18).

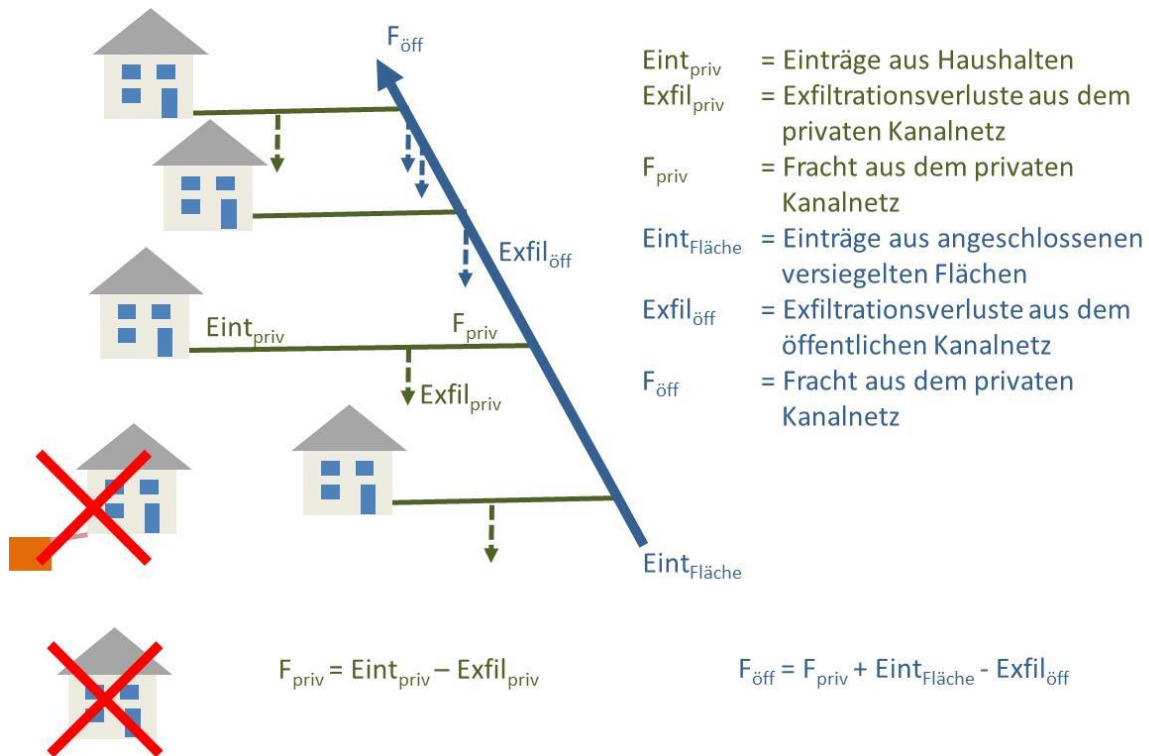


Abbildung 10: konzeptionelle Abbildung des Berechnungsansatzes zur Abschätzung der Exfiltrationsverluste aus Kanalleckagen.

$$Q_{EX,P} = \frac{LK_P \cdot SD_P \cdot EXR_P \cdot 365}{1000} \quad \text{Gl. 26}$$

$$Q_{EX,M} = Q_{EX,M,TR} + Q_{EX,M,SNT} \quad \text{Gl. 27}$$

mit:

$$Q_{EX,M,TR} = \frac{LK_M \cdot SD_{M,A} \cdot EXR_{M,TR} \cdot (365 - SNT_{eff} \cdot AK)}{1000} \quad \text{Gl. 28}$$

$$Q_{EX,M,SNT} = \frac{LK_M \cdot SD_{M,A} \cdot EXR_{M,SNT} \cdot SNT_{eff} \cdot AK}{1000} \quad \text{Gl. 29}$$

$$Q_{EX,S} = \frac{LK_S \cdot SD_{S,A} \cdot EXR_S \cdot 365}{1000} \quad \text{Gl. 30}$$

- $Q_{ex,i}$  = Exfiltrationsverluste in  $m^3/a$
- $LK_i$  = Länge der Kanalisation in km
- $SD_i$  = Schadensdichte in Defekt/ $m^2$
- $EXF_i$  = Exfiltrationsrate in L/Tag
- $SNT_{eff}$  = Anzahl Starkniederschlagstage pro Jahr
- $AK$  = Abklingphase, Aufbau Kolmationsschicht
- $P$  = private Grundstücksentwässerung
- $S$  = Schmutzwasserkanal, öffentlich
- $M$  = Mischkanalisation, öffentlich
- $A$  = altersabhängige Parametrisierung
- $SNT, TR$  = wetterabhängige Parametrisierung (Starkregen, Trockenwetter)

#### 4.2.4 Bewertung der getroffenen Annahmen und mögliche Weiterentwicklungen

Die vorgestellten Berechnungsansätze stellen die erste räumlich differenzierte deutschlandweite Abschätzung der Exfiltrationsverluste aus der Kanalisation dar. Der Versuch die Exfiltrationsraten zur Abschätzung der prozentualen Exfiltrationsverluste heran zu ziehen führte zu Ergebnissen in der Größenordnung der durch das FZJ für NRW und RP festgelegten Werte. Wobei jedoch die RP Werte niedriger und die für NRW höher liegen. Eine Unterschätzung der NRW Werte war zu erwarten, da hier auch andere Quellen berücksichtigt wurden. Bei der Festlegung von Exfiltrationsdauer, Exfiltrationsrate und relevanter Schadenslänge wurden konservative Abschätzungen verwendet, um eine systematische Überschätzung möglichst ausschließen zu können. Durch die Berücksichtigung des Niederschlagswassers ergeben sich zudem regionale Unterschiede – in niederschlagsreichen Regionen ergeben sich bei gleichen Exfiltrationsraten geringere prozentuale Exfiltrationsverluste, als unter gleichen Bedingungen in niederschlagsarmen Regionen.

Für kommende Weiterentwicklungen könnten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Abfrage von regionalisierten Daten zum Sanierungsstand und Schadensbild bei der DWA (In Städten können große Kanalisationen leichter saniert werden, als kleine im ländlichen Raum und Dörfern.)
- Berücksichtigung eines regionalisierten Grundwasserflurabstands um eine Infiltration bzw. das Ausbleiben einer Exfiltration besser abschätzen zu können.
- Zusätzliche Sickerwasserverluste aus dem Regenwasserkanal der Trennkanalisation (wurde aufgrund der zu erwartenden geringen Nährstoffkonzentrationen vernachlässigt).

### 4.3 Gewässerinterne Retention - zu bearbeiten

$$PD_{Lobs} = \frac{Q_d}{Q_{Meas}} \cdot \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i \cdot U_f \right) \quad \text{Gl. 31}$$

mit:	$L_y =$	jährliche Belastung	(t/Jahr)
	$Q_d =$	arithmetische Mittel des täglichen Abflusses	(m <sup>3</sup> /s)
	$Q_{meas} =$	arithmetische Mittel von allen täglichen Abflussdaten mit Konzentrationsmessungen	(m <sup>3</sup> /s)
	$C_i =$	Konzentration	(mg/l)
	$Q_i =$	Messungen des täglichen Abflusses	(m <sup>3</sup> /s)
	$U_f =$	Korrekturfaktor für die unterschiedlichen Standorte der Abfluss- und Gütemessstellen innerhalb desselben Einzugsgebietes	(-)
	$N =$	Anzahl der Daten mit Messungen innerhalb des Untersuchungszeitraumes	(-)

## 5 Ergebnisse

Die dargestellten Eingangsdaten und Einträge basieren auf Neuberechnungen zwischen Juni 2020 und November 2020. Der Frachtvergleich Kapitel 5.5, entspricht noch den am 30.06.2020 vorgestellten Ergebnissen, da eine vollständige Neuberechnung noch nicht durchgeführt werden konnte.

### 5.1 Eingangsdaten

#### 5.1.1 Atmosphärische Deposition

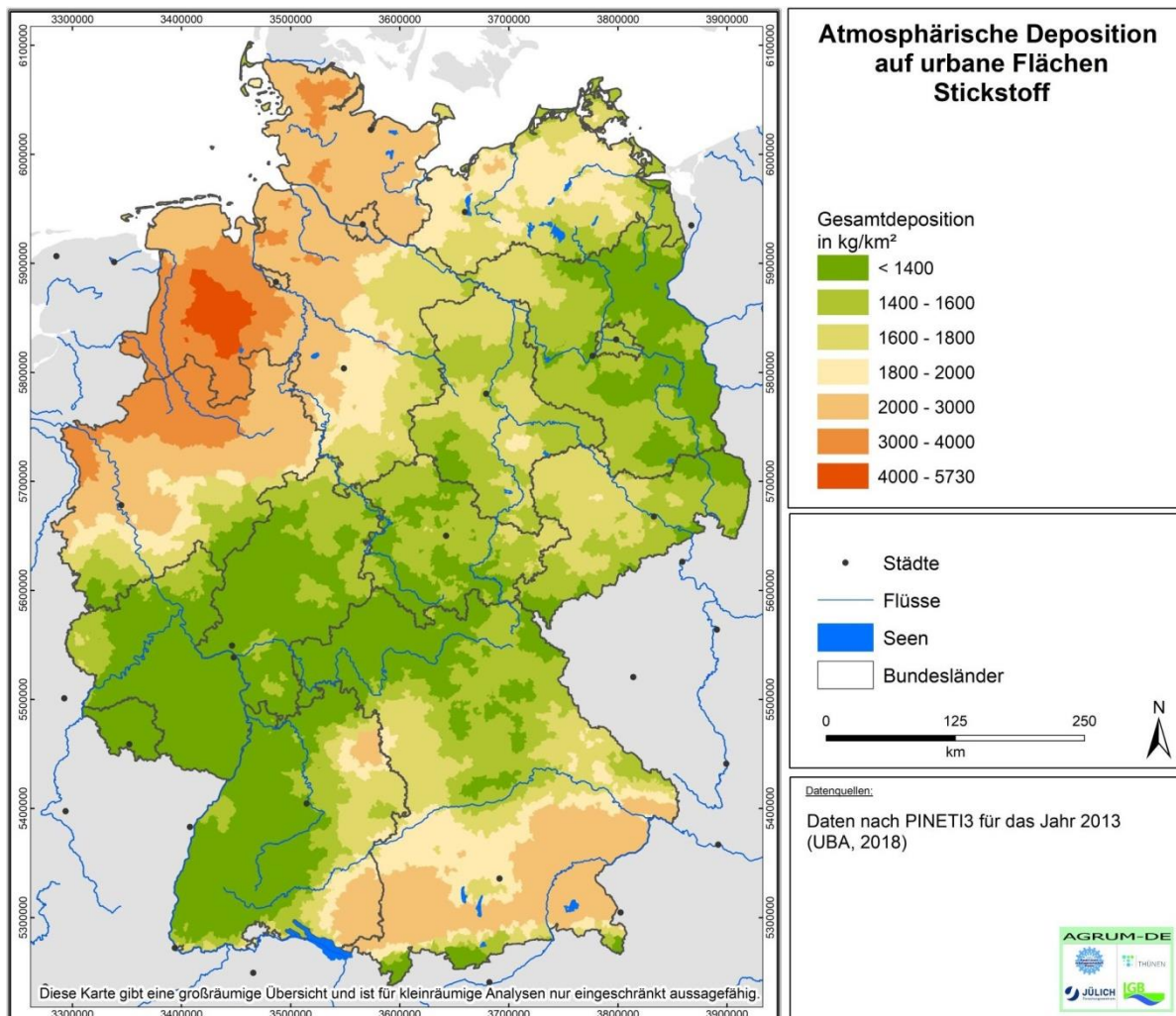


Abbildung 11: Gesamt-Stickstoffdeposition auf urbane Flächen nach Pineti-3 (Schaap, Hendriks, u. a., 2018) für das Jahr 2013

Tabelle 7: Atmosphärische NH<sub>y</sub>- und NO<sub>x</sub>-Deposition auf urbane Flächen nach Pineti-3 (Schaap, Hendriks, u. a., 2018) und LBM 2015 (BKG, 2018).

Bundesland	NH <sub>y</sub> -Deposition		NO <sub>x</sub> -Deposition	
	in kg/km <sup>2</sup>	in t/a	in kg/km <sup>2</sup>	in t/a
SH	1910	1296	564	382
HH	1658	259	629	98
NI	2060	4152	569	1146
HB	2177	197	587	53
NW	1628	5210	681	2181
HE	775	931	569	683
RP	650	554	547	466
BW	941	1964	515	1075
BY	1234	3975	497	1601
SL	636	130	526	107
BE	753	217	652	188
BB	859	906	555	586
MV	1239	663	503	269
SN	1002	1180	551	649
ST	1099	788	491	352
TH	932	578	507	314
DE	1271	22999	561	10152

## 5.1.2 Versiegelte urbane Flächen

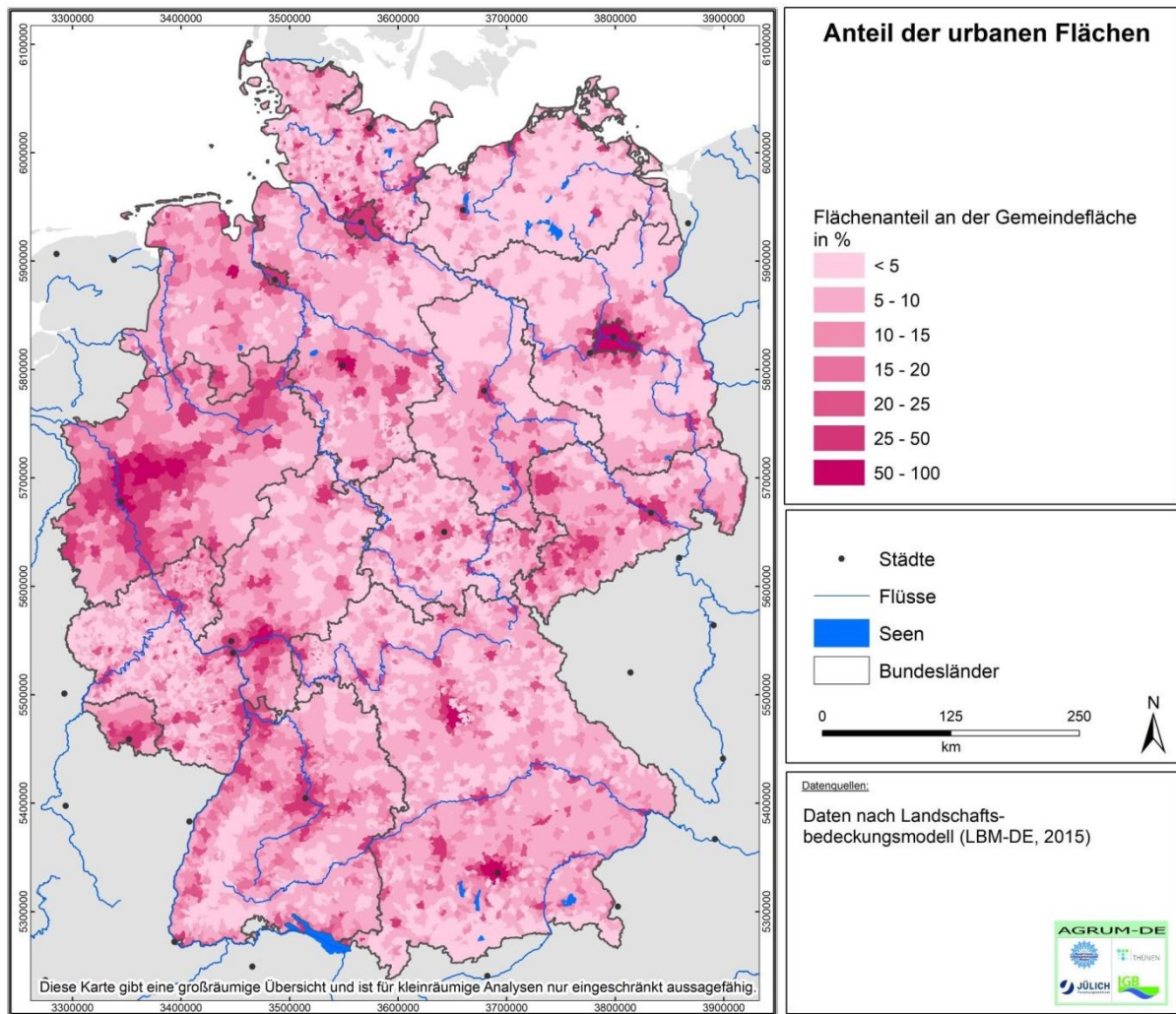


Abbildung 12: Anteil der urbanen Fläche an der Gemeindefläche in % nach LBM 2015 (BKG, 2018).



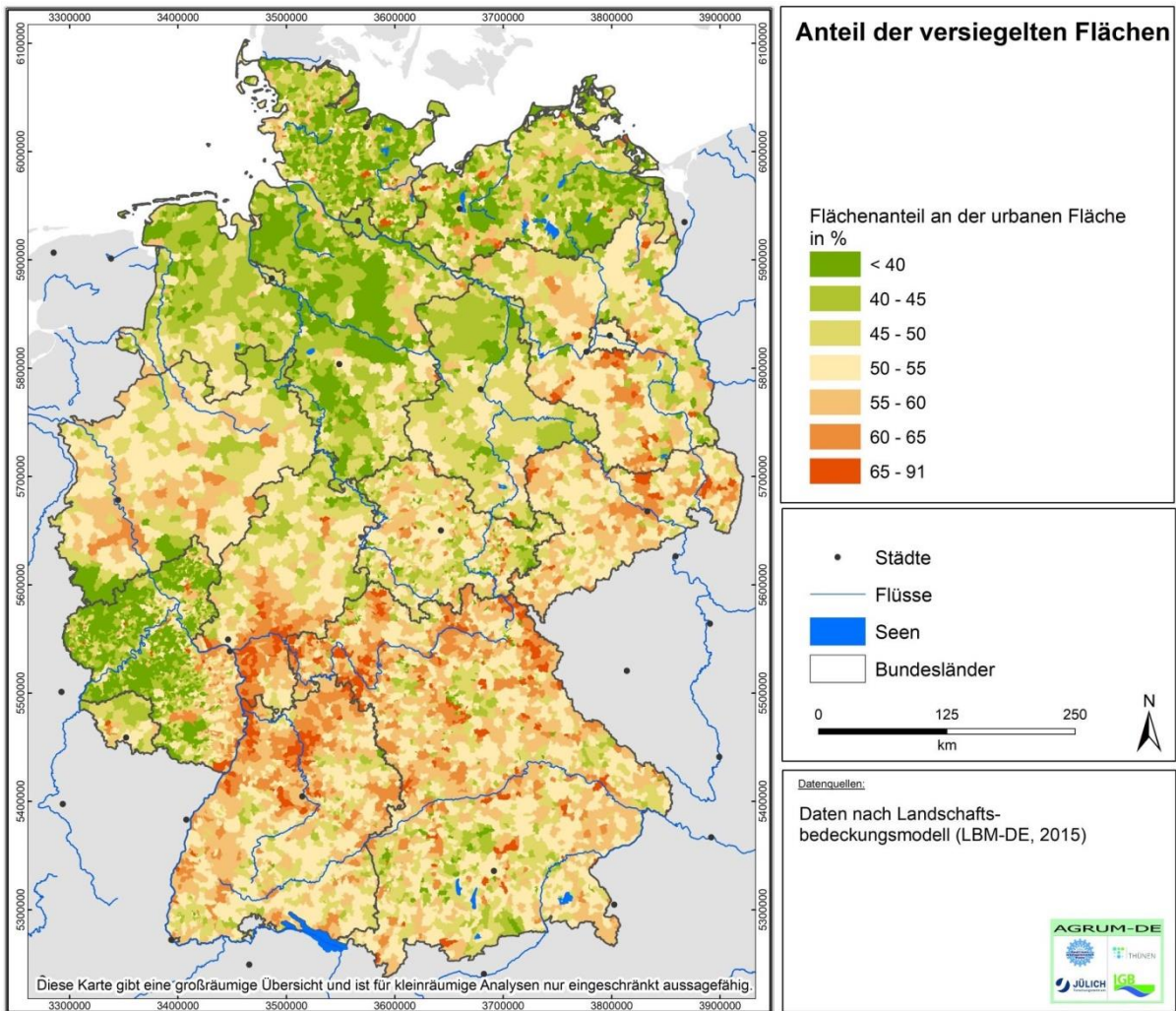


Abbildung 13: Anteil der versiegelten Flächen an der urbanen Fläche in % nach LBM 2015 (BKG, 2018).

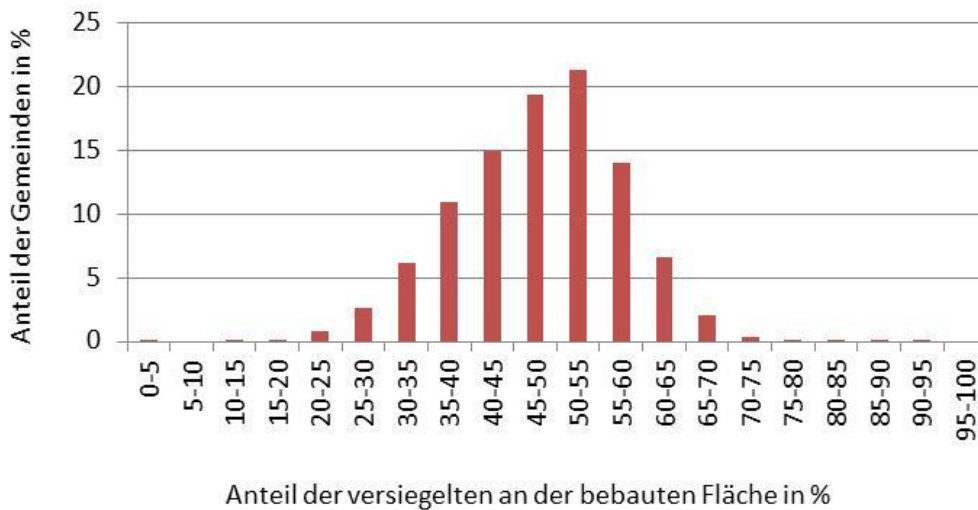


Abbildung 14: Anteil der Gemeinden nach Anteil der versiegelten an den bebauten urbanen Flächen.

**Tabelle 8: Zusammenstellung der nach LBM 2015 ausgewiesenen urbanen Flächen und den davon als versiegelt ausgewiesenen Flächenanteilen.**

Bundesland	Größe in km <sup>2</sup>	Anteil der urbanen Fläche in %	Anteil der versiegelten an der urbanen Fläche in %
SH	15808	9,6	44,6
HH	753	48,7	42,6
NI	47715	9,4	45,0
HB	420	45,4	47,5
NW	34095	17,9	52,5
HE	21099	10,3	55,4
RP	19847	9,0	47,8
BW	35723	10,3	56,8
BY	70553	8,2	55,4
SL	2570	15,9	49,7
BE	893	59,9	53,9
BB	29698	6,8	52,6
MV	23308	5,0	45,6
SN	18477	11,6	55,0
ST	20554	7,3	48,1
TH	16197	7,5	50,8
DE	357709	9,8	51,6

### 5.1.3 Bevölkerung und Anschlussverhältnisse

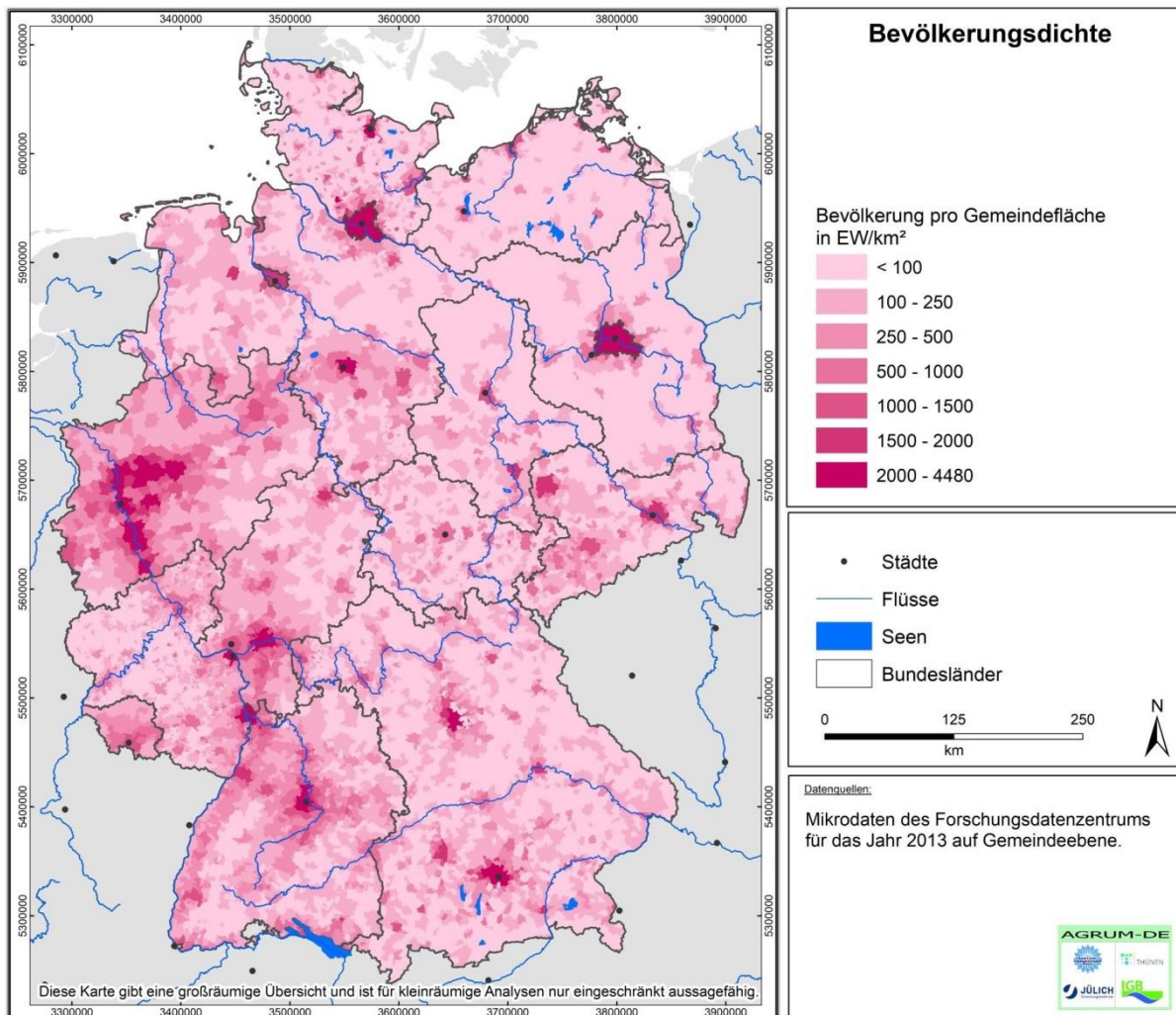


Abbildung 15: Bevölkerungsdichte in Einwohner pro Gemeindefläche für das Jahr 2013.

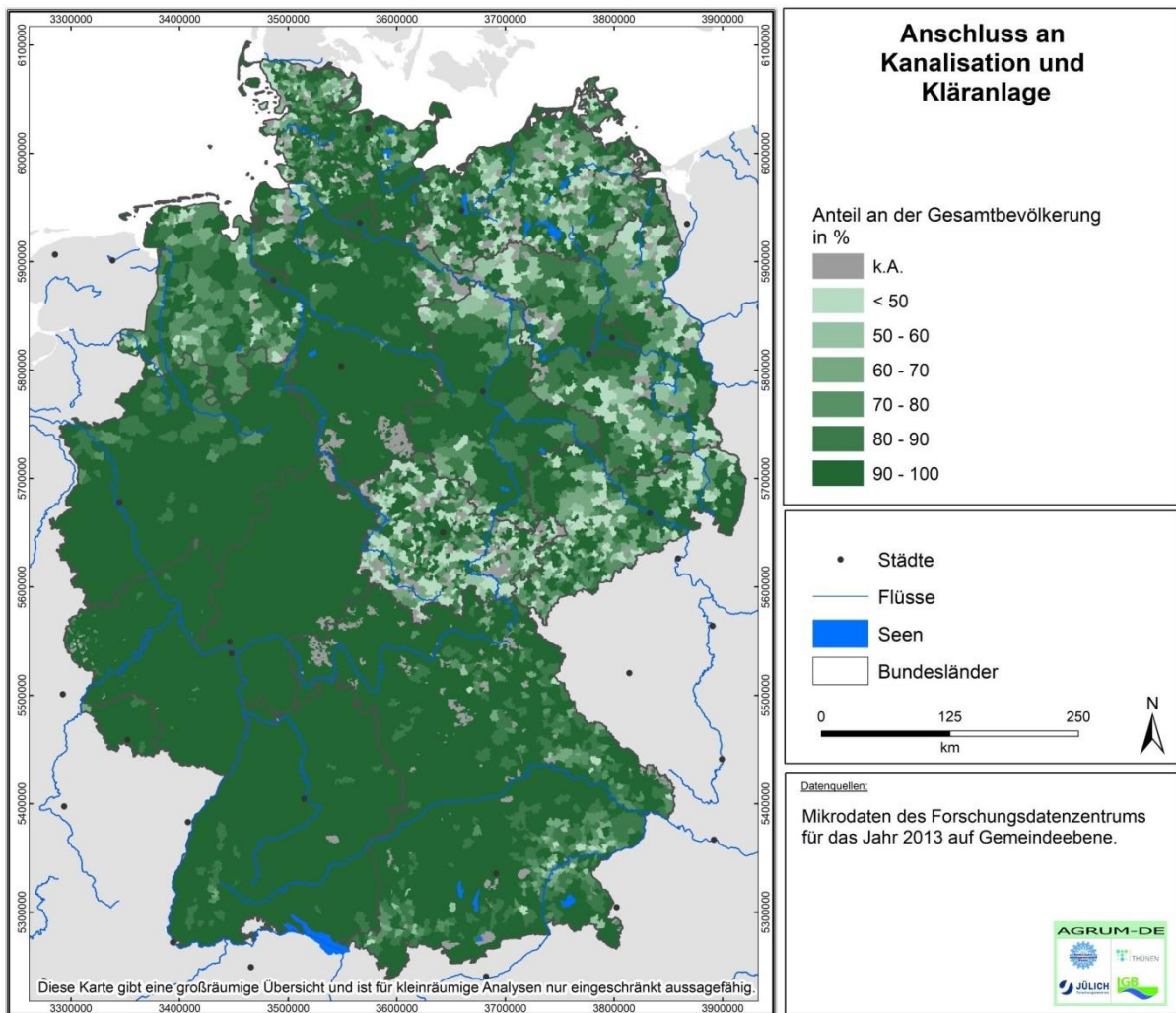


Abbildung 16: Anteil der an die Kanalisation und eine Kläranlage angeschlossenen Bevölkerung auf Gemeindeebene für das Jahr 2013.

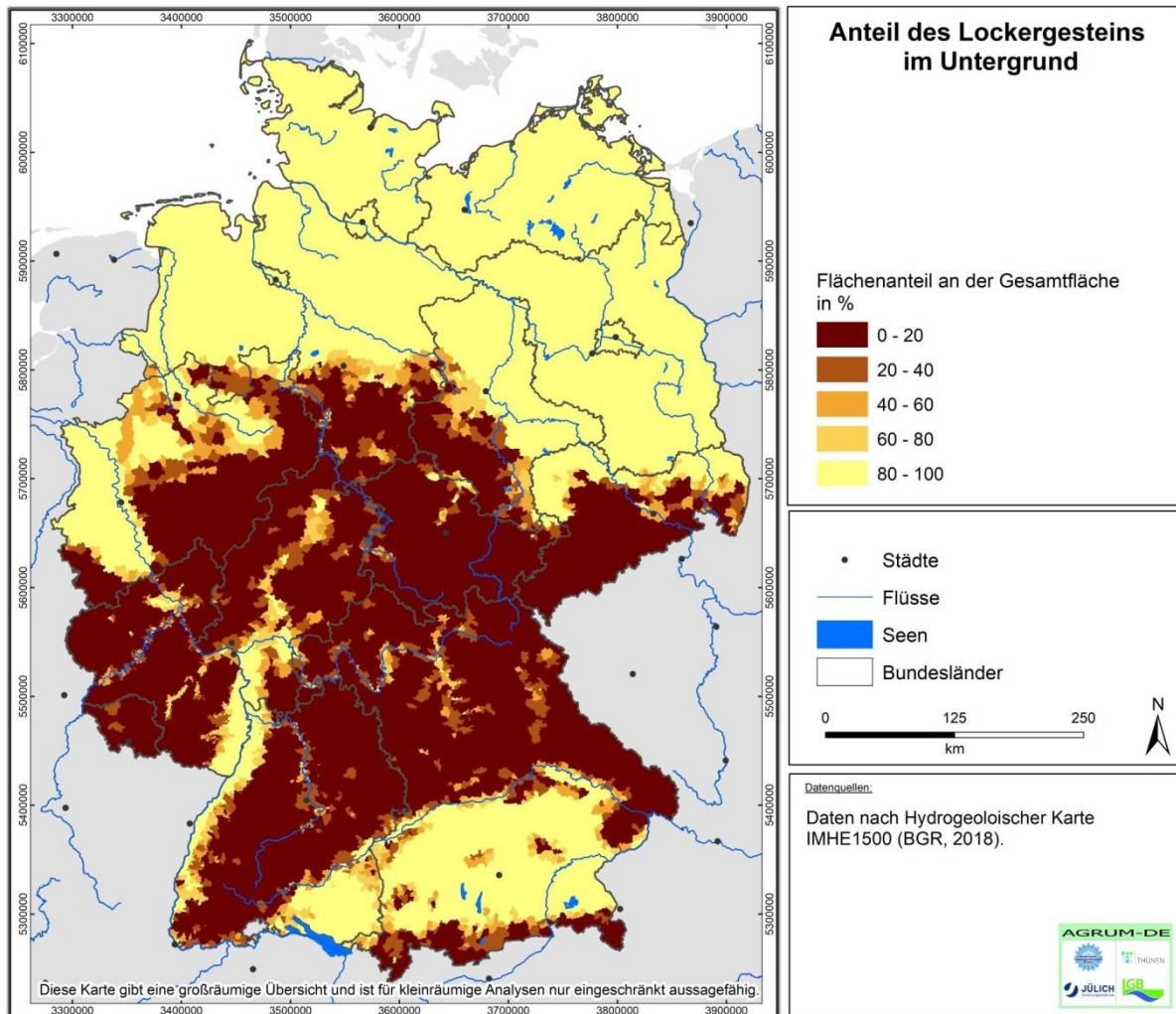


Abbildung 17: Anteil des Lockergesteins nach IMHE1500 (BGR, 2018).

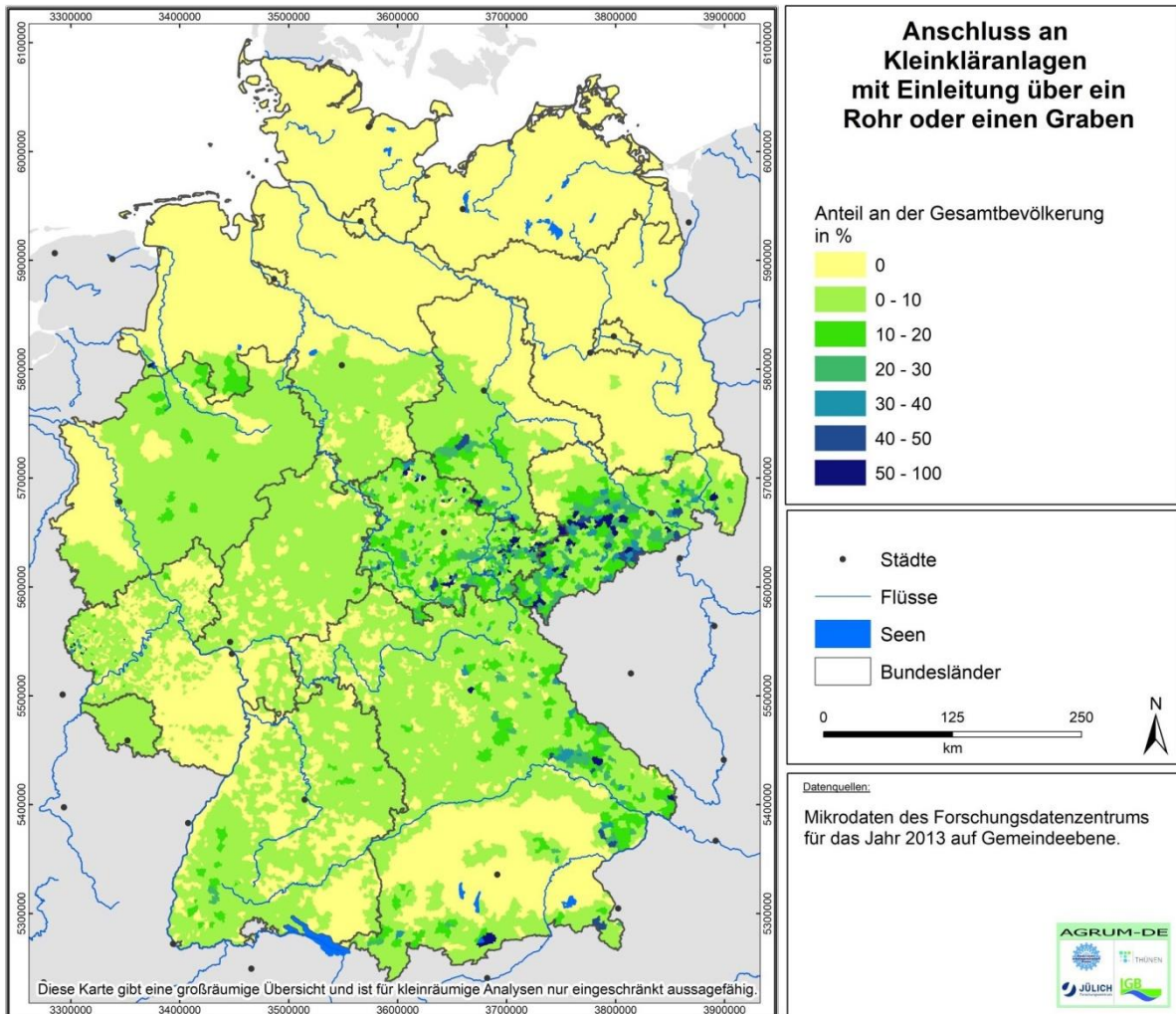


Abbildung 18: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an eine Kleinkläranlage die über direkt über ein Rohr oder einen Graben in die Oberflächengewässer einleiten für das Jahr 2013.

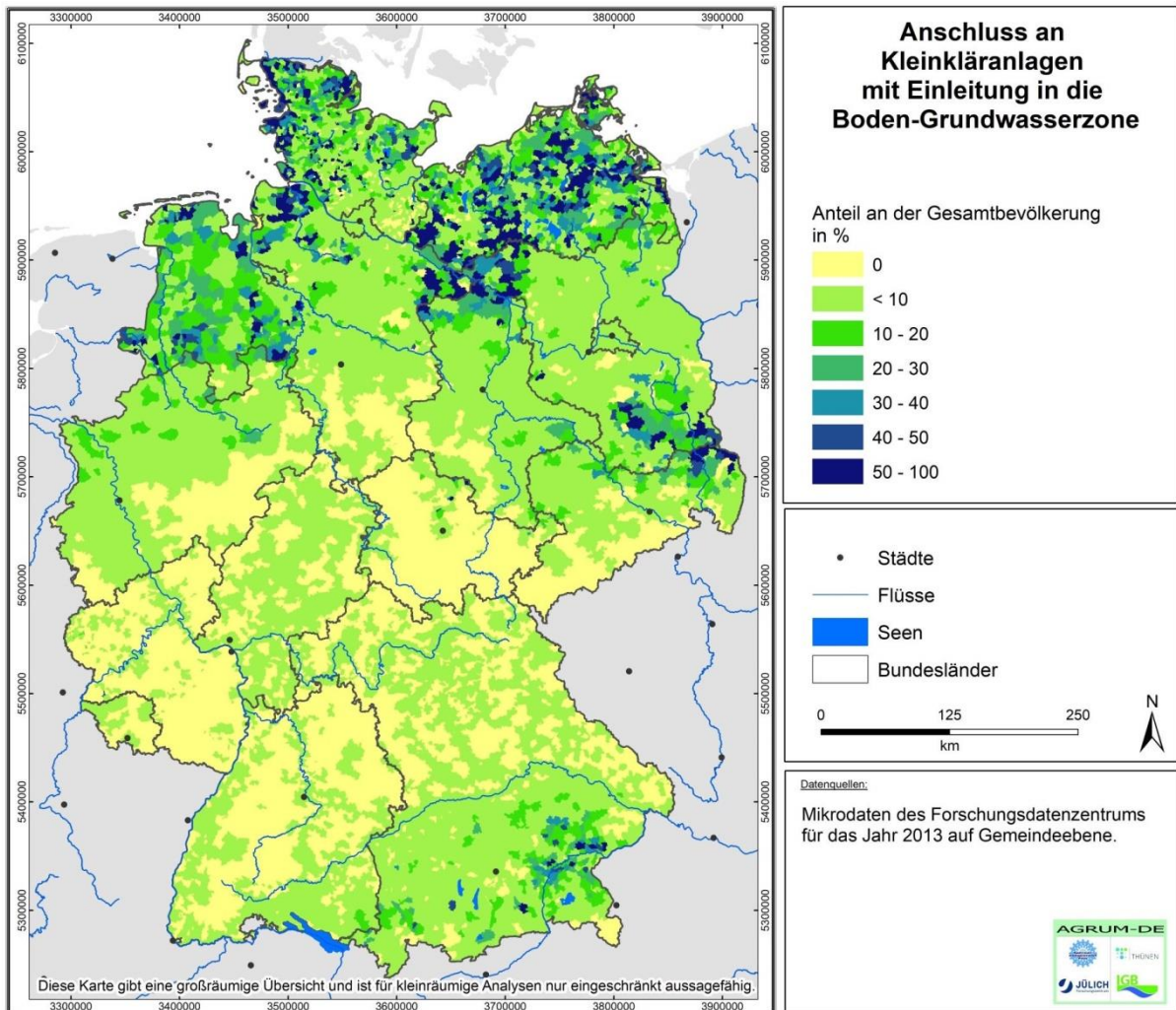


Abbildung 19: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an eine Kleinkläranlage die über ein boden-Grundwasserpassage einleiten für das Jahr 2013.

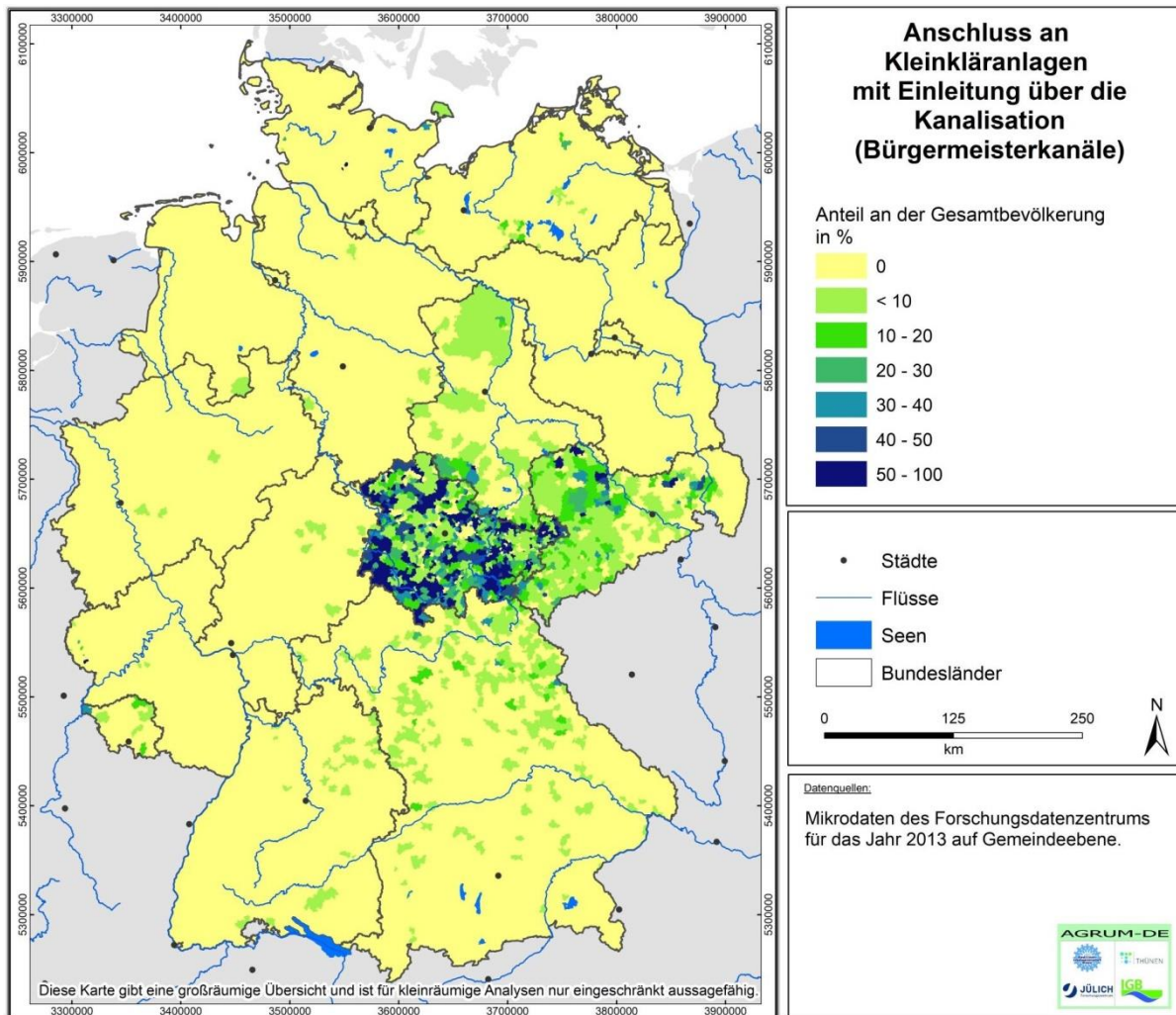


Abbildung 20: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an eine Kleinkläranlage die über eine Kanalisation einleiten für das Jahr 2013



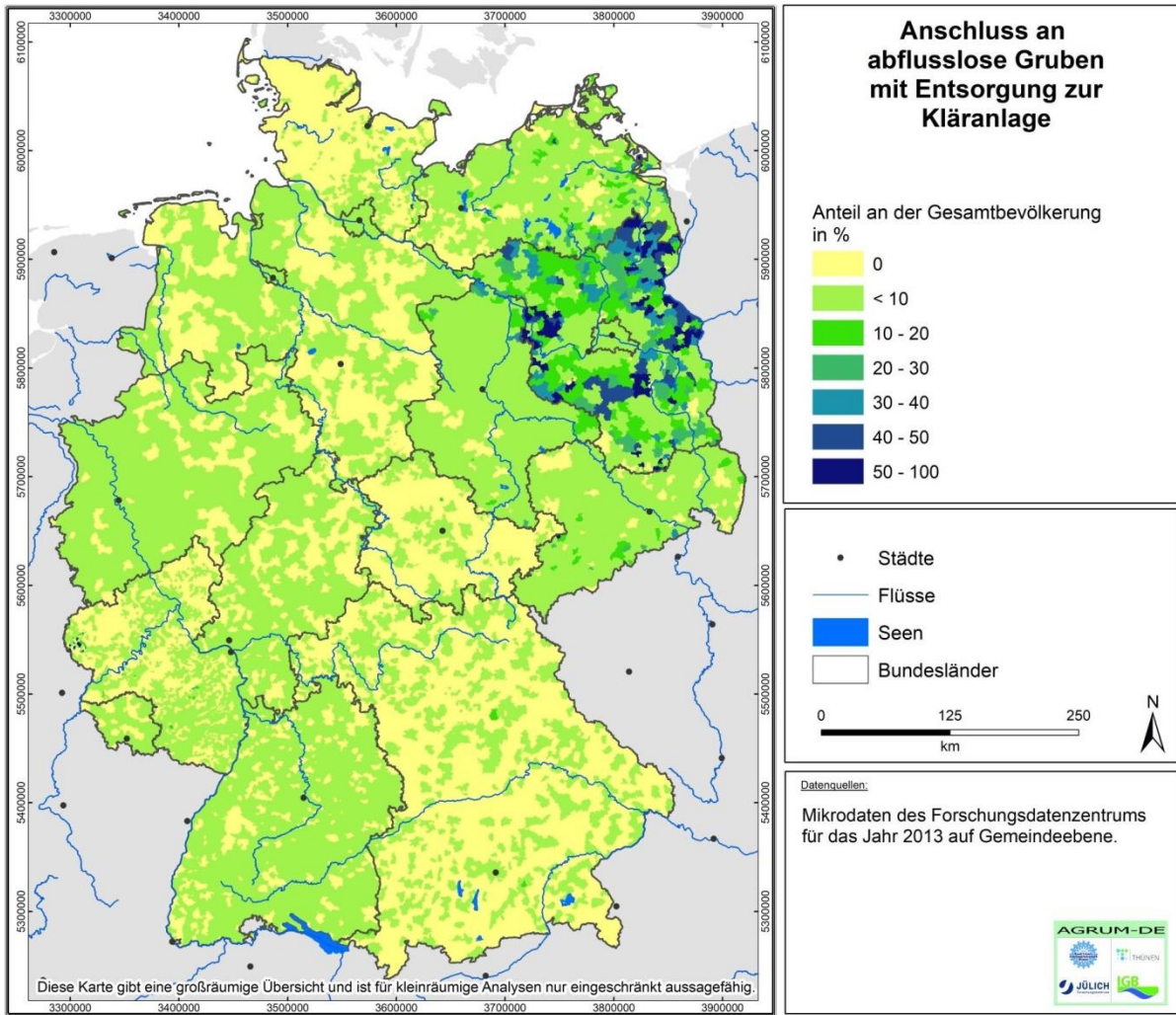


Abbildung 21: Anteil der Bevölkerung mit Anschluss an abflusslose Gruben, der Inhalt an eine Kläranlage abgeführt wird für das Jahr 2013.

Tabelle 9: Bevölkerung und Art des Anschlusses zur Abwasserbehandlung auf Bundeslandebene für das Jahr 2013.

Bundesland	Bevölkerung in EW/1000	Bevölkerung mit Anschluss an (in EW/1000, Anteil in %)				
		Kanalisation und Kläranlage komm./öffnet.	Kleinkläranlage mit Einleitung über Rohr/ Graben	Boden- Grundwasser	Kanalisation	abflusslose Gruben
SH	2808	2661 (94,8)	0 (0,0)	141 (5)	1 (0,05)	5 (0,2)
HH	1743	1728 (99,2)	0 (0,0)	4 (0,2)	0 (0,0)	10 (0,6)
NI	7789	7359 (94,5)	30 (0,4)	394 (5,1)	0 (0,01)	6 (0,1)
HB	655	653 (99,7)	0 (0,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	2 (0,2)
NW	17546	17193 (98)	137 (0,8)	183 (1)	1 (0,0)	32 (0,2)
HE	6025	5996 (99,5)	10 (0,2)	6 (0,1)	1 (0,01)	12 (0,2)
RP	3989	3963 (99,4)	10 (0,3)	2 (0,0)	1 (0,02)	13 (0,3)
BW	10598	10532 (99,4)	32 (0,3)	10 (0,1)	1 (0,01)	23 (0,2)
BY	12549	12162 (96,9)	162 (1,3)	181 (1,4)	25 (0,2)	20 (0,2)
SL	992	980 (98,8)	3 (0,3)	0 (0,0)	7 (0,7)	1 (0,1)
BE	3394	3382 (99,6)	0 (0,0)	3 (0,1)	0 (0,0)	10 (0,3)
BB	2498	2176 (87,1)	0 (0,01)	86 (3,5)	0 (0,0)	235 (9,4)
MV	1597	1415 (88,6)	0 (0,0)	161 (10,1)	1 (0,1)	20 (1,3)
SN	4042	3584 (88,7)	233 (5,8)	59 (1,5)	117 (2,9)	50 (1,2)
ST	2249	2100 (93,4)	44 (2)	50 (2,2)	30 (1,3)	25 (1,1)
TH	2164	1640 (75,8)	128 (5,9)	10 (0,5)	383 (17,7)	2 (0,1)
<b>DE</b>	<b>80636</b>	<b>77523 (96,1)</b>	<b>789 (1,0)</b>	<b>1290 (1,6)</b>	<b>568 (0,7)</b>	<b>465 (0,6)</b>

## 5.1.4 Speichervolumen in der Mischkanalisation

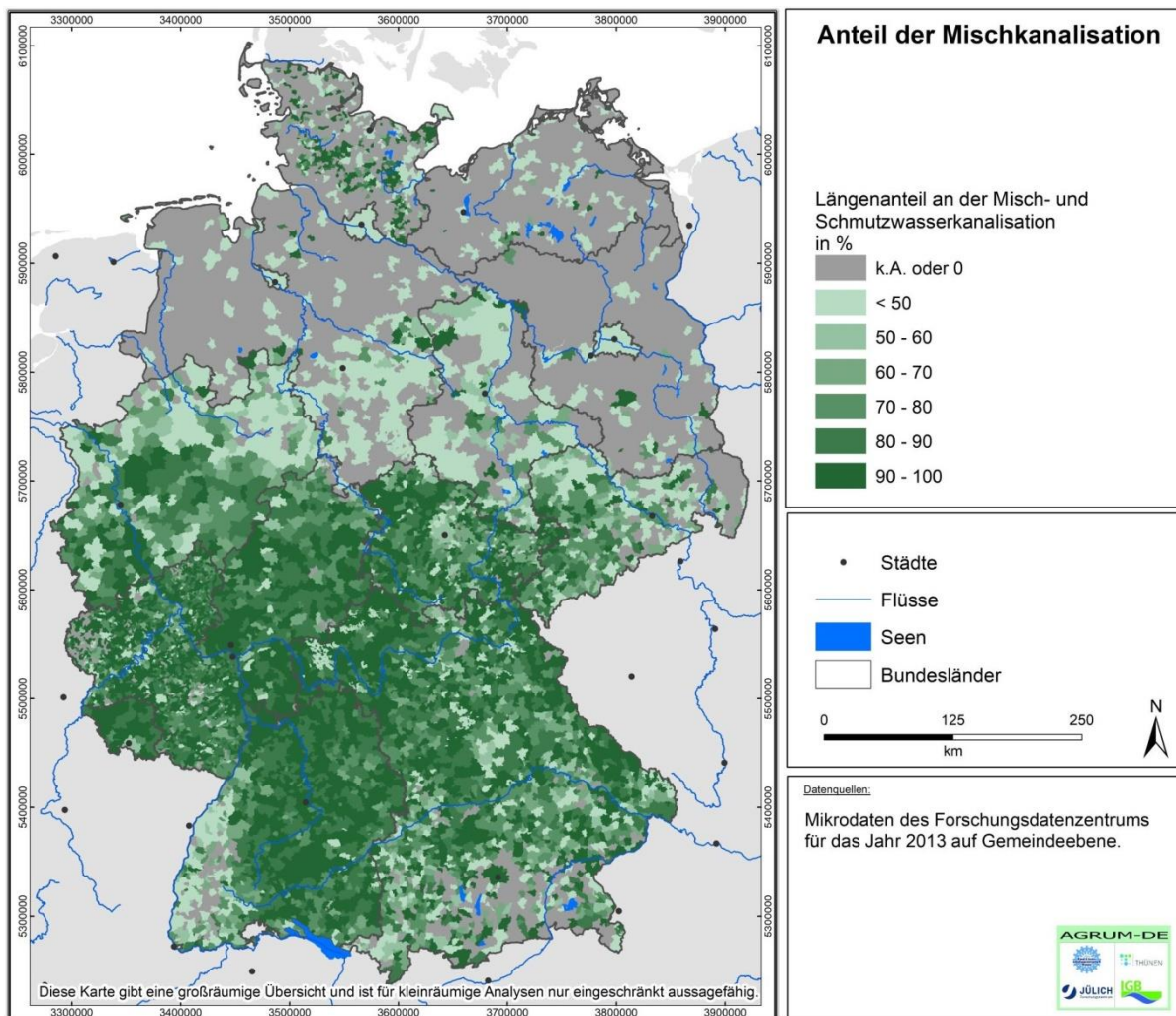


Abbildung 22: Längenanteil der Mischkanalisation an der Summe von Misch- und Schmutzwasserkanalisation für das Jahr 2013.

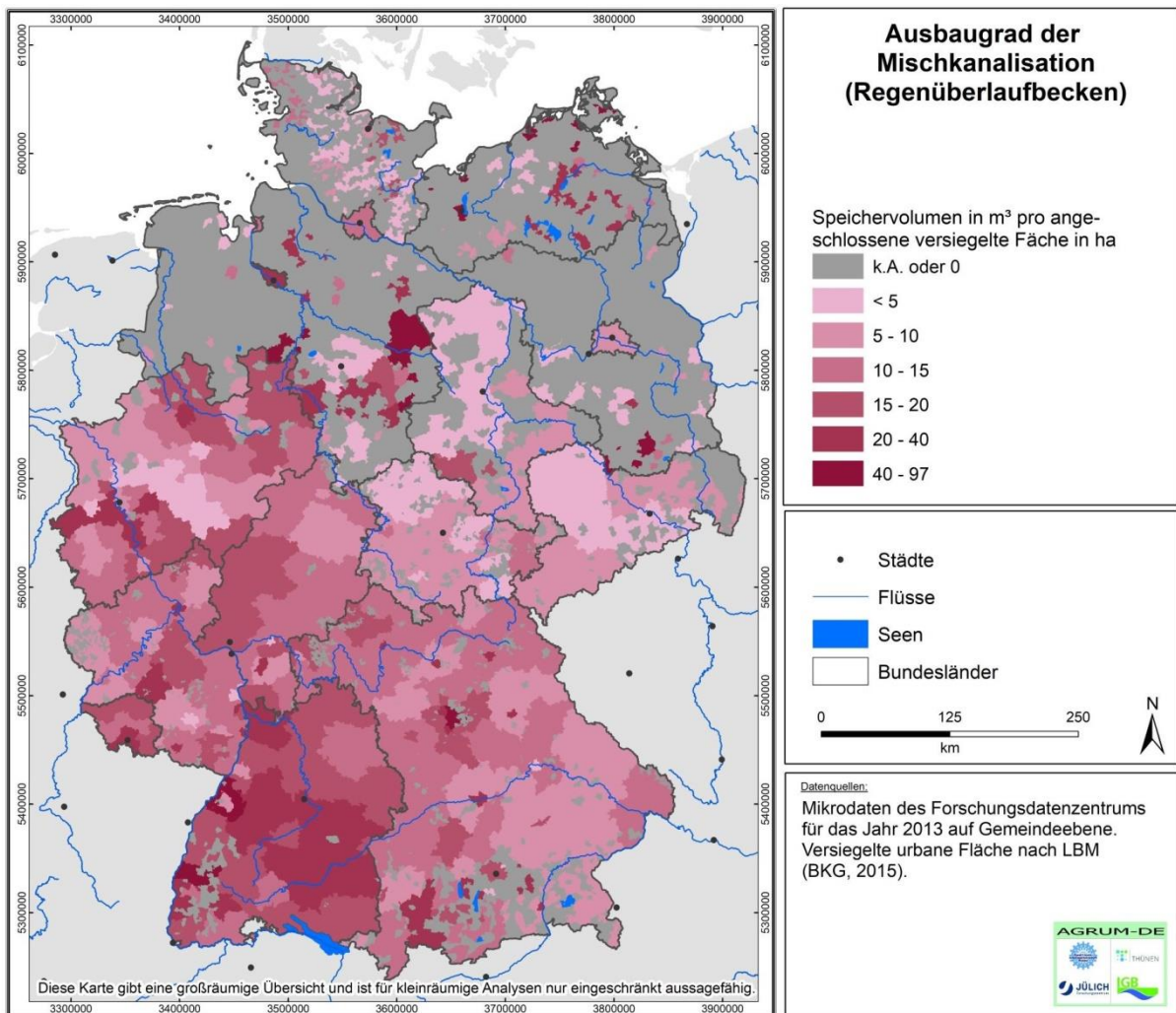


Abbildung 23: Größe des Speichervolumens der Regenüberlaufbecken in der Mischkanalisation auf Gemeindeebene für das Jahr 2013.

**Tabelle 10: Längenanteil der Mischkanalisation und angeschlossene versiegelte Flächen sowie das absolute und spezifische Speichervolumen (Ausbaugrad) der Regenüberlaufbecken.**

Bundes- Land	angeschlossene versiegelte Fläche		Speichervolumen			
	in km <sup>2</sup>	Längenanteil in %	absolut in 1000 m <sup>3</sup>	spezifisch		
				in m <sup>3</sup> /ha	in %	
SH	75	11	34	4,6	27,6	
HH	66	43	99	15,0	67,8	
NI	153	8	296	19,3	84,7	
HB	36	39	80	22,4	96,3	
NW	1982	62	2234	11,3	53,6	
HE	999	83	1387	13,9	63,6	
RP	680	80	852	12,5	58,4	
BW	1651	79	3340	20,2	88,2	
BY	2259	70	2918	12,9	59,9	
SL	174	85	291	16,7	74,6	
BE	107	37	77	7,2	37,7	
BB	56	5	45	8,0	41,1	
MV	36	7	112	31,1	130,3	
SN	556	47	286	5,1	29,9	
ST	237	33	121	5,1	29,8	
TH	316	51	229	7,3	38,0	
DE	9381	52	12401	13,2	61,1	

## 5.2 Einträge aus urbanen Systemen

### 5.2.1 Mischkanalisationsüberläufe

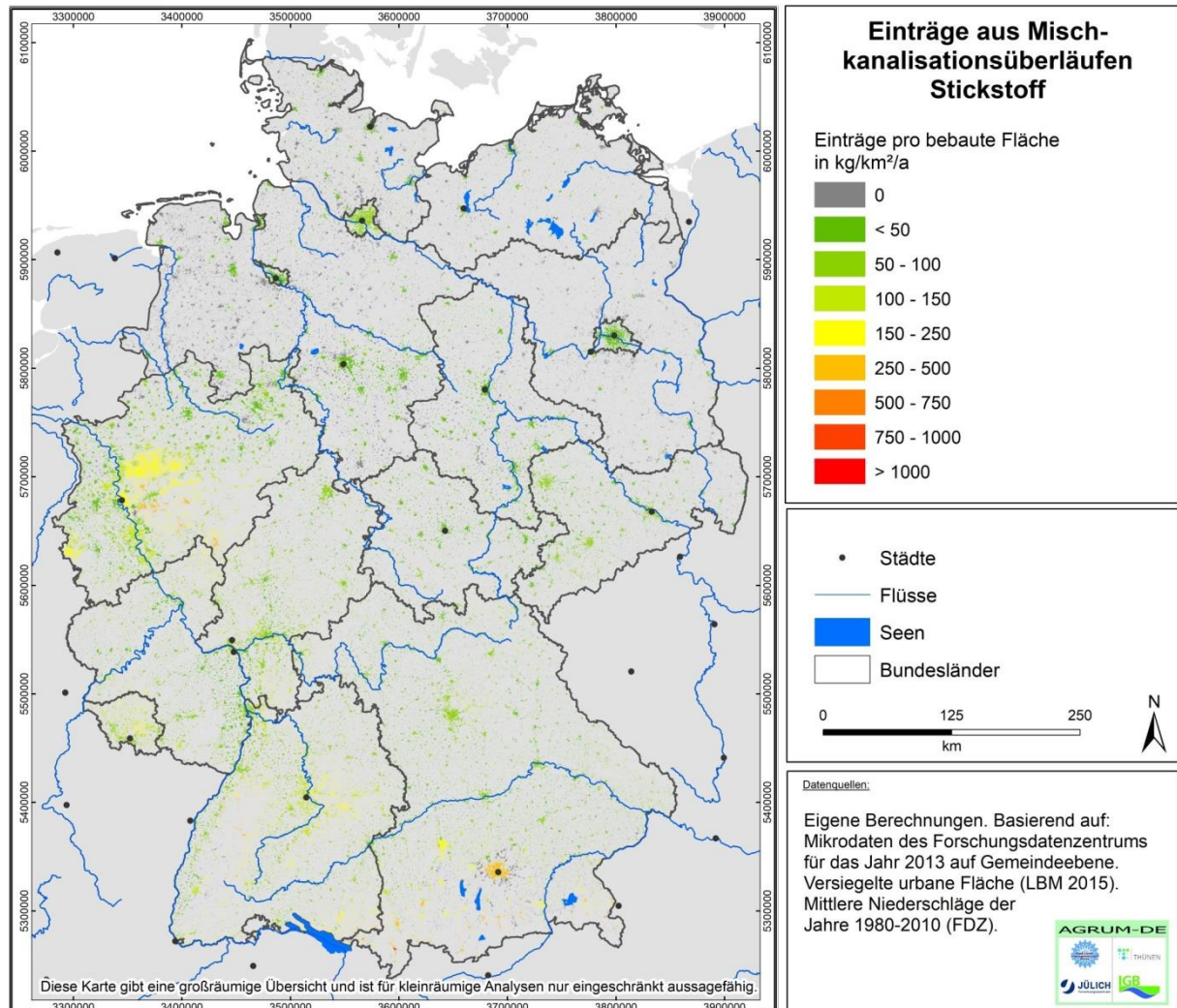


Abbildung 24: Stickstoffeinträge aus Mischkanalisationsüberlaufereignissen auf Gemeindeebene.

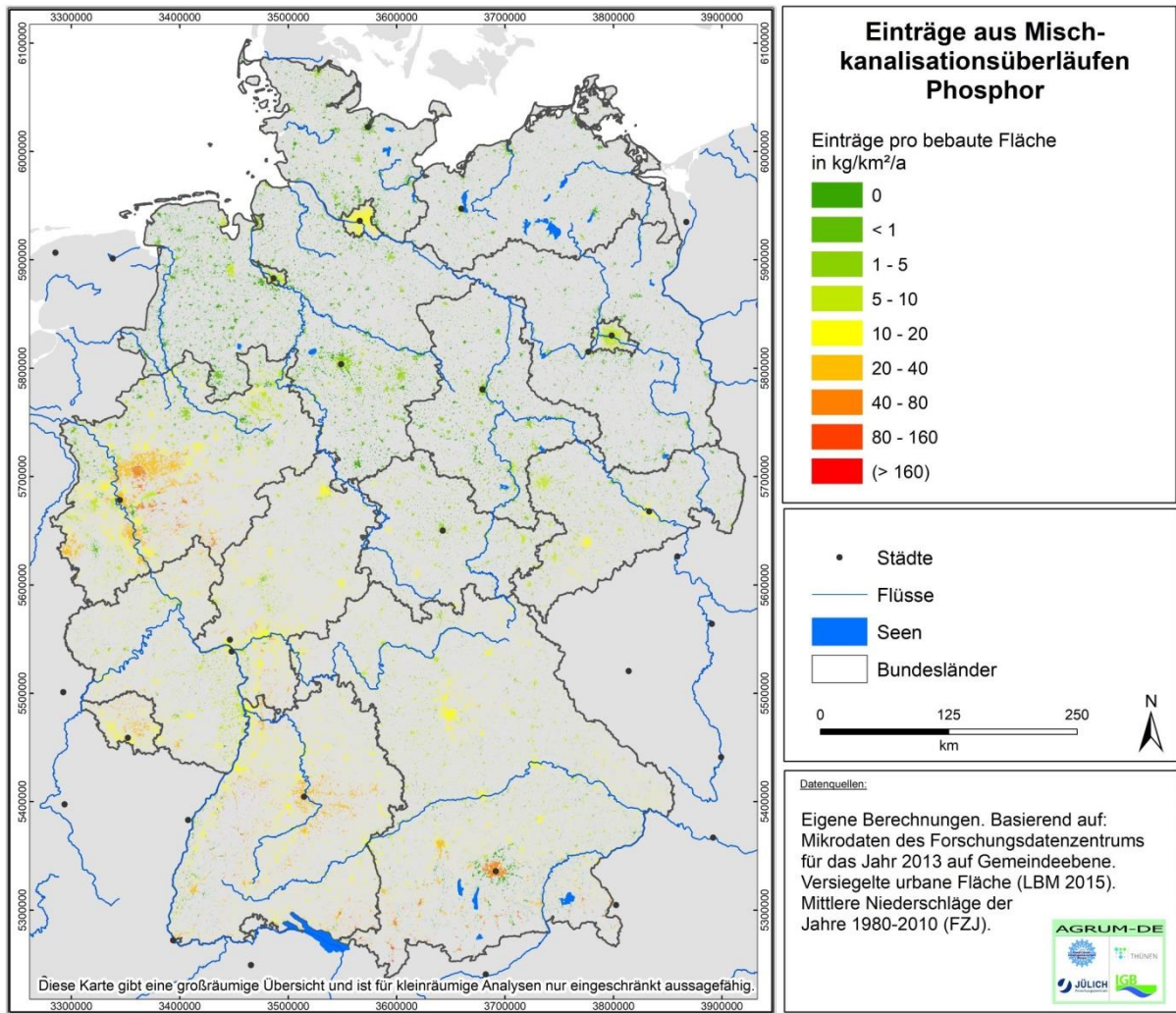


Abbildung 25: Phosphoreinträge aus Mischkanalisationsüberlaufereignissen auf Gemeindeebene.

## 5.2.2 Trennkanalisation

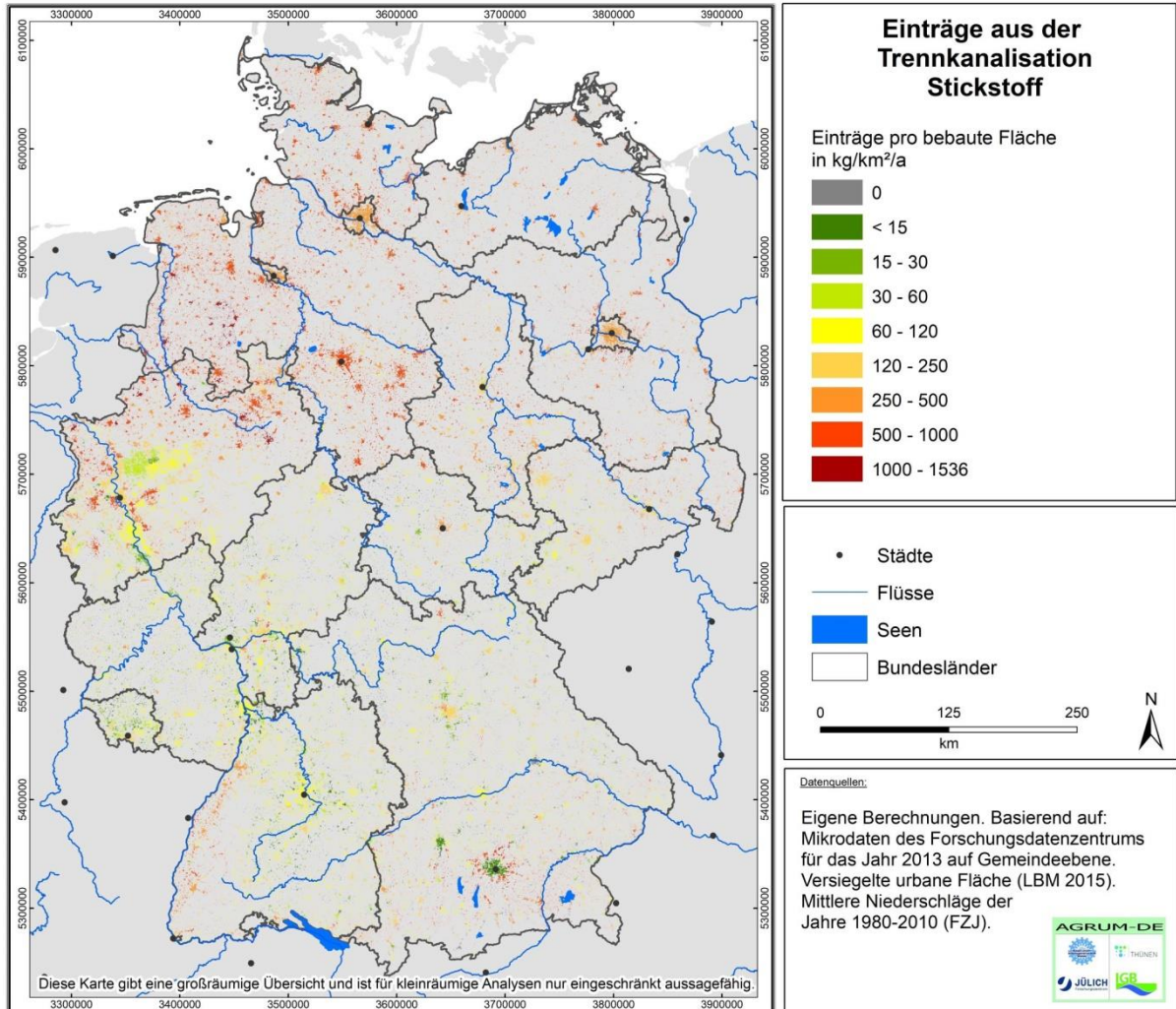


Abbildung 26: Stickstoffeinträge über die Regenkanalisation in Trennsystemen auf Gemeindeebene.



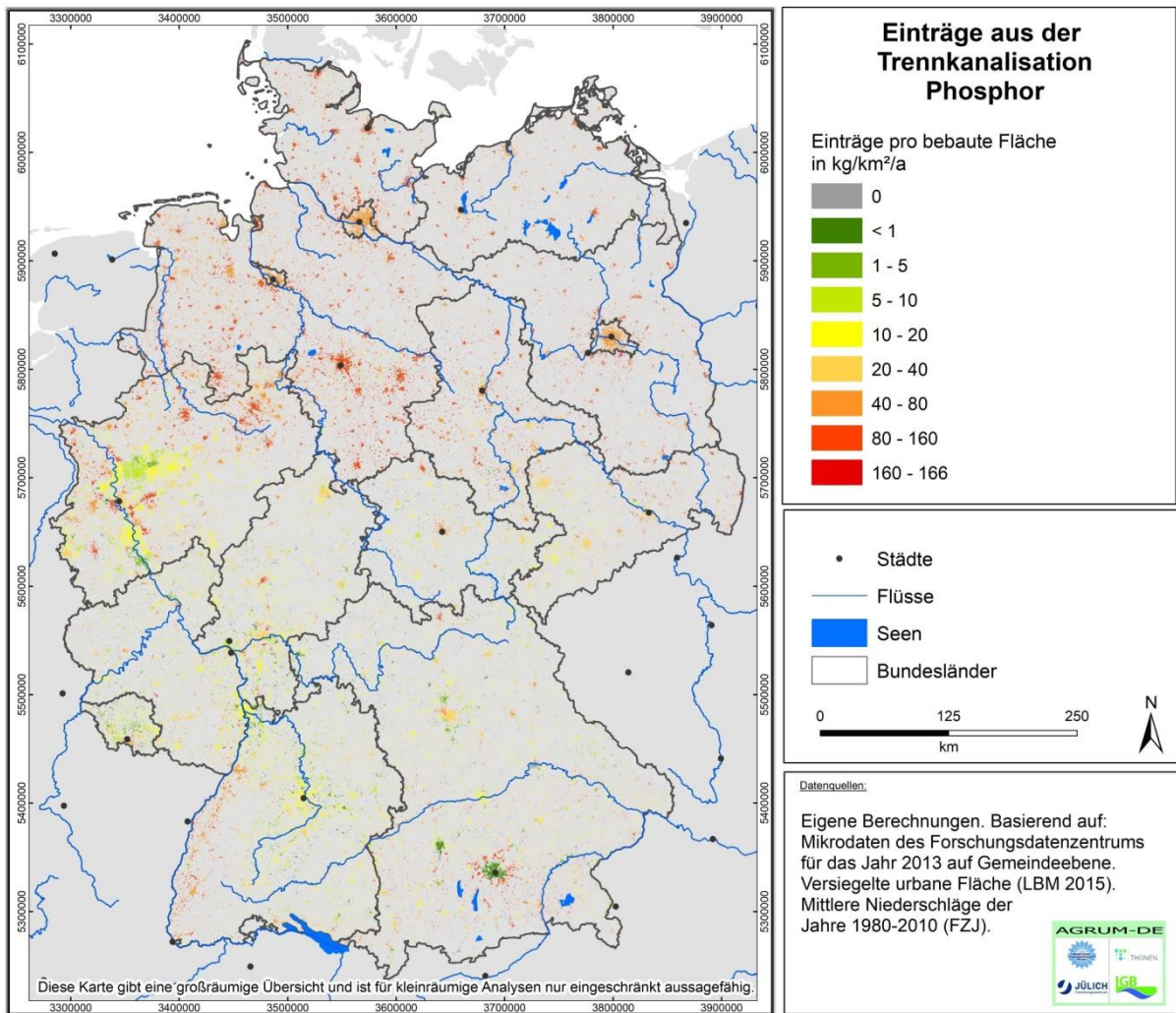


Abbildung 27: Phosphoreinträge über die Regenkanalisation in Trennsystemen auf Gemeindeebene.

## 5.2.3 Kleinkläranlagen

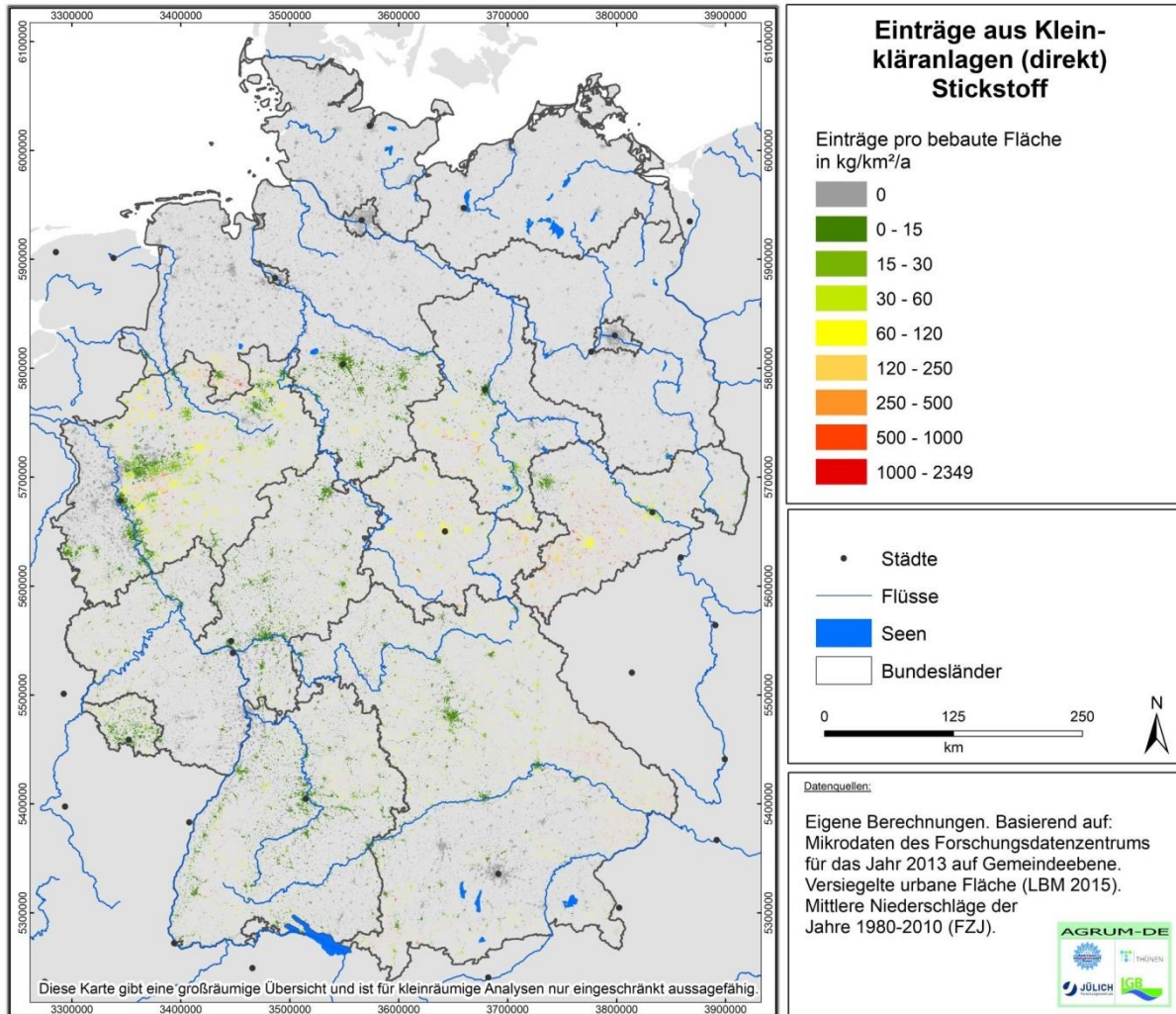


Abbildung 28: Stickstoffeinträge aus Kleinkläranlagen mit Direkteinleitung über ein Rohr oder einen Graben auf Gemeindeebene.

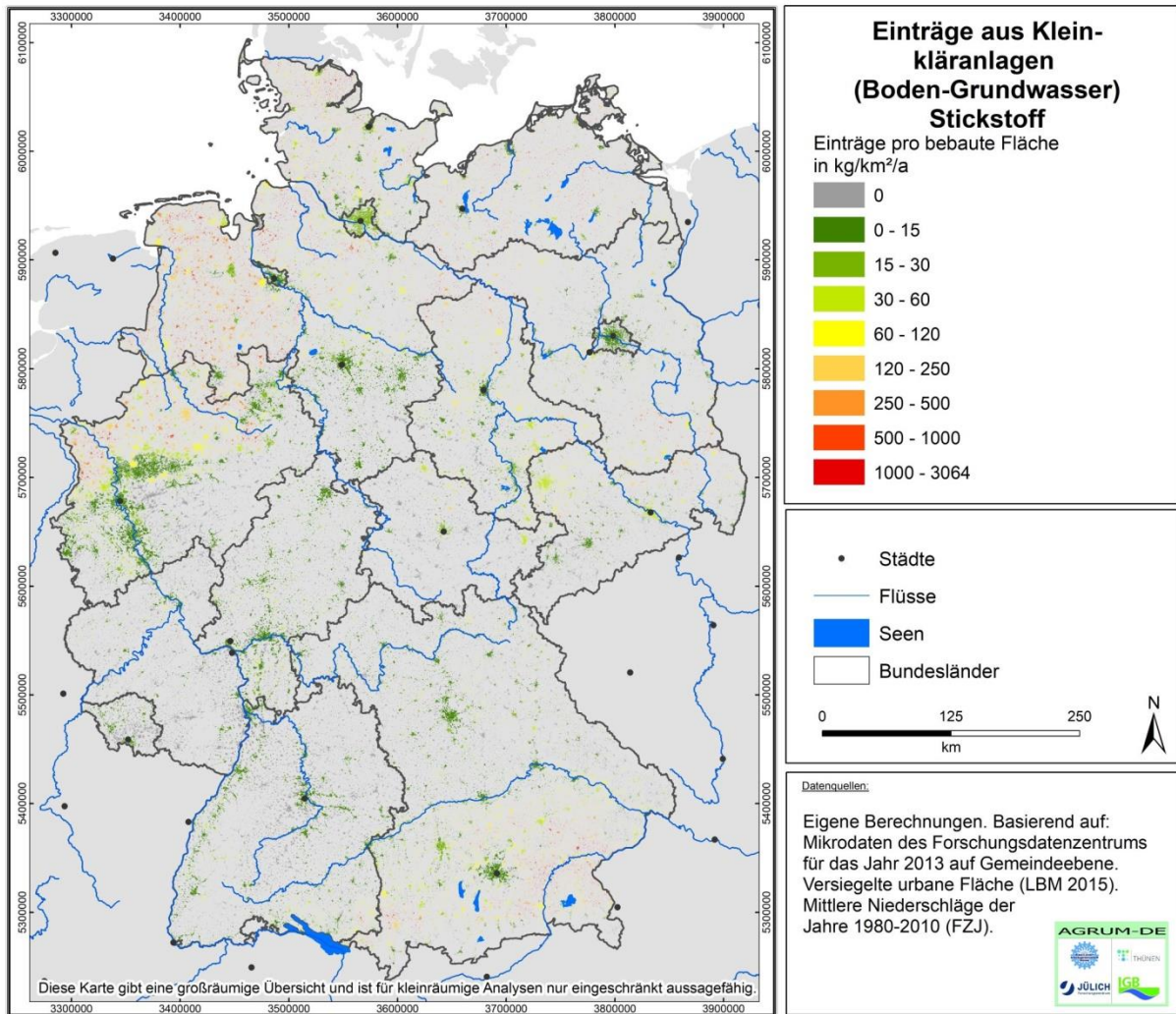


Abbildung 29: Stickstoffeinträge in den Untergrund aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über eine Boden-Grundwasserpassage auf Gemeindeebene.

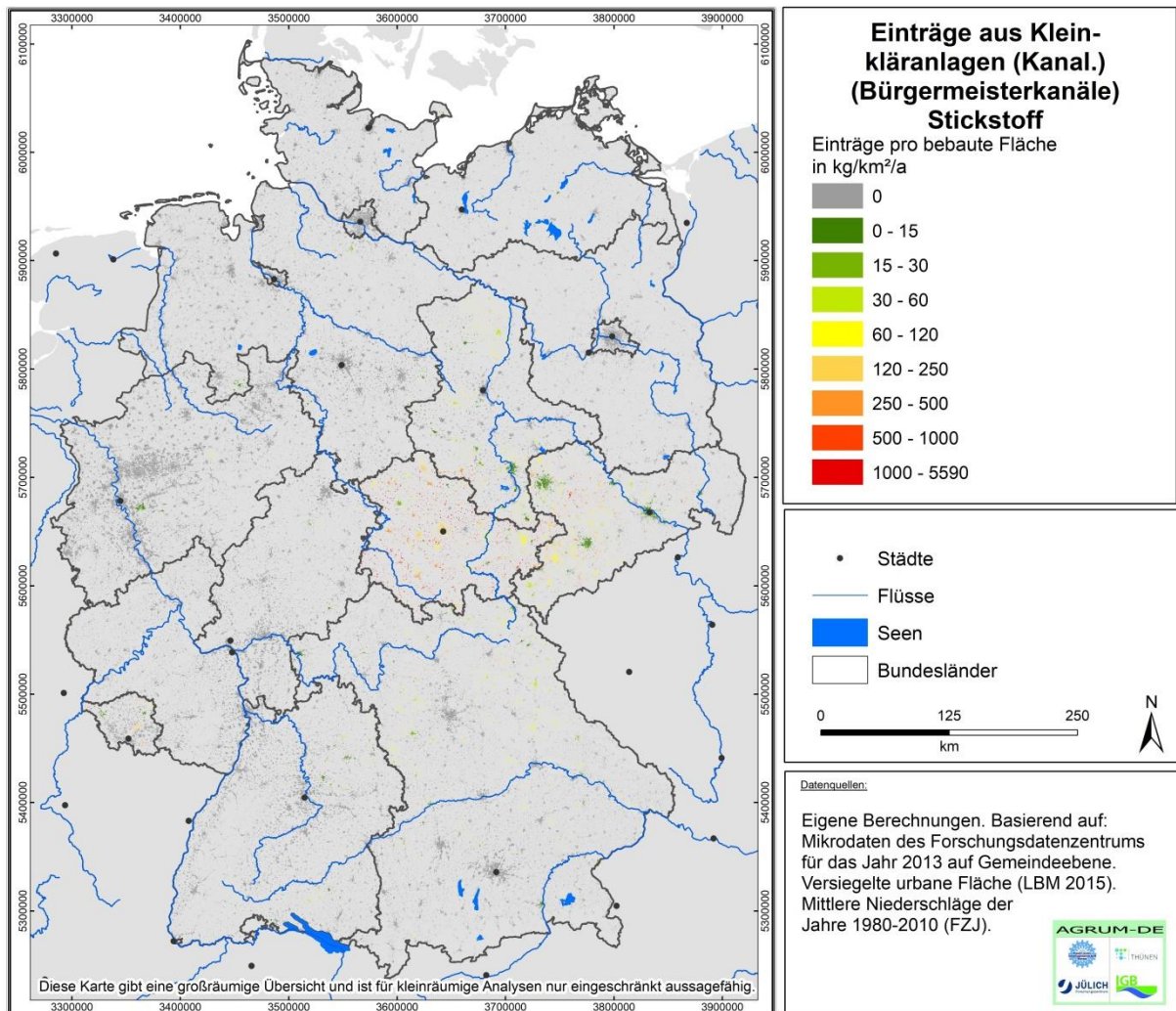


Abbildung 30: Stickstoffeinträge aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über die Kanalisation (Bürgermeisterkanäle) auf Gemeindeebene.

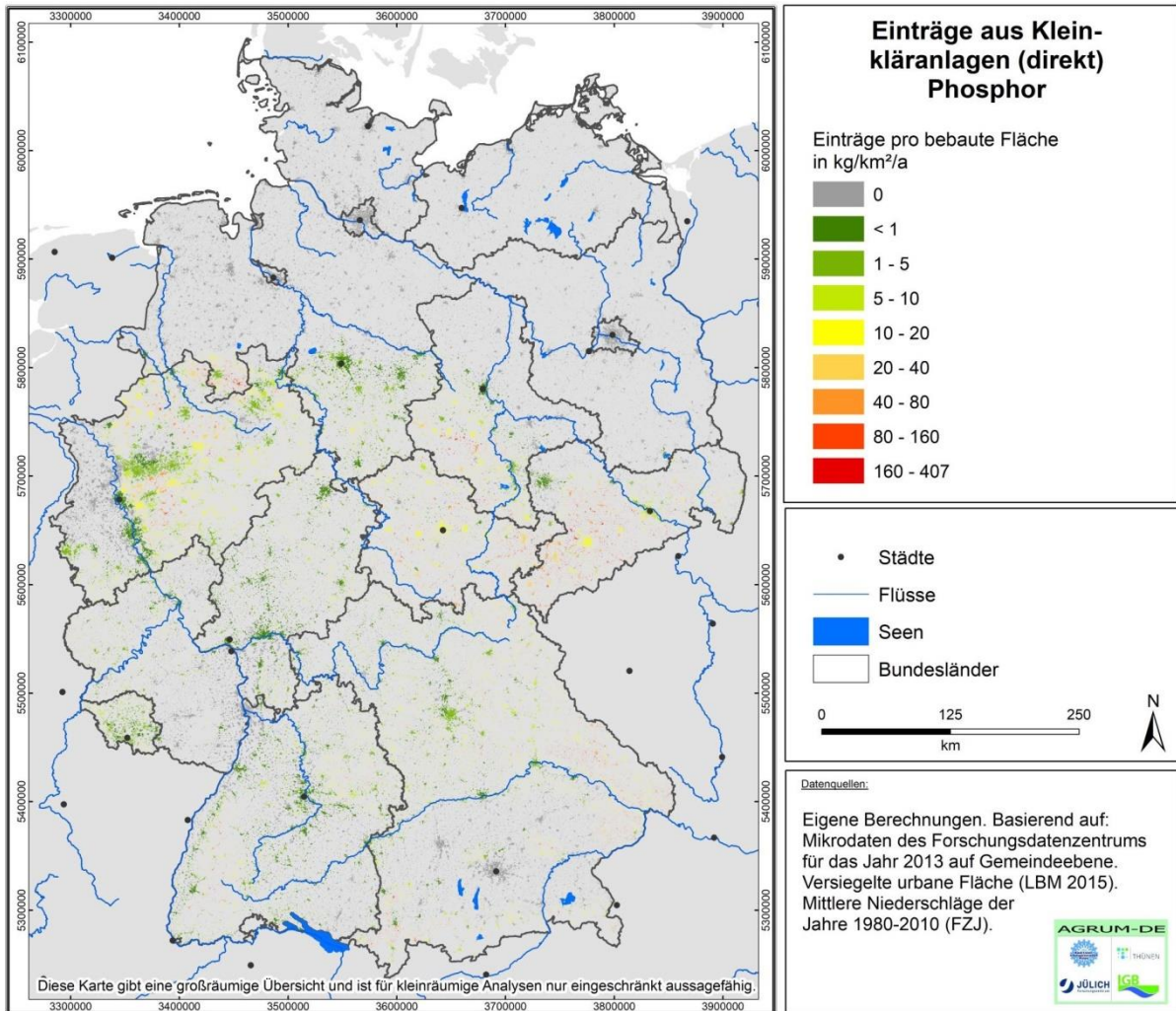


Abbildung 31: Phosphoreinträge über Kleinkläranlagen mit Direkteinleitung über ein Rohr oder einen Graben auf Gemeindeebene.

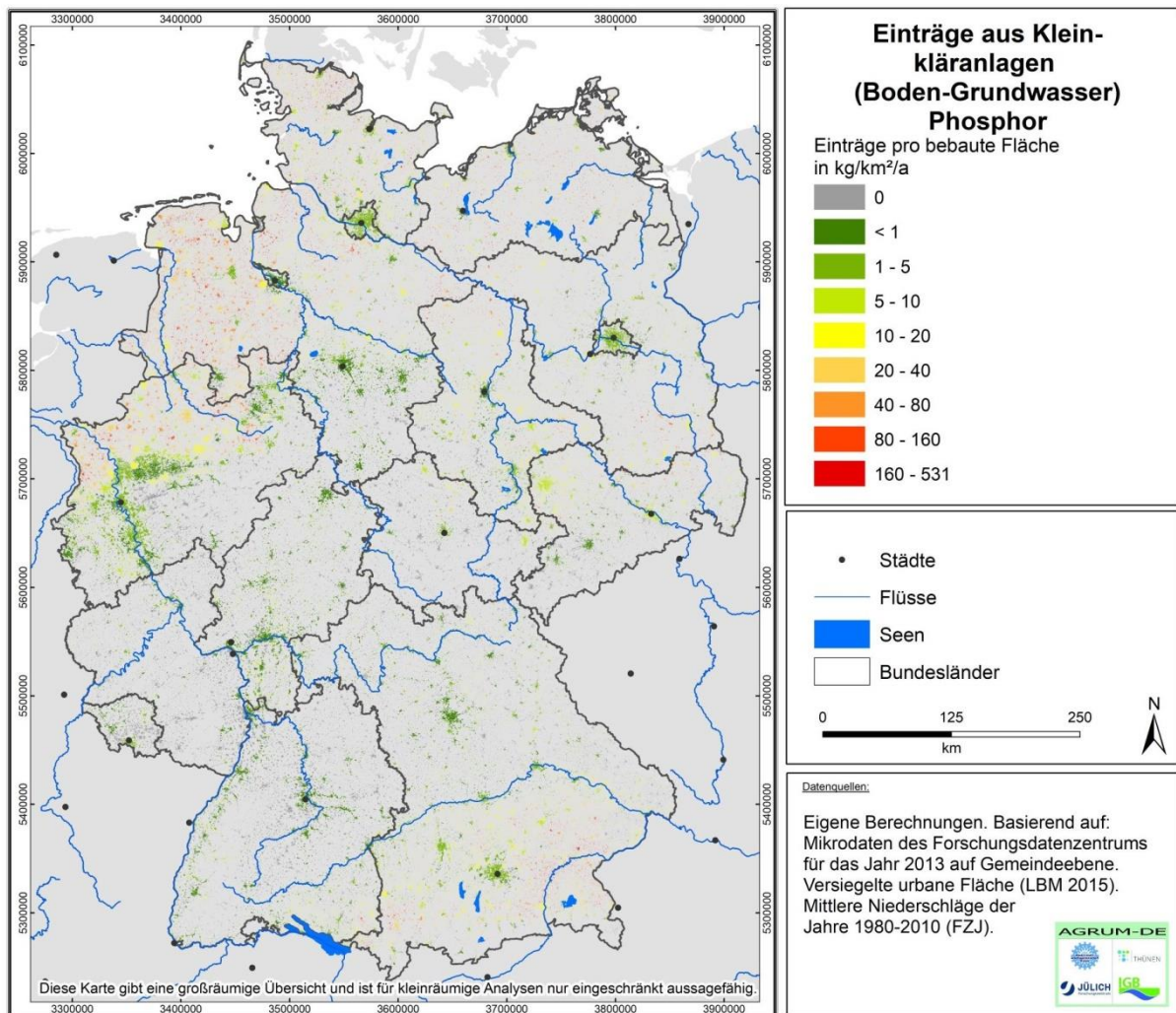


Abbildung 32: Phosphoreinträge in den Untergrund aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über eine Boden-Grundwasserpassage auf Gemeindeebene.

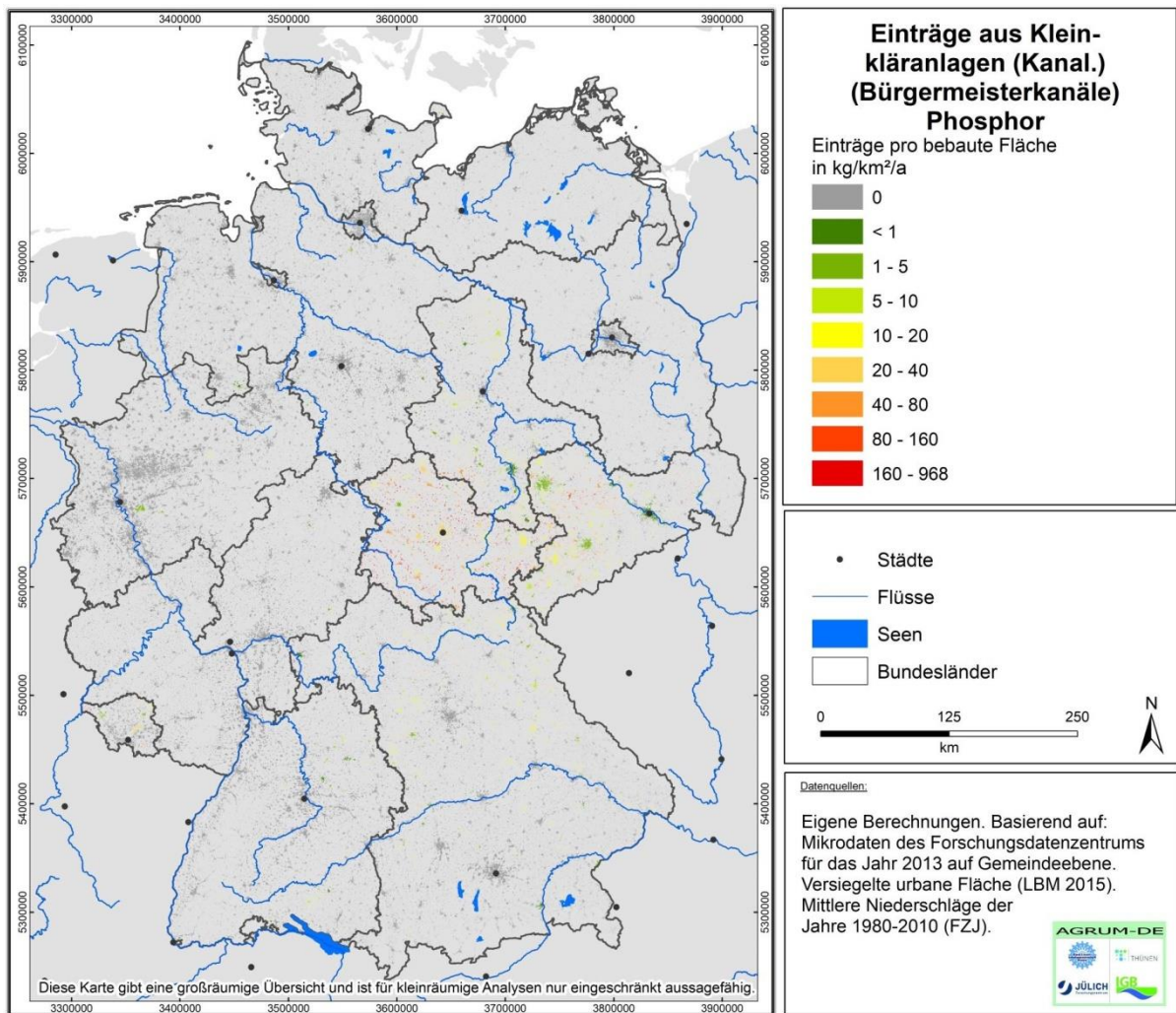


Abbildung 33: Phosphoreinträge aus Kleinkläranlagen mit Einleitung über die Kanalisation (Bürgermeisterkanäle) auf Gemeindeebene.

## 5.2.4 Exfiltration aus Kanalisationsleckagen

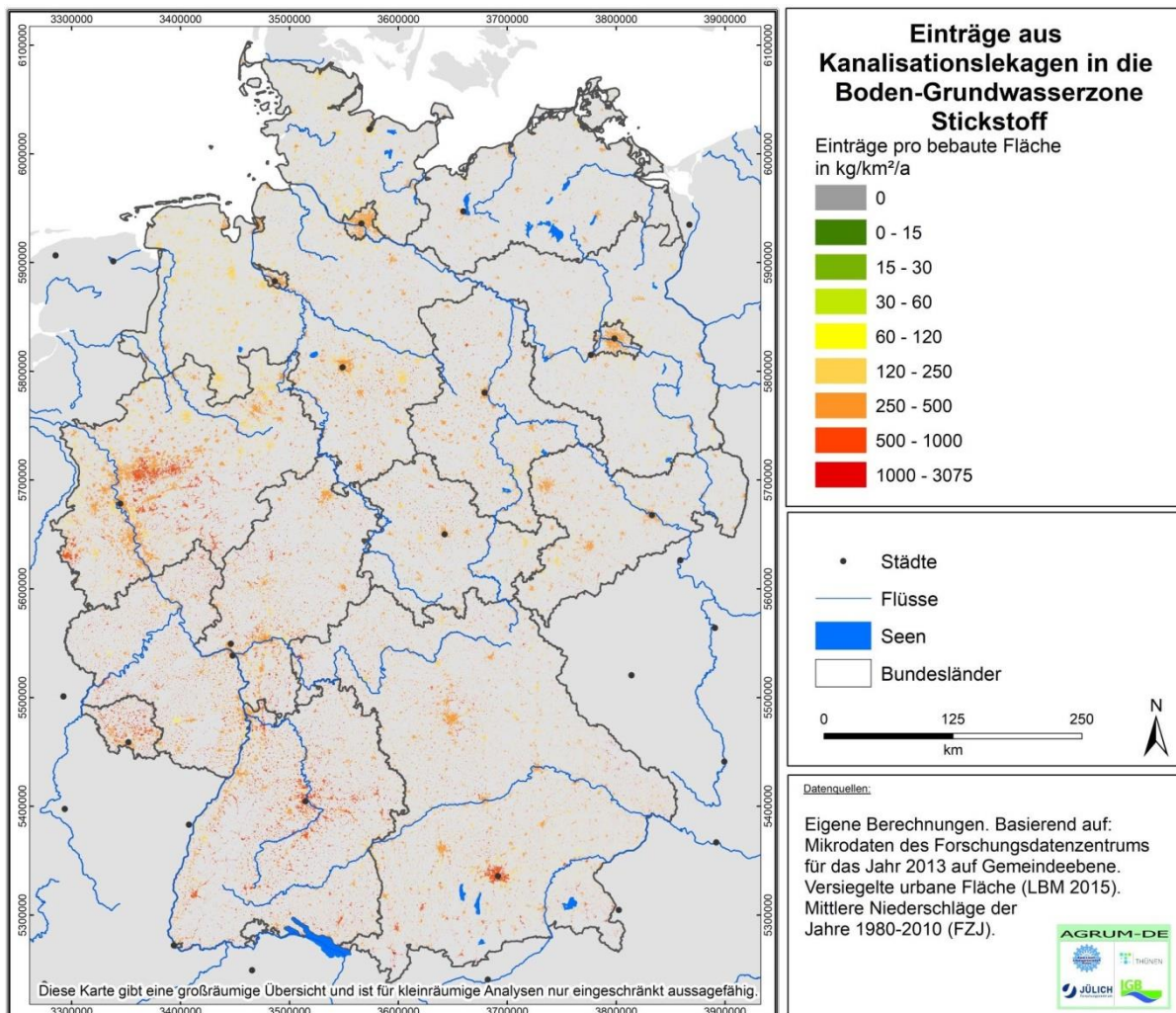


Abbildung 34: Stickstoffeinträge in den Untergrund aus Kanalisationsleckagen auf Gemeindeebene.



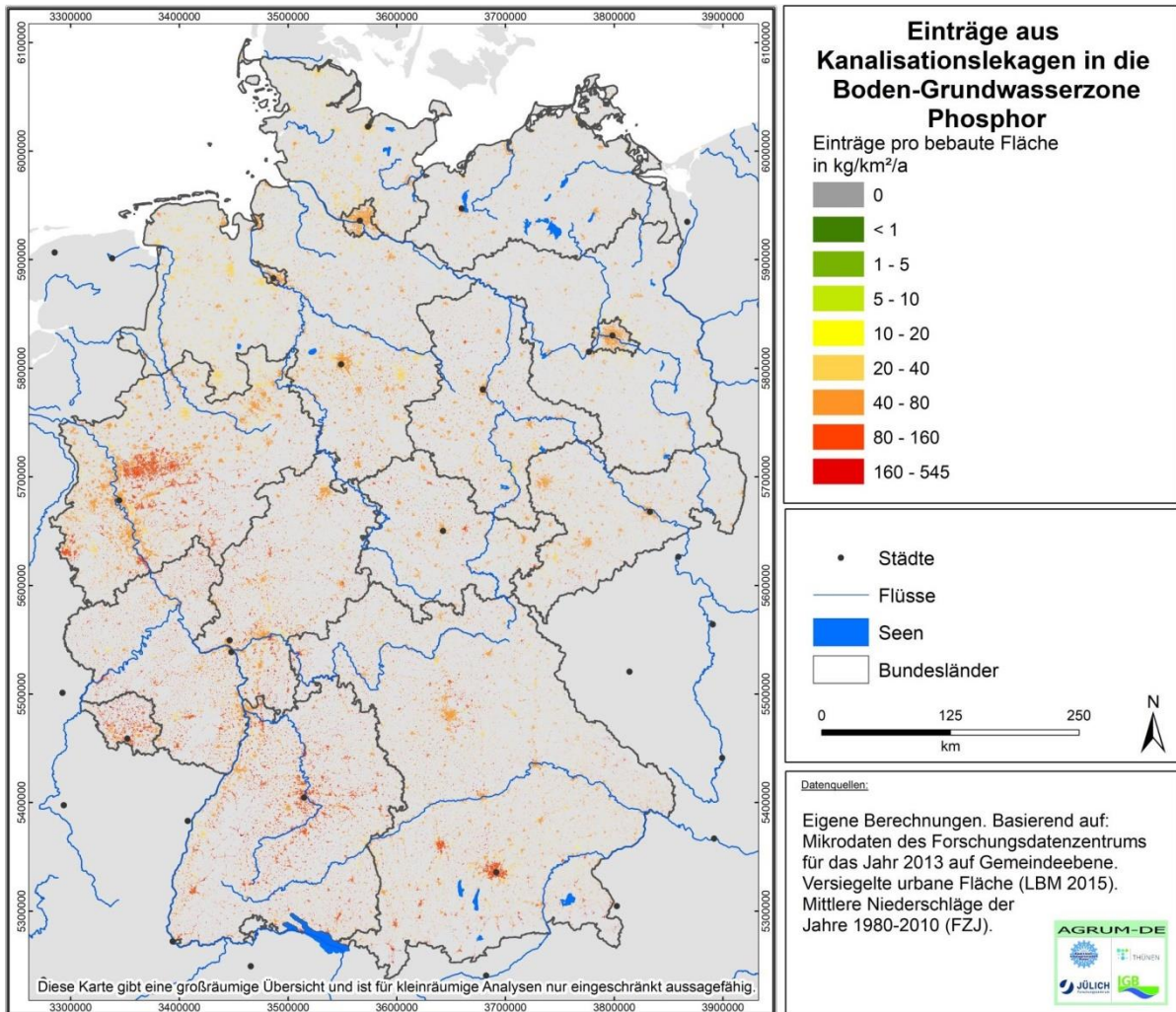


Abbildung 35: Phosphoreinträge in den Untergrund aus Kanalisationsleckagen auf Gemeindeebene.

## 5.2.5 Nicht an die Kanalisation angeschlossene urbanen Flächen

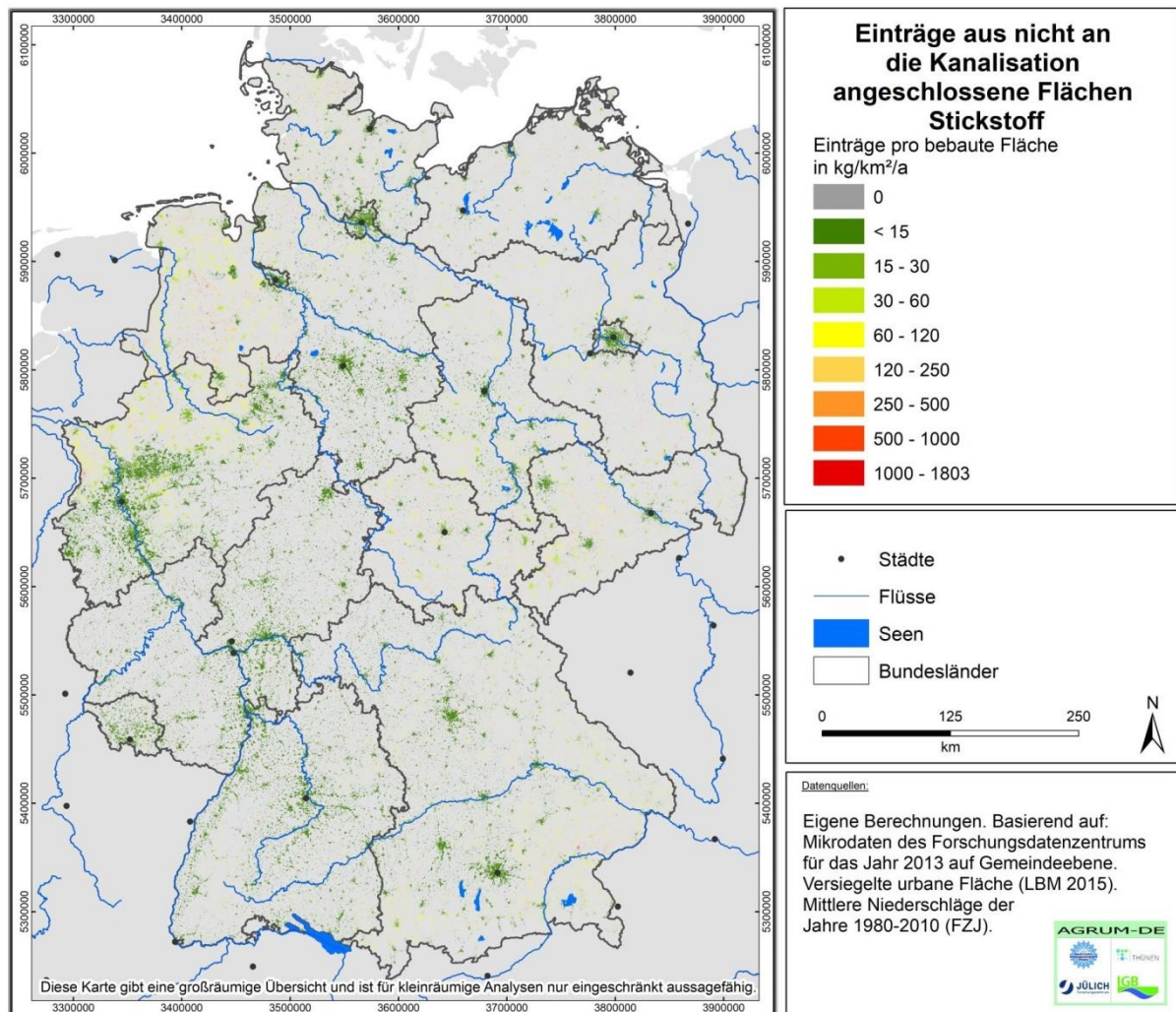


Abbildung 36: Stickstoffeinträge in den Untergrund aus nicht an die Kanalisation angeschlossenen versiegelten Flächen auf Gemeindeebene.

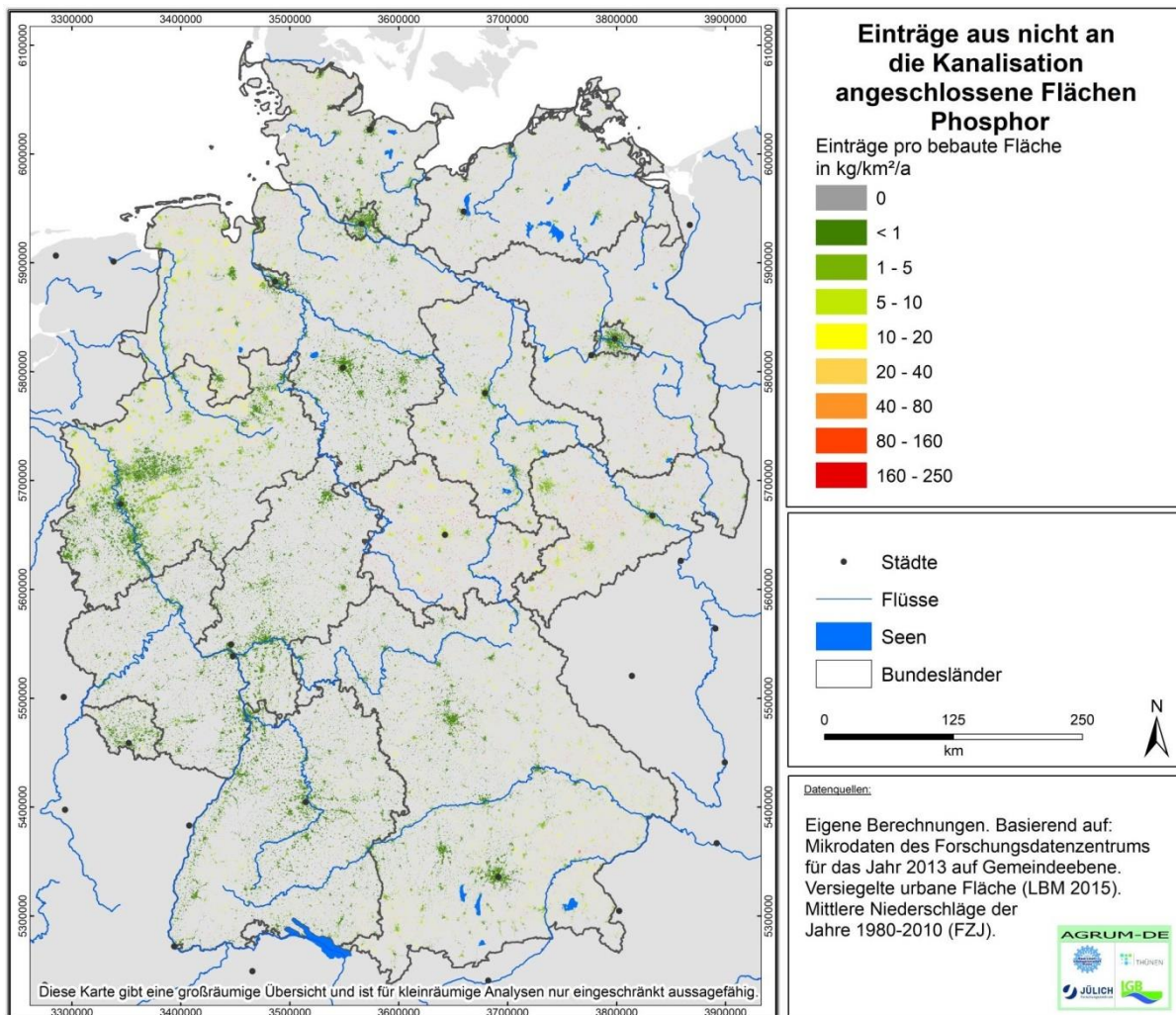


Abbildung 37: Phosphoreinträge in den Untergrund aus nicht an die Kanalisation angeschlossenen versiegelten Flächen auf Gemeindeebene.

### 5.2.6 Kleine Kläranlagen (50-2000 EW)

Hier Flächenhaft dargestellt, weil nur als summarische Größe auf Gemeindeebene verfügbar. Soll nach Diskussion im BLAK-Abwasser ggfs. geändert werden. Die hier gezeigten Ergebnisse sind noch nicht final. Wir haben einen weiteren Termin beim FDZ beantragt um einige Werte zu überprüfen.

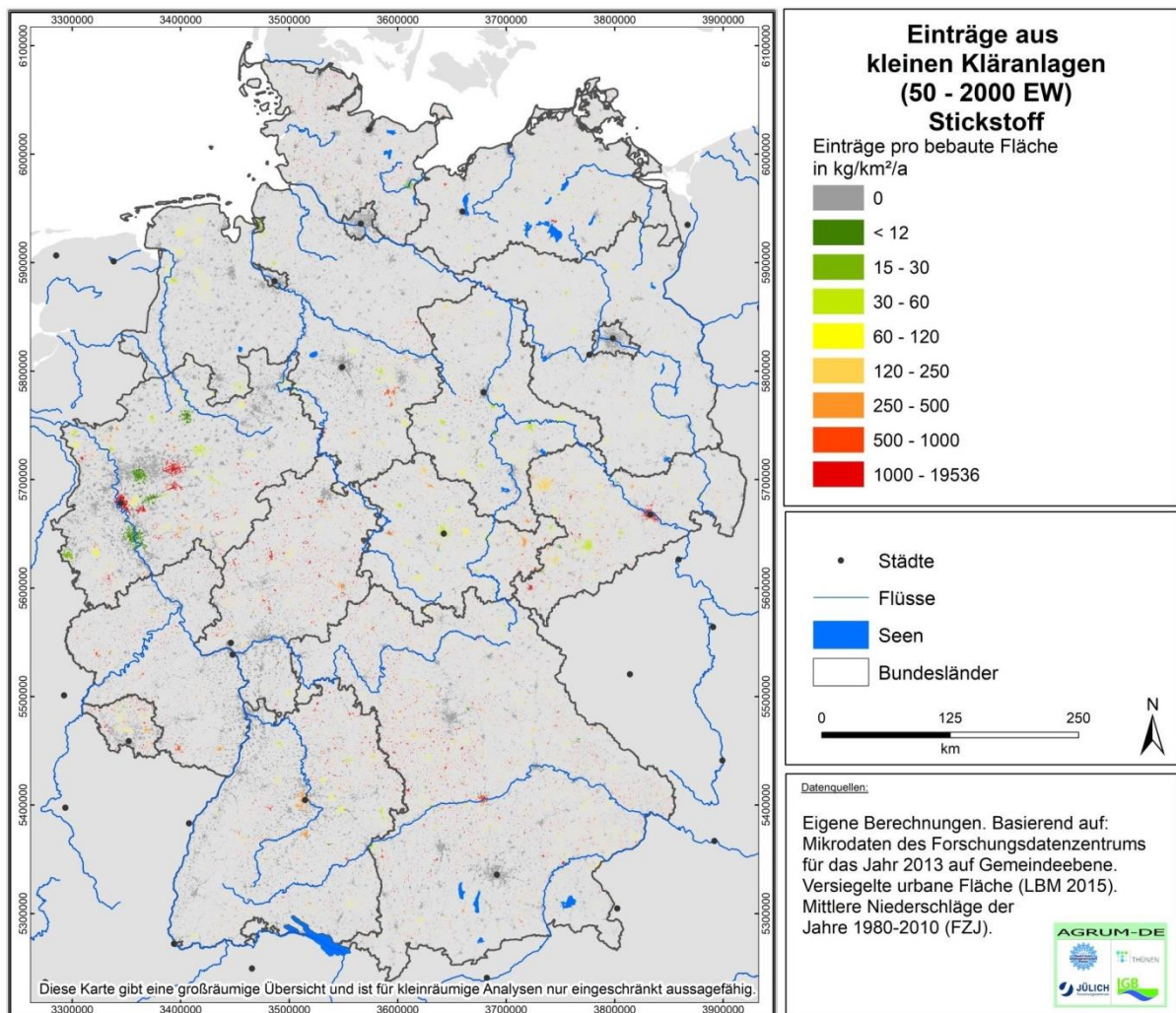


Abbildung 38: Stickstoffeinträge aus kleinen Kläranlagen (50-2000 EW) auf Gemeindeebene.

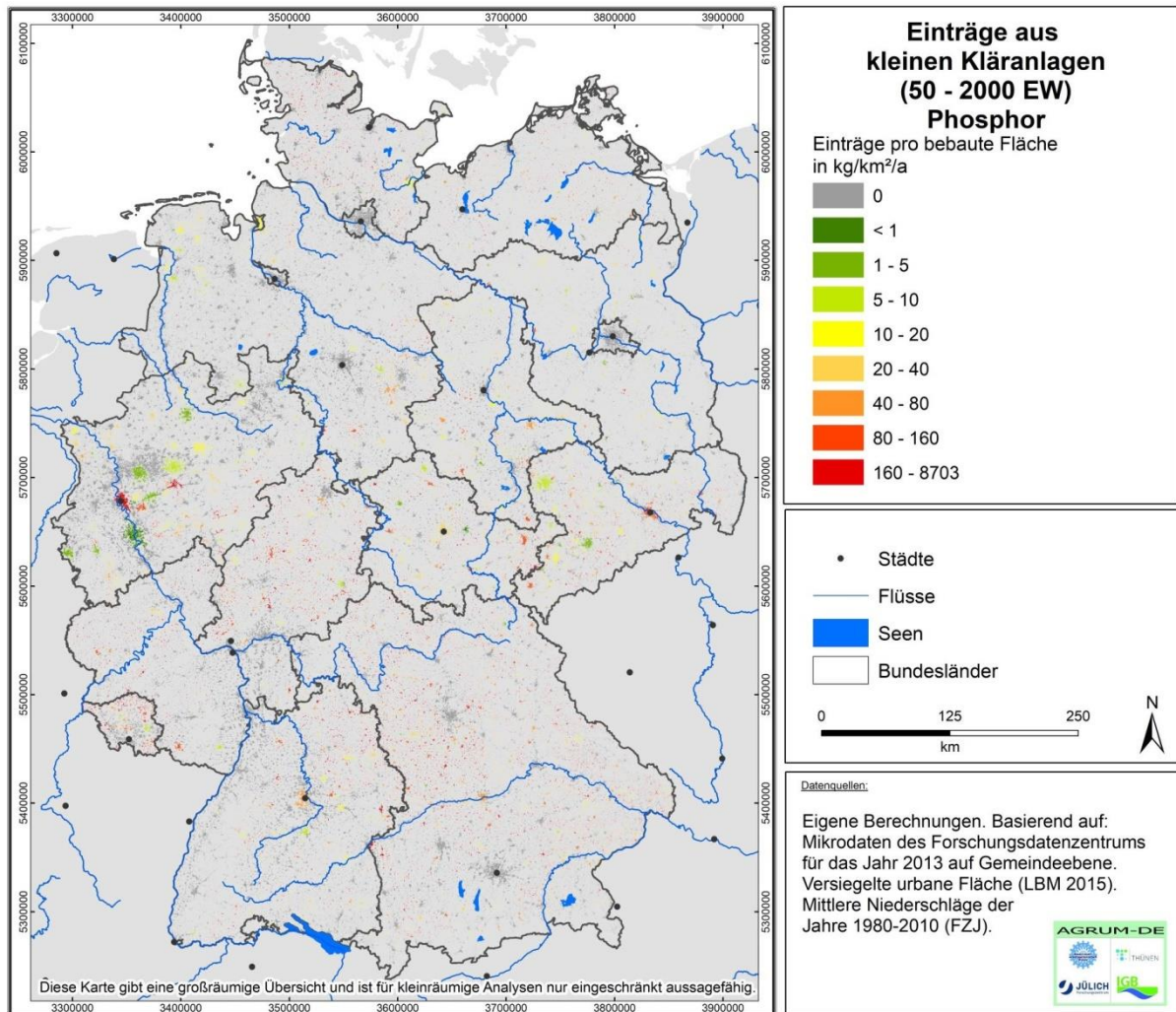


Abbildung 39: Phosphoreinträge aus kleinen Kläranlagen (50-2000 EW) auf Gemeindeebene.

## 5.2.7 Einträge aus urbane Systeme in Oberflächengewässer (ohne KomKA und InDir)

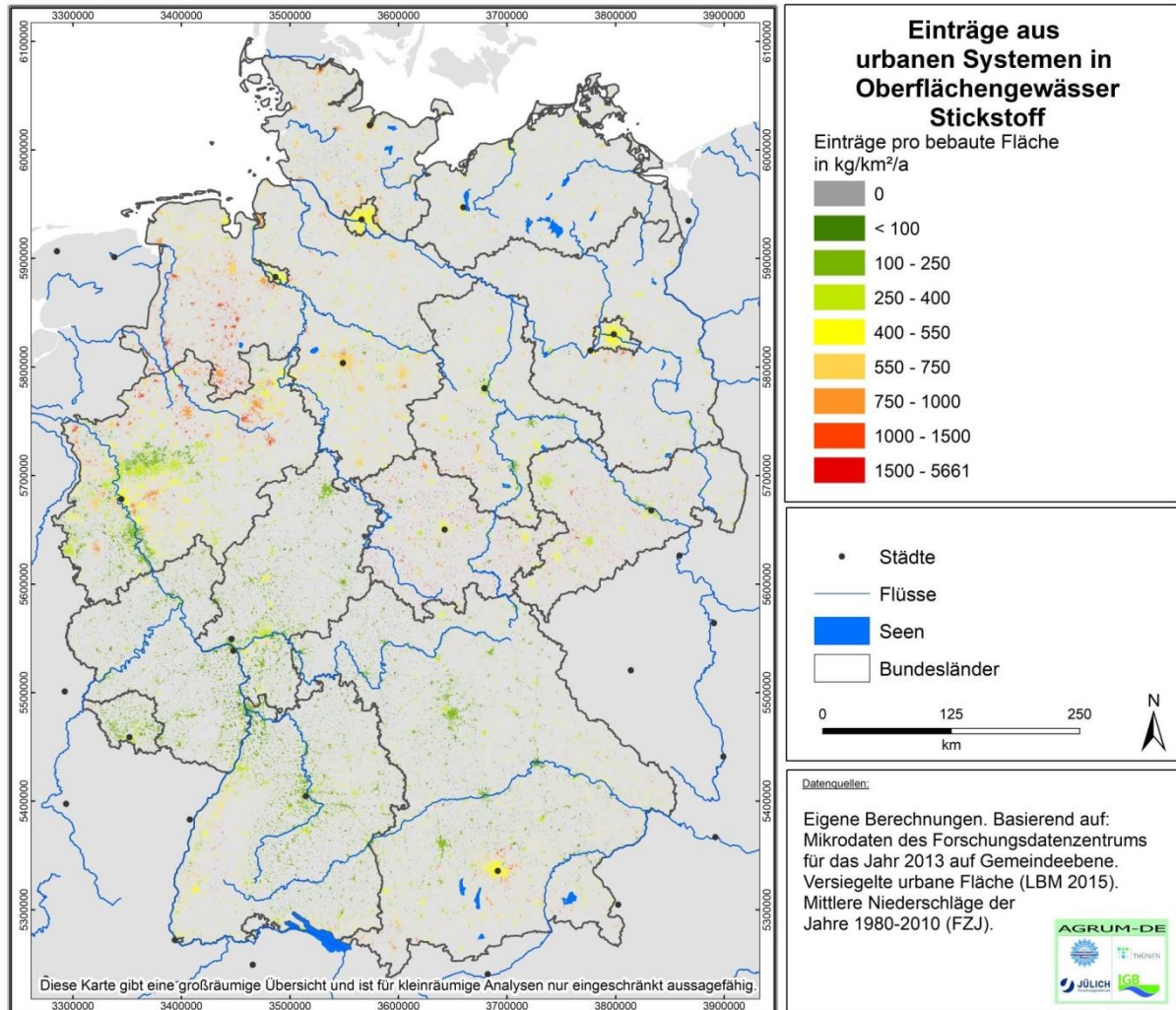


Abbildung 40: Gesamte Stickstoffeinträge aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene.

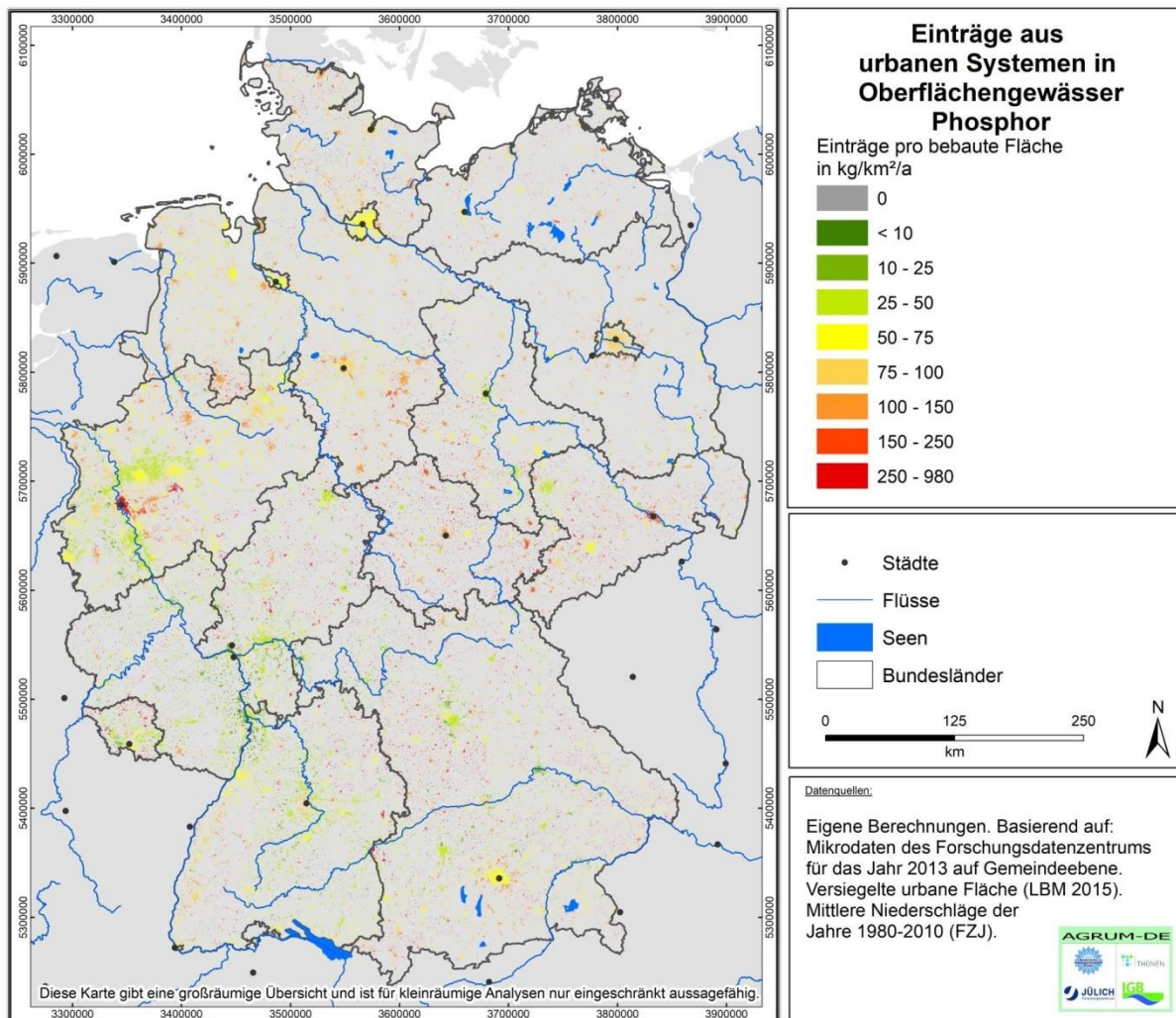


Abbildung 41: Gesamte Phosphoreinträge aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene.

## 5.2.8 Einträge aus urbane Systeme in die Boden-Grundwasserzone

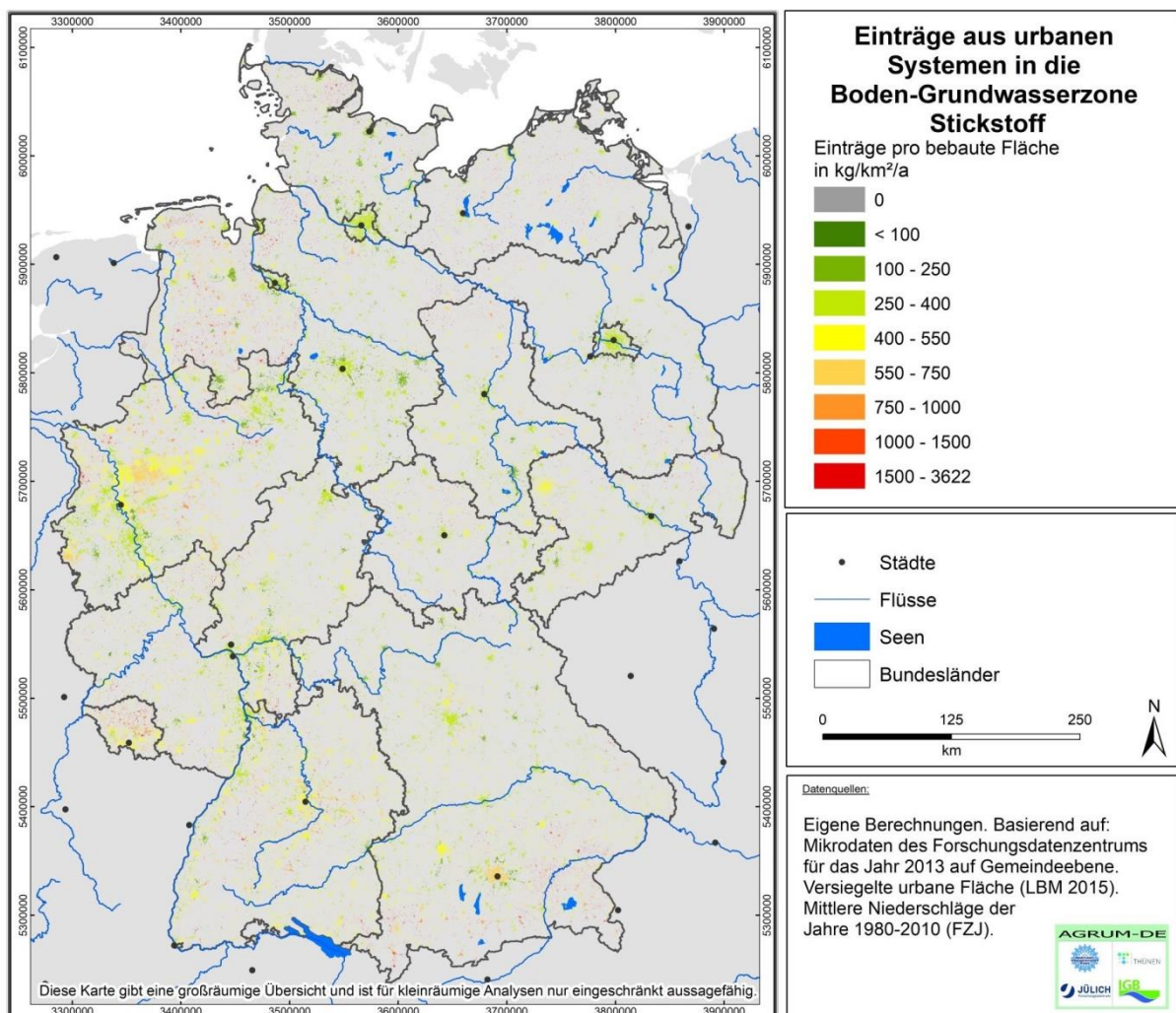


Abbildung 42: Gesamte Stickstoffeinträge in den Untergrund aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene.



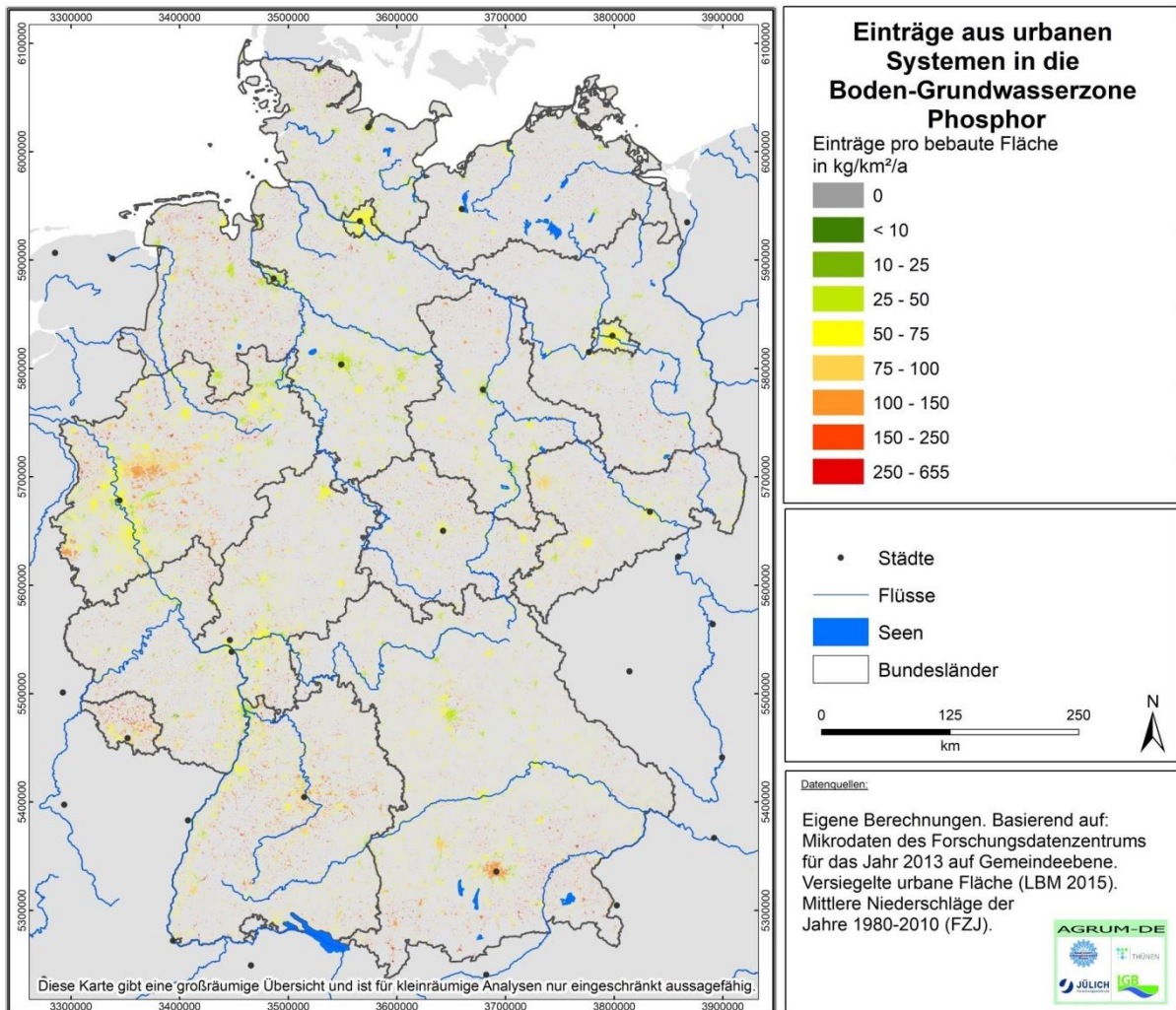


Abbildung 43: Gesamte Phosphoreinträge in den Untergrund aus urbanen Systemen (ohne Punktquellen und Industrie) auf Gemeindeebene.

## 5.2.9 Kommunale Kläranlagen (> 2000 EGW)

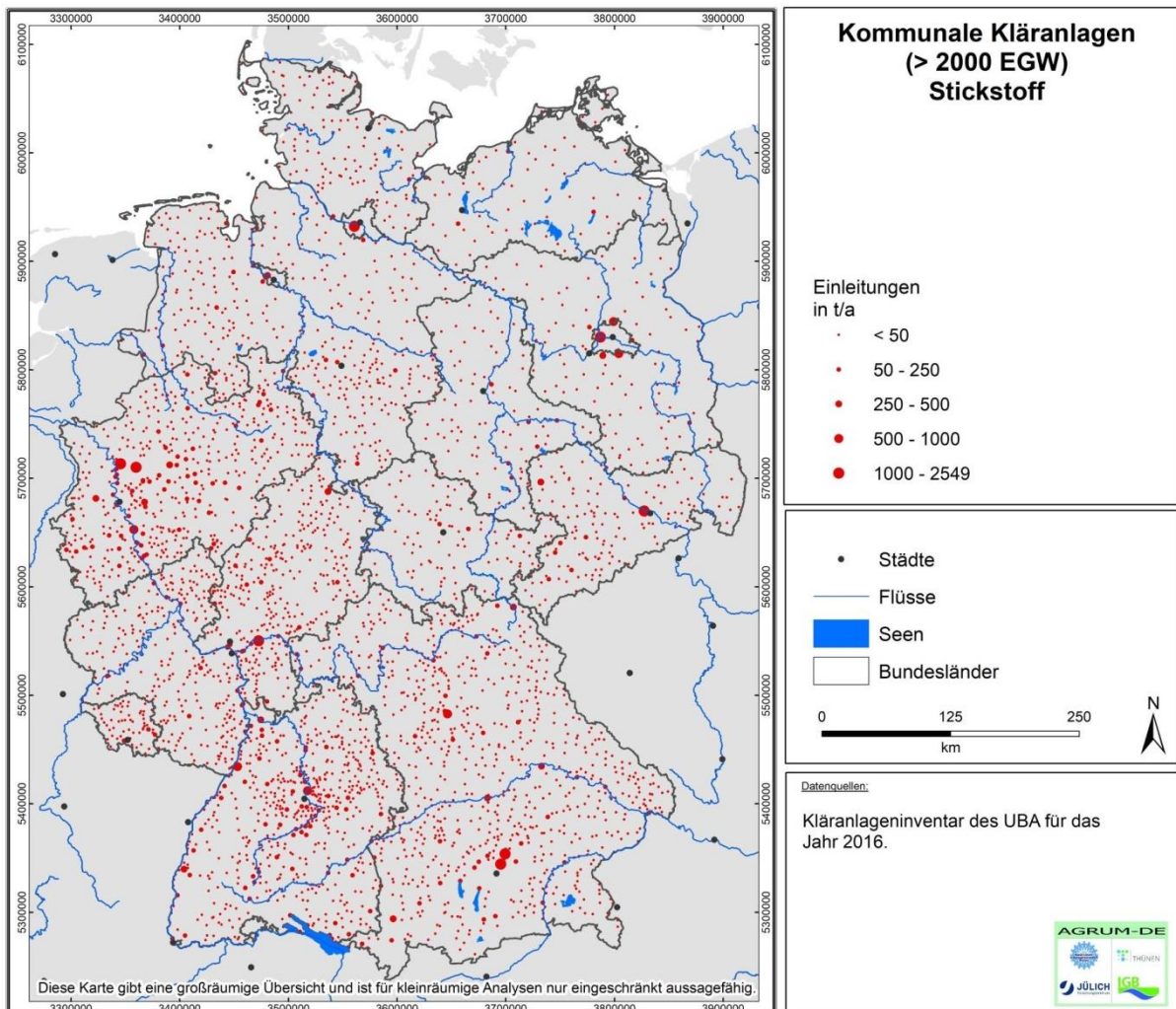


Abbildung 44: Stickstoffeinleitungen aus kommunalen Kläranlagen nach UBA-Inventar für das Jahr 2016.

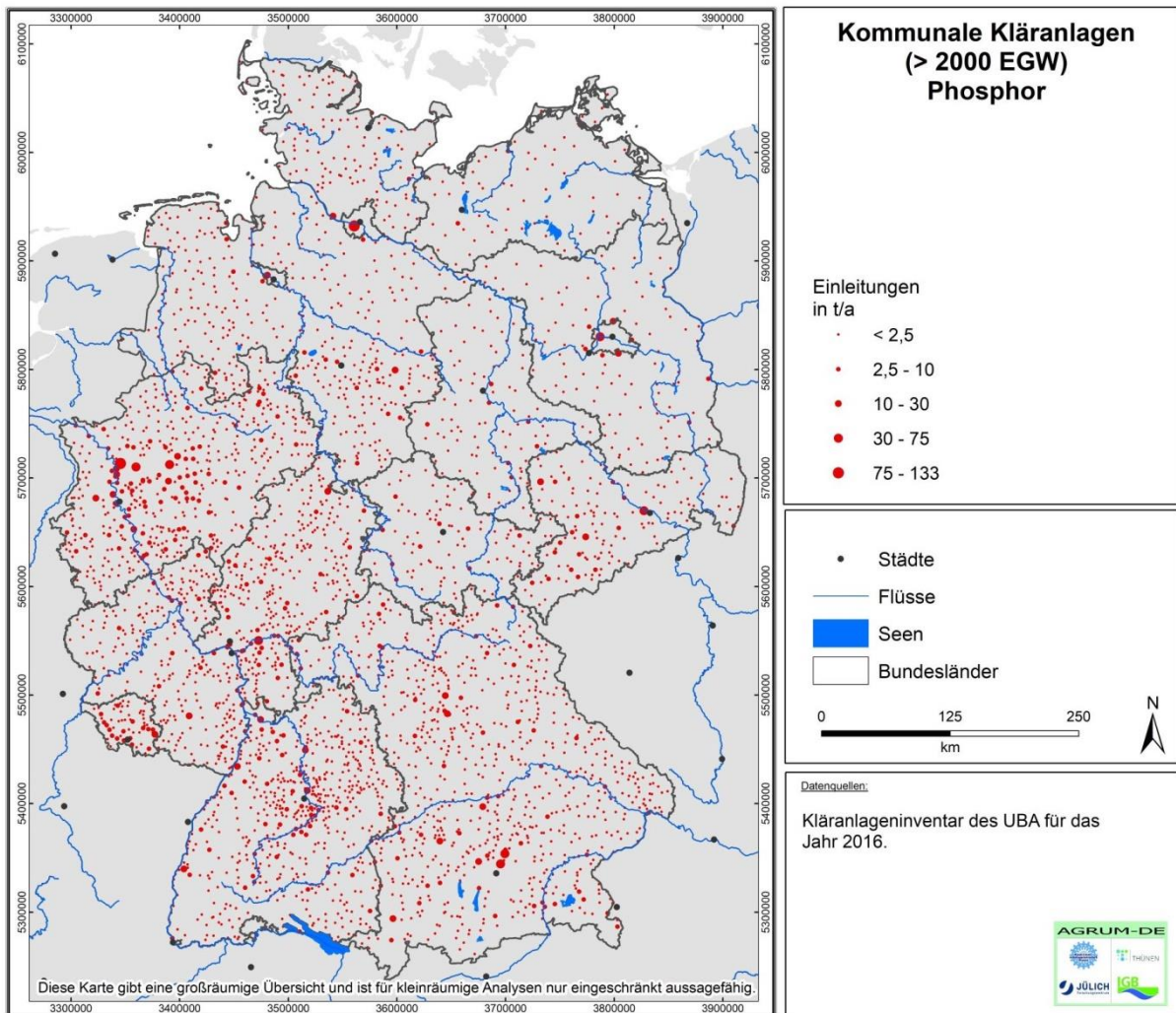


Abbildung 45: Phosphoreinleitungen aus kommunalen Kläranlagen nach UBA-Inventar für das Jahr 2016.

## 5.2.10 Industrielle Direkteinleiter

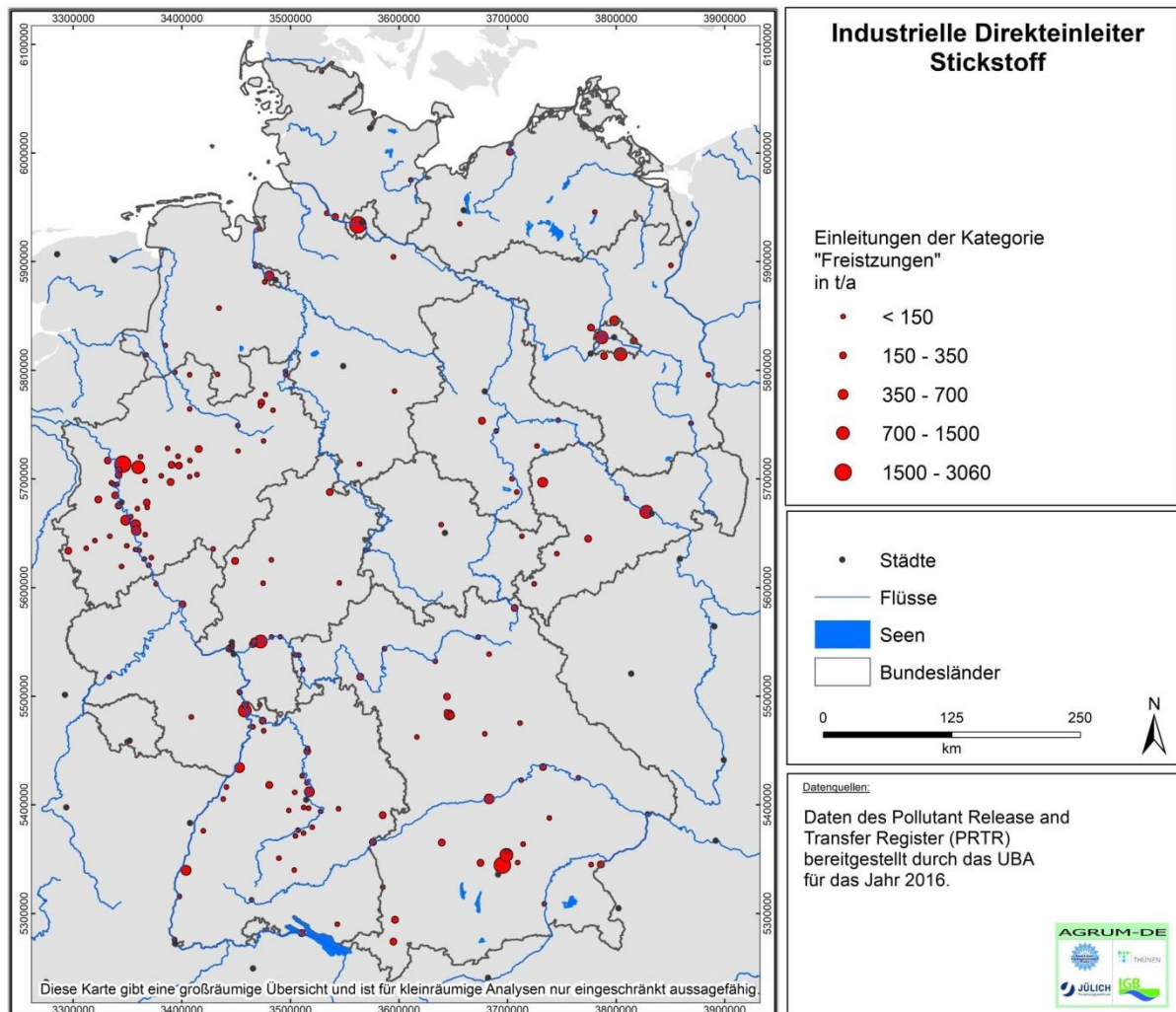


Abbildung 46: Stickstoffeinleitungen aus industriellen Direkteinleitern nach PRTR (UBA, 2017) für das Jahr 2016.

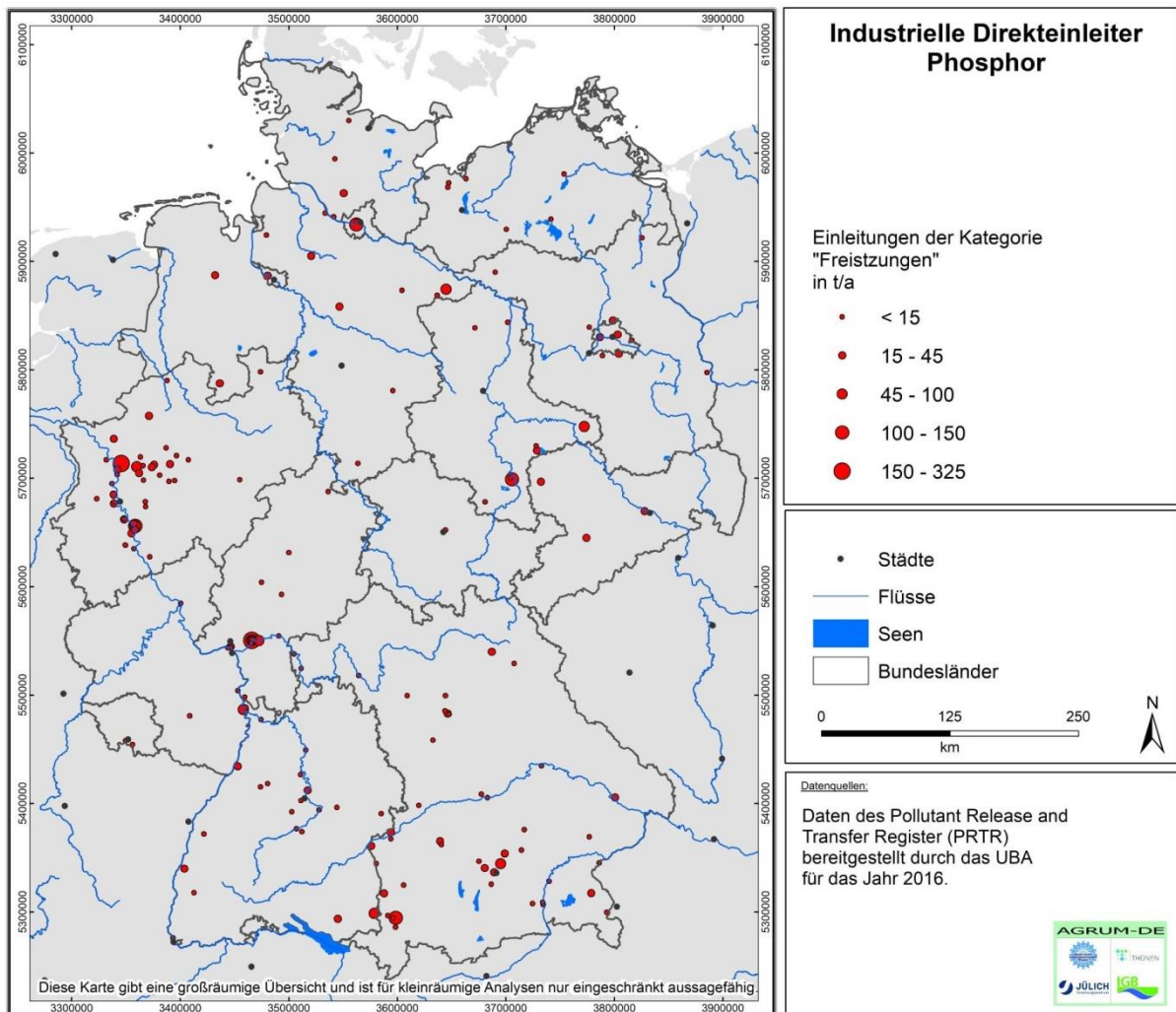


Abbildung 47: Phosphoreinleitungen aus industriellen Direkteinleitern nach PRTR für das Jahr 2016.

### 5.3 Gesamteinträge in die Gewässer

Tabelle 11: Stickstoffeinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen KÄranlagen (klKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanisationsleckagen (EX\_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew).

Land	Stickstoffeinträge[t N/a] aus urbanen Systemen und Punktquellen									
	Oberflächengewässer							Boden-Grundwasser		
	KomKA	klKA	ID	MK	TK	KKA_DIR	KKA_SEW	EX_GW	NoSew	KKA_GW
<b>SH</b>	1.300	400	<5	<5	800	<5	<5	300	100	300
<b>HH</b>	2.200	<5	<5	30	100	<5	<5	90	<5	<5
<b>NI</b>	2.900	200	200	20	2.800	60	<5	1.100	300	800
<b>HB</b>	600	<5	60	<5	100	<5	<5	50	<5	<5
<b>NW</b>	16.000	1.200	900	600	1.900	300	<5	2.300	200	400
<b>HE</b>	5.600	800	700	200	200	20	<5	900	<5	10
<b>RP</b>	3.100	400	1.500	100	200	20	<5	900	<5	<5
<b>BW</b>	14.000	700	200	400	500	60	<5	1.800	20	20
<b>BY</b>	17.000	1.700	400	500	1.100	300	50	2.200	200	400
<b>SL</b>	900	100	<5	50	30	<5	10	300	<5	<5
<b>BE</b>	1.200	<5	<5	20	200	<5	<5	200	<5	<5
<b>BB</b>	2.700	100	100	<5	900	<5	<5	500	200	200
<b>MV</b>	700	200	<5	<5	500	<5	<5	300	100	300
<b>SN</b>	3.100	1.100	70	60	500	500	200	700	200	100
<b>ST</b>	1.200	100	400	10	500	90	60	500	60	100
<b>TH</b>	1.000	200	<5	30	100	300	800	400	200	20
<b>DE</b>	<b>74.000</b>	<b>7.400</b>	<b>4.500</b>	<b>1.900</b>	<b>11.000</b>	<b>1.600</b>	<b>1.100</b>	<b>13.000</b>	<b>1.600</b>	<b>2.600</b>

Tabelle 12: Phosphoreinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen Käranlagen (kIKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanalisationsleckagen (EX\_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew).

Land	Phosphoreinträge[t N/a] aus urbanen Systemen und Punktquellen									
	Oberflächengewässer							Boden-Grundwasser		
	KomKA	kIKA	ID	MK	TK	KKA_DIR	KKA_SEW	EX_GW	NoSew	KKA_GW
SH	70	80	<5	<5	100	<5	<5	60	20	50
HH	100	<5	<5	<5	20	<5	<5	20	<5	<5
NI	300	30	30	<5	400	10	<5	200	40	100
HB	20	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5
NW	1.000	100	50	100	200	50	<5	400	20	60
HE	500	100	20	30	40	<5	<5	200	<5	<5
RP	300	80	60	20	30	<5	<5	200	<5	<5
BW	700	100	<5	70	90	10	<5	300	<5	<5
BY	1.100	400	20	80	200	60	<5	400	40	60
SL	100	30	<5	<5	<5	<5	<5	50	<5	<5
BE	40	<5	<5	<5	40	<5	<5	30	<5	<5
BB	100	20	<5	<5	200	<5	<5	90	50	30
MV	50	50	<5	<5	80	<5	<5	60	30	60
SN	300	100	<5	10	90	80	40	100	50	20
ST	100	20	20	<5	90	20	10	90	20	20
TH	100	60	<5	<5	20	40	100	70	50	<5
DE	4.900	1.200	200	300	1.600	300	200	2.200	300	400

**Tabelle 13: Stickstoffeinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen Kläranlagen (kIKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanalisationsleckagen (EX\_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew).**

Flussgebietseinheit	KomKA	kIKA	ID	MK	TK	KKA_OFG	KKA_SEW	EX_GW	NoSew	KKA_GW
<b>1000 - Donau</b>	<b>13.000</b>	<b>1.200</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>1.000</b>	<b>300</b>	<b>30</b>	<b>1.800</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
<b>2000 - Rhein</b>	<b>39.000</b>	<b>3.300</b>	<b>3.200</b>	<b>1.200</b>	<b>2.000</b>	<b>400</b>	<b>80</b>	<b>5.700</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
2100 - Alpenrhein/Bodensee	1.300	30	<5	40	60	<5	<5	100	<5	20
2200 - Hochrhein	400	300	<5	20	40	<5	<5	90	<5	<5
2300 - Oberrhein	5.200	40	1.700	100	300	30	<5	700	<5	<5
2380 - Neckar	7.500	300	100	200	100	20	<5	900	<5	<5
2400 - Main	7.700	700	500	200	300	80	60	1.000	30	20
2600 - Mosel/Saar	1.600	300	<5	80	80	20	10	500	<5	<5
2700 - Mittelrhein	2.300	400	200	80	100	10	<5	600	<5	<5
2800 - Niederrhein	13.000	1.200	800	500	800	200	<5	1.600	50	100
2900 - Deltarhein	400	10	<5	10	300	30	<5	100	40	80
<b>3000 - Ems</b>	<b>1.400</b>	<b>20</b>	<b>&lt;5</b>	<b>20</b>	<b>1.300</b>	<b>70</b>	<b>&lt;5</b>	<b>400</b>	<b>200</b>	<b>400</b>
3100 - Obere Ems	800	<5	<5	20	500	50	<5	200	50	100
3500 - Ems/Nordradde	100	<5	<5	<5	100	<5	<5	30	10	30
3600 - Hase	200	<5	<5	<5	300	20	<5	70	50	90
3800 - Leda-Jümme	200	<5	<5	<5	200	<5	<5	40	30	70
3900 - Untere Ems	100	<5	<5	<5	200	<5	<5	50	20	100
3990 - Ems-Ästuar	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
<b>4000 - Weser</b>	<b>5.100</b>	<b>700</b>	<b>300</b>	<b>100</b>	<b>2.000</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>1.400</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
4100 - Werra	300	100	80	10	30	70	300	100	50	<5
4200 - Fulda/Diemel	1.200	400	<5	30	80	20	<5	300	<5	<5
4500 - Weser	1.200	50	60	30	500	50	<5	300	40	80
4800 - Aller	600	70	100	<5	400	<5	<5	200	<5	30
4880 - Leine	600	30	<5	<5	300	10	30	200	<5	<5
4900 - Tide-Weser	1.100	<5	60	10	600	<5	<5	200	70	200
<b>5000 - Elbe</b>	<b>12.000</b>	<b>1.700</b>	<b>500</b>	<b>200</b>	<b>3.000</b>	<b>700</b>	<b>700</b>	<b>2.500</b>	<b>700</b>	<b>700</b>
5210 - Obere Moldau	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
5240 - Berounka	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
5300 - Eger und Untere Elbe	100	20	<5	<5	<5	10	<5	20	<5	<5
5400 - Mulde-Elbe-Schw. Elster	2.500	800	70	50	500	400	200	600	200	100
5600 - Saale	2.300	400	400	50	400	300	500	700	200	60
5700 - Mittlere Elbe/Elde	400	100	<5	<5	300	<5	10	300	80	200
5800 - Havel	3.800	200	<5	20	1.000	20	<5	600	100	100
5900 - Tideelbe	2.900	100	80	30	800	<5	<5	400	70	200
<b>6000 - Oder</b>	<b>200</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>&lt;5</b>	<b>200</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>200</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
6300 - Mittlere Oder (IKSO)	50	<5	60	<5	30	<5	<5	20	<5	<5
6400 - Lausitzer Neiße (IKSO)	90	<5	<5	<5	60	<5	<5	40	<5	20
6700 - Stettiner Haff	30	20	<5	<5	60	<5	<5	40	20	30
6900 - Untere Oder	60	<5	70	<5	80	<5	<5	50	30	<5
<b>7000 - Maas</b>	<b>1.500</b>	<b>30</b>	<b>&lt;5</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>200</b>	<b>20</b>	<b>50</b>
<b>9500 - Eider</b>	<b>200</b>	<b>100</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>200</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>70</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
<b>9610 - Schlei/Trave</b>	<b>700</b>	<b>100</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>300</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>100</b>	<b>30</b>	<b>100</b>
<b>9650 - Warnow/Peene</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>300</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>200</b>	<b>70</b>	<b>200</b>
<b>DE</b>	<b>74.000</b>	<b>7.400</b>	<b>4.500</b>	<b>1.900</b>	<b>11.000</b>	<b>1.600</b>	<b>1.100</b>	<b>13.000</b>	<b>1.600</b>	<b>2.600</b>



Tabelle 14: Phosphoreinträge aus urbanen Systemen und Punktquelle für das Jahr 2013 unterschieden nach kommunalen Kläranlagen (KomKA, > 2000 EGW), kleinen Kläranlagen (kIKA, 50-2000 EW), industriellen Direkteinleitern (ID), Mischkanalisationsüberläufen (MK), Kleinkläranlagen (KKA, < 50 EW) mit Einleitung über Rohr/Graben (DIR), Kanalisation (SEW), oder eine Boden-Grundwasserpassage (GW), sowie Einträge in das Grundwasser aus Kanalisationsleckagen (EX\_GW) und nicht an die Kanalisation angeschlossene versiegelte Flächen (NoSew).

Flussgebietseinheit	KomKA	kIKA	ID	MK	TK	KKA_OFG	KKA_SEW	EX_GW	NoSew	KKA_GW
<b>1000 - Donau</b>	<b>800</b>	<b>300</b>	<b>&lt;5</b>	<b>70</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>&lt;5</b>	<b>300</b>	<b>30</b>	<b>60</b>
<b>2000 - Rhein</b>	<b>2.500</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>60</b>	<b>10</b>	<b>1.000</b>	<b>30</b>	<b>50</b>
2100 - Alpenrhein/Bodensee	30	<5	<5	<5	<5	<5	<5	30	<5	<5
2200 - Hochrhein	30	10	<5	<5	<5	<5	<5	20	<5	<5
2300 - Oberrhein	300	<5	70	20	60	<5	<5	100	<5	<5
2380 - Neckar	400	60	<5	30	20	<5	<5	200	<5	<5
2400 - Main	500	200	30	30	50	10	10	200	<5	<5
2600 - Mosel/Saar	200	70	<5	10	20	<5	<5	90	<5	<5
2700 - Mittelrhein	200	70	<5	10	20	<5	<5	100	<5	<5
2800 - Niederrhein	800	90	50	80	100	30	<5	300	<5	20
2900 - Deltarhein	30	<5	<5	<5	20	<5	<5	20	<5	10
<b>3000 - Ems</b>	<b>100</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>100</b>	<b>10</b>	<b>&lt;5</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>70</b>
3100 - Obere Ems	60	<5	<5	<5	50	<5	<5	30	<5	20
3500 - Ems/Nordradde	<5	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5
3600 - Hase	20	<5	<5	<5	30	<5	<5	10	<5	20
3800 - Leda-Jümme	10	<5	<5	<5	20	<5	<5	<5	<5	10
3900 - Untere Ems	20	<5	<5	<5	20	<5	<5	<5	<5	20
3990 - Ems-Ästuar	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
<b>4000 - Weser</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>300</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>200</b>	<b>40</b>	<b>60</b>
4100 - Werra	50	20	<5	<5	<5	10	50	20	10	<5
4200 - Fulda/Diemel	100	70	<5	<5	10	<5	<5	50	<5	<5
4500 - Weser	100	<5	<5	<5	60	<5	<5	50	<5	10
4800 - Aller	70	10	<5	<5	70	<5	<5	40	<5	<5
4880 - Leine	70	<5	<5	<5	60	<5	<5	40	<5	<5
4900 - Tide-Weser	60	<5	<5	<5	80	<5	<5	40	10	40
<b>5000 - Elbe</b>	<b>800</b>	<b>300</b>	<b>40</b>	<b>30</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>400</b>	<b>200</b>	<b>100</b>
5210 - Obere Moldau	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
5240 - Berounka	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
5300 - Eger und Untere Elbe	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
5400 - Mulde-Elbe-Schw. Elster	200	100	<5	<5	80	60	30	100	40	20
5600 - Saale	200	80	10	<5	80	60	90	100	50	10
5700 - Mittlere Elbe/Elde	40	20	<5	<5	60	<5	<5	50	20	30
5800 - Havel	200	30	<5	<5	200	<5	<5	100	30	20
5900 - Tideelbe	200	30	20	<5	100	<5	<5	60	10	40
<b>6000 - Oder</b>	<b>20</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>40</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>30</b>	<b>20</b>	<b>&lt;5</b>
6300 - Mittlere Oder (IKSO)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
6400 - Lausitzer Neiße (IKSO)	<5	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5
6700 - Stettiner Haff	<5	<5	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5
6900 - Untere Oder	<5	<5	<5	<5	20	<5	<5	<5	<5	<5
<b>7000 - Maas</b>	<b>60</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>30</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>40</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>
<b>9500 - Eider</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>20</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>10</b>	<b>&lt;5</b>	<b>20</b>
<b>9610 - Schlei/Trave</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>50</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>30</b>	<b>&lt;5</b>	<b>20</b>
<b>9650 - Warnow/Peene</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>50</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;5</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>30</b>
<b>DE</b>	<b>4.900</b>	<b>1.200</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>1.600</b>	<b>300</b>	<b>200</b>	<b>2.200</b>	<b>300</b>	<b>400</b>

## 5.4 Retention in Oberflächengewässern – zu bearbeiten

### 5.5 Modellvalidierung – Stand 30.6.2020

Der hier gezeigte Stand entspricht den Ergebnissen wie sie bei der 6. Beiratssitzung am 30.06.2020 gezeigt wurden. Da derzeit noch keine überarbeiteten Ergebnisse zum modellierten Gesamtabfluss und den diffusen Einträgen vorliegen konnte eine Aktualisierung der Modellvalidierung noch nicht erfolgen. Die Ergebnisse dienen somit nur zur Abstimmung, in welcher Weise die abschließende Validierung erfolgen kann.

Flächen und Abflussvergleich dient der Sicherstellung einer korrekten Zuordnung und Konsistenz zwischen den Berechnungen von FZJ und IGB.

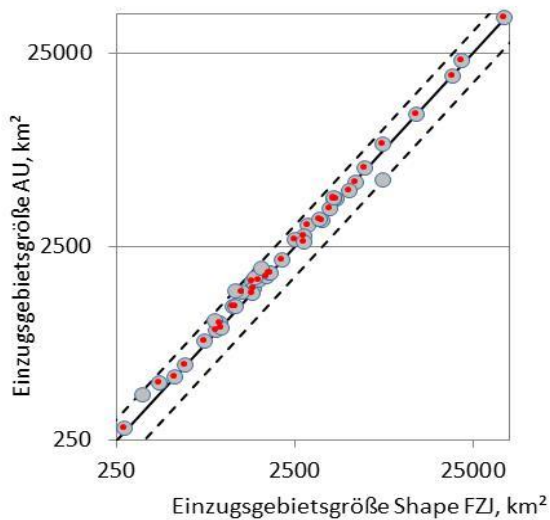


Abbildung 48: Vergleich der Einzugsgebietsgröße ermittelt nach FZJ und auf Basis der AUs.

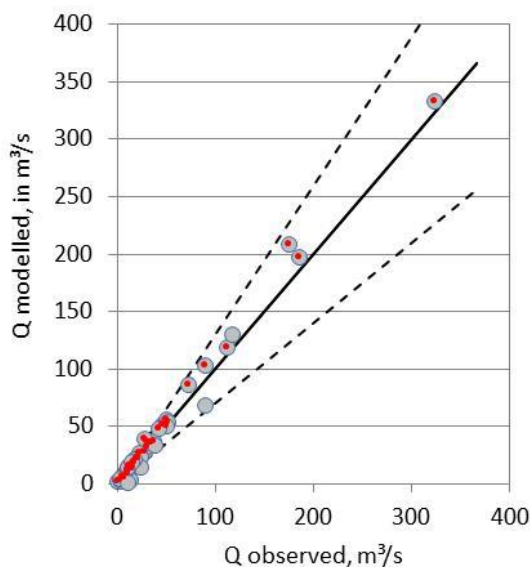


Abbildung 49: Vergleich von gemessenen und modellierten Gesamtabflüssen.

Tabelle 15: Statistische Güteparameter für die Validierung der modellierten Einzugsgebietsgrößen und Abflüsse.

Mittlere absolute Abweichung in %	Fläche	Abfluss
Mittelwert (alle)	6,9	18,2
Mittelwert (für Flä.-Abw < 15%)	4,5	13,3
$r^2$ (alle)	1,00	0,99
Anzahl der Stationen		60

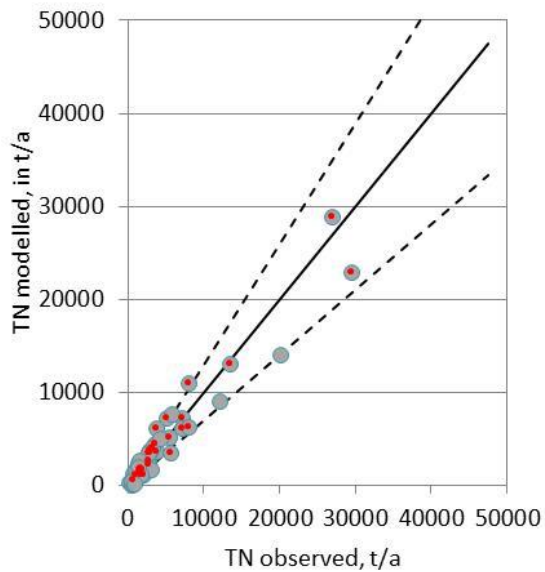


Abbildung 50: Vergleich der von beobachteten und modellierten TN-Frachten.

Tabelle 16: Statistische Güteparameter für die Validierung der modellierten TN-Frachten.

Mittlere absolute Abweichung in %	TN
Mittelwert (alle)	28,7
Mittelwert (für A_Abw < 15%)	20,5
r <sup>2</sup> (alle)	0,93
Anzahl der Stationen	48

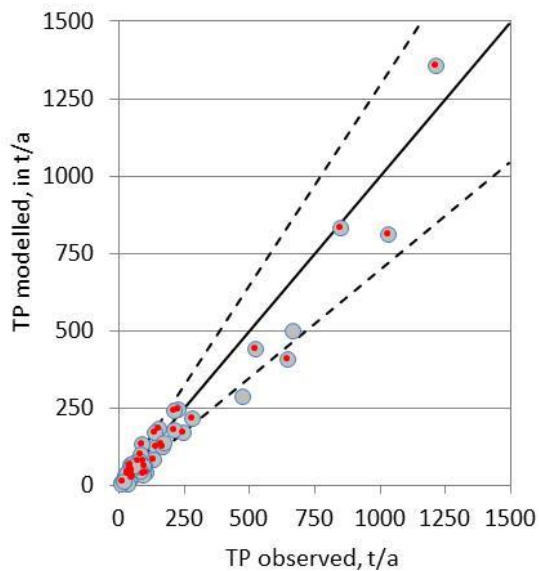


Abbildung 51: Vergleich von beobachteten und modellierten TP-Frachten.

Tabelle 17: Statistische Güteparameter für die Validierung der modellierten TP-Frachten.

Mittlere absolute Abweichung in %	TP
Mittelwert (alle)	29,5
Mittelwert (für A_Abw < 15%)	24,0
r <sup>2</sup> (alle)	0,94
Anzahl der Stationen	57

## 6 Literatur

- AbwV (2004) Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV). zuletzt Änderung von Artikel 1 am 16. Juni 2020.
- Behrendt, H., Bach, M., Kunkel, R., Opitz, D., Pagenkopf, W., Scholz, G., und Wendland, F. (2003) Quantifizierung der Nährstoffeinträge der Flussgebiete Deutschlands auf der Grundlage eines harmonisierten Vorgehens. UBA-Texte, (82/03), 201.
- Behrendt, H., Kornmilch, M., Opitz, D., Schmoll, O., und Scholz, G. (2002) Estimation of the nutrient inputs into river systems - experiences from German rivers. *Regional Environmental Change*, 3(1–3), 107–117.
- Berger, C., Falk, C., Hetzel, F., Pinnekamp, J., Roder, S., und Ruppelt, J. (2016) Zustand der Kanalisation in Deutschland, Ergebnisse der DWA-Umfrage 2015. *Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 6(63), 1–12.
- BKG (2018) GeoBasis-DE - Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland LBM-DE2015. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 52.
- Brombach, H. und Michelbach, S. (1998) Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrages aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees (Studie). Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), 49.
- Bütow, E., Krafft, H., Rüger, M., und Lüdecke, J. (2001) Gefährdungspotenzial von undichten Kanälen bei industriellen und gewerblichen Grundstücksentwässerungsleitungen und die Ableitung von Empfehlungen zur Revitalisierung defekter Entwässerungsleitungen (U. Hagendorf, Hrsg.). Umweltbundesamt, 196.
- FDZ (2019a): Forschungsdatenzentrum – Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Erhebung über die Wassereigenversorgung und -entsorgung privater Haushalte (EVAS 32251), Erhebungsstand 2013.
- FDZ (2019b): Forschungsdatenzentrum – Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Erhebung über die öffentliche Abwasserbehandlung (EVAS 32213), Erhebungsstand 2013.
- FDZ (2019c): Forschungsdatenzentrum – Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Erhebung über die öffentliche Abwasserentsorgung (EVAS 32212), Erhebungsstand 2013.
- Fuchs, S., Scherer, U., Wander, R., Behrendt, H., Venohr, M., Opitz, D., Hillenbrand, T., Marscheider-Weidemann, F., und Götz, T. (2010) Calculation of Emissions into Rivers in Germany using the MONERIS Model, Dessau-Roßlau.
- Heaney, J. P., Huber, W. C., und Nix, S. J. (1976) Storm Water Management Model Level I – Preliminary Screening Procedures. EPA 600/2-76-275, 95.
- Held, I., Klinger, J., Wolf, L., und Hötzl, H. (2007) „Direct measurements of exfiltration at a sewer test site under operating conditions“ in K. W. F. Howard (Hrsg.), *Urban Groundwater - Meeting the Challenge*. Taylor & Francis, 65–78.
- Krönlein, F., Horstmeyer, N., und Helmreich, B. (2015) Zustand der öffentlichen Kanalisation in Bayern (Stand 2012), Abschlussbericht. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), (Stand 2012), 143.
- LfU (2017) Auswertung der Überwachungsdaten bayerischer Kleinkläranlagen zum Stand April 2016. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 12.
- Meissner, E. (1991) Abschätzung der mittleren Jahresschmutzwasserfrachten aus Mischwassereinleitungen. *Wasser-Abwasser-Abfall*, 7, 69–78.
- Mohaupt, V., Sieber, U., van der Roovaart, J., Verstappen, C. G., Langenfeld, F., und Braun, M. (1998) „Diffuse Sources of Heavy Metals in the German Rhine Catchment“ in *Proceedings 3rd International IAWQ-Conference on Diffuse Pollution III*, 31.8-4.9.1998. Edinburgh.
- MUGV (2013) Kommunale Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg - Lagebericht 2013. Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (MUGV), 107.
- Nguyen, H.H. and Venohr, M. (eingereicht): Modelling of sewer exfiltration to groundwater in urban wastewater systems: A critical review, *Journal of Hydrology*, submitted.
- Nguyen, H.H., Peche, A., Venohr, M. (eingereicht): Harmonized assessment of nutrient pollution from urban systems including losses from sewer exfiltration: A case study in Germany, *Environmental*

- Science and Pollution Research, submitted.
- Schaap, M., Hendriks, C., Kranenburg, R., Kuenen, J., Segers, A., Schlutow, A., Nagel, H.-D., Ritter, A., und Banzhaf, S. (2018) PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland von. UBA-Texte 79 / 2018, Forschungs, 149.
- Stich, G. und Milke, H. (2017) Betriebs- und Leistungsfähigkeit von vollbiologischen Kleinkläranlagen bis 50 EW - Abschlussbericht. Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung – BDZ e.V. und Institut für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft an der HTWK Leipzig Dr., (August), 322.
- Straub, A. (2008) Einfache Messmethoden zur Charakterisierung sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit biologischer Kleinkläranlagen, Lehrstuhl Wassertechnik und Siedlungswasserbau der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. R. Koch.
- Tetzlaff, B., Kreins, P., Kuhr, P., Kunkel, R., und Wendland, F. (2017) Quantifizierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Thüringens mit eintragspfadbezogener und regionaler Differenzierung Endbericht. Forschungszentrum Jülich Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG 3: Agrosphäre), 189.
- UBA (2017) Schadstoffe im PRTR\_Situation in Deutschland\_Berichtsjahre 2007 - 2015. Umweltbundesamt, 123.
- Venohr, M., Gadegast, M., Kulb, I., Mahnkopf, J., und Wetzig, A. (2014) Modellierung von Nährstoffflüssen für die deutschen Flusseinzugsgebiete mit MONERIS auf Basis aktualisierter Daten für den Zeitraum 2006-2008 und Berechnung von Szenarien, Berlin.
- Venohr, M., Hirt, U., Hofmann, J., Opitz, D., Gericke, A., Wetzig, A., Natho, S., Neumann, F., Hürdler, J., Matranga, M., Mahnkopf, J., Gadegast, M., und Behrendt, H. (2011) Modelling of Nutrient Emissions in River Systems - MONERIS - Methods and Background. International Review of Hydrobiology, 96(5), 435–483.