

Abschlussbericht TransMiT

Teil B

Strategiekomponente B.I Qualitätsbasierte Trennentwässerung

B 4.5 Vorgehen bei der Abschätzung der Niederschlagswasserverschmutzung im Rahmen von Potentialanalysen

Autoren:

Dr.-Ing. Maike Beier, Nils Kabisch, studentische Arbeiten

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (ISAH), Leibniz Universität
Hannover

Kurzbeschreibung des Einzelkapitels

Am Beispiel der Stadt Hildesheim wurde für die vorliegende Potenzialanalyse eine Bilanzierung der jährlichen NW-Mengen durchgeführt, die sich ergeben würden, wenn eine qualitätsbasierte Entwässerung umgesetzt werden würde. Ziel dieser Untersuchungen war es, die konkreten Auswirkungen der Konzeptumsetzung auf das NW-Management zu beschreiben sowie die über die zuvor definierten Nutzungs-/Behandlungswege abzuleitenden bzw. nutzbaren NW-Mengen zu ermitteln. Weiterhin sollte mit der Untersuchung geprüft werden, welche NW-Mengen bei Konzeptumsetzung durch die kommunale Kläranlage zu behandeln wären und ob eine bedarfsgerechte Ableitung und Behandlung der NW-Teilströme möglich ist.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
1 Grundsätzliches Vorgehen.....	4
2 Flächeneinteilung und Abschätzung der Teilabflüsse.....	4
3 Verschmutzungsabschätzung gemäß DWA-A102.....	11
4 Zusammenführung und Durchführung der Potentialabschätzung	18
5 Literaturverzeichnis.....	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Flächencharakterisierung für die Stadt Hildesheim, durchgeführt nach Belastungsklassen DWA A 102 mit der Software QGIS 3.16.....	5
Abbildung 2: Flächeneinteilung auf Basis des Flächennutzungsplans der Stadt Hildesheim.....	6
Abbildung 3: Einteilung des Teil-EZGs Hildesheim-Neustadt nach Belastungskategorien gemäß DWA-A102.....	12
Abbildung 4: M(V) curves for TSS (left), COD (right), for events 3,4 and 5.....	16
Abbildung 5: zeitliche Verteilung der Schmutzstoffkonzentration während eines Regenereignisses (Artina, S.; Bolognesi, A.; Liserra, T.; Maglionico, M.; Salmoiraghi, G. (2006): Experimental analysis of first foul flush in an industrial area. In: C. A. Brebbia und J. S. Antunes du Carmo: Water pollution VIII., S. 423-432.).....	16
Abbildung 6: Prozentualer Anteil der Schmutzstofffracht im Gesamt-EZG Hildesheim (Seminararbeit I. Skripnyuk).....	18

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der ausgemessenen Flächen mit der angegebenen Flächen nach dem FNP (Seminararbeit von I. Skripnyuk).	8
Tabelle 2: Gesamtflächen und prozentuale Flächenanteile der Teileinzugsgebiete der Stadt Hildesheim (Seminararbeit von I. Skripnyuk).	9
Tabelle 3: Gesamtfläche der Nutzungstypen (Seminararbeit von I. Skripnyuk).	10
Tabelle 4: Resultierende Flächen nach Nutzungsart und Festlegung der Belastungskategorie (BK)	11
Tabelle 5: Behandlungsbedürftigkeit von belastetem Niederschlagswasser (nach DWA A 102)	12
Tabelle 6: Mittl. Konzentrationen und flächenspez. jährlicher Stoffabtrag für AFS (nach DWA A 102)	12
Tabelle 7: Verschmutzungscharakterisierung nach Flächennutzung (Source: Ellis, J. Bryan; Mitchell, Gordon (2006): Urban diffuse pollution. Key data information approaches for the Water Framework Directive. In: Water & Environment J 20 (1), S. 19–26. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2006.00025.x.)	13
Tabelle 8: Abschätzung der Straßenflächen (Masterarbeit J. Halilov)	13
Tabelle 9: Zuordnung der Flächengruppen und Belastungskategorien (Masterarbeit J. Halilov)	14
Tabelle 10: Berechnung des resultierenden Stoffabtrags $B_{R,a,AFS63}$ (Masterarbeit J. Halilov)	15
Tabelle 11: Abschätzung des resultierenden Stoffabtrags aus dem Abflussvolumen. Fehler! Textmarke nicht definiert.	
Tabelle 12: Abschätzung des resultierenden Stoffabtrags aus dem Abflussvolumen (Masterarbeit J. Halilov).	15
Tabelle 13: Prozentuale Flächenanteile, Wassermengenanteile und Schmutzstofffrachtanteile der Nutzungstypen (Seminararbeit I. Skripnyuk)	17
Tabelle 14: Verwendete 10-jährige Niederschlagsreihe	19
Tabelle 15: Übersicht der 3 Szenarien für die Potenzialanalyse	19

1 Grundsätzliches Vorgehen

Die Ermittlung von NW-Mengen in urbanen Räumen und die Bewertung der NW-Verschmutzung ist Gegenstand mehrerer aktueller und abgeschlossener Forschungsinitiativen. Dabei gibt es zwei Ansätze. Zum einen liegen direkte Qualitätsmessungen des Niederschlagswassers vor [1, 3-5], die auch Aufschluss geben bezüglich der Dynamik der Verschmutzung im Verlauf eines Regenereignisses (z.B. Einfluss der Dauer vorangehender Trockenphasen oder der Einfluss der Regenintensität auf die Mobilisierung von Schmutzstoffen) [2, 6]. Zum anderen werden bereits erhobene Flächendaten herangezogen, um befestigte Flächen für beliebig abgrenzbare Raumeinheiten zu bestimmen und in einem weiteren Schritt daraus NW-Verschmutzungen abzuschätzen [7]. Die hier vorgestellten Untersuchungen basieren auf dem zweiten Ansatz und greifen auf Daten des aktuellen Flächennutzungsplans der Stadt Hildesheim zurück.

Am Beispiel der Stadt Hildesheim wurde für die vorliegende Potenzialanalyse eine Bilanzierung der jährlichen NW-Mengen durchgeführt, die sich ergeben würden, wenn eine qualitätsbasierte Entwässerung umgesetzt werden würde. Ziel dieser Untersuchungen war es, die konkreten Auswirkungen der Konzeptumsetzung auf das NW-Management zu beschreiben sowie die über die zuvor definierten Nutzungs-/Behandlungswege abzuleitenden bzw. nutzbaren NW-Mengen zu ermitteln. Weiterhin sollte mit der Untersuchung geprüft werden, welche NW-Mengen bei Konzeptumsetzung durch die kommunale Kläranlage zu behandeln wären und ob eine bedarfsgerechte Ableitung und Behandlung der NW-Teilströme möglich ist.

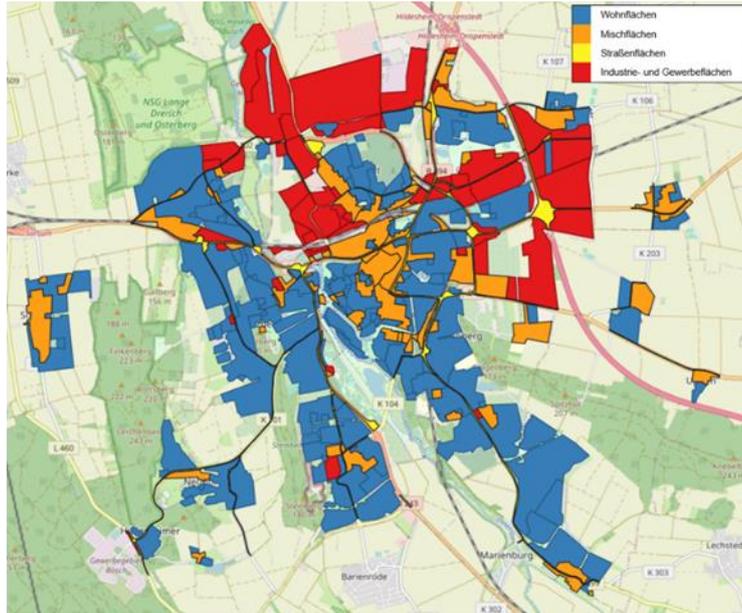
2 Flächeneinteilung und Abschätzung der Teilabflüsse

Wesentliche Inhalte dieses Abschnittes basieren auf der Seminararbeit von I. Skripnyuk, „Ermittlung der Potenziale der verschmutzungs-basierten Entwässerung im Hinblick auf die Reduzierung der Emissionen von Schadstoffen aus der Stadtentwässerung am Beispiel der Stadt Hildesheim“ durchgeführt 2020 am ISAH

Vorgehensweise der qualitätsbasierten NW-Bilanzierung für die Stadt Hildesheim

Zunächst wurde das Einzugsgebiet hinsichtlich der dominanten Flächennutzungen strukturiert und aufgeteilt. Dazu wurden die Flächen der Stadt Hildesheim mit dem aktuellen Flächennutzungsplan in die Flächennutzungen Industrie-/Gewerbeflächen, Straßenflächen, Mischflächen (Mischung aus Wohnbebauung und Gewerbeflächen) und Wohnflächen unterteilt und mit den 22 Teil-Einzugsgebieten (TEZG) in Hildesheim überlagert, sodass für jedes TEZG die Flächen einzeln berücksichtigt werden konnten. Dabei wurden sowohl die misch- als auch die trennentwässerten TEZG berücksichtigt. Die resultierende Einteilung der Flächen ist Abbildung 1 zu entnehmen. Die Umrechnung der kanalisierten Einzugsgebietsfläche ($A_{E,k}$) in eine befestigte Fläche ($A_{E,k,b}$) erfolgte zunächst mit klassischen Angaben, wie sie vielfach in der Fachliteratur genannt werden. Der Befestigungsgrad wurde für Industrie- und Gewerbeflächen mit 80 %, für Straßen mit 63 %, für Mischflächen mit 62 % und für Wohnflächen mit 35 % angesetzt [8].

Nach Flächennutzungsplan



Quelle: Nils Kabisch (ISAH)

Nach DWA-A 102



Quelle: Phillip Seybold (Masterarbeit ISAH)

Abbildung 1: Flächencharakterisierung für die Stadt Hildesheim, durchgeführt nach Belastungsklassen DWA A 102 mit der Software QGIS 3.16

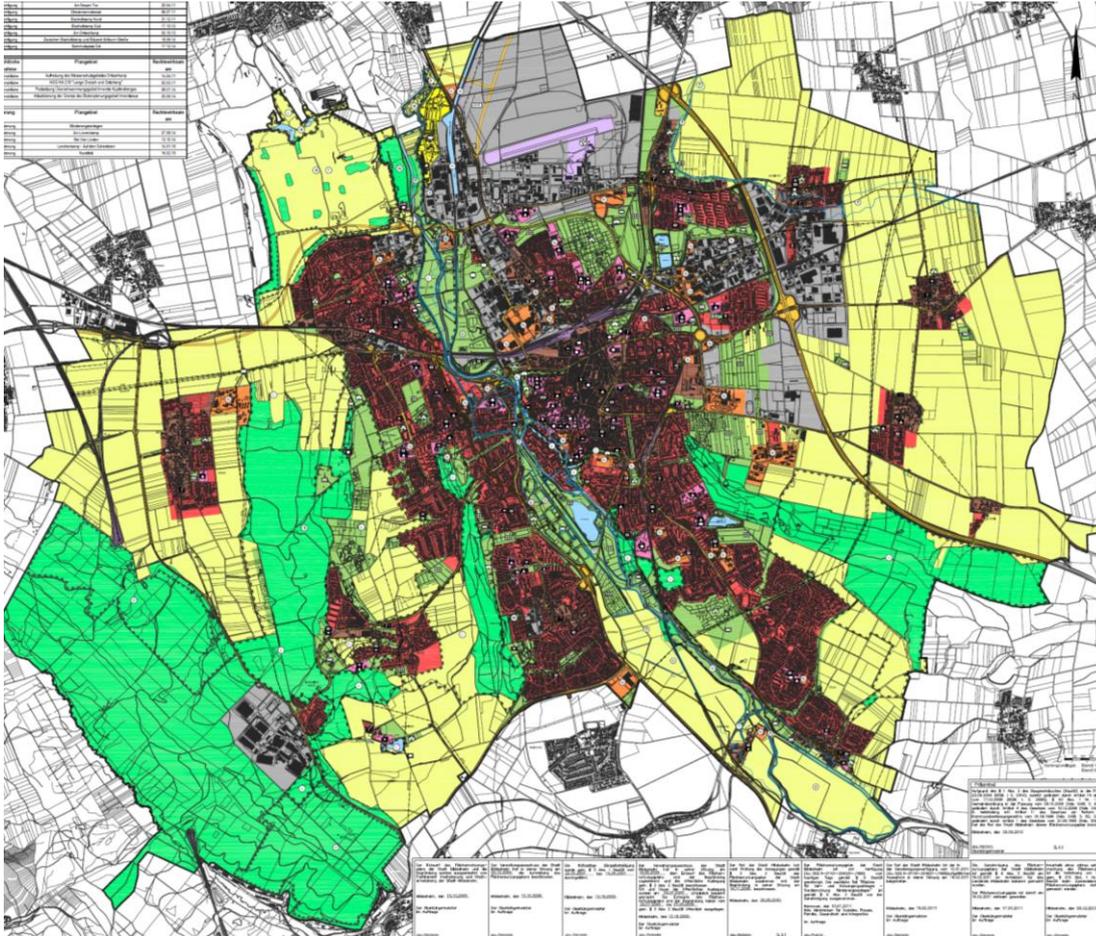


Abbildung 2: Flächeneinteilung auf Basis des Flächennutzungsplans der Stadt Hildesheim

Im Zuge der durchgeführten Literaturrecherche wurde deutlich, dass die Qualität des Niederschlagsabflusses sich flächendeckend am besten über die Nutzung der jeweiligen Fläche ableiten lässt. Je nach Flächennutzung werden Stoffe in unterschiedlicher Zusammensetzung und Menge aus vielfältigen Herkunftsquellen auf den urbanen Oberflächen deponiert und durch den Niederschlag aufgenommen und abgetragen. Zu den anderen Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität des Niederschlagsabflusses haben, gehören beispielsweise auch atmosphärische Depositionen, deren Belastung von der lokalen und regionalen Emissionssituation abhängt. All diese Einflüsse, die das Stoffdargebot beeinflussen, zusammen mit der Umsatzprozessen auf den befestigten Oberflächen führen zu einer unterschiedlichen Beeinträchtigung des Niederschlagsabflusses.

Die Aufteilung des Einzugsgebietes nach der Nutzungsart kann mit Hilfe eines Flächennutzungsplans erfolgen, da er über die unterschiedlichen Kategorien bestimmt, welche Nutzungen im jeweiligen Gebiet zulässig sind. Dabei wird das Einzugsgebiet der Stadt Hildesheim nach der Analyse des gültigen Flächennutzungsplanes in fünf Nutzungstypen aufgeteilt. Die unterschiedlichen Einzugsgebietstypen sollten potentiell unterschiedliche Schadstoffsignaturen auf Grund unterschiedlicher Nutzung repräsentieren. Die Bedeutung und Beschreibung aller Typen wurde aus der Begründung zum Flächennutzungsplan [11] und aus der Baunutzungsverordnung (BauNVO) entnommen. Dazu gehören:

Wohnbauflächen: unter der Wohnbauflächen werden allgemeine, reine oder besondere Wohnbaugebiete verstanden. Reine Wohngebiete dienen ausschließlich dem Wohnen. Allgemeine Wohngebiete dienen vorwiegend dem Wohnen. Auf diesen Flächen sind neben den Wohngebäuden auch die der Versorgung des Gebiets dienenden Läden, Schank- und Speisewirtschaften sowie nicht störenden Handwerksbetriebe zulässig. Besondere Wohngebiete dienen überwiegend dem Wohnen. Auf diesen Flächen ist aber auch eine Unterbringung von Geschäfts- und Bürogebäuden und Gewerbebetrieben wie beispielsweise Läden, Schank- und Speisewirtschaften, Beherbergungsbetriebe zulässig, soweit diese Betriebe und Anlagen mit der Wohnnutzung vereinbar sind.

Gemischte Bauflächen: unter den gemischten Bauflächen werden je nach Lage Kern-, Misch oder Dorfgebiete verstanden. Mischgebiete dienen dem Wohnen und der Unterbringung von Gewerbebetrieben, die das Wohnen nicht wesentlich stören. Auf diesen Flächen sind beispielsweise Wohngebäude, Tankstellen, Gewerbebetriebe, Beherbergungsbetriebe, Anlagen für Verwaltung zulässig. Dorfgebiete dienen der Wirtschaftsstellen land- und forstwirtschaftlicher Betriebe, dem Wohnen und der Unterbringung von nicht wesentlich störenden Gewerbebetrieben sowie der Versorgung der Bewohner des Gebiets dienenden Handwerksbetriebe. Kerngebiete dienen vorwiegend der Unterbringung von Handelsbetrieben sowie der zentralen Einrichtungen der Wirtschaft, der Verwaltung und Kultur. Eine Wohnnutzung ist auch in einem Kerngebiet zulässig.

Gewerbliche Bauflächen: unter den gewerblichen Bauflächen werden Gewerbe- oder Industriegebiete verstanden. Gewerbegebiete dienen vorwiegend der Unterbringung von nicht erheblich belästigenden Gewerbebetrieben aller Art. Lagerhäuser, Geschäfts-, Büro- und Verwaltungsgebäude, Tankstellen. Im Vergleich dazu dienen Industriegebiete ausschließlich der Unterbringung von Gewerbebetrieben, die in anderen Baugebieten unzulässig sind.

Straßen: zu den in dieser Kategorie erfassten Flächen gehören überörtliche und örtliche Hauptverkehrsstraßen sowie eine Bundesautobahn.

Restliche Flächen: unter restliche Flächen fallen Grünflächen, Wasserflächen, Flächen für die Landwirtschaft und Wald sowie Flächen für Bahnanlagen.

Die Sonderbauflächen, die der Erholung dienen, Flächen für Gemeinbedarf und Flächen für Entsorgungsanlagen konnten in keinen einheitlichen Kategorien zusammengefasst werden. Der erste Grund liegt daran, dass die auf diesen Flächen gebauten Einrichtungen sich beispielsweise in der unterschiedlichen Anzahl an Stellplätzen, Häufigkeit des Fahrzeugwechsels oder Nutzung von Hofflächen unterschieden. Dies führt aufgrund der Abhängigkeit der Höhe der Niederschlagswasserbelastung von der Verkehrsstärke und Fahrweise (Brems- und Anfahrvorgängen) [10] zu unterschiedlichen Verschmutzungen auf den Oberflächen und schließlich zu unterschiedlichen Beeinträchtigungen des Niederschlagswasserabflusses. Ein anderer Grund liegt an der fehlenden Information über die Konzentrationsbereiche in dem Niederschlagswasser, das von diesen Flächen abfließt. Um diese Flächen jedoch in der Auswertung zu berücksichtigen, wurde eine Abschätzung der potentiellen Oberflächenverschmutzung der Flächen durchgeführt und einer der fünf gebildeten Strukturtypen zugeordnet. Schulen, Kirchen, sozialen/kulturellen/sportlichen Zwecken dienende Gebäude, Kindergärten, Betreuungszentren, Flächen für Sport und Freizeit wurden der Wohnbaufläche zugeordnet, da diese Anlagen in den allgemeinen und besonderen Wohngebiete zulässig sind. Hotels, Behörden, Kliniken, Universitätsgebäude

und Berufsbildungszentren gehören zu den gemischten Bauflächen. Der gewerblichen Flächen wurden Einkaufszentren mit einer Geschossfläche über 1200 m², Park + Ride - Anlagen sowie Kläranlage und Abfallbeseitigungsanlage zugeordnet.

Für die Berechnung der aus diesen Nutzungstypen resultierenden Schmutzstofffrachten werden Flächengrößen benötigt, die anhand des gültigen Flächennutzungsplans und der Abbildung der Teileinzugsgebietsgrenzen mit Hilfe von Google Maps - Flächenrechner ausgemessen wurden. Die ausgemessenen Gesamtflächen aller Teileinzugsgebiete der Stadt Hildesheim wurden zur Kontrolle mit Gesamtflächen, die in der Begründung zum Flächennutzungsplan für die einzelnen Siedlungstypen angegeben sind, geprüft (Tabelle 1). Die Nutzungstypen Straße und Restliche Flächen sind in der Tabelle 1 nicht aufgeführt, da für beiden Nutzungsarten keine genaue Angabe in der Begründung zum FNP existiert. Im Bereich der gewerblichen Flächen konnte eine große Differenz identifiziert werden. Aus diesem Grund wurden zwei neue Einzugsgebiete (EZG - Nord und EZG - Süd-West) eingeführt, die die außerhalb der Teileinzugsgebiete liegende Flächen berücksichtigen. Alle anderen Nutzungstypen zeigen eine gute Übereinstimmung mit der Abweichung von 2,0% für die Wohnbauflächen und 5,3% für die gewerbliche Fläche.

Flächennutzung	FNP	Ausmessung	Abweichung
	[ha]	[ha]	[%]
Wohnbaufläche	1318	1292,3	-2,0
Gemischte Baufläche	351	332,3	-5,3
Gewerbliche Baufläche	833	575,7	-30,9

Tabelle 1: Vergleich der ausgemessenen Flächen mit der angegebenen Flächen nach dem FNP (Seminararbeit von I. Skripnyuk).

In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse dieser Ausmessung für alle Teileinzugsgebiete dargestellt.

	Gesamtfläche	Wohn- baufläche	Gemischte Baufläche	Gewerbliche Baufläche	Straßen	Restliche Bauflächen
	[ha]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Mastbergstraße	159	5,9	0,4	80	3,5	10,2
Cheruskerring	83,5	24,4	24,1	47,3	2,3	1,9
Speicherstraße	55,9	4	63,4	9,3	0,5	22,8
Schützenallee	735,6	24,3	11,5	28,8	5,0	30,4
Galgenberg	91,4	71,9	8,5	0	4,6	15
Alter Markt	32,1	47,4	52,6	0	0	0
Treibstraße	64,1	50,6	40,6	0	0,8	8
Groß Venedig	36,9	58,7	11,8	0	0	29,5
Lönswäldchen	140	77,4	7,7	0,7	2	12,2
Itzum/ Itzum - Neu	217	72,6	5,7	0	2	19,7
Hildesheimer Wald/ Neuhof	340	23,7	2,4	0	2	71,9
Sorsum	121	47,6	27	0	0	25,4
Bavenstedt	105	21,3	14	57,4	2,2	5,1
Himmelsthür	349	56,6	7,3	9,1	3,2	23,8
Einum	92,8	15,5	19,6	0	1,6	63,3
Drispstedt	203	27,4	15,1	17,7	4,3	35,5
Kläranlage	120	0	0	69,4	0,6	30
Ochtersum	138	60,8	9,9	4,5	3,9	20,9
Mittelfeld	34,8	87,1	0	0	1,5	11,4
Achtum/Uppen	57,7	47,5	30,3	0	4,2	18
Moritzberg	396	60,5	2,6	1	2,8	33,1
EZG Hauptsammler	154	7,6	3,6	25,3	0,8	62,7
EZG Nord	220	0	0	100	0	0
EZG Süd-West	81,3	0	0	100	0	0

Tabelle 2: Gesamtflächen und prozentuale Flächenanteile der Teileinzugsgebiete der Stadt Hildesheim (Seminararbeit von I. Skripnyuk).

Zu einer besseren Übersicht werden die Gesamtflächen der einzelnen Teileinzugsgebiete in Hektar angegeben und die Flächen der Nutzungstypen als prozentuale Anteile an der Gesamtfläche betrachtet. Die prozentualen Anteile beinhalten zu den fünf Kategorien addierte Sonderbauflächen, Flächen für Gemeinbedarf und Flächen für Entsorgungsanlagen. Die TEZG Itzum und Itzum - Neu wurden aufgrund der gleichen Zusammensetzung der Nutzungstypen zu einem gemeinsamen TEZG addiert.

Wie aus der Tabelle 2 ersichtlich ist, variieren die Teileinzugsgebiete stark in ihrer Größe und Zusammensetzung. Das größte Teileinzugsgebiet, Schützenallee, deckt 19,7% des gesamten Einzugsgebietes ab. Demgegenüber repräsentieren Alter Markt und Groß Venedig nur noch 0,9% bzw. 1,0% des Einzugsgebietes. Bezüglich der gesamten Flächennutzung aller TEZG bilden die Wohnbauflächen mit 35,56% den größten Siedlungsstrukturtyp der Stadt Hildesheim, gefolgt von restlichen mit 28,43% und gewerblichen Flächen mit 23,5%. Die gemischten Bauflächen decken 9,82% und Straßen nur noch 2,69% der Gesamtfläche. (Tabelle 3)

Wohn- baufläche	Gemischte Baufläche	Gewerbliche Baufläche	Straßen	Restliche Bauflächen
[ha]	[ha]	[ha]	[ha]	[ha]
1432,7 (35,56%)	395,6 (9,82%)	946,4 (23,5%)	108,3 (2,69%)	1145 (28,43%)

Tabelle 3: Gesamtfläche der Nutzungstypen (Seminararbeit von I. Skripnyuk).

Bei der Betrachtung der Zusammensetzung der einzelner Teileinzugsgebiete ist ersichtlich, dass nicht alle fünf Nutzungstypen zusammen innerhalb eines Teileinzugsgebietes auftreten. Während 21 von 22 TEZG die Wohnbauflächen beinhalten, sind die gewerblichen Flächen nur auf 11 von 22 Teileinzugsgebieten erkennbar. Des Weiteren wird in vielen TEZG die Dominanz eines Nutzungstyps festgestellt. So bestehen die TEZG Mastbergstraße, Cheruskerring, Bavenstedt und Kläranlage zum größten Teil aus gewerblichen Flächen. Die Wohnbauflächen dominieren in äußeren Stadtgebieten wie z.B. Ochtersum mit 60,8% oder Lönswäldchen mit 77,4%. In den innenstädtischen Gebieten wie Speicherstraße, Treibestraße und Alter Markt ist der Anteil an gemischten Bauflächen im Vergleich zu den äußeren Gebieten am größten.

Um das tatsächliche Abflussgeschehen in Hildesheim realistisch zu bilanzieren, wurde die befestigte angeschlossene Fläche ($A_{E,k,b,a}$) auf Grundlage einer bereits für die Stadt Hildesheim durchgeführten Simulationsstudie ermittelt. In der Arbeit von [9] wurde für den Zeitraum November 2000 bis Oktober 2001 mit einer befestigten angeschlossenen Fläche von 370 ha und einer jährlichen Niederschlagshöhe von 575 mm/a, eine zur Kläranlage abgeleitete NW-Menge von ca. 1,38 Mio. m³/a ermittelt. Messdaten zeigen, dass der NW-Zufluss zur Kläranlage im Untersuchungszeitraum dieser Studie (2009 – 2019) bei ca. 1,8 Mio. m³/a sowie die jährliche mittlere Niederschlagshöhe bei 660,5 mm/a (vgl. Tabelle 13) gelegen hat. Die in der vorliegenden Studie zugrunde gelegte befestigte angeschlossene Fläche ($A_{E,k,b,a}$) im IST-Zustand (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) kann somit unter Berücksichtigung des höheren NW-Zuflusses zur Kläranlage und der höheren mittleren jährlichen Niederschlagshöhe zu 420 ha berechnet werden. Der Anstieg der befestigten angeschlossenen Fläche im Vergleich zum Jahr 2000/2001 ist durch eine fortschreitende Bebauung zu erklären. Die Flächenberechnung ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Es liegen 338 ha Wohnfläche (38 %), 346 ha Industrie- und Gewerbefläche (39 %), 163 ha Mischfläche (18 %) und 44 ha Straßenfläche (5 %) vor. Insgesamt ergibt sich eine befestigte angeschlossene Fläche von 891 ha. Des Weiteren wurde in der Arbeit von [27] für das Einzugsgebiet Hildesheim ein mittlerer Abflussbeiwert (ψ_m) von 0,7 bezogen auf eine jährliche Niederschlagsbelastung festgestellt. Dieser Abflussbeiwert wird ebenfalls in der vorliegenden Untersuchung angewendet, um die Niederschlagshöhen in einen abflusswirksamen Niederschlag umzurechnen.

Nutzungsart	Kanalisierte Einzugsgebietsflächen (A _{E,k}) [ha]	Befestigte Fläche (A _{E,k,b})	Befestigte angeschlossene Fläche (A _{E,k,b,a}) [ha]	BK
Industrie/Gewerbe	645	516	346	III
Straße	105	66	44	III
Misch	392	243	163	II
Wohnen	1.438	503	338	I
Summe	2.580	1.328	891	-

Tabelle 4: Resultierende Flächen nach Nutzungsart und Festlegung der Belastungskategorie (BK)

3 Verschmutzungsabschätzung gemäß DWA-A102

Wesentliche Inhalte dieses Abschnittes basieren auf der Masterarbeit von Johann Halilov „Aufnahme und Bewertung verschiedener Einzugsgebiets-Charakteristika im Hinblick auf die Verschmutzung und dezentrale Behandlung von Niederschlagswasser“, 2021 und der Seminararbeit von I. Skripnyuk.

Verfahren für die Abschätzung der Verschmutzung im Gebiet der Stadt Hildesheim

Das im Dezember 2020 von der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) herausgegebene Arbeitsblatt DWA-A 102 regelt die Vorreinigung von Niederschlagsabflüssen innerorts bei Einleitung in Oberflächengewässer, jedoch nicht die Versickerung. Die unterirdische Einleitung, z.B. in Versickerungsanlagen wird derzeit noch in der M 153 geregelt, welche jedoch nach dem Erscheinen der sich noch im Gelbdruck befindenden DWA-A 138 annulliert wird. Ziel ist eine Harmonisierung der Regelwerke.

Die allgemeinen Ziele der DWA-A 102 sind die Begrenzung des Stoffeintrags in Oberflächengewässer. Die nachfolgenden Angaben und Verweise auf Anhänge beziehen sich auf den zweiten Teil der DWA-A 102 (Arbeitsblatt DWA-A 102-2/BWK-A 3-2).

Belastungskategorien:

- I (gering belastetes Niederschlagswasser)
- II (mäßig belastetes Niederschlagswasser)
- III (stark belastetes Niederschlagswasser)

Niederschlagsabflüsse von Flächen der Belastungskategorien II und III erfordern grundsätzlich eine Behandlung. Dies kann in zentralen oder dezentralen Behandlungsanlagen erfolgen, etwa über Sedimentation und/oder Filtration. Bei der Beurteilung ist der AFS63 Stoffrückhalt maßgebend, womit auch anteilig der Rückhalt angelagerter Schadstoffe wie PAK oder Schwermetalle berücksichtigt wird. Es ist eine möglichst genaue Flächenermittlung erforderlich.

Zielgewässer	Gering belastetes Niederschlagswasser (Kategorie I)	Mäßig belastetes Niederschlagswasser (Kategorie II)	Stark belastetes Niederschlagswasser (Kategorie III)
Oberflächen-gewässer	Einleitung grundsätzlich ohne Behandlung möglich	Grundsätzlich geeignete technische Behandlung erforderlich	
Grundwasser	Versickerung und gegebenenfalls Behandlung gemäß Arbeitsblatt DWA-A 138		

Tabelle 5: Behandlungsbedürftigkeit von belastetem Niederschlagswasser (nach DWA A 102)

Kategorie	Mittlere Konzentrationen $C_{R,AFS63}$ im Jahresregenwasserabfluss in mg/l	Flächenspezifischer Stoffabtrag $b_{R,a,AFS63}$ in kg/(ha-a)
Kategorie I	50	280
Kategorie II	95	530
Kategorie III	136	760

Tabelle 6: Mittl. Konzentrationen und flächenspez. jährlicher Stoffabtrag für AFS (nach DWA A 102)

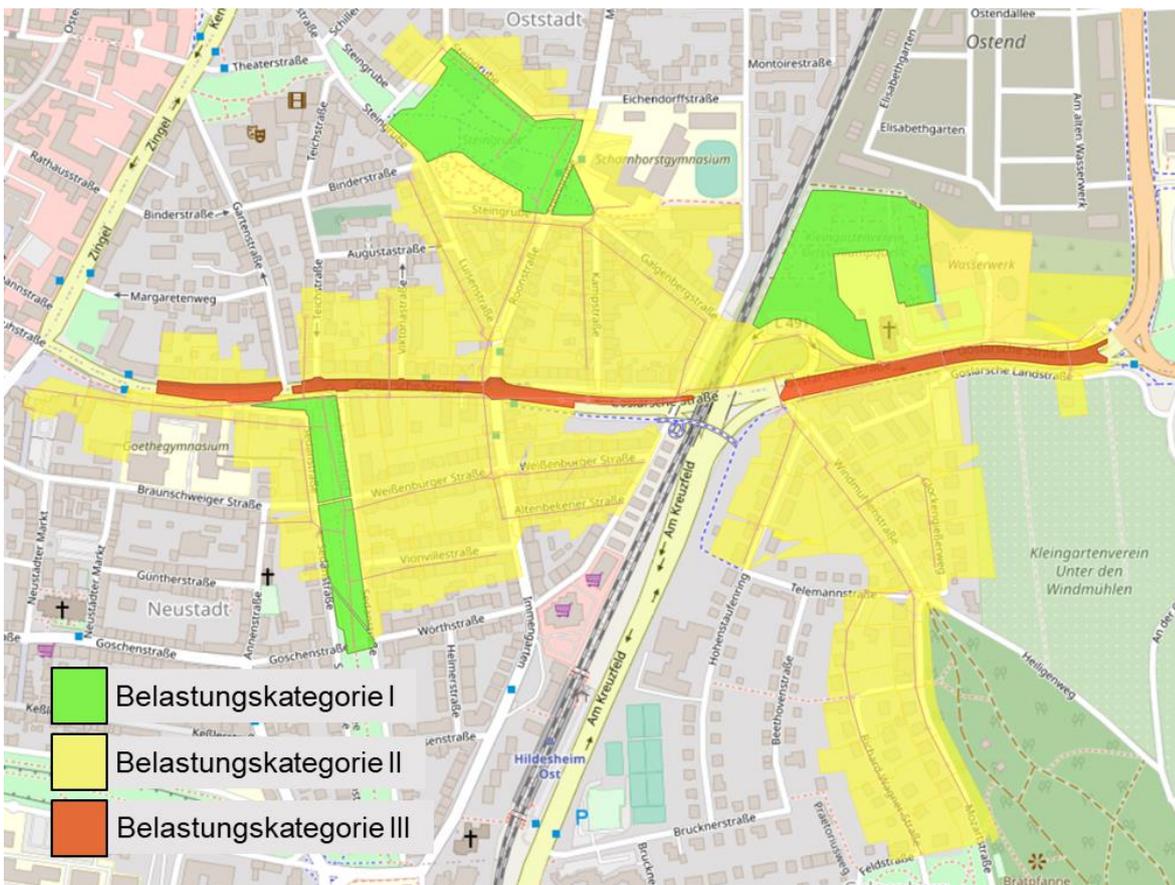


Abbildung 3: Einteilung des Teil-EZGs Hildesheim-Neustadt nach Belastungskategorien gemäß DWA-A102

Die Menge und Konzentration von Schmutzstoffen im Oberflächenabfluss ist abhängig von:

- der Dauer der vorangegangenen Trockenwetterperiode
- Dauer und Intensität des Regenereignisses
- Art und Größe des abgetragenen Schmutzstoffes
- **der Flächennutzung**

Table 2 Pollutant levels associated with various types of urban land uses

Source type	EMC concentration and range (mg/L)							<i>Escherichia coli</i> (MPN/100 mL)
	TSS	TVS	BOD	COD	NH ₄	Pb	PAH (ng/L)	
Urban open areas	126.3	–	7.9	36.0	0.1	0.061		
Residential areas	85.1		8.5	80.0	0.56	0.141		
Commercial areas	21–1104	28–124	5–17	20–120	0.03–3.7	0.01–0.44	1.0	10–10 ³
	50.4		9.9	146.2		0.133		
Industrial areas	18–2582	75–85	5–22	37–365	0.31–4.6	0.1–3.1	1.0–3.5	10 ² –10 ⁴
	50.4		9.9	146.2		0.133		
Highways	45–375	35–72	8–17	40–70	0.2–1.1	0.6–1.2		10
	194.5		23.9	136.5		0.33		
	156.9	18–86	8–32	89–209	0.02–	0.201	365	
Roof runoff	11–5700				2.8	0.01–34	–60 000	10–10 ³
	12.3–216	40–88	2.8–8.1	57.9–80.6	0.4–3.8	0.001–0.03		10 ² –10 ⁴
Gully pot liquors	15–840	185	6.8–241	25–109	0.7–1.39	0.06–0.85		10–10 ³

Values in **bold** type are for Motorways and *italics* are for other main roads; urban open areas include green space, parks, sports fields, cemeteries etc. Table compiled from Hall & Ellis (1985), Luker & Montague (1994), Butler & Clark (1995) and Mitchell (2001).

EMC, event mean concentration; TSS, total suspended solids; BOD, biological oxygen demand; COD, chemical oxygen demand; PAH, polyaromatic hydrocarbons; MPN, most probable number; TVS, total volatile solids.

Tabelle 7: Verschmutzungscharakterisierung nach Flächennutzung (Source: Ellis, J. Bryan; Mitchell, Gordon (2006): Urban diffuse pollution. Key data information approaches for the Water Framework Directive. In: Water & Environment J 20 (1), S. 19–26. DOI: 10.1111/j.1747-6593.2006.00025.x.)

Für eine Einteilung des TEZGs nach Flächenart wurden mithilfe von QGIS3 und der Erweiterung QuickOSM die Gebäudeflächen und die Straßenlängen aus den Daten von Openstreetmap ermittelt (Abbildung 3). Gebäudeflächen, die zu einem Teil außerhalb der Gebietsgrenzen liegen und deren Abfluss als in das TEZG einlaufend angenommen werden kann, werden vollständig aufgenommen.

Die durch Kraftfahrzeuge befahrenen Straßen sind dabei in drei Kategorien eingeteilt: residential, secondary und tertiary, für welche entsprechend als Erschließungsstraßen, Bundesstraßen und Landesstraßen breiten angenommen wurden, um die Flächen zu ermitteln.

Bezeichnung	Geschätzter Regelquerschnitt	Breite der befestigten Fläche	Länge	Resultierende Fläche
Erschließungsstraßen	RQ 7,5	5,5m	5098 m	28039 m ²
Bundesstraßen	RQ 15,5	11,5 m	2031 m	23356,5 m ²
Landesstraßen	RQ 9,5	6,5 m	527 m	3425,5 m ²

Tabelle 8: Abschätzung der Straßenflächen (Masterarbeit J. Halilov).

Die Gebäudeflächen können direkt aus QGIS mit 8,6383 ha ausgelesen werden. Mit den 5,4821 ha Straßenflächen ergeben sich die sonstigen befestigten Flächen zu 7,3265 ha. Den Flächen können nun nach Anhang A, Tabelle A.1 in Flächengruppen eingeteilt werden und damit die Belastungskategorie ermittelt werden.

Dachflächen können den Flächengruppen D, SD1 oder SD2 zugeordnet werden. Mit der Annahme, dass mindestens 20 % aber höchstens 70 % der Gesamtdachflächen Materialien aufweisen, die „zu signifikanten Belastungen des Niederschlagswassers mit gewässerschädlichen Substanzen führen“, werden die Dachflächen zu der Flächengruppe SD1 und damit Belastungskategorie II zugeordnet. Weiterhin wird im Rahmen dieser Berechnung die Vereinfachung getroffen, dass Gebäudeflächen gleich Dachflächen sind. Aus den zur Verfügung stehenden Daten der Verkehrszählung 2015 ist bekannt, dass die DTV-Werte für die Bundesstraße (Goslarsche Straße) größer als 15.000 sind und damit der Flächengruppe V3 zugeordnet werden können. Die Landesstraßen, Roonstraße und Immergarten, mit DTV-Werten von 8.225 und 7.410 können eindeutig der Gruppe V2 zugeordnet werden. Für die Erschließungsstraßen liegen keine Zählungen vor, jedoch können aufgrund der hohen Bebauungsdichte DTV-Werte > 300 angenommen werden, wodurch auch diese der Gruppe V2 zugeordnet werden. Die sonstigen Flächen werden zu 60 % den Flächengruppen VW2 und V2, z.B. Marktplätze oder Park- und Stellplätze mit mäßiger Frequentierung, zugeordnet. Die restlichen 40 % der sonstigen Flächen werden den Gruppen VW1 und V1, mit z.B. Fuß-, Rad- und Wohnwegen sowie Stellplätzen mit geringer Frequentierung zugeordnet.

	Fläche [ha]	Flächengruppe (Kurzzeichen)	Belastungskategorie
Befestigte Fläche	21,4469	-	-
Fläche Erschließungsstraßen	2,8039	V2	II
Fläche Landesstraßen	0,3426	V2	II
Fläche Bundesstraße	2,3357	V3	III
Gesamtfläche Straßen	5,4821	-	-
Gesamtfläche Gebäude	8,6383	SD1	II
Sonstige befestigte Flächen	7,3265	VW1, V1 (40%) VW2, V2 (60%)	I II

Tabelle 9: Zuordnung der Flächengruppen und Belastungskategorien (Masterarbeit J. Halilov).

Aus Tabelle 4 der DWA-A 102 können die Werte für den Flächenspezifischen Stoffabtrag $b_{R,a,AFS63}$ entnommen werden, um über die Flächen den resultierenden Stoffabtrag zu ermitteln.

Nach Tabelle 8 ergibt sich für das TEZG mit den angenommenen Flächengruppen der resultierende Stoffabtrag $B_{R,a,AFS63}=11171\text{kg/a}$. Eine Behandlung mit einem Wirkungsgrad von $\eta=50\%$, z.B. durch Filtereinsätze, würde diesen auf 5586kg/a reduzieren, welches einem flächenspezifischen Stoffabtrag von $260\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a}) < 280\text{kg}/(\text{ha}\cdot\text{a})$ entsprechen würde. Damit wäre eine Einleitung in Oberflächengewässer konform mit der Regelung nach der DWA-A 102.

Im Folgenden werden anhand des Abflussvolumens des Gebiets die resultierenden Schmutzfrachten abgeschätzt. Die Eingangswerte für die mittleren Stoffkonzentrationen sind Ellis und Mitchell (2006) für Wohn- und Mischgebiete entnommen. Der resultierende Stoffabtrag ergibt sich aus dem Gebietsabfluss von 9185 m^3 nach dem oben beschriebenen Modellregen.

Aus der Heterogenität der Schmutzfrachten im Regenabfluss und den damit verbundenen Unsicherheiten können die ermittelten Werte nur eine Orientierung bieten. Zudem ist aufgrund der gewählten Niederschlagshöhe für ein dreijähriges Regenereignis ein großes Abflussvolumen in die Berechnung eingegangen. Der flächenspezifische Stoffabtrag

	Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III
Fläche [ha]	2,9306	16,1806	2,3357
Flächenspezifischer Stoffabtrag [kg/ha*a]	280	530	760
Resultierender Stoffabtrag [kg/a]	821	8576	1775

Tabelle 10: Berechnung des resultierenden Stoffabtrags $B_{R,a,AFS63}$ (Masterarbeit J. Halilov).

NH₄-N	0,56	5	0,125
Stickstoff	3,2	29	0,715
Phosphor	0,34	3	0,076
Blei	0,14	1	0,031
Zink	0,30	3	0,067
Kohlenwasserstoffe	1,9	17	0,424
PAK	0,01	0,1	0,002

Tabelle 11: Abschätzung des resultierenden Stoffabtrags aus dem Abflussvolumen (Masterarbeit J. Halilov).

bezieht sich auf die Gesamtfläche des TEZGs von $41,1\text{ ha}$.

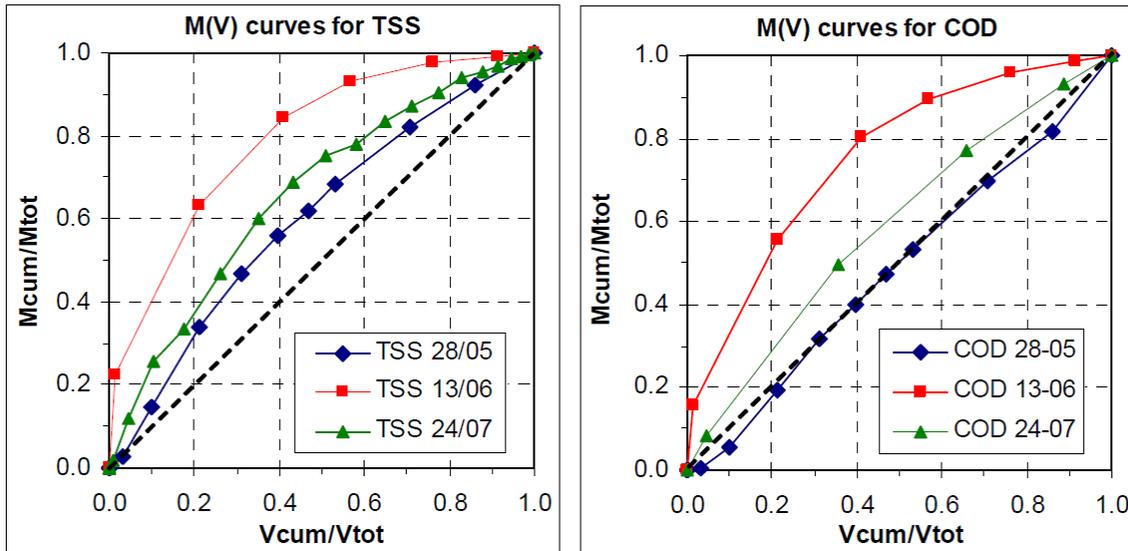


Abbildung 4: M(V) curves for TSS (left), COD (right), for events 3,4 and 5.

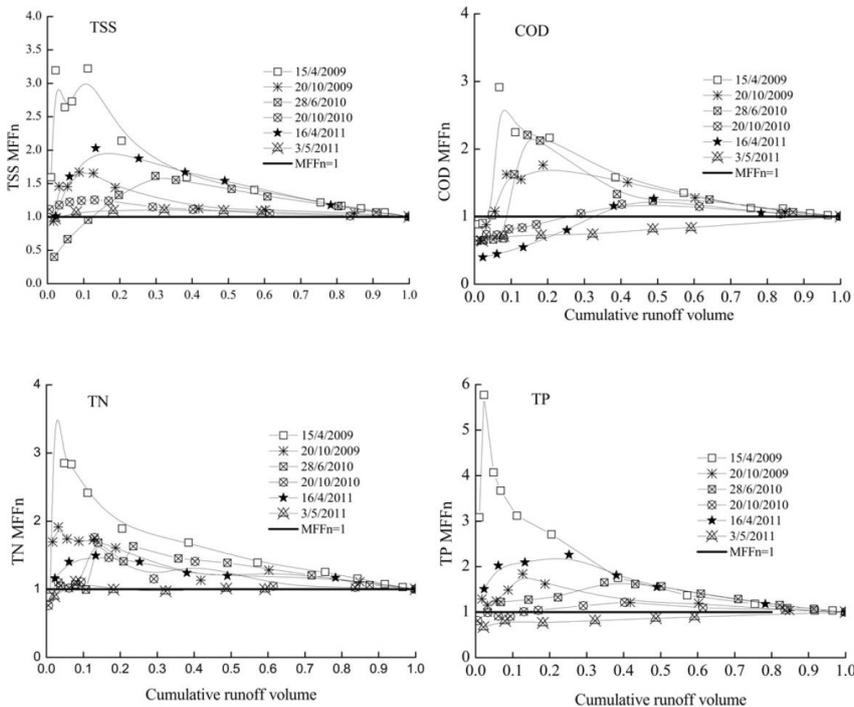


Fig 3. The indicator MFFn used to identify the first flush effect in NS.

Abbildung 5: zeitliche Verteilung der Schmutzstoffkonzentration während eines Regenereignisses (Artina, S.; Bolognesi, A.; Liserra, T.; Maglionico, M.; Salmoiraghi, G. (2006): Experimental analysis of first foul flush in an industrial area. In: C. A. Brebbia und J. S. Antunes du Carmo: Water pollution VIII., S. 423-432.)

Die dominierenden Einträge der Schwermetalle und Mikroplastik in das Kanalnetz sind zum überwiegenden Teil auf gewerblichen Flächen zurückzuführen. Der größte transportierte Frachtanteil ergibt sich bei Chrom (75%) und bei Mikroplastik (73%), gefolgt von Kupfer (62%), Zink (58%) und Blei (45%), während der geringste mit ca. 32% bei abfiltrierbaren Feststoffen festgestellt werden kann, was ungefähr dem Austrag von AFS aus dem Wohngebiet entspricht. Auch die Parameter wie CSB und BSB mit rd. 48% und 58% zeigen

einen hohen Anteil an der Gesamtemission jeweiliger Stoffe. Die gewerblichen Flächen zu einem Haupteintragspfad für die meisten hier betrachteten Stoffe machen zu einem hohen Konzentrationen der Schmutzstoffe in dem Niederschlagsabfluss. Zum anderen resultieren sich aufgrund eines hohen Versiegelungsgrades die höchsten Wassermengeneinträge in die Kanalisation (45,5%) (Tabelle 7), obwohl der Flächenanteil der gewerblichen Fläche an der Gesamtfläche der Stadt Hildesheim rd. 23,5% beträgt und kleiner als der Flächenanteil der Wohnflächen und restlichen Flächen ist.

Im Vergleich zu den Einträgen aus gewerblichen Flächen sind die resultierenden Einträge aus dem Wohngebiet, der den größten Flächenanteil von 35,56% und den zweitgrößten Wassermengeneintrag (30,1%) aufweist, für die meisten Stoffe deutlich kleiner. Die eingetragenen Anteile der Stofffrachten sind bei CSB und BSB ungefähr halb so groß im Vergleich zu gewerblichen Flächen, bei Schwermetallen ergibt sich das Verhältnis von ungefähr 1:1,5 bis 70, anhängig von dem jeweiligen Schwermetall. Bei abfiltrierbaren Stoffen ist aber die Bedeutung der Wohngebiete hervorzuheben. Mit ca. 35% an der Gesamtemission sind die Wohngebiete für den Eintrag der AFS dominant.

Der drittgrößte Wassermengeneintrag in das Kanalnetz mit 14,6% kommt aus den gemischten Flächen. Diese Menge unterscheidet sich im Vergleich zu den Wassermengeneinträgen aus den Wohnflächen um ca. das 2-fache, obwohl der Flächenanteil um ca. 4-fache kleiner ist. Bezüglich der eingetragenen Stofffrachten fallen relativ gleich große Frachtanteile bei allen Stoffen auf, die in einem Bereich zwischen ca. 12% bis 15% liegen. Aufgrund der höheren Konzentration der Stoffe im Niederschlagsabfluss zeigen die gemischten Flächen ungefähr gleich große Frachtanteile für Cu, Zn und MP wie bei Wohnflächen. Die restlichen Flächen weisen trotz ihrer bedeutend größeren Flächenanteil von 28,43% kleinere Anteile der Schmutzstofffrachten von unter 10% auf. Diese Flächen bestehen zum größten Teil aus Grünflächen und besitzen den kleinsten Versiegelungsgrad im Vergleich zu den anderen Flächen, was sicher zum kleineren Anteil in die Kanalisation gelangten Oberflächenabflussmengen von 5,7% führt.

Flächennutzung	Flächenanteil	Q	AFS	Cu	Zn	Cr	Pb	MP	CSB	BSB
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Wohnflächen	35,56	30,1	35,6	10,9	16,4	0,7	31,5	11,4	21,0	22,7
Gemischte Flächen	9,82	14,6	13,7	12,7	13,5	12,1	14,9	14,6	14,4	14,3
Gewerbliche Flächen	23,5	45,5	31,8	62,6	59,0	75,6	44,9	73,3	57,9	47,8
Straße	2,69	4,1	8,9	13,8	11,1	11,6	6,1	0,7	4,9	10,4
Restliche Flächen	28,43	5,7	10,0	-	-	-	2,6	-	1,8	4,8

Tabelle 12: Prozentuale Flächenanteile, Wassermengenanteile und Schmutzstofffrachtanteile der Nutzungstypen (Seminararbeit I. Skripnyuk)

Auffällig an den Bilanzergebnissen sind schließlich die hohen Einträge der Schmutzstoffe aus der Flächennutzung Straßen, die einen sehr kleinen Anteil von unter 3% an der Gesamtfläche und den kleinsten Wassermengenanteil von 4,1% aufweist. Besonders hohe Frachteinträge können bei Schwermetallen identifiziert werden. Bei Cr, Zn und Cu liegen die Einträge in einem Bereich zwischen 11% bis 14%, was ungefähr der Frachtanteil der gleichen Schwermetalle aus dem Gebiet gemischter Nutzung und aus dem Wohngebiet entspricht. Blei weist einen kleineren Frachtanteil von ca. 6% auf. Bei AFS und CSB ergibt sich ein Verhältnis zum Wohnbaugebiet von rd. 1:4, bei BSB rd. 1:2. Der Frachtanteil von Mikroplastik fällt allerdings im Vergleich zu den anderen Parametern sehr klein auf und beträgt weniger als 1 %, was aber Fragen zu der Richtigkeit dieses Ergebnisses stellt. Laut

der durchgeführten in Kapitel 2 Literaturrecherche sind 54% des Gesamteintrags des Mikroplastik auf den Straßenverkehr zurückzuführen und macht dadurch die Straße zu einer der wichtigsten Quellen. Basierend auf dieser Aussage könnte vermutet werden, dass das Nutzungstyp "Straße" den größten Frachtanteil bildet. Jedoch wurden in dem Nutzungstyp "Straße" ausschließlich die Hauptverkehrsstraßen sowie eine Bundesautobahn berücksichtigt, nicht die mittleren und kleineren Straßen sowie anderen Verkehrsflächen. Diese Flächen wurden in den Nutzungstypen "Wohnbaufläche", "gemischte" und "gewerbliche Baufläche" berücksichtigt und bilden zusammen eine viel größere Fläche im Vergleich zu dem Nutzungstyp Straße, was dazu führt, dass diese Flächen auch einen größeren Anteil an der Mikroplastik-Gesamtfracht bilden.

Das Ausmaß der Verschmutzung wird durch eine Klassifizierung anhand des Nutzungstyps kalkuliert. Dabei ist zu sehen, wie sich die Proportionen für individuelle Verschmutzer je nach Typ unterscheiden. Der Hauptverursacher ist hierbei die Industrie, was jedoch in den nächsten Jahren noch durch Messungen und größere Differenzierung im Detail für verschiedene Typen der industriellen Nutzung verifiziert werden muss.



Abbildung 6: Prozentualer Anteil der Schmutzstofffracht im Gesamt-EZG Hildesheim (Seminararbeit I. Skriptyuk)

4 Zusammenführung und Durchführung der Potentialabschätzung

Im nächsten Schritt wurden für das Einzugsgebiet Hildesheim für alle Einzelflächen (vgl. Abbildung 3) die resultierenden NW-Mengen auf Jahresbasis berechnet. Die hierzu verwendeten Niederschlagsdaten stammen von der Messstation Alfeld, die ca. 20 km entfernt von Hildesheim liegt (vgl. Tabelle 13). Die zur Verfügung stehenden Niederschlagshöhen liegen mit einer Datendichte von mm/min vor. Vergleichbare Niederschlagsdaten lagen für die Stadt Hildesheim nicht vor. Unter Ausklammerung des

Jahres 2017 beträgt die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge im Betrachtungszeitraum 660,5 mm/a.

Jahr	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019
[mm/a]	729.2	762.0	633.7	607.0	686.5	716.5	733.1	593.7	477.7	665.2

Tabelle 13: Verwendete 10-jährige Niederschlagsreihe

(https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/1_minute/precipitation/historical/)¹

Zur beispielhaften Quantifizierung der unter Ansatz eines qualitätsbasierten Entwässerungskonzepts über die unterschiedlichen Ableitungs- und Nutzungs-/Behandlungswege abzuleitenden NW-Mengen, wurden für das Hildesheimer Stadtgebiet 3 Szenarien entwickelt und untersucht, die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** spezifiziert werden. In die Szenarienbetrachtung fließen die oben beschriebenen Eingangsdaten ein.

Szenario	Industrie- und Gewerbeflächen		Straßenflächen		Mischflächen		Wohnflächen	
S0	IST-Zustand							
S1	an angeschlossen	KA	an angeschlossen	KA	von abgekoppelt	KA	von abgekoppelt	KA
S2	an angeschlossen	KA	an angeschlossen	KA	Abfluss der ersten 30 Min. an angeschlossen	KA	von abgekoppelt	KA

Tabelle 14: Übersicht der 3 Szenarien für die Potenzialanalyse

- Das **Szenario 0** (S0) ist das Referenzszenario und bildet den aktuellen Zustand der an die Kläranlage angeschlossenen Flächen ab und berücksichtigt daher ausschließlich die Flächen der mischentwässerten Gebiete und dies ohne Berücksichtigung oder Unterscheidung von Belastungskategorien.
- Im **Szenario 1** (S1) wird das Niederschlagswasser von sämtlichen als starkverschmutzt angenommenen Flächen (d.h. Industrie-, Gewerbe- und Straßenflächen), sowohl aus den misch- als auch aus den trennentwässerten Gebieten, zur Kläranlage abgeleitet und einer Behandlung zugeführt. Die Misch- und Wohnflächen hingegen werden von der Kläranlage abgekoppelt, sodass

¹ Aufgrund extremer Niederschlagsereignisse im Juni und Juli des Jahres 2017, die in der Region und auch in Hildesheim zu Hochwasser und Überflutungen geführt haben, wurde das Jahr 2017 mit einem jährlichen Niederschlag von 934,7 mm/a bei der Untersuchung nicht berücksichtigt.

dieses Niederschlagswasser mit oder ohne NW-Behandlung genutzt bzw. direkt eingeleitet werden kann.

- Das **Szenario 2** (S2) gestaltet sich betrieblich aufwändiger, da zusätzlich zu den Industrie-, Gewerbe- und Straßenflächen der „First Flush“ von den Mischflächen (BK II) ebenfalls zur Kläranlage abgeleitet wird. Hierzu werden die ersten 30 Minuten des Abflusses von Mischflächen angesetzt. Nach 30 Minuten erfolgt dann eine Abkopplung der Mischflächen, wodurch eine Reduzierung der Belastung der Ableitungs- und Behandlungskapazitäten durch nicht behandelbedürftiges Niederschlagswasser erreicht werden soll.

5 Literaturverzeichnis

- [1] D. Leutnant, „Monitoring, analysis and modelling of urban stormwater quality“. Dissertation, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz, Graz, 2018.
- [2] R. Kobencic, Verunreinigung des Regenwasserabflusses von Dachflächen, Diplomarbeit, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz, 2002.
- [3] P. Baum und Krauß, M. und Dittmer, U., „Untersuchungen zur Schadstoffbelastung von Oberflächenabflüssen aus einem Gewerbegebiet und zu deren Behandelbarkeit“. [Poster], Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart, Stuttgart, Abwasserkolloquium, 10. Okt. 2019.
- [4] G. Gruber, M. Pichler, T. Hofer, R. Maier und M. Clara, „Die Beprobung von Jahresschmutzfrachten in einem Mischwasser- und einem Niederschlagswasserkanal bei Regenwetter“, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jg. 72, S. 236–244, 2020, doi: 10.1007/s00506-020-00658-9.
- [5] A. Welker, M. Dierschke und L. Gelhardt, „Methodische Untersuchungen zur Bestimmung von AFS63 (Feine Abfiltrierbare Stoffe) in Verkehrsflächenabflüssen“, GWF. Wasser + Abwasser, Jg. 160, Nr. 4, S. 79–88, 2019.
- [6] D. Leutnant, D. Muschalla und M. Uhl, „Stormwater Pollutant Process Analysis with Long-Term Online Monitoring Data at Micro-Scale Sites“, Water, Jg. 8, Nr. 7, S. 299, 2016, doi: 10.3390/w8070299.
- [7] F.-W. Bolle, G. Kutschera, S. Tabatabaei, L. Indjike, Wasserwirtschaftliche Ermittlung und Anwendung von digitalen Versiegelungsdaten aus Amtlichen Liegenschaftskatastern, Abschlussbericht, Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH, Aachen, 2018.
- [8] H.-W. Basedow, Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen, 2. Aufl., Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 2015.
- [9] Burkhardt M. (2019). Mikroschadstoffe im Regenwasser: Erkenntnisse und Behandlungsmöglichkeiten. 31. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft, 18./19. September 2019.
- [10] Seggelke, K. (2002): Integrierte Bewirtschaftung von Kanalnetz und Kläranlage zur Reduzierung der Gewässerbelastung. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2002. Hannover: ISAH, 2002. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover. ISBN 3-921421-54-3.
- [11] Fachbereich Stadtplanung und Stadtentwicklung: Begründung zum Flächennutzungsplan Hildesheim, 2011.