



Immissionsbezogene Bewertung der Einleitung von Straßenabflüssen

Auftraggeber	Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr Göttinger Chaussee 76 A, 30453 Hannover
Auftragnehmer	Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie mbH Stiftstraße 12, 30159 Hannover
Berichtsdatum	April 2018

Gutachten

Immissionsbezogene Bewertung der Einleitung von Straßenabflüssen

Aufgestellt:

Hannover, den 18.04.2018

ifs Ingenieurgesellschaft für
Stadthydrologie mbH
Hannover

Projektbearbeitung

Dr.-Ing Dieter Grotehusmann


.....

Kerstin Kornmayer M. Eng.


.....

Inhalt

1	Veranlassung und Vorgehen	1
2	Wesentliche rechtliche Grundlagen	1
2.1	Wasserrahmenrichtlinie und Wasserhaushaltsgesetz	1
2.2	Oberflächengewässerverordnung	2
3	Straßenspezifische Parameter	6
3.1	Parameterauswahl	6
3.2	Einflüsse auf die Konzentrationen im Straßenabfluss	8
3.3	Konzentrationen und Frachten im Straßenabfluss	11
4	Regenwasserbehandlungsanlagen	16
4.1	Versickerung	16
4.2	Sedimentationsanlagen	17
4.3	Retentionsbodenfilter	25
5	Bewertung der Einleitung von Straßenabflüssen	29
5.1	Bewertung bezüglich des chemischen Zustandes	29
5.2	Bewertung bezüglich des ökologischen Zustandes	32
5.2.1	Flussgebietsspezifische Schadstoffe	32
5.2.2	Allgemeine physikalisch-chemische Qualitätskomponenten	34
5.3	Fazit	35
6	Resultierende Konzentration im Oberflächengewässer	36
6.1	Berechnung der Konzentration bezüglich der JD-UQN	36
6.2	Berechnung der Konzentration bezüglich der ZHQ-UQN	38
6.3	Berechnungsbeispiele	40
7	Zusammenfassung	43
8	Literatur und Quellen	45

1 Veranlassung und Vorgehen

Anlagen zur Straßenentwässerung werden derzeit nach dem Emissionsprinzip nach den RAS-Ew bzw. innerhalb von Wasserschutzgebieten nach den RiStWag geplant. Zukünftig ist zu prüfen, ob diese Vorgehensweise mit den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) vereinbar ist und eine Verschlechterung der Umweltqualitätsnormen nicht zu befürchten ist. Diese Fragestellung soll im Rahmen dieses Gutachtens geklärt werden.

Dazu werden in einem ersten Schritt die Parameter identifiziert, für die in der OGewV Umweltqualitätsnormen vorliegen und die gleichzeitig im Straßenabfluss in relevanten Konzentrationen vorkommen, bzw. durch den Straßenverkehr emittiert werden. Im nächsten Schritt erfolgt eine Zusammenstellung über bislang im Straßenabfluss gemessene Konzentrationen dieser Parameter. Daraus werden eine mittlere und eine hohe Belastung der Straßenabflüsse abgeleitet, die für die Bewertung hinsichtlich der Einleitung von Straßenabflüssen und den Vergleich mit den Umweltqualitätsnormen herangezogen werden sollen. In einem dritten Schritt wird die Wirkung der üblicherweise eingesetzten Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung aus Literaturdaten zusammengestellt und daraus mittlere Wirkungsgrade ermittelt. Im letzten Schritt kann dann eine Bewertung der Ablaufkonzentrationen dieser Anlagen bezogen auf die UQN vorgenommen werden.

Die Belastung der Straßenabflüsse mit Chlorid aus dem Winterdienst ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens. Für Chlorid ist jeweils eine gesonderte Bewertung durchzuführen.

2 Wesentliche rechtliche Grundlagen

2.1 Wasserrahmenrichtlinie und Wasserhaushaltsgesetz

Die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik vom 23. Oktober 2000 (**Wasserrahmenrichtlinie - WRRL**) bezweckt eine nachhaltige und umweltverträgliche Gewässerbewirtschaftung.

Gemäß Art. 1 a) WRRL ist die „weitere Verschlechterung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängigen Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt“ zu vermeiden, deren Zustand zu schützen und zu verbessern.

Hinsichtlich der in den Bewirtschaftungsplänen für die Einzugsgebiete festgelegten Maßnahmenprogramme verpflichtet Art. 4 Abs. 1 a) i) WRRL die Mitgliedsstaaten „notwendige Maßnahmen“ durchzuführen, „um eine Verschlechterung des Zustandes aller Oberflächenwasserkörper zu verhindern“.

Die Vorgaben der WRRL werden durch das Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (**Wasserhaushaltsgesetz - WHG**) vom 31. Juli 2009 in nationales Recht umgesetzt. In § 27 bzw. § 47 WHG werden Bewirtschaftungsziele für oberirdische Gewässer bzw. Grundwasser definiert.

Zur Bestimmung des Zustands der Oberflächengewässer werden in Anhang V WRRL Qualitätskomponenten für die Einstufung des ökologischen und chemischen Zustands von Oberflächengewässern beschrieben und festgesetzt.

Die Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (**Oberflächengewässerverordnung - OGewV**) vom 20. Juni 2016 setzt die Vorgaben der WRRL und WHG um. U. A. werden hier die Qualitätskomponenten und Bewertungsverfahren zur Bestimmung des ökologischen Zustands bzw. ökologischen Potenzials eines Oberflächengewässers konkretisiert und festgelegt.

Für die wasserkörperbezogene Prüfung nach WRRL ist die Einhaltung folgender Bewirtschaftungsziele zu klären:

- Sind Verschlechterungen des ökologischen und chemischen Zustands der Oberflächengewässer durch das geplante Vorhaben zu erwarten? (Verschlechterungsverbot)
- Werden die Bewirtschaftungsziele für die betroffenen Wasserkörper durch das Vorhaben negativ beeinflusst bzw. können die Bewirtschaftungsziele durch das Vorhaben nicht erreicht werden? (Verbesserungsgebot)

Gemäß Urteil des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) vom 01.07.2015 im Verfahren C-461/13 zur Weservertiefung ist das Verschlechterungsverbot auch bei Zulassungen bzw. Genehmigungen für jedes Vorhaben anzuwenden.

Weiterhin wurde hinsichtlich der Auslegung des Begriffs „Verschlechterung des Zustands“ im o.g. Verfahren folgendes Urteil gefällt:

- Der Begriff der Verschlechterung des Zustands eines Oberflächenwasserkörpers in Art. 4 Abs. 1 Buchst. a Ziff. i der Richtlinie 2000/60 ist dahin auszulegen, dass eine Verschlechterung vorliegt, sobald sich der Zustand mindestens einer Qualitätskomponente im Sinne des Anhangs V der Richtlinie um eine Klasse verschlechtert, auch wenn diese Verschlechterung nicht zu einer Verschlechterung der Einstufung des Oberflächenwasserkörpers insgesamt führt.
- Ist die betreffende Qualitätskomponente im Sinne von Anhang V bereits in der niedrigsten Klasse eingeordnet, stellt jede Verschlechterung dieser Komponente eine „Verschlechterung des Zustands“ eines Oberflächenwasserkörpers dar.

Anlässlich des o.g. Urteilsspruchs erfolgt die Prüfung des geplanten Bauvorhabens auf Grundlage des strengeren Bewertungsmaßstabs für das Verschlechterungsverbot und Verbesserungsgebot. Räumlicher Maßstab für die Beurteilung ist der gesamte Wasserkörper (vgl. Rechtsgutachten Füßer und Kollegen, 2016).

2.2 Oberflächengewässerverordnung

Die Einstufung des ökologischen Zustands/Potenzials eines Oberflächenwasserkörpers erfolgt nach den Qualitätskomponenten der Oberflächengewässerverordnung (OGewV), die die Anforderungen der WRRL umsetzt. Gemäß Anlage 3 OGewV wird in die Qualitätskomponenten - biologisch, hydromorphologisch, chemisch und allgemein physikalisch-chemisch - unterschieden. Weiterhin wird nach Typen von Oberflächenwasserkörper (Kategorie) differenziert und typspezifische Komponenten für die Bewertung festgelegt. In den folgenden Tabellen sind die Qualitätskomponenten je Gruppe und Kategorie zusammengestellt. Es wird in die vier Kategorien

- Flüsse = F,
- Seen = S,
- Übergangsgewässer = Ü,

- Küstengewässer = K

unterschieden.

Vorrangig wird der ökologische Zustand/ Potenzial eines Oberflächenwasserkörpers nach den biologischen Qualitätskomponenten (aquatische Flora, benthische Wirbellosenfauna und Fischfauna) und den flussgebietsspezifischen Umweltqualitätsnormen gemäß Anlage 6 OGewV bewertet. Die jeweils schlechteste Bewertung einer der biologischen Qualitätskomponenten in Verbindung mit Anlage 4 OGewV ist maßgebend für die Einstufung des ökologischen Zustands oder des ökologischen Potenzials (§5(4) OGewV).

Werden die Anforderungen für flussgebietsspezifischen Schadstoffe nach Anlage 6 der OGewV für eine Umweltqualitätsnorm oder mehrere Umweltqualitätsnormen nicht eingehalten, ist der ökologische Zustand/ Potenzial höchstens als mäßig einzustufen.

Tabelle 2.1: Biologische Qualitätskomponenten gemäß OGewV, Anlage 3 Nummer 1

Qualitätskomponentengruppe	Qualitätskomponente	Parameter	Kategorie			
			F	S	Ü	K
Gewässerflora	Phytoplankton	Artenzusammensetzung, Biomasse	X ¹	X	X	X
	Großalgen oder Angiospermen	Artenzusammensetzung, Artenhäufigkeit			X ²	X ²
	Makrophyten/Phytobenthos	Artenzusammensetzung, Artenhäufigkeit	X	X	X ²	
Gewässerfauna	Benthische wirbellose Fauna	Artenzusammensetzung, Artenhäufigkeit	X	X	X	X
	Fischfauna	Artenzusammensetzung, Artenhäufigkeit, Altersstruktur	X	X	X ³	

1) Bei planktondominierten Fließgewässern zu bestimmen.

2) Zusätzlich zu Phytoplankton ist die jeweils geeignete Teilkomponente zu bestimmen.

3) Altersstruktur fakultativ.

Tabelle 2.2: Chemische Qualitätskomponenten gemäß OGewV, Anlage 3 Nummer 3.1

Qualitätskomponentengruppe	Qualitätskomponente	Parameter	Kategorie			
			F	S	Ü	K
Flussgebietsspezifische Schadstoffe	synthetische und nichtsynthetische Schadstoffe in Wasser, Sedimenten oder Schwebstoffen	Schadstoffe nach Anlage 6	X	X	X	X

Darüber hinaus sind die hydromorphologischen Qualitätskomponenten (s. Tabelle 2.3) und die allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten (s. Tabelle 2.4) in Verbindung mit Anlage 7 OGewV zur Bewertung des ökologischen Zustands/Potenzials unterstützend hinzuzuziehen.

Veränderungen der biologischen Qualitätskomponenten können erst eine gewisse Zeit nach Umsetzung einer Maßnahme direkt festgestellt werden. Hilfsweise wird daher vor

der Umsetzung der Maßnahme die potenzielle Auswirkung anhand der hydromorphologischen und der allgemein physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten beurteilt. Verschlechtert sich die Zustandsklasse dieser Qualitätskomponenten, ist das ein Indiz dafür, dass sich auch die biologischen Qualitätskomponenten nachteilig verändern können.

Tabelle 2.3: Hydromorphologische Qualitätskomponenten gemäß OGewV, Anlage 3 Nummer 2

Qualitätskomponente	Parameter	Kategorie			
		F	S	Ü	K
Wasserhaushalt	Abfluss und Abflussdynamik	X			
	Verbindung zu Grundwasserkörpern	X	X		
	Wasserstandsdynamik		X		
	Wassererneuerungszeit		X		
Durchgängigkeit		X			
Morphologie	Tiefen- und Breitenvariation	X			
	Tiefenvariation		X	X	X
	Struktur und Substrat des Bodens	X			X
	Menge, Struktur und Substrat des Bodens		X	X	
	Struktur der Uferzone	X	X		
	Struktur der Gezeitenzone			X	X
Tidenregime	Süßwasserzustrom			X	
	Seegangsbelastung			X	X
	Richtung vorherrschender Strömungen				X

Tabelle 2.4: Allgemein physikalisch-chemische Qualitätskomponenten gem. OGewV, Anlage 3 Nummer 3.2

Qualitätskomponentengruppe	Qualitätskomponente	Mögliche Parameter	F	S	Ü	K
Allgemeine physikalisch-chemische Komponenten	Sichttiefe	Sichttiefe		X	X	X
	Temperaturverhältnisse	Wassertemperatur	X	X	X	X
	Sauerstoffhaushalt	Sauerstoffgehalt	X	X	X	X
		Sauerstoffsättigung	X	X	X	X
		TOC	X			
		BSB	X			
		Eisen	X			
	Salzgehalt	Chlorid	X	X	X	X
		Leitfähigkeit bei 25 °C	X		X	X
		Sulfat	X			
		Salinität			X	X
	Versauerungszustand	pH-Wert	X	X		
		Säurekapazität Ks (bei versauerungsgefährdeten Gewässern)	X	X		
	Nährstoffverhältnisse	Gesamtphosphor	X	X	X	X
		ortho-Phosphat-Phosphor	X	X	X	X
		Gesamtstickstoff	X	X	X	X
		Nitrat-Stickstoff	X	X	X	X
		Ammonium-Stickstoff	X	X	X	X
		Ammoniak-Stickstoff	X			
		Nitrit-Stickstoff	X			

Allgemein wird jede der genannten Qualitätskomponenten in einen „sehr guten“, „guten“ oder „mäßigen“ Zustand eingeordnet. Gewässer, deren Zustand schlechter als mäßig ist, werden als unbefriedigend oder schlecht eingestuft.

Die Bewertung des chemischen Zustands eines Oberflächenwasserkörpers erfolgt nach den in Anlage 8 OGewV aufgeführten Umweltqualitätsnormen. Die Umweltqualitätsnormen umfassen prioritäre Stoffe und prioritär gefährlichen Stoffe, andere bestimmte Schadstoffe und Nitrat. Werden die Anforderungen der Umweltqualitätsnormen erfüllt, wird der chemische Zustand des Oberflächenwasserkörpers mit „gut“ bewertet. Andernfalls wird der chemische Zustand als „nicht gut“ eingestuft.

Für einige der aufgelisteten Stoffe ist eine Unterscheidung in ‚ubiquitär‘ und ‚nicht ubiquitär‘ möglich. Ubiquitäre Stoffe sind allgegenwärtig und können schlecht einer bestimmten Eintragsquelle zugeordnet werden. Durch örtliche Maßnahmen lässt sich demnach in der Regel die Belastung mit ubiquitären Stoffen nicht verringern.

3 Straßenspezifische Parameter

3.1 Parameterauswahl

Die Quellen der Stoffe im Straßenabfluss sind nach der RiStWag (FGSV, 2016) u.a. Fahrbahnabrieb, Reifenabrieb, Abrieb von Brems- und Kupplungsbelägen, Abrieb von Katalysatoren, Tropfverluste von Ölen, Kraftstoffen, Bremsflüssigkeiten etc. und Fahrzeugabgase. Aus diesen Quellen werden abfiltrierbare Stoffe (AFS), Schwermetalle, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) sowie sonstige organische Schadstoffe aus Weichmachern, Lacken und Vulkanisationsbeschleunigern emittiert.

Ein Großteil der Stofffracht wird partikulär an der feinen Feststofffraktion gebunden im Straßenabfluss transportiert (z.B. Lange et al. 2003, Kocher 2002, Grotehusmann et al. 2015). Wegen der besonderen Bedeutung der feinen Feststofffraktion (Korndurchmesser $< 0,063$ mm) ist daher im DWA Arbeitsblatt A 102 (Entwurf, DWA 2016) der Parameter AFS63 eingeführt worden, der als Zielgröße der Regenwasserbehandlung definiert wird.

Von den straßenspezifischen Stoffen sind etliche nach Anlage 6 und 7 der OGewV zur Beurteilung des ökologischen Zustandes unterstützend heranzuziehen bzw. sind nach Anlage 8 der OGewV für die Bewertung des chemischen Zustandes maßgeblich.

Diese Parameter sind in Anlage 1 tabellarisch zusammengestellt. In dieser Tabelle sind gleichzeitig auch die gültigen Umweltqualitätsnormen nach der aktuellen OGewV und für die GWK die geltenden Schwellenwerte eingetragen.

Hauptquellen der **Schwermetalle** Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, und Zn aus dem Straßenverkehr sind Reifen, Brems- und Fahrbahnabrieb sowie Korrosion der Fahrzeuge selbst. Durch die Einführung des bleifreien Benzins (1984) sind die Bleikonzentrationen in den letzten 30 Jahren deutlich gesunken, was bei der Interpretation der älteren Messprogramme zu berücksichtigen ist. Quecksilber (Hg) ist zwar als prioritärer Stoff in Anlage 8 der OGewV enthalten, wird hier aber nicht als typisch straßenspezifischer Stoff mit aufgelistet. Nach UBA (2017) trägt der Straßenverkehr – vermutlich über die Abgase - nur zu 4 % (Mittelwert 2005 - 2015) der anthropogenen Emissionen bei. Zudem existieren nur 3 Messprogramme, bei denen Hg im Straßenabfluss (häufig unterhalb der Nachweisgrenze) erfasst wurde.

Durch die (unvollständige) Verbrennung fossiler Energieträger wie Kohle, Öl und Gas entstehen sowohl bei Hausfeuerungsanlagen als auch im Straßenverkehr **Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe** (PAK). Nach Götz et al. (2009) ist davon auszugehen, dass die Stoffgruppe der PAK ist sehr groß ist (geschätzt 10.000, UBA, 2016). Von den PAK sind in der OGewV die Einzelsubstanzen Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Naphthalin, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Benzo[g,h,i]-perylene und Indeno[1,2,3-cd]-pyren aufgeführt. In der Literatur werden häufig die 16 PAK nach einem Vorschlag der amerikanischen Umweltbehörde EPA als PAK/EPA zusammengefasst. Neben den oben aufgeführten Einzelstoffen sind in den PAK/EPA noch zusätzlich Dibenz(ah)anthracen, Chrysen, Benzo(a)anthracen, Pyren, Fluoren, Acenaphthen sowie Acenaphthylen enthalten. Die Trinkwasserverordnung fasst die PAK Benzo[b]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Benzo[g,h,i]-perylene und Indeno[1,2,3-cd]-pyren zu den PAK/TVO zusammen. Um auch aus den Messungen der PAK/TVO bzw. der PAK/EPA die Einzelsubstanzen errechnen zu können, wird aus zwei Messvorhaben an insgesamt 5 Standorten (Lange et al., 2003 und Grotehusmann et

al., 2015) die prozentuale Verteilung der Einzelsubstanzen berechnet und in Abbildung 3-1 dargestellt.

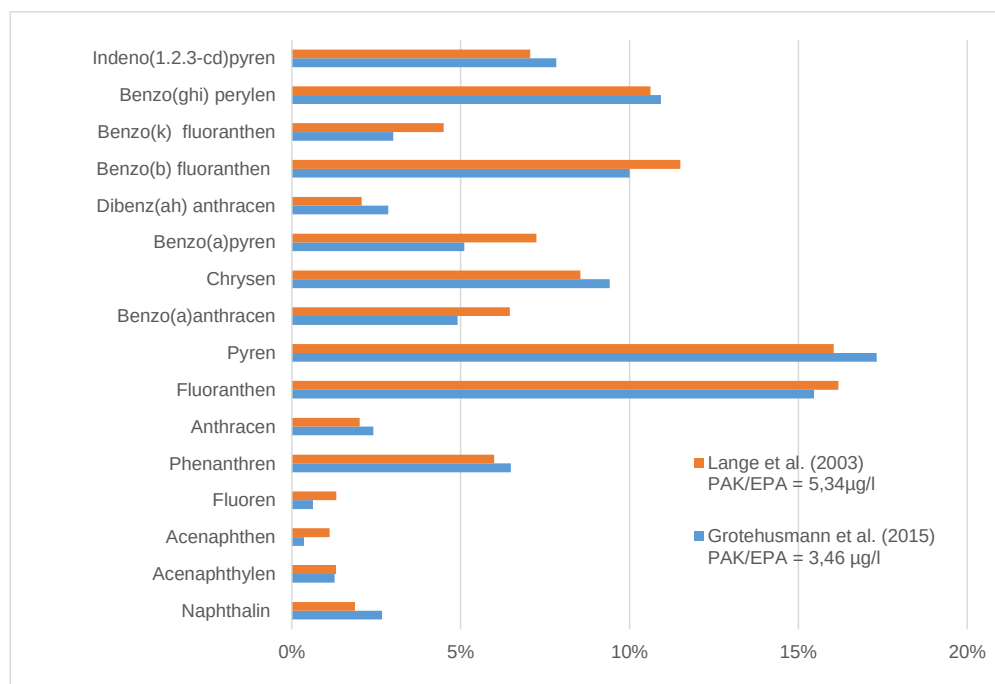


Abbildung 3-1: Verteilung der PAK Einzelsubstanzen innerhalb der PAK/EPA aus 2 Messvorhaben

Es ist zu erkennen, dass die Verteilung der PAK bei beiden Messvorhaben sehr ähnlich ist. Aus diesem Grund werden die Mittelwerte der aus beiden Messvorhaben ermittelten prozentualen Verteilungen für die jeweiligen PAK Einzelsubstanzen angesetzt (Tabelle 3.1).

Tabelle 3.1: Angesetzte Verteilung der PAK Einzelsubstanzen innerhalb der PAK/TVO bzw. der PAK/EPA

Parameter	Anteil an PAK/EPA	Anteil an PAK/TVO
Phenanthren	0,062	
Anthracen	0,022	
Fluoranthen	0,158	
Naphthalin	0,023	
Benzo[a]pyren	0,062	
Benzo[b]fluoranthen	0,108	0,331
Benzo[k]fluoranthen	0,037	0,113
Benzo[g,h,i]-perylene	0,108	0,328
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,074	0,228

Benzol ist Bestandteil von Ottokraftstoffen und darf diesen seit dem Jahr 2000 zu maximal 1 % zugemischt werden (Hillenbrand et al., 2007). Haupteintragspfade von Benzol in die Luft sind Autoabgase und Tankverluste.

Abfiltrierbare Stoffe (AFS) im Fahrbahnabfluss resultieren aus Abrieb von Fahrbahn, Reifen und Bremsen sowie über Eintrag von anorganischen oder organischen Bestandteilen aus der Umgebung (z.B. von angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen). Wie oben bereits erwähnt, haben die Feinanteile ($< 63 \mu\text{m}$) der abfiltrierbaren Stoffe (**AFS63**) als Transportmatrix für viele vorwiegend partikulär gebundenen Schadstoffe eine besondere Bedeutung. Die OGewV führt AFS oder AFS63 nicht als Parameter auf. Für die spätere Beurteilung der Reinigungsleistung der unterschiedlichen Regenwasserbehandlungsanlagen ist dieser Parameter jedoch wesentlich.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) fanden Verwendung als Isolierflüssigkeiten in Transformatoren, als Weichmacher in Fugenmaterialien, Kabelummantelungen, als Flammenschutzmittel in Anstrichfarben und Lacken und als Hydraulikflüssigkeiten. Durch die PCB-Verbotsverordnung vom 29.07.1989 sind mittlerweile die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Verwendung von PCB verboten. Es gibt eine Vielzahl von Verbindungen, von denen analytisch stellvertretend 6 PCB-Komponenten nach Ballschmiter erfasst werden (PCB 28, 52, 101, 138, 153, 180).

Nonylphenol wird in Klebstoffen und Lacken eingesetzt und in Tensiden verwendet. Seit 2003 gibt es eine Verwendungsbeschränkung in der EU. **Octylphenole** werden in der BRD nicht mehr produziert, sie treten jedoch als Verunreinigungen in Tensiden noch auf (Hillenbrandt et al., 2007).

Diethylhexylphthalat (DEHP) wird in großen Mengen als Weichmacher in PVC eingesetzt.

Die Belastung der Straßenabflüsse mit Chlorid aus der Tausalzaufbringung im Winterdienst ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens. In den Auftausalzen sind jedoch Eisen cyanide $\text{Fe}(\text{CN})_6$ als Antibackmittel enthalten, die hier mit betrachtet werden sollen.

Zusätzlich sind in der OGewV eine Reihe von Zehr- und Nährstoffen genannt, die auch in relevanten Konzentrationen im Straßenabfluss vorkommen können.

Die getroffene Parameterauswahl deckt sich bezüglich der prioritären Stoffe mit der Einschätzung vom NLWKN (2012). In Datenblättern sind für die prioritären Stoffe nach Anlage 8 der OGewV u.a. die Eintragspfade der entsprechenden Parameter aufgelistet. In Anlage 2 ist daraus für die Parameter eine Beurteilung der verkehrsspezifischen Eintragspfade zusammengestellt. Demnach ist insbesondere für die Schwermetalle, für alle aufgelisteten PAK sowie für die Alkylphenole (Nonylphenol und Octylphenol) sowie für Benzol ein wesentlicher Eintrag über den Verkehr möglich.

3.2 Einflüsse auf die Konzentrationen im Straßenabfluss

Bevor im nächsten Kapitel Konzentrationsdaten aus unterschiedlichen Messvorhaben zusammengestellt werden, sollen zunächst wesentliche Einflüsse auf die Konzentrationen im Straßenabfluss aufgezeigt werden.

Einfluss der Verkehrsbelastung

Die im DWA Regelwerk (DWA 2005, DWA 2007), im Regelwerk der FGSV (FGSV 2016) sowie in einigen Verwaltungsvorschriften der Länder (z.B. MUNLV, 2004) dargestellte Abhängigkeit der Konzentrationen der Verkehrsflächenabflüsse geht im Wesentlichen

auf Untersuchungen von Golwer (1991) zurück, der die potentielle Grundwassergefährdung in Abhängigkeit der durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung (DTV) bewertet. Nach Uhl et al. (2006) ist eine deutliche Abhängigkeit der Konzentration von Straßenabflüssen von der durchschnittlich täglichen Verkehrsbelastung DTV jedoch nicht festzustellen. Exemplarisch ist als Beleg dafür in Abbildung 3-2 die Zn-Konzentration über der Verkehrsbelastung aufgetragen.

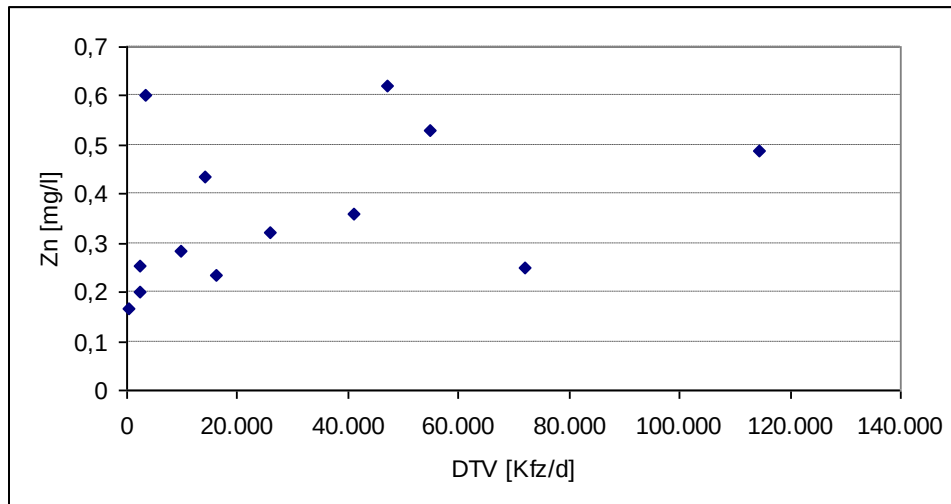


Abbildung 3-2: Abhängigkeit der Zn-Konzentration im Straßenabfluss von der DTV, aus (Uhl et al. 2006)

Zu einer ähnlichen Einschätzung kommt auch Kocher (2008), die in einer bundesweiten Auswertung 840 Bankettschälgutproben untersuchte. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und der Schadstoffkonzentration im Bankett wurde nicht festgestellt. Bei jeder Verkehrsstärke war der Konzentrationsbereich der einzelnen Parameter sehr hoch. Bei hohen Verkehrsstärken traten jedoch häufiger höhere Konzentrationen auf als bei geringen DTV-Werten. Die Bankette im Bereich von Straßentypen mit tendenziell höherer Verkehrsbelastung wie Bundesautobahnen waren daher höher belastet als Bundes-, Landes- und Kreisstraßen. Die von Kocher (2008) ermittelten Zn, Cu, Pb und Cd-Konzentrationen im Bankettmaterial liegen häufig oberhalb der Vorsorgewerte. Die Eluatwerte (in Schüttelversuchen ermittelt) dieser Schwermetalle liegen jedoch bis auf Cu vollständig oder mit wenigen Ausnahmen unterhalb der Prüfwerte der Bundesbodenschutzverordnung für den Übergang ungesättigte zur gesättigten Zone. Das belegt eine starke Bindung der Schadstoffe an das Bankettmaterial.

Eine strenge Differenzierung der potentiellen Belastung der Niederschlagsabflüsse von Straßen in Abhängigkeit der DTV, wie in den Regelwerken der DWA enthalten, lässt sich aus den dargestellten Untersuchungen nicht ableiten. Nach den Bankettuntersuchungen sind die Bundesautobahnen jedoch gegenüber den übrigen Straßenkategorien als höher belastet einzustufen.

Einfluss der Jahreszeit

Die Jahreszeit hat deutlichen Einfluss auf die Qualität der Straßenabflüsse. Die Belastung der Straßen ist im Winter durch Tausalz- und Frosteinwirkung wesentlich höher als im Sommer, so dass mit höherem Straßenabrieb zu rechnen ist. Weiter verstärkt die

Tausalzeinwirkung die Metallkorrosion an Fahrzeugen sowie am Straßeninventar (Schilder, Schutzplanken etc.).

In Untersuchungen von Nadler/Meißner (2007) konnte innerhalb des langen Messzeitraumes von 9 Jahren in den Winterquartalen regelmäßig deutlich höhere AFS, Zn, Cu und Fe-Konzentrationen nachgewiesen werden. Für Zn wurde in den Winterquartalen beispielsweise eine mittlere Konzentration von 615 µg/l gemessen, während im Frühjahr, Sommer und Herbst mit 409 µg/l, 218 µg/l und 282 µg/l deutlich geringere Werte ermittelt wurden. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Konzentrationen mit höheren Werten im Winterquartal wurden auch von Grotehusmann et al. (2015) neben den Feststoffen und Schwermetallen auch für die PAK nachgewiesen.

Für den Parameter Phosphor ist bei einem hohen Anteil von straßenbegleitenden Bäumen dagegen in der Vegetationszeit mit höheren Konzentrationen zu rechnen (Fuchs et al., 2009). Bei einem hohen Anteil von Straßenbäumen kann die Baumblüte in den Frühjahrs- und Frühsommermonaten für deutlich erhöhte P-Konzentrationen sorgen.

Einfluss der Art der Straßenentwässerung

Auch die Art der Fassung und Ableitung der Straßenabflüsse hat wesentlichen Einfluss auf die Qualität. Bei der in Abbildung 3-3 dargestellten Straßenentwässerung werden die Niederschlagsabflüsse in einer straßenbegleitenden Rasenmulde gesammelt und gelangen dann über Einläufe in den Regenwasserkanal. Auf dem Fließweg in der Mulde finden bereits eine signifikante Abflussreduzierung und Vorreinigung durch Versickerungs- und Sedimentationsprozesse statt. Die Konzentrationen im Zufluss zu einer nachfolgenden Regenwasserbehandlungsanlage werden somit entsprechend deutlich reduziert.



*Abbildung 3-3: Muldenentwässerung an der A6 zwischen Sinsheim und Heidelberg
(Foto Lambert)*

3.3 Konzentrationen und Frachten im Straßenabfluss

In den vergangenen Jahren sind etliche Messprogramme zur Beschaffenheit von Straßenabflüssen durchgeführt worden. In der Regel sind dabei die üblichen Parameter, wie z.B. Schwermetalle, PAK, MKW und Chlorid erfasst worden.

In der Anlage 3 sind Messdaten aus der Literatur zusammengestellt, die hohen Anforderungen an die Datenqualität genügen. Messdaten, die auf nur wenigen Stichproben beruhen und somit nicht ausreichend repräsentativ sind (z.B. jahreszeitliche Abhängigkeit), wurden nicht mit herangezogen.

Kasting (2003) wertet Messdaten aus etlichen Messprogrammen statistisch aus, die über längere Zeiträume liefen bzw. viele Einzelproben berücksichtigten. Aus der Auswahl von Kasting (2003) werden die Messvorhaben an Bundesfernstraßen berücksichtigt, bei denen die durchschnittliche tägliche Verkehrsbelastung DTV größer als ca. 10.000 KFZ/d war. Lediglich die Messungen von Paulsen (1984) und Grottker/Sieker (1987) wurden an einer stark frequentierten innerörtlichen Straße durchgeführt.

Über den Zeitraum eines Jahres wurden von BEER et al. (2011) direkt vom abfließenden Fahrbahnwasser zweier Autobahnen (DTV ca. 70.000 KFZ/d) Sammelmischproben über 30 Tage entnommen und auf Schwermetalle analysiert.

Grotehusmann et al. (2015) beprobten über einen Zeitraum von 1 Jahr nahezu den gesamten Fahrbahnabfluss an drei Bundesautobahnen (DTV 45.000 bis 85.600 KFZ/d). Die getrennte Beprobung und Analyse der partikulären und der flüssigen Phase ermöglichte auch die zuverlässige Analyse von Parametern mit sehr geringen Bestimmungsgrenzen. So konnten hier erstmals auch für etliche organische Schadstoffe im Straßenabfluss die z. B. in Weichmachern, Tensiden, Klebstoffen, Lacken, Benzinzusätzen und Vulkanisierungsbeschleunigern zur Herstellung von Reifen enthalten sind, verlässliche Konzentrationen ermittelt werden.

Ergänzend wurden folgende weitere Messdatenzusammenstellungen und Messvorhaben berücksichtigt, bei denen entweder die DTV nicht bekannt oder deutlich kleiner als 10.000 KFZ/d war:

Nadler/Meißner (2007) haben an einer stark befahrenen (DTV ca. 7.000 KFZ/d) Bundesstraße in Augsburg kontinuierlich über einen Zeitraum von 9 Jahren die Straßenabflüsse beprobt und legen somit ein sehr großes Datenkontinuum vor.

Welker (2004) und Schmitt et al. (2010) geben anhand einer Vielzahl von repräsentativen Messprogrammen für unterschiedliche Parameter einen Vertrauensbereich der Konzentrationen an und leiten daraus (subjektiv) sogenannte Schwerpunktwerte der Konzentrationen u.a. auch für Straßenabflüsse ab.

Brombach/Fuchs (2002) werteten eine Vielzahl von Messungen (Zentraleuropa und weltweit) in Misch- und Trennkanalisationen statistisch aus. Hier sind nicht explizit Straßenabflüsse beprobt worden. Da jedoch die Regenabflüsse im Trennsystem zu großen Teilen aus Verkehrsflächenabflüssen bestehen, werden diese hier ebenfalls mit aufgelistet.

Aus den in Anlage 3 enthaltenen Messdaten sind mittlere Konzentrationen für Abflüsse stark befahrener Straßen sowie die spezifischen Frachten der entsprechenden Schadstoffe abgeleitet worden, die in Tabelle 3.2 zusammengestellt sind. Die Wahl der mittleren Konzentration bzw. spezifischen Frachten für die einzelnen Parameter orientiert

sich an den Mittelwerten und den Medianwerten der ausgewerteten Messvorhaben an Bundesfernstraßen. In der Regel wurde dabei der höhere der beiden Werte gewählt.

Für Blei wurden wegen der Einführung des bleifreien Benzins nur die jüngeren Messvorhaben ab 1998 berücksichtigt. Für Cd ist ebenfalls ein deutlich abnehmender Trend der Konzentrationen zu beobachten (vgl. auch Fuchs et al., 2010). Daher sind auch hier nur jüngere Messdaten (ab 1998) berücksichtigt worden. Dazu wurden die beiden Messvorhaben von Lange et al. (2003) für Cd anhand der Originaldaten noch einmal ausgewertet.

Ist für die PAK nur die Summe nach der Trinkwasserverordnung (PAK/TVO) in den Messungen ausgewiesen, werden diese mit den Faktoren der Tabelle 3.1 in die vier Einzelsubstanzen aufgeteilt. Bei den PAK ist zu beachten, dass nach Götz et al. (2009) durch Partikelfilter bei Dieselfahrzeugen sowie durch die Begrenzung der PAK in Reifen in Zukunft ein deutlicher Rückgang der PAK-Emissionen aus dem Straßenverkehr zu erwarten ist und somit auch die Konzentrationen geringer werden. Aus diesem Grund sind für die PAK nur die jüngeren Messungen von Grotehusmann et al. (2015) an drei Autobahnstandorten berücksichtigt worden. Bei einigen Parametern (z.B. PCB, Nonyphenol etc.) sind nur Daten aus einem Messvorhaben (an drei Standorten) vorhanden. Diese werden dann als mittlere Belastung festgelegt.

Für den Parameter Gesamt-N sind keine Messdaten für Bundesfernstraßen bekannt. Hier wird dann ersatzweise der Schwerpunkt看wert der Auswertungen von Welker (2004) und Schmitt et al. (2010) angesetzt. Für $\text{oPO}_4\text{-P}$ liegen ebenfalls keine Messwerte von Bundesfernstraßen vor. Hier wird ebenfalls ersatzweise der von Schmitt et al. (2010) genannte Schwerpunkt看wert von 0,5 mg/l angenommen. Damit werden aufgrund der Datenlage für Gesamt-P und $\text{oPO}_4\text{-P}$ die gleichen Konzentrationen angesetzt, obgleich $\text{oPO}_4\text{-P}$ nur ein Teil von Gesamt-P ist.

Neben den in der OGewV enthaltenen straßenspezifischen Parametern sind zusätzlich die Feststoffparameter abfiltrierbare Stoffe (AFS) und der Feinanteil der abfiltrierbaren Stoffe (AFS63 (Partikelgröße < 63 μm)) mit aufgeführt.

Für Cyanid sind keine Messergebnisse im Straßenabfluss bekannt. Die möglichen Cyanid-Konzentrationen im Straßenabfluss werden über die jährliche aufgebrachte Tausalzmenge und den mittleren Jahresniederschlag abgeschätzt. Bei einem durchschnittlichen jährlichem Tausalzverbrauch von 1.000 g/m² und einer Konzentration von $\text{Fe}(\text{CN})_6$ von 50 – 75 mg/kg im Auftausalz (Mansfeld et al., 2011) ergibt sich eine mittlere jährliche $\text{Fe}(\text{CN})_6$ Menge von 50 – 75 mg/m². Unter Annahme eines mittleren Jahresniederschlags von 750 mm und einem mittleren Abflussverhältnis von $\Psi_m = 0,7$ ergibt sich ein jährlicher Niederschlagsabfluss von 525 mm oder 525 l/m². Mit diesem Niederschlagsabfluss liegen mögliche mittlere Jahreskonzentrationen von $\text{Fe}(\text{CN})_6$ im Straßenabfluss bei 95 bis 145 $\mu\text{g/l}$. Nur auf CN bezogen entspricht das Konzentrationen von 70 bis 107 $\mu\text{g/l}$.

Zusätzlich sind für die Parameter, bei denen nach der OGewV neben den Umweltqualitätsnormen für Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN) auch Umweltqualitätsnormen für zulässige Höchstkonzentrationen (ZHK-UQN) geprüft werden müssen, auch Konzentrationsangaben für eine hohe Belastung mit aufgeführt. Diese orientiert sich an dem oberen Quartil der Messwerte. Die absolut höchsten Messwerte wurden nicht verwendet, um mögliche Ausreißer nicht mit zu bewerten. Dazu wurden Messvorhaben, bei denen eine statistische Auswertung der Messdaten vorliegt, hinsichtlich des Quotienten des oberen Quartils und des Medianwertes ausgewertet (Brombach/Fuchs, 2002;

Lange et al. 2003; Kasting/Grotehusmann 2011). Zusätzlich wurden die vorliegenden Einzelmesswerte von (Krauth/Klein, 1982) statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Anlage 4 zusammengestellt. Für die Schwermetalle ergibt sich im Mittel ein Quotient der Konzentrationen des oberen Quartils und dem Medianwert von 1,76 und für die PAK von 1,90. Für die Festsetzung einer hohen Niederschlagsbelastung zum Vergleich mit den ZHK-UQN im Gewässer wird auf der sicheren Seite für alle entsprechenden Parameter die zuvor ermittelte mittlere Konzentration verdoppelt.

Die Schwermetalle sowie viele organische Schadstoffe wie z.B. PAK und PCB liegen im Niederschlagsabfluss vorwiegend an Feinpartikel gebunden vor. Auch im Gewässer wird über die Schwebstoffe ein wesentlicher Teil dieser Stoffe transportiert. In Abhängigkeit der Fließgeschwindigkeit und der Sohlschubspannung lagern sich diese Stoffe im Gewässersediment ab oder werden wieder remobilisiert. Gleichzeitig hat die partikuläre Bindung dieser Schadstoffe einen wesentlichen Einfluss auf die Regenwasserbehandlung. Nur partikuläre Stoffe können durch Sedimentation aus dem Niederschlagsabfluss entfernt werden oder in Versickerungsanlagen oder Retentionsbodenfilteranlagen aus dem Abfluss filtriert werden. Aus diesem Grund sind in Tabelle 3.2 zusätzlich zu den Konzentrationen auch die partikulären Anteile für die entsprechenden Parameter mit aufgeführt. Die partikulären Anteile sind als Mittelwert aus vier Messvorhaben, in denen der partikuläre Anteil explizit ausgewiesen wurde, ermittelt worden (vgl. Anlage 3).

Tabelle 3.2: Mittlere und hohe (Gesamt)Konzentrationen und spezifische Frachten unterschiedlicher Parameter im Straßenabfluss sowie partikulärer Anteil

Parameter	Mittlere Belastung		Hohe Belastung	Part. Anteil
Cu	110 µg/l	520 g/(ha·a)		0,81
Cr	30 µg/l	150 g/(ha·a)		0,87
Zn	420 µg/l	2.000 g/(ha·a)		0,76
Cd	0,6 µg/l	2,6 g/(ha·a)	1,2 µg/l	0,52
Ni	35,0 µg/l	190 g/(ha·a)	70 µg/l	0,76
Pb	30,0 µg/l	120 g/(ha·a)	60 µg/l	0,90
Cyanid	70 -107 µg/l (geschätzt)			
Fe	5,5 mg/l	20 kg/(ha·a)		0,97
Phenanthren	0,20 µg/l	0,90 g/(ha·a)		0,95
Anthracen	0,09 µg/l	0,32 g/(ha·a)	0,18 µg/l	0,96
Fluoranthren	0,50 µg/l	2,00 g/(ha·a)	1,00 µg/l	0,96
Naphthalin	0,10 µg/l	0,35 g/(ha·a)	0,20 µg/l	0,83
Benzo[a]pyren	0,18 µg/l	0,65 g/(ha·a)	0,36 µg/l	0,97
Benzo[b]fluoranthren	0,30 µg/l	1,10 g/(ha·a)	0,60 µg/l	0,98
Benzo[k]fluoranthren	0,15 µg/l	0,55 g/(ha·a)	0,30 µg/l	0,98
Benzo[g,h,i]-perylene	0,35 µg/l	1,40 g/(ha·a)	0,70 µg/l	0,98
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,26 µg/l	1,00 g/(ha·a)		0,98
PCB 28	0,0002 µg/l	0,0010		0,90
PCB 52	0,0003 µg/l	0,0015 g/(ha·a)		0,90
PCB 101	0,0009 µg/l	0,0045 g/(ha·a)		0,90
PCB 138	0,0029 µg/l	0,0100 g/(ha·a)		0,90
PCB 153	0,0020 µg/l	0,0080 g/(ha·a)		0,90
PCB 180	0,0014 µg/l	0,0060 g/(ha·a)		0,90
Nonylphenol	0,21 µg/l	0,90 g/(ha·a)	0,42 µg/l	0,90
Octylphenol	0,05 µg/l	0,20 g/(ha·a)		0,90
DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat	10,20 µg/l	34,0 g/(ha·a)		0,89
Benzol	0,005 µg/l	0,03 g/(ha·a)	0,010 µg/l	
BSB5	15 mg/l	85 kg/(ha·a)		
TOC	20 mg/l			
oPO ₄ -P	0,50 mg/l			
Gesamt-P	0,50 mg/l	2,5 kg/(ha·a)		
NH ₄ -N	0,80 mg/l	4,0 kg/(ha·a)		
NO ₃ -N	1,30 mg/l	7,6 kg/(ha·a)		
Gesamt-N	3,00 mg/l			
AFS	160 mg/l	660 kg/(ha·a)		
AFS63	110 mg/l	530 kg/(ha·a)		

Für die Schwermetalle Cu, Cr und Zn sowie für die PCB sind in Anlage 6 der OGewV die Umweltqualitätsnormen auf die Schwebstoffe bzw. die Sedimente im Gewässer bezogen. Um einen Vergleich mit den Konzentrationen der Sedimente im Niederschlagsabfluss zu ermöglichen, wird für die Schwermetalle diese Konzentration mit Hilfe der AFS-Konzentration im Niederschlagsabfluss ($c_{RW,AFS} = 160 \text{ mg/l}$) nach folgender Formel berechnet.

$$c_{RW,Sed.} = \frac{c_{RW} \cdot f_{part.}}{c_{RW,AFS}} \cdot 1000 \quad \text{Gleichung 1}$$

Schadstoffkonzentration im Sediment des RW-Abflusses	$c_{RW,Sed.}$ in mg/kg
Schadstoffkonzentration Niederschlagsabfluss	c_{RW} in $\mu\text{g/l}$
partikulärer Anteil	$f_{part.}$
AFS-Konzentration Niederschlagsabfluss	$c_{RW,AFS}$ in mg/l

Für die PCB ist mit Grotehusmann et al. (2015) nur eine Untersuchung bekannt, bei der für diese Stoffgruppe die Konzentration im Sediment des Straßenabflusses direkt bestimmt worden ist. Der gelöste Anteil war bei dieser Untersuchung immer unterhalb der Bestimmungsgrenze ($< 1 \text{ ng/l}$). Die PCB Konzentrationen im Sediment der Straßenabflüsse wurden so direkt aus dieser Untersuchung entnommen.

In Tabelle 3.3 sind die Sedimentkonzentrationen im Straßenabfluss zusammengestellt. Zusätzlich sind die spezifischen Frachten der Parameter aus den mittleren Gesamtfrachten und dem jeweiligen partikulärem Anteil (beide aus Tabelle 3.2) mit aufgeführt.

Tabelle 3.3: Konzentrationen unterschiedlicher Parameter im Sediment von Straßenabflüssen und partikuläre Frachten

	Berechnet nach Gleichung 1	direkt gemessen aus Grotehusmann et al. (2015)	aus spezif. Fracht und part. Anteil
Cu	556 mg/kg		421 g/(ha·a)
Cr	162 mg/kg		130 g/(ha·a)
Zn	1.988 mg/kg		1.514 g/(ha·a)
PCB 28		0,0025 mg/kg	0,0009 g/(ha·a)
PCB 52		0,0031 mg/kg	0,0014 g/(ha·a)
PCB 101		0,0095 mg/kg	0,0041 g/(ha·a)
PCB 138		0,0245 mg/kg	0,0090 g/(ha·a)
PCB 152		0,0181 mg/kg	0,0072 g/(ha·a)
PCB 180		0,0121 mg/kg	0,0054 g/(ha·a)

Die nach Gleichung 1 berechneten Schwermetallkonzentrationen im Sediment von Straßenabflüssen sind mit denen aus dem Schlamm von Beckenanlagen an Straßen vergleichbar (vgl. Anlage 5).

4 Regenwasserbehandlungsanlagen

Der Stand der Technik zur Entwässerung von Straßen inkl. der Behandlung von Straßenabflüssen ist die RAS-Ew (FGSV, 2005). Sofern es die örtlichen Randbedingungen zulassen und geeignete hydrogeologische Verhältnisse vorliegen ist, nach RAS-Ew eine straßenbegleitende Versickerung über die Böschung, in Mulden oder Gräben vorzusehen. Ist direkte straßenbegleitende Versickerung nicht möglich, ist nach Sammlung und Ableitung der Abflüsse eine Versickerung in einer zentralen Versickerungsanlage zu prüfen. Erst wenn keine Versickerung möglich ist, werden die Straßenabflüsse nach Reinigung bzw. auch Rückhaltung in einer Regenwasserbehandlungsanlage in ein Oberflächengewässer eingeleitet.

Für die Regenwasserbehandlung von Straßenabflüssen kommen vor allem Sedimentationsanlagen, Versickerungsanlagen und Retentionsbodenfilter zum Einsatz.

Wie bereits beschrieben, ist der Rückhalt der schadstoffbeladenen Feinpartikel für die Behandlung von Straßenabflüssen von besonderer Bedeutung. Feinpartikel können in besonders leistungsfähigen Sedimentationsanlagen und vor allem in Anlagen, die den Niederschlagsabfluss filtrieren, zurückgehalten werden. Dazu zählen Versickerungsanlagen und Retentionsbodenfilteranlagen. Gelöst im Niederschlagsabfluss enthaltene Stoffe unterliegen keinen Sedimentations- und Filtrationsprozessen und können nur durch Sorptionsvorgänge am Sediment und Boden bzw. durch Fällung/Flockung und anschließender Sedimentation und Filtration zurückgehalten werden.

Ein sehr häufig in Straßenabfluss enthaltener Stoff, das Chlorid aus den Tausalzen, kann mit keiner Regenwasserbehandlungsanlage eliminiert werden. Chlorid gilt deshalb im Grundwasser im Bereich von Straßen mit Winterdienst als straßenspezifischer Leitparameter.

4.1 Versickerung

Dezentrale und zentrale Versickerungsanlagen sind wirksame Regenwasserbehandlungsanlagen, die vor allem durch Filtration der Feinpartikel aber auch durch Sorption von gelösten Stoffen an der Bodenmatrix und an den Sedimenten wirken.

Für überörtliche Straßenentwässerung stellt die flächige Entwässerung über die Schulter mit anschließender Versickerung der Niederschlagsabflüsse im Bankettbereich der Straße den Regelfall dar. Das Bankettmaterial im Straßenseitenbereich wird dadurch deutlich mit Schadstoffen belastet. Untersuchungen von Kocher (2008) zeigen jedoch, dass die am Bankettmaterial und an den zurückgehaltenen Sedimenten angelagerten Schadstoffe nur in geringem Umfang durch das Sickerwasser eluierbar sind und somit ein guter Grundwasserschutz gewährleistet ist (vgl. Kapitel 3.2).

Ist eine flächige Versickerung über die Bankette nicht möglich, werden Straßenabflüsse auch in Mulden, Mulden-Rigolen-Systemen und Versickerungsbecken versickert.

Im DWA-A 138 (DWA, 2005) werden qualitative Anforderungen an die Versickerung genannt. Die vom Straßenabfluss durchsickerte Bodenschicht (Sickerraum = Abstand zwischen Sohle der Versickerungsanlage und dem MHGW) muss eine gewisse Mindestmächtigkeit aufweisen. Es wird ein Sickerraum $> 1\text{ m}$ bzw. $> 0,5\text{ m}$ in begründeten Ausnahmefällen (und nur für die flächige Versickerung) gefordert. Bei einem Sickerraum von weniger als $0,5\text{ m}$ besteht die Gefahr, dass insbesondere bei Niederschlägen nach längerer Trockenzeit die Straßenabflüsse über Trockenrisse teilweise ungefiltert

Richtung Grundwasser versickern. Nach dem Arbeitsbericht der DWA Arbeitsgruppe ES 3.1 (DWA, 2011) ist bei Mulden-Rigolen-Systemen die Bodenschicht zwischen der Mulde und der Rigole dem Sickerraum zuzurechnen. In FGSV (2016) wird die Grundwasserüberdeckung nach der RiStWag als Abstand zwischen dem Fahrbahnrand und dem MHGW definiert. Damit werden die Böschungen dem Sickerraum mit zugerechnet.

Ablaufkonzentrationen von Versickerungsanlagen und damit Wirkungsgrade für den Schadstoffrückhalt lassen sich an großtechnischen Anlagen schwer messtechnisch erfassen, da die Beprobung des Sickerwassers mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Die Reinigungsmechanismen (Filtration, Sorptionsprozesse, Abbau) bei Versickerungsanlagen sind mit denen in Retentionsbodenfilteranlagen identisch. Bei Mulden-Rigolen-Systemen, bei denen der gedrosselte Ablauf aus den Rigolen in Oberflächengewässer eingeleitet wird, sind damit die gleichen Ablaufkonzentrationen wie bei Retentionsbodenfilteranlagen (Tabelle 4.5) anzusetzen.

4.2 Sedimentationsanlagen

Sowohl die Sedimentation als auch der Rückhalt von Leichtflüssigkeiten setzt eine ausreichend langsame und gleichmäßige Strömung voraus, damit Partikel entsprechend ihrer Sinkgeschwindigkeit zu Boden bzw. Leichtflüssigkeitströpfchen an die Oberfläche aufschwimmen können. Für die Beckenbemessung wird daher in den Regelwerken (FGSV 2005, FGSV (2016), DWA (2013)) die Oberflächenbeschickung beim Bemessungszufluss auf $q_A = 9 \text{ m/h}$ bzw. $q_A = 10 \text{ m/h}$ begrenzt. Zusätzlich wird die horizontale Fließgeschwindigkeit beim Bemessungszufluss auf $v_H \leq 0,5 \text{ m/s}$ begrenzt (FGSV 2016, DWA 2013), um eine Remobilisierung bereits abgelagerter Sedimente an der Beckensohle zu vermeiden.

Der Bemessungszufluss für die Absetzbecken nach RAS-Ew und die Abscheidebecken nach der RistWag wird aus dem $r_{15,1}$ (in der Größenordnung von 100 l/s/ha) und der angeschlossene Fläche berechnet. Der Bemessungszufluss zu den vorentlasteten Regenklärbecken nach dem DWA-A 166 (DWA, 2013) wird in der Regel auf einen r_{krit} (meist 15 l/s/ha) begrenzt. Daraus resultiert das mit z.T. über $100 \text{ m}^3/\text{ha}$ deutliche höhere nutzbare spezifische Volumen der Sedimentationsanlagen zur Straßenentwässerung.

Bezüglich einer möglichen Remobilisierung von Sedimenten sind Becken mit und ohne Dauerstau zu unterscheiden. Die meisten Sedimentationsanlagen im Bereich von Bundesfernstraßen werden im Dauerstau betrieben. Bei diesen Anlagen erfolgt eine Beckenreinigung mit Entnahme der Sedimente in größeren Zeitintervallen. Hier steigt bei entsprechend guter Sedimentationswirkung zwischen zwei Reinigungsintervallen das Feststoffdepot im Becken an. Bei starker hydraulischer Belastung kann so besonders in Verbindung mit geringer Dauerstautiefe ein Teil des Feststoffdepots im Becken wieder remobilisiert und aus dem Becken ausgetragen werden. Die Wassertiefe im Dauerstaubereich muss daher nach dem Regelwerk (DWA (2013), FGSV (2016, 2005)) mindestens 2 m betragen.

Eine Zusammenstellung der in verschiedenen Becken zur Straßenentwässerung erzielten Wirkungsgrade ist z.B. in Lange et al. (2003) bzw. in Kasting (2003) enthalten. Die Zu- und Ablaufkonzentrationen sowie die Wirkungsgrade aus den dort zitierten Messvorhaben sind in Anlage 6 enthalten. Zusätzlich sind dort das auf die angeschlossene

Fläche bezogene spezifische Dauerstauvolumen sowie die bei den jeweiligen Messvorhaben aufgetretenen maximalen Oberflächenbeschickungen angegeben. Ergänzend sind Messergebnisse an einem großen Lamellenabscheider für Abflüsse aus einem großen trennentwässerten Gebiet in Berlin am Fennsee mit aufgeführt, die jedoch nicht mit in die statistische Auswertung mit einbezogen wurden.

Ein direkter Vergleich der Becken ist u.a. wegen der unterschiedlichen Art der Berechnung des Wirkungsgrades (fracht-, bzw. konzentrationsbezogen) problematisch. Bei den Becken an der A6 in Obereisesheim (Krauth/Klein, 1982) und an der A8/B10 in Ulm West (Krauth/Klein, 1981) handelt es sich um Betonbecken, die nach Regenrückhaltebecken angeordnet sind. Die für diese Becken angegebenen Wirkungsgrade beziehen sich auf die Beckenkombination. Das einem Versickerungsbecken vorgeschaltete Absetzbecken an der B33/34 in Singen (Krauth/Stotz, 1993) ist mit $41 \text{ m}^3/\text{ha}$ zwar recht groß und wurde im Messzeitraum nur mit $q_{a,\text{max}} = 1,9 \text{ m/h}$ gering belastet, hat aber nur eine sehr geringe Wassertiefe ($0 - 0,6 \text{ m}$ im Zulaufbereich), so dass schon bei kleinen Ereignissen Sedimente wieder aufgewirbelt werden.

Wie die hydraulische Belastung und damit einzelne Niederschlagsereignisse den langfristigen Stoffrückhalt beeinflusst, zeigten Lange et al. (2003) am Beispiel des Beckens Westhoyer Weg, an dem über einen Zeitraum von etwa 2 Jahren die Zu- und Ablauffrachten gemessen wurden. Für den Großteil aller erfassten Ereignisse lag bei Oberflächenbeschickungen von unter 4 m/h die AFS Ablaufkonzentration unter 100 mg/l (Median 43 mg/l). Für zwei Ereignisse mit Oberflächenbeschickungen zwischen 8 und 10 m/h wurden jedoch wesentlich höhere Ablaufkonzentrationen, die z.T. deutlich über den Zulaufkonzentrationen lagen, gemessen. Bei diesen beiden Ereignissen fand durch Resuspension ein Austrag von zuvor sedimentierten Stoffen statt. Der frachtbezogene Wirkungsgrad bezogen auf den gesamten Messzeitraum betrug daher für dieses Becken lediglich 13% . Ohne Berücksichtigung dieser beiden Ereignisse wäre ein frachtbezogener Wirkungsgrad von über 40% berechnet worden.

Einfluss auf die Strömungsverhältnisse und die Aufenthaltszeit in den Becken und damit auf die potentielle Sedimentationsleistung hat das Beckenvolumen. In Abbildung 4-1 ist für die Becken aus Anlage 6 der Zusammenhang zwischen dem spezifischen Beckenvolumen und dem AFS-Wirkungsgrad aufgetragen. Einen deutlichen Zusammenhang gibt es jedoch nicht, da andere beckenspezifische Faktoren wie z.B. Zulaufgestaltung und Dauerstautiefe ebenfalls maßgeblichen Einfluss haben. Die höchsten AFS-Wirkungsgrade werden aber erwartungsgemäß mit über 80% bei den beiden Becken mit 149 bzw. $202 \text{ m}^3/(\text{ha Au})$ Dauerstauvolumen erzielt.

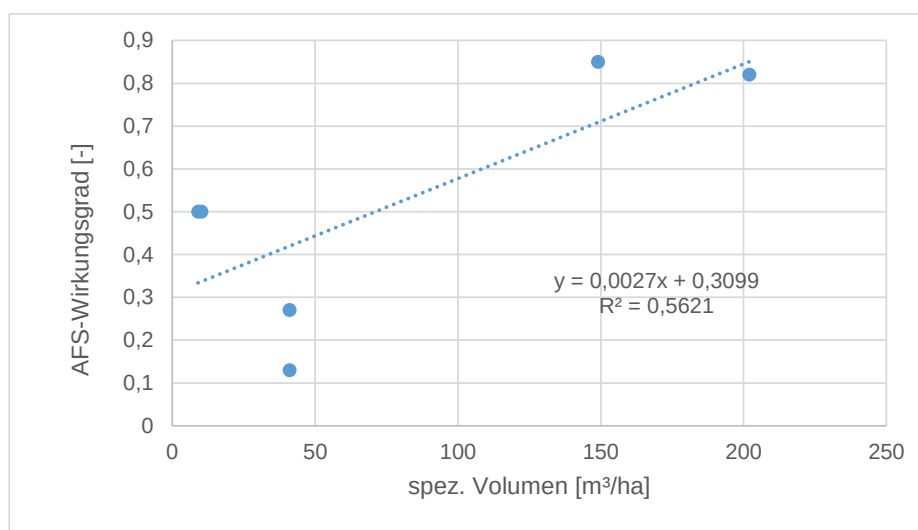


Abbildung 4-1: Zusammenhang zwischen spez. Beckenvolumen AFS-Wirkungsgrad

Der Median der Zu- und Ablaufkonzentrationen sowie der Wirkungsgrade der einzelnen Becken aus Anlage 6 ist in der Tabelle 4.1 aufgelistet. Dabei ist das kleine Datenkollektiv von 6 Anlagen zu berücksichtigen. Für die Schwermetalle und die PAK sind zusätzlich zu den Medianwerten aus den Messvorhaben auch die Wirkungsgrade mit aufgeführt, die sich aus der Absetzwirkung für die AFS63 und dem partikulären Anteil der Stoffe (vgl. Tabelle 3.2) ergeben würde.

Tabelle 4.1: Medianwerte der Zu- und Ablaufkonzentrationen von Regenbecken an Straßen und Wirkungsgrade (n=6) (AFS63 Wirkungsgrad berechnet)

Parameter	Zulauf	Ablauf	Wirkungsgrad gemessen	Wirkungsgrad aus AFS63 berechnet ²⁾
Cu	103,5 µg/l	43 µg/l	0,33	0,30
Cr	15 µg/l	11,3 µg/l	0,34	0,32
Zn	425 µg/l	215 µg/l	0,42	0,29
Cd	3,25 µg/l	2,05 µg/l	0,30	0,22
Ni	23 µg/l	18 µg/l	0,22	0,29
Pb	145,9 µg/l	66,15 µg/l	0,39	0,33
Σ PAK/EPA	5,34 µg/l	2,005 µg/l	0,68	0,34
CSB			0,32	
Gesamt-P	0,31 mg/l	0,28 mg/l	0,10	
NH ₄ -N	0,74 mg/l	0,75 mg/l	-	
AFS	154,5 mg/l	84,65 mg/l	0,50	
AFS63 ¹⁾			0,375	

1) berechnet aus AFS Wirkungsgrad *0,75

2) berechnet aus AFS63 Wirkungsgrad und part. Anteil nach Tabelle 3.2

Der Median der Wirkungsgrade bezogen auf AFS liegt bei 50 %. Für AFS63 lagen keine Angaben vor. Die Beckensedimente der untersuchten Anlagen waren nach den Körnungslinien zu rd. 75 % der Ton- und Schlufffraktion (Korngrößen von AFS63) zuzurechnen. Daraus ist zu folgern, dass sich auch mindestens 75 % der AFS63 Fraktion des Niederschlagszuflusses im Becken abgelagert haben, da das grobkörnigere Material bessere Sedimentationseigenschaften besitzt. Unter dieser Annahme kann aus dem AFS Wirkungsgrad der AFS63 Wirkungsgrad zu mindestens 37,5 % berechnet werden ($0,75 \cdot 0,5 = 0,375$).

Erstaunlich ist, dass für die PAK mit 68 % hier höhere Wirkungsgrade als für AFS vorliegen. Der PAK Rückhalt in den Becken kann also auch bei den hohen partikulären Anteilen von rd. 95 % (vgl. Tabelle 3.2) nicht allein auf die Sedimentation zurückzuführen sein. Mögliche Ursachen können Abbauprozesse im Becken zwischen Regenereignissen in Verbindung mit nicht vollständigem Wasseraustausch bei Regenereignissen sein. Aber auch Analyseungenauigkeiten können hier eine Rolle spielen. Ein Vergleich der Medianwerte der Wirkungsgrade und der über den AFS Rückhalt berechneten zeigt bei den Schwermetallen ähnliche Größenordnungen.

Im Rahmen eines noch laufenden Vorhabens sind von Grotehusmann et al. (2017) Sedimentuntersuchungen an 20 Beckenanlagen an Bundesfernstraßen durchgeführt worden. Die spezifischen Volumina dieser Becken lagen zwischen 9 m³/ha und 325 m³/ha; der Median lag bei 68 m³/ha. Die Sedimentmenge wurde durch Peilungen ermittelt und über Beprobungen die Trockenmasse sowie die Korngrößenverteilung bestimmt. Damit wurden die spezifischen AFS63 Mengen in den jeweiligen Beckenanlagen berechnet. Über die angeschlossene Fläche und dem Zeitraum der letzten Beckenreinigung wurde die spezifische AFS63 Fracht zu 142 kg/(ha · a) berechnet. Der Median der AFS63 Zulauf Fracht liegt nach Anlage 3 bei 516 kg/(ha · a). Unterstellt man eine ähnlich hohe Zulauf Fracht bei den untersuchten 20 Beckenanlagen so würde sich allein daraus (inklusive möglicher Sedimentremobilisierung während der langen Betriebszeiträume) ein AFS63 Rückhalt in den Becken von rd. 28 % ergeben.

Eyckmanns-Wolters et al. (2013) untersuchten 10 Regenklärbecken mit und ohne Dauerstau im Trennsystem, die alle vorentlastet sind und spezifische Volumina von rd. 6 bis 15 m³/ha aufweisen. Sie werteten den AFS63 Rückhalt in den Beckenanlagen aus und stellten ihn den gemessenen Oberflächenbeschickungen gegenüber. In Abbildung 4-2 ist der Zusammenhang zwischen dem AFS63-Frachtwirkungsgrad und der mittleren und maximalen Oberflächenbeschickung dargestellt. Die maximale Oberflächenbeschickung ist dabei maßgebend für den Stoffrückhalt im langfristigen Mittel, da hier die maximale hydraulische Belastung und damit Ereignisse mit potentieller Sedimentremobilisierung stärker berücksichtigt werden.

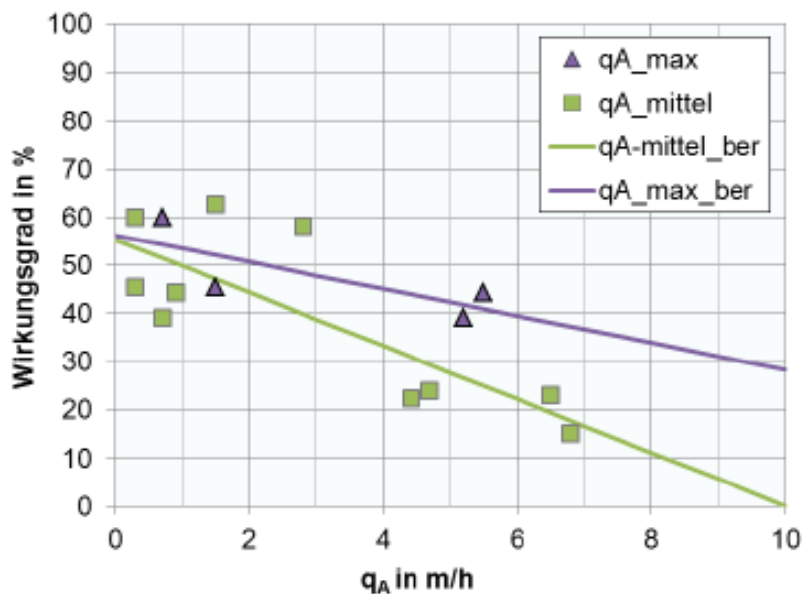


Abbildung 4-2: Zusammenhang zwischen Oberflächenbeschickung und AFS63 -Frachtwirkungswirkungsgrad (Eyckmanns-Wolters et al. (2013))

Nach diesen Auswertungen ist bei maximalen Oberflächenbeschickungen zwischen 2 m/h und 9 m/h mit einem AFS63 Wirkungsgrad zwischen 50 und 30 % zu rechnen. Bei der Interpretation ist jedoch zu berücksichtigen, dass bei diesen Messungen nur Ereignisse mit sehr geringen Zulaufkonzentrationen (Median aller Beprobungen AFS63 = 38 mg/l) erfasst wurden. Nach Eyckmanns-Wolters et al. (2013) war ein Zusammenhang zwischen der Zulaufkonzentration und der Absetzwirkung zu beobachten. Bei höherer Zulaufkonzentration wurden bessere Absetzwirkungen erzielt. Unter diesem Aspekt sind die in Abbildung 4-2 dargestellten AFS63-Wirkungsgrade tendenziell eher niedrig.

Für die weiteren Auswertungen wird hier der Ansatz eines AFS63 Wirkungsgrades von 40 % für die üblichen Sedimentationsbecken vorgeschlagen, der im Rahmen der Wirkungsgrade aus den zitierten Messvorhaben liegt. Nach dem Diagramm in Abbildung 4-2 würde dieser Wert einer maximalen Oberflächenbeschickung von rd. 6 m/h entsprechen. Angesichts der eher großvolumigen Beckenanlagen an den Bundesfernstraßen ist dies plausibel.

Nach Untersuchungen von Grotehusmann et al. (2006) lässt sich durch konstruktive Details die Absetzwirkung von Abscheideanlagen nach RistWag wesentlich verbessern und die Gefahr der Remobilisierung von Sedimenten deutlich verringern. Mit teileingetauchten Zulaufrohren, einer Mindestbeckentiefe von 2 m, einer Überlaufschwelle als Ablauf sowie einem Längen-Breiten-Verhältnis > 3 konnten auch bei hoher Oberflächenbeschickung ($q_a = 8,8$ m/h) AFS63 Wirkungsgrade von 77% erzielt werden (rechnerisch über 3-D-Simulation ermittelt). Da es sich hierbei um Wirkungsgrade aus einer 3-D-Simulation und nicht um aus Messdaten abgeleitete Werte handelt, wird hier auf der sicheren Seite für derartige optimierte Beckenanlagen ein AFS63 Wirkungsgrad von 70 % vorgeschlagen.

Bei den hier vorgeschlagenen Wirkungsgraden ist die geringe Datenbasis zu berücksichtigen. Zur Abschätzung konnten lediglich 6 sehr unterschiedliche Anlagen an Bundesfernstraßen und Untersuchungen an 10 Regenklärbecken im Trennsystem mit für Straßenabflüsse untypisch geringer Zulaufbelastung verwendet werden. Die Wirksamkeit der RistWag-Anlagen mit optimiertem Zulauf ist bislang nur rechnerisch nachgewiesen worden. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, um diese Angaben zu verifizieren.

Aus den angesetzten AFS63 Wirkungsgraden von 40% bzw. 70 %, dem partikulären Anteil des jeweiligen Parameters und den Zulaufkonzentrationen nach Tabelle 3.2 werden im Folgenden die Ablaufkonzentration und die sich ergebenden Wirkungsgrade bei mittlerer und hoher Zulaufbelastung wie folgt berechnet.

Für Kupfer wird nach Tabelle 3.2 eine mittlere Zulaufkonzentration von 110 µg/l und der partikuläre Anteil zu 81 % angesetzt. Für eine übliche Sedimentationsanlage wird ein AFS63 Wirkungsgrad von 40 % angenommen. Da nur der partikuläre Anteil einer Absetzwirkung unterliegt, berechnet sich der resultierende Wirkungsgrad zu $0,81 \cdot 0,4 = 0,324$ entsprechend 32,4 %. Damit ist die Ablaufkonzentration der Sedimentationsanlage für Kupfer $110 \mu\text{g/l} \cdot (1 - 0,324) = 74 \mu\text{g/l}$.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.2 und Tabelle 4.3 dargestellt.

Für die Schwermetalle Cd, Ni und Pb sind nach Anlage 8 der OGewV nur die gelösten Konzentrationen maßgeblich. Da diese in Sedimentationsanlagen nicht vermindert werden können, wird hier keine Reinigungsleistung der Anlagen angenommen und die Ablaufkonzentration mit dem gelösten Teil der Zulaufkonzentration gleichgesetzt. Z.B. sind bei einer Cd-Zulaufkonzentration von 0,6 µg/l und einem partikulären Anteil 0,52 (beides nach Tabelle 3.2) für den Vergleich mit den UQN nach Anlage 8 der OGewV als Ablaufkonzentration $0,6 \mu\text{g/l} \cdot (1 - 0,52) = 0,288 \mu\text{g/l}$ anzusetzen.

Für Gesamt-P wird direkt der Wirkungsgrad nach Tabelle 4.1 angesetzt und für BSB₅ in Ermangelung an Messdaten der CSB-Wirkungsgrad angenommen. Für die Sedimentationsanlagen mit optimiertem Zulauf wurde der Wirkungsgrad von Gesamt-P und BSB₅ im Verhältnis der Absetzwirkungen ($0,70/0,4 = 1,75$) erhöht.

Bezogen auf das gelöst vorliegende NH₄-N kann in Sedimentationsanlagen keine Wirkung erzielt werden.

Tabelle 4.2: Wirkungsgrade und Ablaufkonzentrationen für übliche Sedimentationsanlagen im Dauerstau

Parameter	Mittlere Ablaufkonzentration	Hohe Ablaufkonzentration	Gesamtwirkungsgrad
Cu	74 µg/l		0,32
Cr	20 µg/l		0,35
Zn	293 µg/l		0,30
Cd ¹⁾	0,48 µg/l / 0,29 µg/l	0,95 µg/l / 0,58 µg/l	0,21 / 0
Ni ¹⁾	24,4 µg/l / 8,4 µg/l	48,7 µg/l / 16,8 µg/l	0,30 / 0
Pb ¹⁾	19,2 µg/l / 2,9 µg/l	38,3 µg/l / 5,8 µg/l	0,36 / 0
Fe	3,37 mg/l		0,39
Phenanthren	0,12 µg/l		0,38
Anthracen	0,055 µg/l	0,11 µg/l	0,38
Fluoranthren	0,31 µg/l	0,62 µg/l	0,38
Naphthalin	0,07 µg/l	0,13 µg/l	0,33
Benzo[a]pyren	0,11 µg/l	0,22 µg/l	0,39
Benzo[b]fluoranthren	0,18 µg/l	0,36 µg/l	0,39
Benzo[k]fluoranthren	0,09 µg/l	0,18 µg/l	0,39
Benzo[g,h,i]-perylene	0,21 µg/l	0,42 µg/l	0,39
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,16 µg/l		0,39
PCB 28	0,0001 µg/l		0,36
PCB 52	0,0002 µg/l		0,36
PCB 101	0,0006 µg/l		0,36
PCB 138	0,0019 µg/l		0,36
PCB 153	0,0013 µg/l		0,36
PCB 180	0,0009 µg/l		0,36
Nonylphenol	0,13 µg/l	0,27 µg/l	0,36
Octylphenol	0,03 µg/l		0,36
DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat)	6,56 µg/l		0,35
BSB5	10 mg/l		0,32 ²⁾
Gesamt-P	0,45 mg/l		0,10
NH ₄ -N	0,80 mg/l		
AFS	96 mg/l		0,40
AFS63	66 mg/l		0,40

¹⁾ erster Wert bezieht sich auf die Gesamtkonzentration / zweiter Wert bezieht sich nur auf die gelöste Konzentration (maßgeblich nach Anlage 8 OGewV)

²⁾ für den Wirkungsgrad BSB5 wurde der Wirkungsgrad CSB nach Tabelle 4.1 angesetzt und damit die Ablaufkonzentration berechnet

Tabelle 4.3: Wirkungsgrade und Ablaufkonzentrationen für Sedimentationsanlagen im Dauerstau mit optimiertem Zulauf

Parameter	Mittlere Ablaufkonzentration	Hohe Ablaufkonzentration	Gesamtwirkungsgrad
Cu	48 µg/l		0,57
Cr	12 µg/l		0,61
Zn	197 µg/l		0,53
Cd ¹⁾	0,38 µg/l / 0,29 µg	0,76 µg/l / 0,58 µg	0,36 / 0
Ni ¹⁾	16,4 µg/l / 8,4 µg	32,8 µg/l / 16,8 µg	0,53 / 0
Pb ¹⁾	11,0 µg/l / 2,9 µg	22,0 µg/l / 5,8 µg	0,63 / 0
Fe	1,78 mg/l		0,68
Phenanthren	0,067 µg/l		0,67
Anthracen	0,030 µg/l	0,059 µg/l	0,67
Fluoranthren	0,165 µg/l	0,330 µg/l	0,67
Naphthalin	0,042 µg/l	0,084 µg/l	0,58
Benzo[a]pyren	0,058 µg/l	0,116 µg/l	0,68
Benzo[b]fluoranthren	0,094 µg/l	0,188 µg/l	0,69
Benzo[k]fluoranthren	0,047 µg/l	0,094 µg/l	0,69
Benzo[g,h,i]-perylene	0,109 µg/l	0,218 µg/l	0,69
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,082 µg/l		0,69
PCB 28	0,0001 µg/l		0,63
PCB 52	0,0001 µg/l		0,63
PCB 101	0,0003 µg/l		0,63
PCB 138	0,0011 µg/l		0,63
PCB 153	0,0007 µg/l		0,63
PCB 180	0,0005 µg/l		0,63
Nonylphenol	0,078 µg/l	0,155 µg/l	0,63
Octylphenol	0,02 µg/l		0,63
DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat)	3,86 µg/l		0,62
BSB5	6 mg/l		0,56 ²⁾
Gesamt-P	0,41 mg/l		0,18
NH4-N	0,80 mg/l		
AFS	48 mg/l		0,70
AFS63	33 mg/l		0,70

¹⁾ erster Wert bezieht sich auf die Gesamtkonzentration / zweiter Wert bezieht sich nur auf die gelöste Konzentration (maßgeblich nach Anlage 8 OGeWV)

²⁾ für den Wirkungsgrad BSB5 wurde der Wirkungsgrad CSB nach Tabelle 4.1 angesetzt und damit die Ablaufkonzentration berechnet

4.3 Retentionsbodenfilter

Retentionsbodenfilter (RBF) sind vertikal durchströmte Filteranlagen, die gegen den Untergrund gedichtet sind. Über dem Filter befindet sich der Retentionsraum. Der Zufluss wird dort gespeichert, durchfließt die Filterschicht langsam vertikal und wird durch das Dränagesystem dem Ablaufbauwerk zugeleitet. Dort befindet sich eine Drosseleinrichtung, die den Abfluss der Anlage begrenzt. Retentionsbodenfilter werden zur weitergehenden Behandlung von Mischwasserentlastungen sowie zur Regenwasserbehandlung im Trennsystem und für Straßenabflüsse eingesetzt.

Retentionsbodenfilteranlagen ermöglichen eine weitestgehende Reinigung der Straßenabflüsse. Neben den Sedimentationsprozessen werden über die Filtration bei der Durchsickerung des Filtersubstrates auch Feinpartikel zurückgehalten sowie viele gelöste Stoffe durch Sorption im Filtersubstrat festgelegt. Retentionsbodenfilteranlagen stellen damit z.Zt. die beste technisch durchführbare Regenwasserbehandlungsanlage dar. Zur Planung, Bau und Betrieb von RBF sei auf DWA (2005), DWA (2017) und MKULNV (2015) verwiesen.

Die Wirkung von Retentionsbodenfilteranlagen ist in den vergangenen 10 Jahren in etlichen Messvorhaben untersucht worden. Nachfolgend werden Messvorhaben betrachtet, die sich speziell mit Retentionsbodenfilteranlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen befassen. Im Folgenden werden die Messvorhaben kurz charakterisiert. In Tabelle 4.4 werden die charakteristischen Daten der Anlagen zusammengefasst.

Der RBF Halensee reinigt die Abflüsse der stark befahrenen Bundesautobahn A100 (DTV > 160.000 Kfz/d), bevor sie in den Halensee eingeleitet werden. Über einen Zeitraum von rd. 1,5 Jahren wurden die Zu- und Abflüsse aus dem RBF beprobt, wobei der Hauptfokus der Untersuchungen wegen der Eutrophierungsproblematik auf den P-Rückhalt gerichtet war (Grotehusmann et al. 2010).

Kasting/Grotehusmann (2011) untersuchten über den Zeitraum eines Jahres einen Bodenfilter, in den die Drosselabflüsse aus einem Stauraumkanal eingeleitet wurden. Die angeschlossenen Flächen sind u.a. Parkplatzflächen eines Einkaufszentrums und eines Baumarktes mit häufigen Fahrzeugwechseln. Neben anderen Parametern wurden hier auch die straßenspezifischen Stoffe wie Schwermetalle und PAK untersucht.

Im Rahmen eines von der BAST finanzierten Forschungsvorhabens wurde die Reinigungsleistung von 2 RBF ermittelt und ergänzend Lysimeterversuche mit Substraten aus Versickerungsbecken und Bodenfilteranlagen durchgeführt (Grotehusmann/Kasting, 2009). Die Zulaufkonzentrationen zu den RBF waren außerordentlich niedrig (z.B. AFS 4 bzw. 23 mg/l), da beiden Anlagen sehr große RiStWag-Anlagen (106 bzw. 75 m³/haA_{E,b}) als Vorstufen vorgeschaltet waren. Zusätzlich zu den Ergebnissen der beiden großtechnischen Anlagen wurden hier auch die der Lysimeterversuche mit einem Bodenfilteraufbau nach dem Stand der Technik DWA-M-178 (DWA, 2005) mit aufgenommen. Dieses Lysimeter wurde mit dem zuvor aufgerührten Wasser aus einem Sandfang an einer stark befahrenen Straße beschickt.

Grotehusmann et al. (2009, 2011) untersuchten die Wirksamkeit von zwei großen Retentionsbodenfilteranlagen in Berlin Adlershof und Biesdorf über einen mehrjährigen Messzeitraum. An diese Anlagen sind größere Einzugsgebietsflächen mit z.T. stark befahrenen Straßen angeschlossen. Auch hier waren die Untersuchungen vorrangig auf den P-Rückhalt ausgelegt.

Aus den langjährigen Untersuchungen von Nadler/Meißner (2008) wurden die halbbtechnischen Untersuchungen an einem Sandfilter berücksichtigt, der einem Standard Bodenfilteraufbau gleicht.

Kasting/Grotehusmann (2007) untersuchten 6 unterschiedliche sandige Bodenfiltersubstrate in halbbtechnischen Lysimeterversuchen. Die Lysimeter wurden über einen Zeitraum von rd. 1,5 Jahren ebenfalls mit dem zuvor aufgerührten Wasser aus einem Sandfang für stark belastete Straßenabflüsse beschickt. Signifikante Unterschiede bei der Reinigungsleistung der einzelnen Substrate waren nach einer gewissen Betriebszeit nicht mehr festzustellen. Daher werden für die Auswertung die Mittelwerte der 6 Lysimeter berücksichtigt.

Die Untersuchungen von Holthuis et al. (2012) am Bodenfilter Halensee in Hamburg werden nicht mit herangezogen, da zum einen die dort bei den Untersuchungen eingesetzten Filtersubstrate (optimiertes, stratifiziert aufgebautes Komposit-Filtermaterial) den üblichen Filteraufbauten nicht entsprechen. In DWA (2005, 2017) und MKULNV (2015) wird ausdrücklich der Einsatz von organischer Substanz auf Werte < 1 % begrenzt. Zum anderen ist während des Messzeitraumes durch einen Brand im Einzugsgebiet der Anlage zu einem Zufluss von PFT haltigen Feuerlöschmittel gekommen, der zu deutlich höheren Ablaufkonzentrationen führte.

Tabelle 4.4: charakteristische Daten der Bodenfilteranlagen

Anlage	Fläche	DTV [Kfz/d]	A _{E,b} [ha]	Vor- stufe spez. V [m³/ha]	A _F Filter- fläche [m²/ha]	Filteraufbau
Berlin, Halensee ¹⁾	BAB 100	160.000	22,8	14	99	0,9 m Sand mit Fe-Zuschlag
Benteler Str., Paderborn ²⁾	Parkplatzflächen EKZ		7,5	17	18	0,5 m Sand
Köln-Ost Westseite ³⁾	BAB 3	156.000	8,5	106	185	0,2 m Sand
Berlin 05/09 ³⁾	BAB 113	140.000	1,3	75	389	0,9 m Sand
Berlin, Adlershof ⁴⁾	Straßenflächen		45	14	131	1 m Sand mit Fe-Zuschlag
Berlin, Biesdorf ⁵⁾	Straßenflächen		158	6	101	1 m Sand mit Fe-Zuschlag

¹⁾ Grotehusmann et al. (2010)

²⁾ Kasting/Grotehusmann (2011)

³⁾ Grotehusmann/Kasting (2009)

⁴⁾ Grotehusmann et al. (2009)

⁵⁾ Grotehusmann et al. (2011)

In Anlage 7 sind für diese Messvorhaben die Zulauf- und die Ablaufkonzentrationen der Bodenfilter sowie die ermittelten Wirkungsgrade zusammengestellt und statistisch ausgewertet worden. Die dort angegebenen Wirkungsgrade sind alle frachtbezogen und liegen z.B. für die Schwermetalle eher in einem niedrigen Bereich. Für die Beurteilung der Wirkungsgrade sind die z.T. sehr geringen Zulaufkonzentrationen zu den Anlagen zu berücksichtigen, die u.a. auf die sehr großen Vorstufen vor den Bodenfiltern zurückzuführen sind. So liegt der Median der Wirkungsgrade für Cr nur bei 0,44 bei einem

Medianwert der Zulaufkonzentration 5 µg/l. Nach Tabelle 3.2 liegt der Medianwert der Konzentration in Straßenabflüssen jedoch 6 mal höher bei 30 µg/l. Die Ablaufkonzentrationen bei Bodenfiltern ist zumindest bei vorwiegend partikulär gebundenen Schadstoffen weitgehend von der Zulaufkonzentration unabhängig. Die Wirksamkeit bei einer Filtration ist in erster Linie vom Filtermaterial abhängig und nicht von der Zulaufkonzentration. Bei zu großer Belastung tritt eher eine Kolmation ein, als dass sich die Ablaufkonzentration erhöht. Daher sind die geringen Wirkungsgrade bei üblichen (höheren) Zulaufkonzentrationen nicht realistisch, wie auch die folgende Betrachtung zeigt. Durch die Filtration ist bei den Bodenfiltern von einem weitgehenden Rückhalt auch der Feinpartikel im Niederschlagsabfluss auszugehen. Selbst bei den vergleichsweise niedrigen Zulaufkonzentrationen wird ein AFS63-Wirkungsgrad von 93 % erzielt. Bei einem partikulären Anteil von 0,87 für Cr (Tabelle 3.2) würde daraus bereits ein Wirkungsgrad von $0,93 \cdot 0,87 = 0,81$ berechnet werden. Zusätzlich wird auch für den gelösten Schwermetallanteil durch Sorptionsprozesse am Filtermaterial ein weiterer Rückhalt stattfinden.

Wegen der unrealistisch niedrigen Wirkungsgrade wird im Folgenden nicht mit Wirkungsgraden, sondern direkt mit spezifischen Ablauffrachten von Retentionsbodenfiltern gerechnet. Unter Annahme eines mittleren Jahresniederschlags von 800 mm und eines mittleren Abflussbeiwertes von $\Psi = 0,7$ ergibt sich eine spezifische Ablaufmenge von 5.600 m³/(ha · a). Mit dieser spezifischen Ablaufmenge und dem Median der gemessenen Ablaufkonzentrationen der Retentionsbodenfilter wird die spezifische Ablauffracht berechnet. In Tabelle 4.5 sind die Ablaufkonzentrationen sowie die berechneten spezifischen Ablauffrachten von Retentionsbodenfilteranlagen zusammengestellt.

Bei den Messvorhaben sind nicht explizit die AFS63-Konzentrationen erhoben worden. Bei den ermittelten AFS-Ablaufkonzentrationen der Bodenfilter von weniger als 5 mg/l ist jedoch davon auszugehen, dass diese der AFS63 Fraktion zuzurechnen sind.

Für die PAK sind bei den Messvorhaben im Ablauf der Bodenfilter nur die PAK/EPA ausgewiesen. Mit den Faktoren der Tabelle 3.1 wurden daraus die Einzelsubstanzen berechnet. Der Wirkungsgrad wurde für alle Einzelsubstanzen mit dem Wirkungsgrad bezogen auf die PAK/EPA angenommen.

Für die PCB im Bodenfilterablauf existieren keine Messwerte. Hier werden die Wirkungsgrade der PAK angenommen und mit den Konzentrationen im Straßenabfluss die Ablaufkonzentrationen berechnet. Die Übertragung der Wirkungsgrade der PAK für die PCB ist nach Auffassung des Verfassers möglich, da der partikuläre Anteil bei den PCB mit denen der PAK vergleichbar ist und ein Großteil des Rückhaltes auf der Filtration auf und im Filterkörper beruht. Der gleiche Ansatz wurde für Nonylphenol und Octylphenol gewählt, da auch hier keine Messdaten vorliegen.

Für BSB₅ sind keine Messwerte von Bodenfilteranlagen für Straßenabflüsse bekannt. Hier werden ersatzweise die Wirkungsgrade für den CSB angenommen.

In MKULNV (2015) sind erzielbare Ablaufkonzentrationen von Retentionsbodenfiltern im Trennsystem bzw. für Straßenabflüsse angegeben, die sich sehr gut mit der Auswertung nach Tabelle 4.5 decken. So werden dort Ablaufkonzentration von < 5 mg/l für AFS63, < 0,1 mg/l für NH₄-N, 0,03 mg/l für Pges., 20 µg/l für Zn, 10 µg/l für Kupfer und 0,02 µg/l für Cd angegeben.

Tabelle 4.5: Ablaufkonzentrationen und spezifische Ablauffrachten von Retentionsbodenfiltern

Parameter	Ablaufkonzentration RBF gemessen	Berechnet über Wirkungsgrad ¹⁾	Spezifische Ablauffracht
Cu	7,75 µg/l		43 g/(ha·a)
Cr	2,20 µg/l		12,3 g/(ha·a)
Zn	20 µg/l		112 g/(ha·a)
Cd	0,05 µg/l		0,28 g/(ha·a)
Ni	1,60 µg/l		9,0 g/(ha·a)
Pb	1,35 µg/l		7,6 g/(ha·a)
Fe	0,1155 mg/l		0,647 kg/(ha·a)
Phenanthren	0,0012 µg/l		0,007 g/(ha·a)
Anthracen	0,0004 µg/l		0,002 g/(ha·a)
Fluoranthren	0,0032 µg/l		0,018 g/(ha·a)
Naphthalin	0,0005 µg/l		0,003 g/(ha·a)
Benzo[a]pyren	0,0012 µg/l		0,007 g/(ha·a)
Benzo[b]fluoranthren	0,0022 µg/l		0,012 g/(ha·a)
Benzo[k]fluoranthren	0,0007 µg/l		0,004 g/(ha·a)
Benzo[g,h,i]-perylene	0,0022 µg/l		0,012 g/(ha·a)
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,0015 µg/l		0,008 g/(ha·a)
PCB 28		0,0001 µg/l	0,00016 g/(ha·a)
PCB 52		0,0001 µg/l	0,00024 g/(ha·a)
PCB 101		0,0002 µg/l	0,00071 g/(ha·a)
PCB 138		0,0004 µg/l	0,0027 g/(ha·a)
PCB 153		0,0003 µg/l	0,00157 g/(ha·a)
PCB 180		0,0002 µg/l	0,00110 g/(ha·a)
Nonylphenol		0,031 µg/l	0,165 g/(ha·a)
Octylphenol		0,007 µg/l	0,0392 g/(ha·a)
DEHP (Bis(2-ethylhexyl)phthalat)	0,285 µg/l		1,60 g/(ha·a)
BSB ₅		3,6 µg/l	20,16 kg/(ha·a)
Gesamt-P	0,03 mg/l		0,17 kg/(ha·a)
NH ₄ -N	0,08 mg/l		0,45 kg/(ha·a)
AFS	3,8 mg/l		21,2 kg/(ha·a)
AFS63	3,8 mg/l		21,2 kg/(ha·a)

¹⁾ Für diese Parameter keine Ablaufkonzentrationen gemessen, daher Berechnung über Wirkungsgrad (Erläuterung siehe Text)

5 Bewertung der Einleitung von Straßenabflüssen

5.1 Bewertung bezüglich des chemischen Zustandes

Eine Verschlechterung des chemischen Zustandes eines Oberflächenwasserkörpers liegt vor, wenn infolge der Einleitung von Straßenabflüssen eine UQN (Anlage 8, OGewV) für einen Parameter überschritten wird

Werden die Konzentrationen im Straßenabfluss (Tabelle 3.2), die Konzentrationen im Ablauf von Sedimentationsanlagen (Tabelle 4.2, Tabelle 4.3) und im Ablauf von Retentionsbodenfiltern (Tabelle 4.5) mit den Umweltqualitätsnormen der OGewV zur Beurteilung des chemischen Zustandes (OGewV, Anlage 8) verglichen, so ergibt sich eine unterschiedliche Relevanz der Parameter. Ein Maß für die Relevanz ist der Quotient zwischen den Konzentrationen im Straßenabfluss bzw. im Ablauf der Regenwasserbehandlungsanlagen und den UQN. Ist dieser Quotient kleiner als 1, kann durch die Einleitung von Straßenabflüssen für den jeweiligen Parameter die UQN nicht überschritten werden. Liegt der Quotient über 1, kann in Abhängigkeit der Abflüsse im Gewässer und der Gewässervorbelastung durch den Ablauf der Behandlungsanlage die UQN überschritten werden. Je höher der Quotient, desto eher tritt die Überschreitung ein. Ob tatsächlich eine Überschreitung der UQN vorliegt, kann nur unter Berücksichtigung der Vorbelastung im Gewässer und der Abflussverhältnisse im Rahmen einer Mischungsrechnung beurteilt werden (siehe Kapitel 6).

In Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 ist der Quotient aus der Konzentration im Straßenabfluss und der jeweiligen niedrigsten UQN aus der OGewV für die PAK und in Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 für die Schwermetalle und organische Schadstoffe dargestellt.

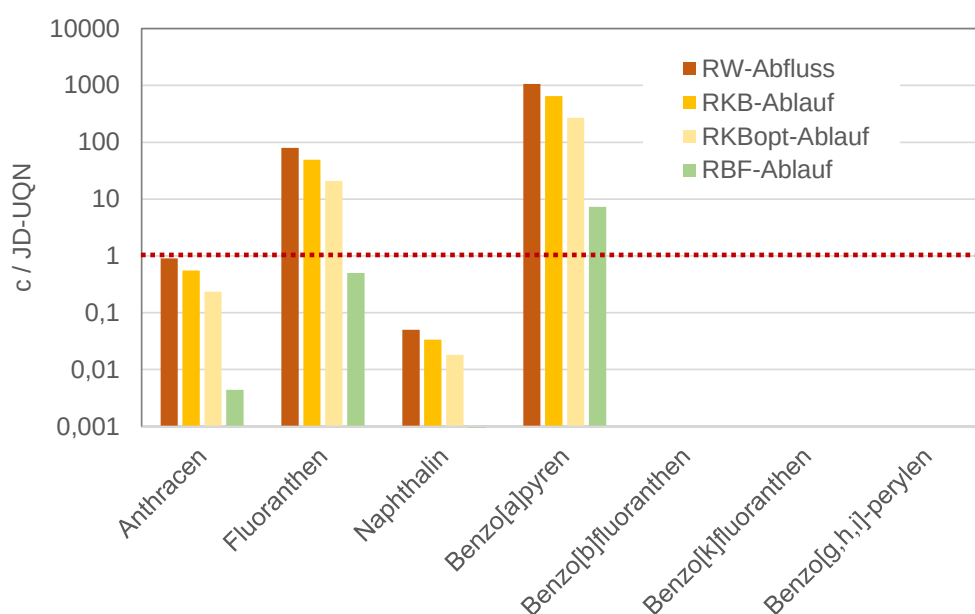


Abbildung 5-1: Quotient aus den Konzentration im Straßenabfluss (RW), Ablauf von Sedimentationsanlagen (RKB, RKBopt) und Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) und den JD-UQN für PAK (OGewV, Anlage 8)

Es zeigt sich deutlich, dass insbesondere die PAK Benzo(a)pyren und Fluoranthen besonders zu beachten sind. Mit der Richtlinie 2013/39/EU sind die Liste der prioritären Stoffe sowie die UQN für etliche Parameter, u.a. für Benzo(a)pyren und Fluoranthen, geändert worden. In der aktuellen OGewV (2016) sind daher die JD-UQN für Benzo(a)pyren von 0,05 µg/l auf 0,00017 µg/l und für Fluoranthen von 0,1 µg/l auf 0,0063 µg/l deutlich abgesenkt worden. Nach Welker (2004) werden bereits im reinen Niederschlag Benzo(a)pyrenkonzentrationen von 0,002 µg/l bis 0,05 µg/l gemessen. Aufgrund dieser extrem geringen JD-UQN, die z.T. unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, ist die mittlere Konzentration im Straßenabfluss für diese beiden PAK rd. 1.060-fach bzw. 80-fach höher als die zulässige JD-UQN. Selbst die Ablaufkonzentrationen von Retentionsbodenfilteranlagen, die als bestmögliche technisch durchführbare Regenwasserbehandlungsanlagen anzusehen sind, übersteigen die JD-UQN um den Faktor 7.

Für Anthracen und Naphtalin sind die mittleren Konzentrationen im Straßenabfluss geringer als die JD-UQN und für Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen und Benzo(g,h,i)perylene werden keine JD-UQN vorgegeben.

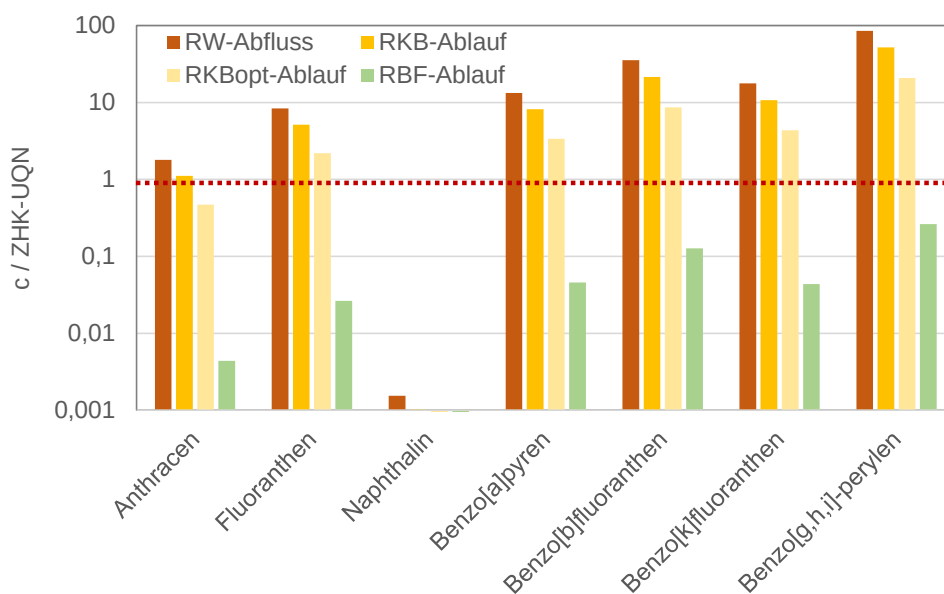


Abbildung 5-2: Quotient aus den Konzentration im Straßenabfluss (RW), Ablauf von Sedimentationsanlagen (RKB, RKBopt) und Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) und den ZHK-UQN für PAK (OGewV, Anlage 8)

Bezogen auf die ZHK-UQN werden Faktoren für den direkten Straßenabfluss und den Ablauf aus Sedimentationsanlagen zwischen 1 und 85 ermittelt. Die höchsten Faktoren werden für Benzo(b)fluoranthen und Benzo(g,h,i)perylene berechnet. Der Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen ist bei allen PAK kleiner als die ZHK-UQN, so dass hier keine straßenabflussbedingten Konzentrationsüberschreitungen im Gewässer auftreten können.

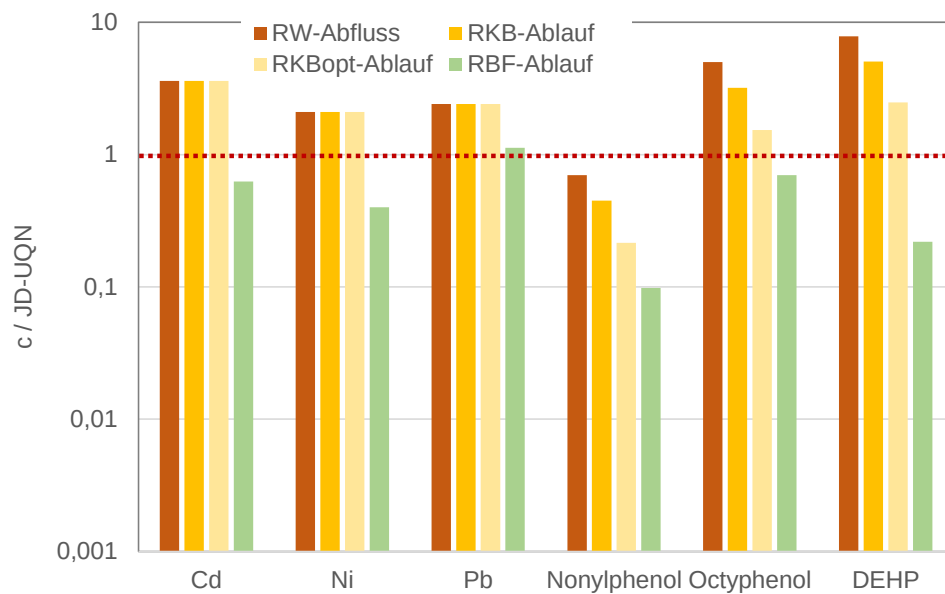


Abbildung 5-3: Quotient aus den Konzentration im Straßenabfluss (RW), Ablauf von Sedimentationsanlagen (RKB, RKBopt) und Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) und den JD-UQN für Schwermetalle und org. Schadstoffe (OGewV, Anlage 8), Hinweis: für Cd ist UQN von Wasserhärteklasse abhängig

Bei den Schwermetallen Cd, Ni und Pb liegen die Quotienten z.T. deutlich unterhalb von 10 (Abbildung 5-3). Für diese Schwermetalle sind entsprechend Anlage 8 der OGewV für den Straßenabfluss und den Ablauf aus den Regenwasserbehandlungsanlagen nur die gelösten Konzentrationen für die Berechnung des Quotienten angesetzt worden. Für die gelösten Konzentrationen dieser Schwermetalle wird entsprechend Tabelle 4.2 und Tabelle 4.3 für die Sedimentationsanlagen keine Rückhaltewirkung angenommen. Bei den Retentionsbodenfiltern wurde die Ablaufkonzentration direkt eingesetzt, da von weitgehend partikelfreiem Ablauf auszugehen ist und die Schwermetalle somit fast vollständig gelöst vorliegen müssten.

Auch für Octylphenol und DEHP sind die Faktoren unter 10, während für Nonylphenol im Straßenabfluss die JD_UQN nicht erreicht wird.

Bezogen auf die ZHK-UQN können nach Regenwasserbehandlung nur bei Cd Überschreitungen auftreten (Abbildung 5-4).

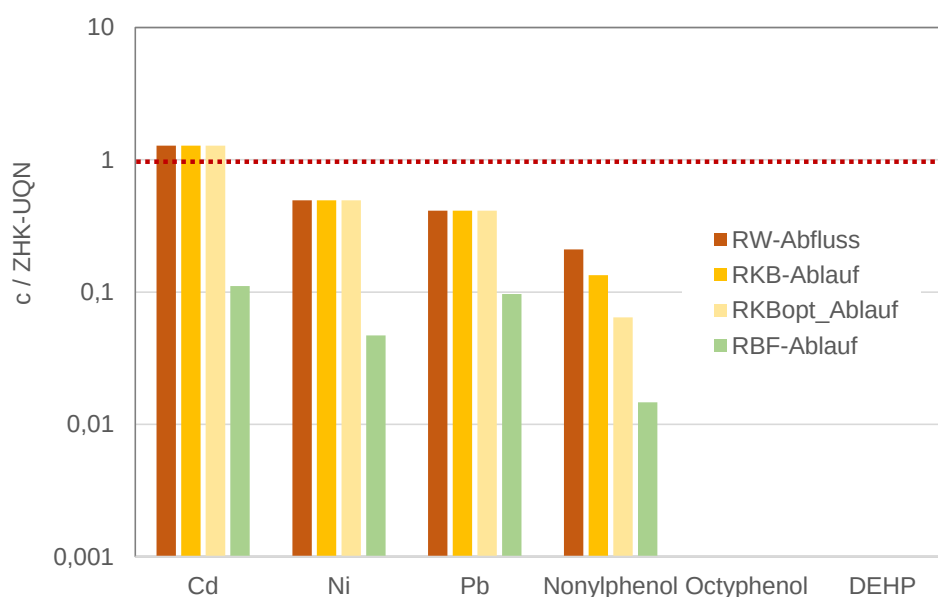


Abbildung 5-4: Quotient aus den Konzentration im Straßenabfluss (RW), Ablauf von Sedimentationsanlagen (RKB, RKBopt) und Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) und den ZHK-UQN für Schwermetalle und org. Schadstoffe (OGewV, Anlage 8), Hinweis: für Cd ist UQN von Wasserhärteklasse abhängig

Von den straßenspezifischen Parametern nach Anlage 8 der OGewV zur Beurteilung des chemischen Gewässerzustandes können besonders bei Gewässern mit geringem Abfluss und großer angeschlossener Straßenfläche am ehesten Benzo(a)pyren und Fluoranthene zur Einstufung in den schlechten chemischen Zustand führen.

5.2 Bewertung bezüglich des ökologischen Zustandes

Wie in Kapitel 2.2 bereits erläutert, wird der ökologische Zustand/ Potenzial eines Oberflächengewässerkörpers nach den biologischen Komponenten bewertet. Zusätzlich sind u.a. die flussgebietsspezifischen Schadstoffe (Anlage 6, OGewV) und die allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten (Anlage 7, OGewV) unterstützend zur Bewertung heranzuziehen.

5.2.1 Flussgebietsspezifische Schadstoffe

Ist eine der Qualitätsnormen für die flussgebietsspezifischen Schadstoffe nicht eingehalten, so ist der ökologische Zustand höchstens als mäßig einzustufen. Das kann bei der Einleitung von Straßenabflüssen bei sehr gutem oder gutem ökologischen Zustand zu einer Verschlechterung des Zustandes des Oberflächenwasserkörpers im Sinne der WRRL führen (vgl. auch LAWA, 2017b).

Analog zum Vorgehen bezüglich der Bewertung des chemischen Zustandes werden auch hier die Quotienten zwischen den Straßenabflüssen und den Abläufen der Regenwasserbehandlungsanlagen und den UQN gebildet. Die UQN sind für die flussgebietsspezifischen Schadstoffe für die Schwermetalle und die PCB auf die Schwebstoffe bzw. die Sedimente im Gewässer bezogen. Für die Straßenabflüsse wird dieser Quotient direkt aus den Sedimentkonzentrationen im Straßenabfluss und den UQN gebildet. Bei den Sedimentationsanlagen und Bodenfilteranlagen wird Sediment aus dem Straßenabfluss zurückgehalten aber die Sedimentkonzentration im Ablauf der Anlagen nicht vermindert. Daher wird für die Berücksichtigung der Anlagenwirkung für die Quotientenbildung die Konzentration im Straßenabfluss vereinfacht um den AFS-Wirkungsgrad der Behandlungsanlagen vermindert. Abbildung 5-5 stellt die Ergebnisse dar.

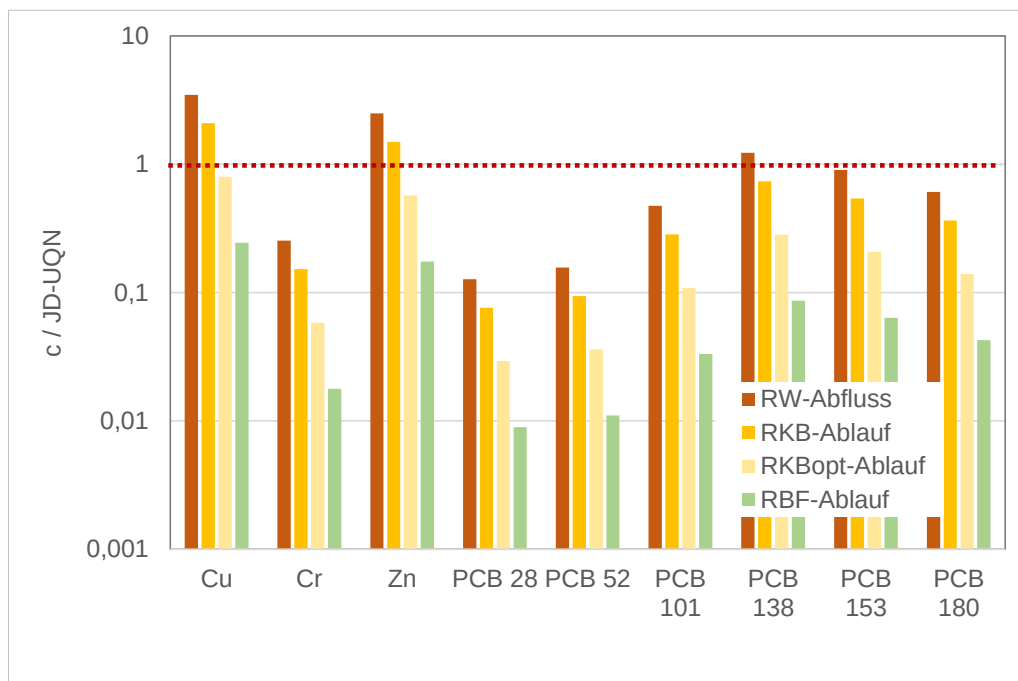


Abbildung 5-5: Quotient aus den Konzentration im Straßenabfluss (RW), Ablauf von Sedimentationsanlagen (RKB, RKBopt) und Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) und den JD-UQN für Schwermetalle und org. Schadstoffe (OGewV, Anlage 6)

Für die PCB ist durch die Einleitung von behandelten Straßenabflüssen keine Überschreitung der UQN möglich. Lediglich für die Schwermetalle Cu und Zn können die UQN bei den Sedimentationsanlagen überschritten werden. Die Quotienten liegen jedoch mit unter 5 im niedrigen Bereich. Bei Sedimentationsanlagen mit optimiertem Zu- und Ablauf und Retentionsbodenfilteranlagen tritt keine Überschreitung der UQN auf.

Eine Überschreitung der UQN für die flussgebietsspezifischen Schadstoffe ist bezüglich der Einleitung von behandelten Straßenabflüssen eher unwahrscheinlich.

5.2.2 Allgemeine physikalisch-chemische Qualitätskomponenten

Die allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten werden ergänzend zur Bewertung des ökologischen Zustandes / Potentials herangezogen. Nach Auffassung von LAWA (2017b) ist die Überschreitung einer UQN für allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten ein Indiz für eine nachteilige Veränderung der relevanten biologischen Qualitätskomponente. Diese führt dann nach LAWA (2017b) dann zu einer Verschlechterung, wenn diese nachteilige Veränderung der biologischen Qualitätskomponente einen Wechsel deren Zustandsklasse bedeutet.

Die allgemeinen physikalisch-chemischen UQN sind für Fließgewässer, Übergangs- und Küstengewässer und Seen für jeden Gewässertyp gesondert für den sehr guten und den guten ökologischen Zustand in Anlage 7 der OGewV festgelegt. Exemplarische sind analog der vorherigen Kapitel in Abbildung 5-6 die Quotienten zwischen den Konzentrationen im Straßenabfluss und im Ablauf der Regenwasserbehandlungsanlagen und den UQN für den guten ökologischen Zustand für die Fließgewässer dargestellt. Da sich die UQN je nach Fließgewässertyp unterscheiden, sind hier die Quotienten mit den jeweils geringsten UQN für den entsprechenden Parameter gebildet worden.

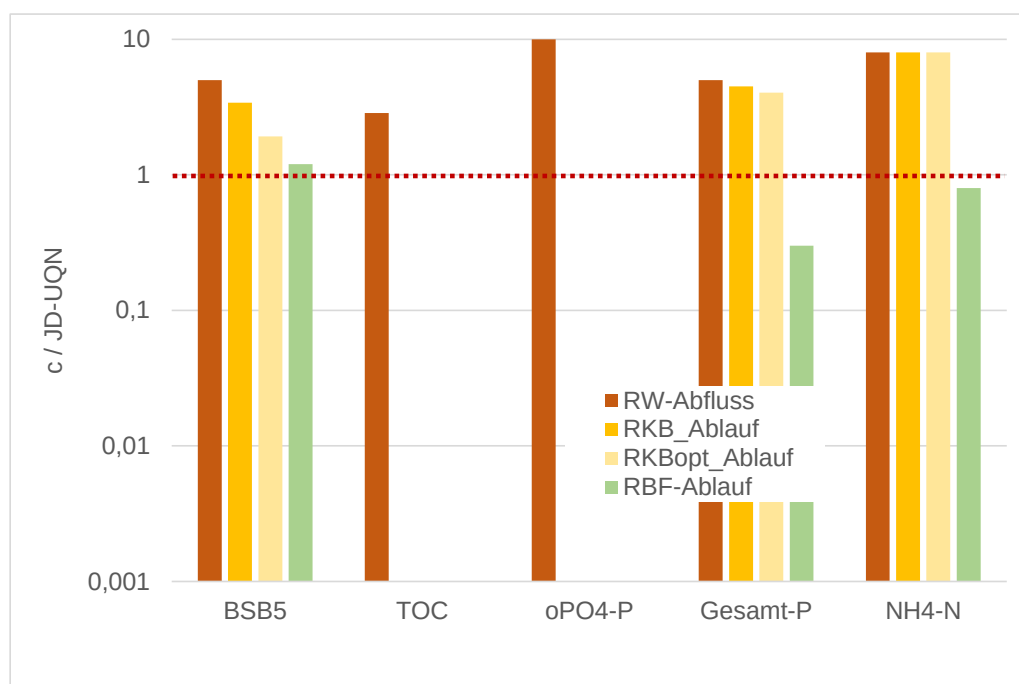


Abbildung 5-6: Quotient aus den Konzentration im Straßenabfluss (RW), Ablauf von Sedimentationsanlagen (RKB, RKBopt) und Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen (RBF) den MW (für guten ökologische Zustand) für Nährstoffe (OGewV, Anlage 7, nur Fließgewässer)

Für TOC und oPO4-P liegen keine oder keine ausreichenden Messergebnisse zur Abläufen der Regenwasserbehandlungsanlagen vor, daher können hier keine Quotienten gebildet werden. In Abhängigkeit vom Typ des Fließgewässers können Überschreitungen der UQN bei BSB₅, Gesamt-P und NH₄-N auftreten, die Quotienten liegen alle unter 10. Nach der Behandlung in Retentionsbodenfilteranlagen sind je nach Gewässervorbelastung i.d.R. keine Überschreitungen der UQN zu erwarten.

5.3 Fazit

Eine Verschlechterung kann nach den vorgenommenen Auswertungen nach der Einleitung von Straßenabflüssen am ehesten bezüglich des chemischen Zustandes (Anlage 8, OGewV) eintreten. Die JD-UQN für den ubiquitären PAK Benzo(a)pyren sind so gering, dass sie selbst nach der Behandlung in Retentionsbodenfilteranlagen, die z.Zt. als beste technische durchführbare Regenwasserbehandlungsmaßnahme gelten, bei größeren angeschlossenen Flächen und geringer Wasserführung der Fließgewässer überschritten werden können (vgl. Anlage 8.1). Bezogen auf die ZHK-UQN sind Überschreitungen bei den ubiquitären PAK Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen und Benzo(g,h,i)peryln bei der Behandlung der Straßenabflüsse in Retentionsbodenfiltern auszuschließen. Nach dem Schadstoffmonitoring der niedersächsischen Oberflächengewässer (NLWKN, 2014) sind – bereits unter Berücksichtigung der verschärften UQN der OGewV 2016 - nach Tributylzinn die PAK Benzo(a)pyren, Fluoranthen, Benzo(g,h,i)perylene, Benzo(b)fluoranthen und Benzo(k)fluoranthen auf der Rankingliste der häufigsten Überschreitungen der UQN ganz oben. Eine Überschreitung der UQN für Benzo(a)pyren tritt demnach an 22 % der Messstellen auf. Dies wird auch durch die deutliche Verschärfung der UQN für diese Parameter erklärt.

Das Problem der sehr geringen UQN für die PAK, die z.T. weit unterhalb der Bestimmungsgrenzen liegen, wird auch von Schitthelm et al. (2016) diskutiert. Eine Zielerreichung für die PAK ist nach Schitthelm et al. (2016) für das Gewässer Niers nicht möglich, da dann alle (urbane und landwirtschaftliche) Oberflächenabflüsse gereinigt werden müssen. Selbst eine Reinigung in Retentionsbodenfilteranlagen liefert nach Auffassung dieser Autoren keinen ausreichenden Schadstoffrückhalt. Das kann aufgrund der Aussagen in Kapitel 5.1 zumindest für Benzo(a)pyren bestätigt werden.

Eine Verschlechterung des ökologischen Zustandes aufgrund von Überschreitungen der UQN bei den flussgebietspezifischen Schadstoffen (Anlage 6, OGewV) nach Einleitung von behandelten Straßenabflüssen ist eher unwahrscheinlich, da die PCB im Straßenabfluss bis auf eine Ausnahme in Konzentrationen unterhalb der UQN auftreten und für die Schwermetalle Cu, Cr und Zn nach einer Regenwasserbehandlung und einer gewissen Verdünnung im Gewässer (Berechnungsbeispiele in Kapitel 6.3) die UQN unterschritten werden.

Für die allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten (Anlage 7, OGewV) können durch die Einleitung von Straßenabflüssen, die in Retentionsbodenfilteranlagen behandelt wurden i.d.R. keine Überschreitungen der UQN hervorgerufen werden, da die Ablaufkonzentrationen zu gering sind. Bezogen auf Gesamt-P und NH₄-N kann in reinen Sedimentationsanlagen nur eine geringe bzw. keine Reinigungsleistung erzielt werden. Hier muss dann vor allem die Vorbelastung und die Wasserführung des Gewässers berücksichtigt werden, um zu prüfen, ob eine Verschlechterung vorliegt. Allerdings ist – wie oben bereits angesprochen - eine Überschreitung der UQN erst einmal nur ein Indiz für eine Verschlechterung einer biologischen Qualitätskomponente, die nicht automatisch zu einer Verschlechterung des ökologischen Zustandes führt.

Die bislang übliche Vorgehensweise bei der Planung der Straßenentwässerung nach dem Stand der Technik (RAS-Ew) nach dem Emissionsprinzip kann eine Überschreitung der UQN für die Parameter zur Beurteilung des chemischen Gewässerzustandes (Anlage 8 der OGewV) nicht ausschließen. Insbesondere für die PAK kann es beim

Einsatz von üblichen Sedimentationsanlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen zu einer Überschreitung der sehr geringen UQN kommen.

6 Resultierende Konzentration im Oberflächengewässer

Nachfolgend werden zunächst die Formeln zur Berechnung der Konzentration im Oberflächengewässer (Mischungsrechnung) vorgestellt und danach für ausgewählte Parameter Beispielrechnungen durchgeführt.

6.1 Berechnung der Konzentration bezüglich der JD-UQN

Die Konzentration im Oberflächengewässer aufgrund der Einleitung von Straßenabflüssen wird bezogen auf die Jahresdurchschnitts-Umweltqualitätsnorm (JD-UQN) nach Gleichung 2a bzw. 2b berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die gesamte mit den (behandelten) Straßenabflüssen eingetragene Schadstofffracht auf den Jahresabfluss des Oberflächenwasserkörpers mit einer entsprechenden Ausgangsbelastung verteilt wird. In der Realität werden bei Regen mit Abflüssen aus der Straßenentwässerung deutlich höhere Konzentrationen im Gewässer auftreten, wobei in niederschlagsfreien Zeiten die Konzentrationen unter den gemittelten Werten liegen. Gleichung 2a ist für den direkten Straßenabfluss und Sedimentationsanlagen anzuwenden (Berechnung über Wirkungsgrad) und Gleichung 2b für Retentionsbodenfilteranlagen (direkter Ansatz von spezifischen Ablaufrachten für RBF, Erläuterung siehe Kapitel 4.3).

Für direkten Straßenabfluss und Sedimentationsanlagen:

$$c_{OWK,RW} = \frac{c_{OWK} \cdot MQ + B_{RW} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA})}{MQ} \quad \text{Gleichung 2a}$$

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW	$c_{OWK,RW}$ in mg/l
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK	c_{OWK} in mg/l
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss	B_{RW} in g/(ha·a)
angeschlossene befestigte Fahrbahnofläche	$A_{E,b,a}$ in ha
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage	η_{RWBA}
Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m³/a

Für Retentionsbodenfilteranlagen:

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MQ + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,b,a}}{MQ} \quad \text{Gleichung 2b}$$

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW	$C_{OWK,RW}$ in mg/l
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK	C_{OWK} in mg/l
Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF	$B_{RBF,ab}$ in g/(ha·a)
angeschlossene befestigte Fahrbahnofläche	$A_{E,b,a}$ in ha
Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m³/a

Bezogen auf die flussgebietsspezifischen Schadstoffe ist die Konzentrationsveränderung bezüglich der straßenspezifischen Stoffe auf die Konzentration im Schwebstoff bzw. im Sediment der Gewässer bezogen. Die resultierende Schwebstoffkonzentration im Oberflächenwasserkörper wird aus der gesamten Schwebstofffracht des OWK mit der entsprechenden Schadstoffkonzentration und der gesamten über den (behandelten) Straßenabfluss eingetragenen partikulären Schadstofffracht nach Gleichung 3a bzw. 3b berechnet.

Für direkten Straßenabfluss und Sedimentationsanlagen:

$$C_{Sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{Sed,OWK} + B_{RW} \cdot f_{part.} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA,AFS}) \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RW,AFS} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA,AFS})} \quad \text{Gleichung 3a}$$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW	$C_{Sed,OWK,RW}$ in mg/kg
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK	$C_{Sed,OWK}$ in mg/kg
Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m³/a
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK	S_{OWK} in g/m³
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss	B_{RW} in g/(ha·a)
Spezifische AFS-Fracht	$B_{RW,AFS}$ in g/(ha·a)
angeschlossene befestigte Fahrbahnofläche	$A_{E,b,a}$ in ha
partikulärer Anteil	$f_{part.}$
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage bezogen auf AFS	$\eta_{RWBA,AFS}$

Für Retentionsbodenfilteranlagen:

$$C_{Sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{Sed,OWK} + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,b,a} \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RBF,ab,AFS} \cdot A_{E,b,a}} \quad \text{Gleichung 3b}$$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW	$C_{Sed,OWK,RW}$ in mg/kg
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK	$C_{Sed,OWK}$ in mg/kg
Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m ³ /a
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK	S_{OWK} in g/m ³
Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF	$B_{RBF,ab}$ in g/(ha·a)
Spezifische AFS-Fracht Ablauf RBF	$B_{RBF,ab,AFS}$ in g/(ha·a)
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche	$A_{E,b,a}$ in ha

6.2 Berechnung der Konzentration bezüglich der ZHQ-UQN

Zur Berechnung der zulässigen Höchstkonzentration (ZHQ-UQN) im Gewässer wird nicht mehr vom mittleren Jahresfrachten sondern von momentan eingeleiteten Frachten aus Konzentrationen und Abflüssen ausgegangen.

Der Ablauf der Regenwasserbehandlungsanlagen ist in der Regel durch den Anlagentyp selbst (Retentionsbodenfilter) oder durch nachgeschaltete Regenrückhalteanlagen begrenzt. Als auf die angeschlossene Fläche bezogene spezifische Drosselabflussspende der Regenrückhalteanlagen wird häufig von den unteren Wasserbehörden ein Wert von $q_s = 5 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ gefordert. Retentionsbodenfilteranlagen für Straßenabflüsse können überschlägig nach DWA (2017) mit 100 m² Filterfläche je ha angeschlossene Fläche bemessen werden. Die auf die Filterfläche bezogene spezifische Drosselabflussspende des Filters ist mit 0,05 l/(s · m²) anzusetzen. Damit ergibt sich auch für die Retentionsbodenfilteranlagen eine auf die angeschlossene Fläche bezogene spezifische Drosselabflussspende von $q_s = 5 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$.

Sind keine Drosseleinrichtungen an den Regenwasserbehandlungsanlagen vorhanden, wie z.B. bei reinen RiStWag Anlagen, so wird eine Abflussspende von 15 l/(s · ha) vorgeschlagen. Nach DWA (2016) fließt weit über 90 % des Niederschlagsabflussvolumens mit geringeren Abflussspenden als 15 l/(s · ha) ab (vgl. Abbildung 6-1).

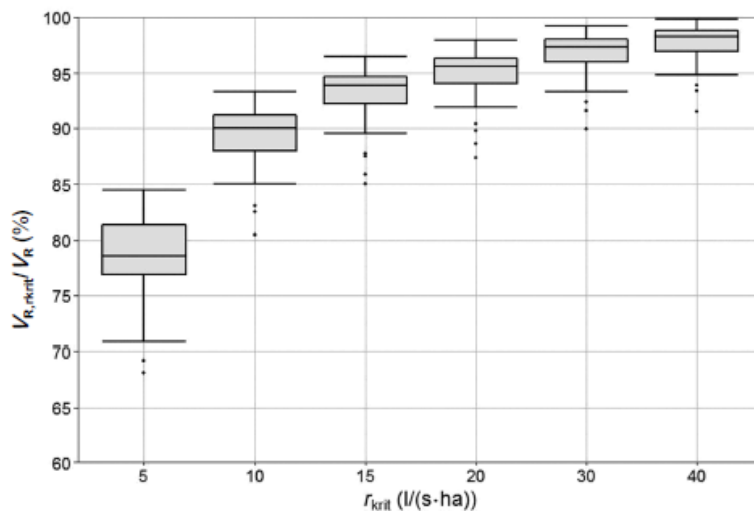


Abbildung 6-1: Anteil des Regenabflusses unterhalb der kritischen Regenspende (DWA, 2016)

Für den Abfluss im Gewässer werden der mittlere Niedrigwasserabfluss und als Zulaufkonzentration zu den Behandlungsanlagen die hohe Belastung nach Tabelle 3.2 angesetzt. Damit liegt eine ungünstige Belastungssituation (worst case scenario) vor. Die Konzentration im Oberflächenwasserkörper berechnet sich damit nach folgender Gleichung 4. Der Niederschlagsabfluss ist dabei aus der angeschlossenen Fläche und der spezifischen Drosselleistung bzw. Abflussspende zu berechnen.

Für direkten Straßenabfluss und Sedimentationsanlagen:

$$c_{OWK,RW} = \frac{c_{OWK} \cdot MNQ + c_{RW,hB} \cdot (1 - \eta_{RWBA}) \cdot Q_{RW}}{MNQ + Q_{RW}} \quad \text{Gleichung 4a}$$

Konzentration OWK nach Einleitung RW

$c_{OWK,RW}$ in mg/l

Ausgangskonzentration OWK

c_{OWK} in mg/l

Eingeleiteter Niederschlagsabfluss

Q_{RW} in l/s

Mittlerer Niedrigwasserabfluss OWK

MNQ in l/s

Konzentration Niederschlagsabfluss, hohe Belastung

$c_{RW,hB}$ in mg/l

Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage

η_{RWBA}

Für Retentionsbodenfilteranlagen:

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MNQ + C_{RBF,ab} \cdot Q_{RW}}{MNQ + Q_{RW}} \quad \text{Gleichung 4b}$$

Konzentration OWK nach Einleitung RW	$C_{OWK,RW}$ in mg/l
Ausgangskonzentration OWK	C_{OWK} in mg/l
Eingeleiteter Niederschlagsabfluss	Q_{RW} in l/s
Mittlerer Niedrigwasserabfluss OWK	MNQ in l/s
Ablaufkonzentration RBF	$C_{RBF,ab}$ in mg/l

6.3 Berechnungsbeispiele

In Anlage 9 sind Konzentrationsberechnungen aufgelistet, die von folgenden Randbedingungen ausgehen:

- Mittlerer Jahresniederschlag 750mm, mittlerer Jahresabflussbeiwert 0,7, damit Abflussvolumen von 5.250 m³/(ha a)
- Konzentrationen im Straßenabfluss gemäß Tabelle 3.2 und Ablaufkonzentrationen bzw. –frachten der Behandlungsanlagen gemäß Tabelle 4.2, Tabelle 4.3 und Tabelle 4.5.
- Ausgangsbelastung der Gewässer entspricht 25 % bzw. 75 % der jeweiligen UQN
- Die Schwebstoffkonzentration im Gewässer wird mit 20 g/m³ angenommen (relativ geringer Wert, hinsichtlich der Fragestellung ungünstige Annahme)
- Variation der angeschlossenen Straßenfläche von 0,25 ha bis 10 ha und Variation des Gewässerabflusses von 5 l/s bis 10.000 l/s

Exemplarisch für die prioritären Stoffe nach Anlage 8 der OGewV zur Einstufung des chemischen Zustandes werden Berechnungen für die PAK Benzo(a)pyren und Fluoranthene durchgeführt. Als flussgebietsspezifische Schadstoffe (Anlage 6, OGewV) werden Kupfer und Zink und für die allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten werden NH₄-N und Gesamt P ausgewählt.

In Tabelle 6.1 sind exemplarisch am Beispiel des für die Beurteilung des chemischen Gewässerzustandes am problematischsten Parameters Benzo(a)pyren die Berechnungsergebnisse bezogen auf die JD-UQN dargestellt. Hier sind die resultierenden Benzo(a)pyrenkonzentrationen im Oberflächenwasserkörper aufgrund der Einleitung von unbehandelten und in einer Sedimentationsanlage bzw. einem Retentionsbodenfilter behandelten Straßenabflüssen für unterschiedliche Kombinationen von angeschlossener Fläche und Mittelwasserabfluss (MQ) des Gewässers dargestellt. Sofern die resultierenden Gewässerkonzentrationen die UQN (0,00017 µg/l) überschreiten, sind diese rot hinterlegt. Die Ausgangsbelastung im Gewässer beträgt gemäß obiger Annahme 0,75*0,00017 µg/l = 0,00013 µg/l.

Unter Annahme einer zu entwässernden Straßenfläche von 1 ha ist theoretisch eine Einleitung von Straßenabflüssen ab einem MQ von 1 m³/s möglich, um zur Einhaltung der UQN eine ausreichende Verdünnung zu erzielen. Wird eine Sedimentationsanlage mit optimiertem Zulauf zur Regenwasserbehandlung eingesetzt, so ist die Einleitung

ohne Verletzung der UQN bei Mittelwasserabflüssen von rd. $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ möglich. Erst die Behandlung in Retentionsbodenfilteranlagen würde durch die weitgehende Reinigung auch eine Einleitung in Gewässer mit geringer Wasserführung ($MQ = 5 \text{ l/s}$) ermöglichen. Bei größeren angeschlossenen Flächen kann bei kleinem Gewässerabfluss selbst die Behandlung im Bodenfilter nicht ausreichen, um die UQN zu unterschreiten.

Tabelle 6.1: resultierende Benzo(a)pyrenkonzentrationen im Oberflächenwasserkörper aufgrund der Einleitung von (unbehandelten) Straßenabflüssen, von Abläufen einer Sedimentationsanlage (optimiert) und einer Retentionsbodenfilteranlage für unterschiedliche Kombinationen von angeschlossener Fläche und Mittelwasserabfluss (MQ) des Gewässers

Straßenabfluss JD-UQN						
	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	0,00116 µg/l	0,00219 µg/l	0,00425 µg/l	0,01043 µg/l	0,02074 µg/l	0,04135 µg/l
10 l/s	0,00064 µg/l	0,00116 µg/l	0,00219 µg/l	0,00528 µg/l	0,01043 µg/l	0,02074 µg/l
25 l/s	0,00033 µg/l	0,00054 µg/l	0,00095 µg/l	0,00219 µg/l	0,00425 µg/l	0,00837 µg/l
50 l/s	0,00023 µg/l	0,00033 µg/l	0,00054 µg/l	0,00116 µg/l	0,00219 µg/l	0,00425 µg/l
100 l/s	0,00018 µg/l	0,00023 µg/l	0,00033 µg/l	0,00064 µg/l	0,00116 µg/l	0,00219 µg/l
250 l/s	0,00015 µg/l	0,00017 µg/l	0,00021 µg/l	0,00033 µg/l	0,00054 µg/l	0,00095 µg/l
500 l/s	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00017 µg/l	0,00023 µg/l	0,00033 µg/l	0,00054 µg/l
1000 l/s	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00018 µg/l	0,00023 µg/l	0,00033 µg/l
2500 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00017 µg/l	0,00021 µg/l
5000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00017 µg/l
10000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l
Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN						
	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	0,00046 µg/l	0,00079 µg/l	0,00145 µg/l	0,00343 µg/l	0,00672 µg/l	0,01332 µg/l
10 l/s	0,00029 µg/l	0,00046 µg/l	0,00079 µg/l	0,00178 µg/l	0,00343 µg/l	0,00672 µg/l
25 l/s	0,00019 µg/l	0,00026 µg/l	0,00039 µg/l	0,00079 µg/l	0,00145 µg/l	0,00277 µg/l
50 l/s	0,00016 µg/l	0,00019 µg/l	0,00026 µg/l	0,00046 µg/l	0,00079 µg/l	0,00145 µg/l
100 l/s	0,00014 µg/l	0,00016 µg/l	0,00019 µg/l	0,00029 µg/l	0,00046 µg/l	0,00079 µg/l
250 l/s	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00019 µg/l	0,00026 µg/l	0,00039 µg/l
500 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00016 µg/l	0,00019 µg/l	0,00026 µg/l
1000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00016 µg/l	0,00019 µg/l
2500 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l
5000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l
10000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l
Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN						
	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00017 µg/l	0,00024 µg/l	0,00035 µg/l	0,00057 µg/l
10 l/s	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00018 µg/l	0,00024 µg/l	0,00035 µg/l
25 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00017 µg/l	0,00022 µg/l
50 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l	0,00017 µg/l
100 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l	0,00015 µg/l
250 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00014 µg/l
500 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l
1000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l
2500 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l
5000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l
10000 l/s	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l	0,00013 µg/l

In den Anlagen 8.1 bis 8.6 sind für die anderen o.g. Parameter die Berechnungsergebnisse dargestellt.

7 Zusammenfassung

Nach der Richtlinie 2000/60/EG (Wasserrahmenrichtlinie – WRRL) ist die weitere Verschlechterung des Zustands der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängigen Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf deren Wasserhaushalt zu vermeiden, deren Zustand zu schützen und zu verbessern (Verschlechterungsverbot, Verbesserungsbot). Im Rahmen dieses Gutachtens war zu prüfen, ob die bisherige auf dem Emissionsprinzip beruhende Planungspraxis für die Straßenentwässerungsanlagen dem Verschlechterungsverbot der WRRL entgegensteht.

Dazu sind Parameter identifiziert worden, die vorwiegend durch den Straßenverkehr emittiert werden, im Straßenabfluss in nennenswerten Konzentrationen vorkommen und hinsichtlich der WRRL bzw. Vorgaben der OGewV als relevante Parameter zur Beurteilung des Gewässerzustands gelten. Hier sind insbesondere die Stoffgruppen der PAK, die der Schwermetalle und weitere organische Parameter zu nennen. Die getroffene Parameterauswahl deckt sich bezüglich der prioritären Stoffe mit der Einschätzung vom NLWKN (2012). Zusätzlich sind die abflitrierbaren Stoffe (AFS) und der feinstpartikuläre Anteil dieser Stoffe (AFS63) mit aufgenommen worden, da viele Schadstoffe an die Feinfraktion der Sedimente im Straßenabfluss gebunden vorliegen.

Aus vorliegenden Messvorhaben sind für die ausgewählten Parameter die gemessenen Konzentrationen aufgelistet und statistisch ausgewertet worden. Während für Schwermetalle, AFS und für Nährstoffe vergleichsweise viele Daten vorliegen, sind bei anderen Parametern z.B. PCB, Alkylphenole nur wenige Daten verfügbar. Bei den PAK wurden häufig nicht die Einzelsubstanzen explizit aufgelistet, sondern nur Summenparameter PAK/TVO oder PAK/EPA angegeben. Mit Hilfe von aus zwei Messvorhaben abgeleiteten Verteilungsfaktoren wurden diese dann auf die Einzelsubstanzen heruntergebrochen. Eine signifikante Abhängigkeit zwischen der Konzentration im Straßenabfluss und der Verkehrsbelastung (DTV) war aus den Messdaten nicht abzuleiten. Aus diesem Grund wurden alle Messvorhaben an Bundesfernstraßen mit verwertet. Aus diesen Messvorhaben wurde als mittlere Belastung der Straßenabflüsse der Median festgelegt. Als hohe Belastung wurde i.d.R. das obere Quartil der Auswertung zugrunde gelegt.

Üblicherweise werden zur Behandlung von Straßenabflüssen vor der Einleitung in Oberflächengewässer entweder Sedimentationsanlagen ggf. gekoppelt mit Regenrückhaltanlagen oder Retentionsbodenfilteranlagen eingesetzt. Die Wirkungsgrade bzw. die Ablaufkonzentrationen zu diesen Behandlungsanlagen wurden aus Literurdaten zusammengestellt. Bei den Sedimentationsanlagen ist die Bandbreite der Wirkungsgrade sehr groß, da die spezifischen Beckengrößen und damit die maßgebliche Oberflächenbeschickung, die Wassertiefen in den Beckenanlagen, die Zulaufgestaltung sowie die tatsächliche hydraulische Belastung während der Messkampagnen die Rückhaltewirkung beeinflussen. Aufgrund der direkten Zu- und Ablaufbeprobungen an Sedimentationsanlagen für Straßenabflüsse, einer Auswertung der in den Becken zurückgehaltenen Sedimentmengen und von Auswertungen von AFS63 Wirkungsgraden an 10 Beckenanlagen wurde ein Wirkungsgrad von 40 % bezogen auf AFS63 festgelegt. Über den Wirkungsgrad für AFS63 und den partikulären Anteilen der einzelnen Parameter wurde für jeden Parameter ein Wirkungsgrad festgelegt. Mit dem Wirkungsgrad und der mittleren Zulaufbelastung wurde für jeden Parameter eine Ablaufkonzentration berechnet.

Bei den Retentionsbodenfilteranlagen wurden die Ablaufkonzentrationen für die einzelnen Parameter direkt statistisch ausgewertet und als Ablaufkonzentration der Median

zugrunde gelegt. Nur für die Parameter für die keine Messungen vorliegen (z.B. PCB) wurde auch über den partikulären Anteil die Rückhaltewirkung abgeschätzt und damit die Ablaufkonzentration berechnet. Mulden-Rigolen-Systeme mit Ablauf aus den Rigolen in Oberflächengewässer können von der Reinigungsleistung her wie Retentionsbodenfilteranlagen betrachtet werden, da die Reinigungsmechanismen die gleichen sind.

Für die Bewertung der behandelten Abflüsse bezüglich den Anforderungen der WRRL wurden Quotienten zwischen den Konzentrationen im Straßenabfluss bzw. im Ablauf der Regenwasserbehandlungsanlagen und der jeweiligen niedrigsten UQN der OGewV gebildet. Je höher der Quotient, desto eher könnten die UQN im Gewässer überschritten werden, wenn keine ausreichende Verdünnung im Gewässer erfolgt. Ob tatsächlich eine Überschreitung der UQN vorliegt, kann nur unter Berücksichtigung der Vorbelastung im Gewässer und der Abflussverhältnisse im Rahmen einer Mischungsrechnung beurteilt werden an einem repräsentativen Beurteilungspunkt im Oberflächenwasserkörper.

Bei der Beurteilung der Ablaufkonzentrationen aus den Behandlungsanlagen zeigt sich ganz deutlich, dass bei den prioritären Stoffen nach Anlage 8 der OGewV in erster Linie die ubiquitär vorkommenden PAK zu Überschreitungen der UQN für die Beurteilung des chemischen Zustandes führen können. Die mittlere Konzentration von Benzo(a)pyren im Straßenabfluss ist rd. 1060-fach höher als die JD-UQN. Die JD-UQN für den ubiquitären PAK Benzo(a)pyren sind so gering, dass sie selbst nach der Behandlung durch Retentionsbodenfilteranlagen, die z.Zt. als beste technische durchführbare Regenwasserbehandlungsmaßnahme gelten, bei größeren angeschlossenen Flächen und geringer Wasserführung der Fließgewässer überschritten werden können.

Eine Verschlechterung des ökologischen Zustandes aufgrund von Überschreitungen der UQN bei den flussgebietspezifischen Schadstoffen nach Einleitung von behandelten Straßenabflüssen ist eher unwahrscheinlich. Die PCB liegen im Straßenabfluss bis auf eine Ausnahme in Konzentrationen unterhalb der UQN vor und für die Schwermetalle Cu, Cr und Zn werden nach einer Regenwasserbehandlung und einer gewissen Verdünnung im Gewässer die UQN unterschritten. Bezogen auf die allgemeinen physikalisch-chemischen UQN können in Abhängigkeit vom Typ des Fließgewässers Überschreitungen bei BSB₅, Gesamt-P und NH₄-N auftreten. Nach der Behandlung in Retentionsbodenfilteranlagen sind je nach Gewässervorbelastung i.d.R. keine Überschreitungen der UQN zu erwarten.

Für die Berechnung der Konzentrationen im Gewässer nach der Einleitung von (behandelten) Straßenabflüssen werden Gleichungen für die Durchführung von Mischungsrechnungen angegeben. Bezogen auf die JD-UQN werden Jahresfrachten der mit dem Straßenabfluss eingetragenen Schadstoffe betrachtet. Für die Konzentrationsberechnung bezogen auf die ZHK-UQN wird für die Regenwasserbehandlungsanlagen ein spezifischer Drosselabfluss von 5 l/(s · ha) und für das Gewässer der MNQ angesetzt. Sollte eine Regenwasserbehandlungsmaßnahme ohne Abflussdrossel ausgeführt sein, wird als Regenabfluss 15 l/(s · ha) angesetzt.

Für 6 Parameter (Benzo(a)pyren, Fluoranthen, Kupfer, Zink, Gesamt-P und NH₄-N) sind für unterschiedliche Kombinationen von angeschlossener Fläche und Gewässerabfluss Konzentrationsberechnungen durchgeführt worden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die bislang übliche Vorgehensweise bei der Planung der Straßenentwässerung nach dem Stand der Technik (RAS-Ew) nach dem Emissionsprinzip eine Überschreitung der UQN hauptsächlich für die Parameter zur

Beurteilung des chemischen Gewässerzustandes (Anlage 8 der OGewV) nicht ausschließen kann. Insbesondere für die PAK kann es beim Einsatz von Sedimentationsanlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen zu einer Überschreitung der sehr geringen UQN kommen. Mit Hilfe von Mischungsrechnungen kann abgeschätzt werden, ob eine Überschreitung der UQN wahrscheinlich ist. Allerdings sind dazu Erkenntnisse über die Vorbelastung der Gewässer erforderlich.

Retentionsbodenfilteranlagen stellen derzeit die beste Technik bei der Behandlung von Niederschlagsabflüssen dar. Die Ablaufkonzentrationen liegen bei fast allen Parametern unterhalb der UQN. Berechnungen der resultierenden Gewässerkonzentration nach Einleitung der Abflüsse aus Retentionsbodenfilteranlagen werden daher nicht zwingend als erforderlich angesehen.

8 Literatur und Quellen

- Beer, F., Surkus, B., & Kocher, B. (2011): Stoffeintrag in Straßenrandböden-Messzeitraum 2008/2009. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft V 209
- Brombach, HJ.; Fuchs, S. (2002): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkana-lisationen, Abschlussbericht zum DWA Forschungsvorhaben Projekt 1-01
- Dauber, L.; Novak, B.; Zobrist, J.; Züricher, F. (1979): Beeinflussung der Gewässer-güte durch Regenabflüsse von Straßen, 54. Siedlungswasserwirtschaftli-ches Kolloquium an der Universität Stuttgart, 1
- DWA (2017): Retentionsbodenfilteranlagen, Arbeitsblatt DWA-A 178 (Entwurf), DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef
- DWA (2016): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterab-flüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Arbeitsblatt DWA-A 102 (Entwurf), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Ab-fall e.V., Hennef
- DWA (2013): Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung- und -rückhaltung, Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung, Arbeitsblatt DWA-A 166, Deut-sche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- DWA-Arbeitsgruppe ES 3.1 (2011): Erkenntnisse und Erfahrungen bei der Anwendung des Arbeitsblattes DWA-A 138, Arbeitsbericht Korrespondenz Abwasser Nr. 4 und 5, 2011
- DWA (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser, Merkblatt DWA-M 153, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- DWA (2005): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Nieder-schlagswasser, Arbeitsblatt DWA-A 138, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef

- DWA (2005): Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Merkblatt DWA-M 178, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef
- Eyckmanns-Wolters, R.; Fuchs, S.; Maus, Ch.; Sommer, M.; Voswinkel, N.; Mohn, R.; Uhl, M.; Schmitt, Th.; Berger, Ch. (2013): Reduktion des Feststoffeintrages durch Niederschlagswassereinleitungen, Phase 1 Projektbericht, im Auftrag des MKULNV
- FGSV (2016): Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten (RiStWag), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitskreis „Straßen in Wasserschutzgebieten“ des Arbeitsausschusses „Boden- und Gewässerschutz“
- FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitskreis „RAS-Entwässerung“ des Arbeitsausschusses „Entwässerung“
- Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrend, H.; Venohr, M.; Opitz, D.; Hillenbrand, Th.; Marscheider-Weidemann, F.; Götz, Th. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERI, Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, UBA Texte 45/2010
- Fuchs, S.; Lambert, B.; Grotehusmann, D. (2010): Neue Aspekte in der Behandlung von Siedlungsabflüssen, Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Nr. 6/2010
- Fuchs, S., Grotehusmann, D., Rüter, J., Lambert, B. (2009): Studie zur Effizienz von Maßnahmen der Regenwasserbehandlung in Berlin, unveröffentlichter Schlussbericht. Auftraggeber: Berliner Wasserbetriebe
- Götz, Th.; Hillenbrandt, Th.; Marscheider-Weidemann, F.; Fuchs, S.; Scherer, U. (2009): Abschätzung der Einträge von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in deutsche Gewässer, Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, Nr. 5/2009
- Golwer, A.; Zereini, F. (1998): Einflüsse des Straßenverkehrs auf rezente Sedimente – Langzeituntersuchungen an einem Versickerungsbecken bei Frankfurt am Main, Geol. Jb. Hessen 126, Wiesbaden 1998
- Golwer, A. Schneider, W. (1994): Untersuchungen über die Belastung des unterirdischen Wassers mit anorganischen toxischen Spurstoffen im Gebiet von Straßen, Untersuchung über die Belastung des Grundwassers mit organischen Stoffen im Bereich von Straßen, Forschung Straßenverkehr und Verkehrstechnik, Heft 391
- Golwer, A (1991): Belastung von Böden und Grundwasser durch Verkehrswege, Forum Städte Hygiene, 42: S. 266 – 275, Berlin, Hannover
- Grotehusmann, D.; Hunze, M.; Rüter, J. (2017): Bemessung von Sedimentationsräumen, 1. Zwischenbericht zum BAST Forschungsprojekt FE-Nr. 05.0191/2015/NGB, unveröffentlicht

- Grotehusmann, D.; Fuchs, S.; Lambert, B.; Graf, J. (2015): Konzentrationen und Frachten organischer Schadstoffe im Straßenabfluss, Forschungsbericht FE-Nr. 05/152/2008/GRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, unveröffentlicht
- Grotehusmann, D.; Fuchs, S.; Lambert, B.; Rüter, J. (2011): RBF Biesdorf, Schlussbericht zum Untersuchungszeitraum 2005 bis 2008, im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe, unveröffentlicht
- Grotehusmann, D.; Fuchs, S.; Lambert, B.; Rüter, J. (2010): RBF Halensee, Inbetriebnahme und messtechnische Begleitung, Schlussbericht, im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe, unveröffentlicht
- Grotehusmann, D.; Fuchs, S.; Lambert, B.; Rüter, J. (2009): RBF Adlershof, Schlussbericht des Untersuchungsprogramms Phase 1 und 2, Dezember 2005 bis November 2008, im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe, unveröffentlicht
- Grotehusmann, D.; Kasting, U. (2009): Vergleich der Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern und Versickerungsanlagen an Bundesfernstraßen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1029, 2009
- Grotehusmann, D.; Kasting, U.; Hunze, M. (2006): Optimierung von Absetzbecken, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 944, 2006
- Grotehusmann, D. (1995): Versickerung von Niederschlagsabflüssen unter Berücksichtigung des Grundwasserschutzes, Dissertation am Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Hannover
- Grottke, M. (1987): Regenwasserbehandlung im Trennsystem, Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, Heft 66
- Hillenbrand, T.; Toussaint, D.; Böhm, E.; Fuchs, S.; Scherer, U.; Rudolphi, A.; Hoffmann, M. (2004): Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden – Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen, Abschlussbericht des Forschungsvorhabens FKZ 202 242 220/02 im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Strauch, M.; Heitmann, K.; Schaffrin, D. (2007): Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie, UBA Texte 27/07
- Holthuis, J.-U.; Dobner, I.; Tegge, K.-T.; Warrelmann, J.; Mahro, B. (2012): Praxistest eines neuartigen, bepflanzten Bodenfilters zur Behandlung von Straßenabflüssen Teil 1: Wasseruntersuchungen, KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2012 (59) Nr. 11
- Kasting, U. (2003) Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen, Band 17 Schriftenreihe Siedungswasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern
- Kasting, U.; Grotehusmann, D. (2011): RKB Benteler Straße mit nachgeschaltetem Bodenfilter – Messtechnische Begleitung – Untersuchung im Auftrag des Stadtentwässerungsbetriebs Paderborn, unveröffentlicht

- Kasting, U.; Grotehusmann, D. (2007): Bodenfilteranlagen zur Behandlung von Straßenabflüssen, Halbtechnische Bodenfilterversuche – Teil 2, Versuche zur Salzbelastbarkeit, Korrespondenz Abwasser Abfall 2007 (54) Nr. 8
- Kocher B. (2008): Schadstoffgehalte von Bankettmaterial - bundesweite Datenauswertung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Heft V 167, 72 S., NW-Verlag, Bremerhaven.
- Kocher; B. (2002): Verlagerung straßenverkehrsbedingter Stoffe mit dem Sickerwasser, TU Berlin, Forschungsbericht 05.118/1997/GRB, im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, unveröffentlicht.
- Krauth, KH.; G. Stotz (1993): Qualitativer und quantitativer Einfluss von Absetzanlagen auf den Betrieb von Versickerungsbecken, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 672, Bundesminister für Verkehr, Bonn Bad Godesberg, 1994
- Krauth, KH; H. Klein (1982): Untersuchungen über die Beschaffenheit des Oberflächenwassers von Bundesautobahnen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 363, Bundesminister für Verkehr, Bonn Bad Godesberg, 1982
- Krauth, KH; H. Klein (1981): Untersuchungen über die Beschaffenheit des über ein Rückhaltebecken mit Leichtflüssigkeitsabscheider geleiteten Niederschlagswassers der A8/B10 bei Ulm/West, Schlußbericht Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart, im Auftrag des Autobahnamtes Baden-Württemberg, unveröffentlicht
- Lange; G., D. Grotehusmann, U. Kasting, M. Schütte, M. Dieterich, W. Sondermann (2003): Wirksamkeit von Entwässerungsbecken im Bereich von Bundesfernstraßen, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 861, 2003.
- LAWA (2017) Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Ableitung von Geringfügigkeitsschwellen für das Grundwasser, aktualisierte und überarbeitete Fassung 2016
- LAWA (2017b) Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA-Handlungsempfehlung Verschlechterungsverbot (Stand 31.01.2017)
- Mansfeld, T.; Rennert, Th.; Götzfried, F. (2011): Eisencyankomplex-Gehalte in nordrhein-westfälischen Straßenrandböden nach dem schneereichen Winter 2009/2010, Straße und Autobahn, 6.2011
- Meißner, E, Nadler, A. (2007): Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen, Abschlussbericht Entwicklungsvorhaben Oktober 1996 – Oktober 2005, Hrsg: Bayerisches Landesamt für Umwelt
- MKULNV, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz NRW (2015), Retentionsbodenfilter, Handbuch für Planung, Bau und Betrieb
- MUNLV, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (2004): Anforderung an die Niederschlagsentwässerung im Trennsystem, RdErl. –IV-9 031 001 2104 – vom 26.05.2004

- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NLWKN (2014): Schadstoffmonitoring der niedersächsischen Oberflächengewässer, Ergebnisse der Bestandsaufnahme 2010 - 2013
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NLWKN (2012): Wasserrahmenrichtlinie Band 4, Leitfaden Maßnahmenplanung Oberflächengewässer, Teil C Chemie (Prioritäre Stoffe)
- Paulsen, O. (1984) Analyse und Simulation von Schmutzstoffganglinien des Regenabflusses, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover, 1984
- Schithelm, D.; Manheller, W.; Schöttler, O. (2016): Die Novellierung der Oberflächenwasserverordnung, Konsequenzen für die Einstufung der Gewässer, Korrespondenz Wasserwirtschaft, 2016 Nr. 12
- Schmitt, T. G.; Welker, A.; Dierschke, M.; Uhl, M.; Maus, Ch.; Remmler, F. (2010): Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren, Abschlussbericht zum DBU-Forschungsvorhaben
- Uhl, M.; Adams, R.; Grotehusmann, D.; Harms, R.; Kasting, U.; Lange, G.; Schneider, F.; Schröer, C. (2006): ESOG Einleitung des von Straßen abfließenden Oberflächenwassers in Gewässer, unveröffentlichter Abschlussbericht IV-9-042 252- im Auftrag des MUNLV Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Nov. 2006
- Umweltbundesamt UBA (2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe, Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar?, Hintergrund, Januar 2016
- Umweltbundesamt UBA (2017): National Trend Tables for the German Atmospheric Emission Reporting (Heavy Metals) 1990 – 2015, Stand 15.02.2017
- Welker, A. (2004): Schadstoffe im urbanen Wasserkreislauf – Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen, Habilitationsschrift beim Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität Kaiserslautern

Gesetze/Richtlinien

- Richtlinie 2013/39 EU des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 12. August 2013 zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und 2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik
- Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EG-WRRL) vom 23. Oktober 2000
- Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. August 2016 (BGBl. I S. 1972) geändert worden ist (WHG), zuletzt geändert durch Art. 12 G v. 24.5.2016 I 1217.
- Oberflächengewässerverordnung (OGewV) vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373)

Anlagen

- Anlage 1: Zusammenstellung relevanter Parameter im Straßenabfluss und UQN Nach der OGewV (2016)
- Anlage 2: Einstufung der Herkunft der prioritären Stoffe nach NLWLN (2012)
- Anlage 3: Konzentrationen und Frachten in Straßenabflüssen
- Anlage 4: Auswertung Verhältnis hohe / mittlere Konzentration
- Anlage 5: Konzentrationen in Sedimenten von Straßenabflüssen
- Anlage 6: Konzentrationsdaten in Zu- und Ablauf von Regenbecken an Straßen
- Anlage 7: Konzentrationsdaten in Zu- und Ablauf von Retentionsbodenfilteranlagen an Straßen
- Anlage 8: Berechnungsbeispiele
Benzo(a)pyren
Fluoranthren
Kupfer
Zink
NH₄-N
Gesamt-P

Anlage 1

Zusammenstellung relevanter
Parameter im Straßenabfluss
und UQN Nach der OGewV
(2016)

Zusammenstellung relevanter Parameter Im Straßenabfluss und UQN Nach der OGewV (2016)

		OGewV (2016)											
Stoffgruppe	Parameter	Anlage 6, OGewV, flussgebietsspez. Schadstoffe ¹⁾				Anlage 7, OGewV, allg. phy.-chem. Qualitätskomponenten ²⁾		Anlage 8, OGewV, Stoffe des chem. Zustandes				prioritärer Stoff, Anlage 8	ubiquitärer Stoff, Anlage 8
		Einstufung ökologischer Zustand / ökologisches Potential						Einstufung chemischer Zustand					
			oberrird. Gew., JD-UQN ³⁾	Küstengew., JD-UQN ³⁾		gewässer-abhängig		oberrird. Gew., JD-UQN ⁵⁾	Küstengew., JD-UQN ⁵⁾	oberird. Gew., ZHK-UQN ⁵⁾	Küstengew., ZHK-UQN ⁵⁾		
Schwermetalle	Cu	x	160 mg/kg	160 mg/kg									
	Cr	x	640 mg/kg	640 mg/kg									
	Zn	x	800 mg/kg	800 mg/kg									
	Cd						x	0,08 ⁷⁾	0,2 ⁷⁾	0,45 ⁷⁾	0,45 ⁷⁾	x	
	Ni						x	4 µg/l	8,6 µg/l	34 µg/l	34 µg/l	x	
	Pb						x	1,2 µg/l ⁶⁾	1,3 µg/l ⁶⁾	14 µg/l	14 µg/l	x	
	Fe				x	≤ 0,7 ...1,8 mg/l							
PAK	Phenanthren	x	0,5 µg/l	0,5 µg/l									
	Anthracen						x	0,1 µg/l	0,1 µg/l	0,1 µg/l	0,1 µg/l	x	
	Fluoranthen						x	0,0063 µg/l	0,0063 µg/l	0,12 µg/l	0,12 µg/l	x	
	Naphthalin						x	2 µg/l	2 µg/l	130 µg/l	130 µg/l	x	
	Benzo[a]pyren						x	0,00017 µg/l	0,00017 µg/l	0,27 µg/l	0,027 µg/l	x	x
	Benzo[b]fluoranthen								0,017 µg/l	0,017 µg/l			
	Benzo[k]fluoranthen								0,017 µg/l	0,017 µg/l			
	Benzo[g,h,i]-perylen								0,0082 µg/l	0,00082 µg/l			
Indeno[1,2,3-cd]-pyren													
PCB ⁴⁾	PCB-28	x	0,0005 µg/l	0,0005 µg/l									
			0,02 mg/kg	0,02 mg/kg									
	PCB-52	x	0,0005 µg/l	0,0005 µg/l									
			0,02 mg/kg	0,02 mg/kg									
	PCB-101	x	0,0005 µg/l	0,0005 µg/l									
			0,02 mg/kg	0,02 mg/kg									
	PCB-138	x	0,0005 µg/l	0,0005 µg/l									
			0,02 mg/kg	0,02 mg/kg									
	PCB-153	x	0,0005 µg/l	0,0005 µg/l									
			0,02 mg/kg	0,02 mg/kg									
	PCB-180	x	0,0005 µg/l	0,0005 µg/l									
			0,02 mg/kg	0,02 mg/kg									
Alkylphenole	Nonylphenol						x	0,3 µg/l	0,3 µg/l	2 µg/l	2 µg/l	x	
	Octylphenol						x	0,1 µg/l	0,01 µg/l			x	
	DEHP						x	1,3 µg/l	1,3 µg/l			x	
	Benzol						x	10 µg/l	8 µg/l	50 µg/l	50 µg/l	x	
Salz	Cl ⁻				x	≤ 200 mg/l							
	PSU				x								
	Cyanid	x	10 µg/l	10 µg/l									
Zehr/Nährstoffe	BSB5				x	< 3 ...6 mg/l							
	TOC				x	< 7 ...15 mg/l							
	SO ²⁻ ₄				x	≤ 75 ...220 mg/l							
	oPO ₄ -P				x	≤ 0,07 ...0,2 mg/l							
	Gesamt-P				x	≤ 0,0136 ...0,3 mg/l							
	NH ₄ -N				x	≤ 0,1 ...0,3 mg/l							
	NH ₃ -N				x	≤ 1...2 µg/l						x	x
	NO ₂ -N				x	≤ 30... 50 µg/l							
	NO ₃ -N						x	50 mg/l					
	Gesamt-N				(x)	≤ 0,2 ... 1,0 mg/l							

1) für Straßenspezifische Stoffe keine ZHK-UQN genannt
2) Anforderungen an den guten ökologischen Zustand und das gute ökologische Potential (Jahresmittelwerte), abhängig vom Typ des Gewässes
3) Umweltqualitätsnormen für Wasser sind, wenn nicht ausdrücklich anders bestimmt, als Gesamtkonzentrationen in der gesamten Wasserprobe ausgedrückt
Werden Schwebstoffe mittels Durchlaufzentrifuge entnommen, beziehen sich die Umweltqualitätsnormen auf die Gesamtprobe.
Werden Sedimente und Schwebstoffe mittels Absetzbecken oder Sammelkästen entnommen, beziehen sich die Umweltqualitätsnormen:
1. bei Metallen auf die Fraktion kleiner als 63 µm,
2. bei organischen Stoffen auf die Fraktion kleiner als 2 mm. Die Befunde von Sedimentproben können hinsichtlich der organischen Stoffe nur dann zur Bewertung herangezogen werden, wenn die Sedimentproben einen Feinkornanteil kleiner als 63 µm von größer als 50 % aufweisen.
Im Übrigen beziehen sich Umweltqualitätsnormen für Schwebstoffe und Sedimente auf die Trockensubstanz.
4) nur soweit die Erhebung von Schwebstoff oder Sedimentdaten nicht möglich ist sollen die Konzentrationen in der Wasserphase verwendet werden
5) Für Cd, Pb, Ni nur gelöste Konzentration, sonst Gesamtkonzentration
6) UQN bezieht sich auf bioverfügbare Konzentrationen
7) je nach Wasserhärteklasse

Anlage 2

Einstufung der Herkunft
der prioritären Stoffe nach
NLWLN (2012)

Einstufung Herkunft der Stoffe (OGewV, Anlage 8) nach Datenblättern aus NLWKN (2012)

Parameter	diffuse Emissionsquellen, Verkehr und Infrastrukturen ohne Kanalschluss, (Schiffe, Züge, Autos, Flugzeuge)	punktförmige Emissionsquellen, Belastungen in Abwasser/Niederschlagswasser durch Abflüsse von Materialien/Bauten auf kanalisierten Flächen (einschließlich Abfluss landwirtschaftlicher, mit dem Kanalsystem verbundener Nutzflächen)	Emissionen in Atmosphäre, aus Verkehr und Infrastruktur	Überschreitungen	Wirkstoffgruppe	Stoffklasse
Alachlor	0	0	0			PSM
Anthracen	2	2	2		PAK	andere Stoffe
Atrazin	0	2	0			PSM
Benzo(a)pyren	2	2	2	ja	PAK	andere Stoffe
Benzo(b)fluoranthren	2	2	2	ja	PAK	andere Stoffe
Benzo(g,h,i)perylen	2	2	2	ja	PAK	andere Stoffe
Benzo(k)fluoranthren	2	2	2	ja	PAK	andere Stoffe
Benzol	0	2	2		aromatischer Kohlenwasserstoff	Industriechemikalie
Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat (DEHP)	1	2	0		Phthalat	Industriechemikalie
Blei und seine Verbindungen	0	2	2		SM	SM
Bromierte Diphenylether	0	2	0			Industriechemikalie
Cadmium und seine Verbindungen	0	2	1	ja	SM	SM
C10-C13-Chloralkane	1	1	0		chlorierte Kohlenwasserstoffe	Industriechemikalie
Chlorfenvinphos	0	2	0			PSM
Chlorpyrifos	0	2	0			PSM
1,2-Dichlorethan	0	0	0		chlorierte aliphatische Kohlenwasserstoffe	Industriechemikalie
Dichlormethan	0	0	0		chlorierte aliphatische Kohlenwasserstoffe	Industriechemikalie
Diuron	0	2	0			PSM
Endosulfan	0	0	0			PSM
Fluoranthren	2	2	2		PAK	andere Stoffe
Hexachlorbenzol (HCB)	1	1	0	ja	chlorierte Kohlenwasserstoffe	
Hexachlorbutadien	2	1	0		chlorierte Kohlenwasserstoffe	
Hexachlorcyclohexan	0	1	0	ja		PSM
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2	2	2	ja	PAK	andere Stoffe
Isoproturon	0	2	0	ja		PSM
Naphthalin	2	2	2		PAK	Industriechemikalie
Nickel und seine Verbindungen	2	2	0		SM	SM
Nonylphenol	2	2	0		Alkylphenol	Industriechemikalie
Octylphenol	2	2	0		Alkylphenol	Industriechemikalie
Pentachlorbenzol	1	1	0			Industriechemikalie
Pentachlorphenol (PCP)	1	1	0		Chlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe	andere Stoffe
Quecksilber und Quecksilberverbindungen	0	2	1	ja	SM	SM
Simazin	0	1	0			PSM
Tributylzinn (TBT-Kation)	2	2	0	ja		Industriechemikalie/Biozid
Trichlorbenzole	0	1	0		Chlorierte aromatische Kohlenwasserstoffe	Industriechemikalie
Trichlormethan (Chloroform)	0	0	0		chlorierte aliphatische Kohlenwasserstoffe	Industriechemikalie
Trifluralin	0	2	0			PSM

0 kein wesentlicher Eintrag zu erwarten
1 Aussage aufgrund unzureichender Information nicht möglich
2 wesentlicher Eintrag möglich

Anlage 3

Konzentrationen und Frachten in Straßenabflüssen

Literaturzusammenstellung zu Konzentrationen und spezifischen Frachten in Straßenabflüssen

		Konzentrationen/Frachten im Straßenabfluss											
		Fernstraßen											
		Dauber et al. (1979)		Krauth/Klein (1982)		Krauth/Klein (1982)		Klein (1982)		Paulsen (1982)		Grottker (1987)	
		Zürich Nationalstr. 1		Pleidelsheim A 81		Obereisesheim A 6		Ulm-West A8/B10		Hldesheim, Marienburger Str.		Hldesheim, Marienburger Str.	
	Messort												
	DTV	72.000		41.000		47.000		40.600 / 11.500		14.200		14.200	
	Messzeitraum	5/76 - 4/77		2/78 - 9/78		2/79 - 7/79		3/82 - 10/83		3/82 - 10/83		9/84 - 8/85	
	mittlerer Jahresniederschlag	1.132 mm/a		702 mm/a		594 mm/a		617 mm/a		719 mm/a		779 mm/a	
	mittlerer Abflussbeiwert	0,72		0,92		0,69		0,70		0,85		0,87	
	mittlerer Jahresabfluss	8.150 m³/ha/a		6.458 m³/ha/a		4.099 m³/ha/a		4.319 m³/ha/a		6.112 m³/ha/a		6.777 m³/ha/a	
Schwermetalle	Cu	47 µg/l	383 g/ha/a	97 µg/l	621 g/ha/a	117 µg/l	544 g/ha/a	58 µg/l	130 g/ha/a			136 µg/l	800 g/ha/a
	Cr			9,6 µg/l	62 g/ha/a	20,4 µg/l	100 g/ha/a	5,2 µg/l	12 g/ha/a			24,2 µg/l	151 g/ha/a
	Zn	250 µg/l	2.038 g/ha/a	360 µg/l	2.329 g/ha/a	620 µg/l	2.892 g/ha/a	320 µg/l	715 g/ha/a			436 µg/l	2.700 g/ha/a
	Cd	3,40 µg/l	28 g/ha/a	5,90 µg/l	37,0 g/ha/a	5,90 µg/l	29,0 g/ha/a	2,80 µg/l	72,0 g/ha/a			4,23 µg/l	26,0 g/ha/a
	Ni									35 µg/l	214 g/ha/a	35 µg/l	200 g/ha/a
	Pb	340 µg/l	2.771 g/ha/a	202 µg/l	1.332 g/ha/a	245 µg/l	1.155 g/ha/a	163 µg/l	360 g/ha/a	300 µg/l	1.833 g/ha/a	304 µg/l	1.900 g/ha/a
	Fe												
PAK	Phenanthren												
	Anthracen												
	Fluoranthen												
	Naphthalin												
	Benzo[a]pyren												
	Benzo[b]fluoranthen			0,86 µg/l		0,98 µg/l		0,83 µg/l				0,08 µg/l	0,5 g/ha/a
	Benzo[k]fluoranthen			0,30 µg/l		0,34 µg/l		0,28 µg/l				0,03 µg/l	0,2 g/ha/a
	Benzo[g,h,i]-perylene			0,85 µg/l		0,97 µg/l		0,82 µg/l				0,08 µg/l	0,5 g/ha/a
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren			0,60 µg/l		0,68 µg/l		0,57 µg/l				0,05 µg/l	0,3 g/ha/a
PCB	PCB 28												
	PCB 52												
	PCB 101												
	PCB 138												
	PCB 153												
	PCB 180												
Alkylphenole	Nonylphenol												
	Octylphenol												
	DEHP												
	Benzol												
Zehr/Nährstoffe	BSB5	12,00 mg/l	97,80 kg/ha/a							8,70 mg/l	46,40 kg/ha/a	14,90 mg/l	93,30 kg/ha/a
	TOC											28,30 mg/l	
	oPO4-P												
	Gesamt-P	0,28 mg/l	2,28 kg/ha/a	0,25 mg/l	1,62 kg/ha/a	0,35 mg/l	1,45 kg/ha/a	0,31 mg/l	0,63 kg/ha/a	0,30 mg/l		1,69 mg/l	10,54 kg/ha/a
	NH4-N	0,50 mg/l	4,08 kg/ha/a	0,76 mg/l	4,60 kg/ha/a	0,89 mg/l	3,22 kg/ha/a	0,51 mg/l	1,03 kg/ha/a	0,60 mg/l	2,80 kg/ha/a	2,31 mg/l	14,40 kg/ha/a
	NO3-N									0,80 mg/l	3,73 kg/ha/a	1,83 mg/l	11,38 kg/ha/a
	Gesamt-N												
Feststoffe	AFS	110 mg/l	897 kg/ha/a	137 mg/l	873 kg/ha/a	181 mg/l	848 kg/ha/a	252 mg/l	479 kg/ha/a			339 mg/l	2.121 kg/ha/a
	AFS63				733 kg/ha/a		712 kg/ha/a		403 kg/ha/a				

Erläuterung:

Blaue Zahlen über PAK Verteilung aus Summe PAK/EPA bzw. PAK/TVO berechnet

Konzentration in Sedimenten für Cu, Cr und Zn aus Konzentration im Regenabfluss und part. Anteil und AFS-Konzentration berechnet

Konzentration in Sedimenten für PCB aus Grotehusmann et al. (2015) übernommen

wegen des deutlich fallenden Trends sind für Cd, Pb und die PAK nur die hellgrün hinterlegten Messdaten für die statistische Auswertung herangezogen worden

Frachtwerte für Beer et al. (2011) und Dauber et al. (1979) aus Niederschlag und Abflussbeiwert berechnet

1) hoher Flächenanteil wird über bewachsene Mulden entwässert, dadurch eher geringe Frachten und Konzentrationen

		Konzentrationen/Frachten im Straßenabfluss							
		Fernstraßen							
		Krauth/Stotz (1993)		Lange et al. (2003)		Lange et al. (2003)		Beer et al. (2011)	
		Singen, B33/34 ¹⁾		Köln Westhover Weg A 4		Köln Maarhäuser Weg A 59		Widdig A555, Meckenheim A61; Bensberg A4	
	Messort								
	DTV	9.870		114.500		55.000		70.000	
	Messzeitraum	12/91 - 04/93		07/98 - 1/00		6/98 - 7/00		4/08 - 12/09	
	mittlerer Jahresniederschlag	623 mm/a		686 mm/a		686 mm/a			800 mm/a
	mittlerer Abflussbeiwert	hoher Abflussanteil über Mulden		0,58					0,70
	mittlerer Jahresabfluss	2.835 m³/ha/a		3.970 m³/ha/a					5.600 m³/ha/a
Schwermetalle	Cu	43 µg/l	121 g/ha/a	110 µg/l	440 g/ha/a	120 µg/l	480 g/ha/a	226 µg/l	1.266 g/ha/a
	Cr	24,2 µg/l	69 g/ha/a	< 5		< 5 - 27		97 µg/l	542 g/ha/a
	Zn	285 µg/l	808 g/ha/a	490 µg/l	2.000 g/ha/a	530 µg/l	2.100 g/ha/a	738 µg/l	4.133 g/ha/a
	Cd	3,70 µg/l	10,0 g/ha/a	1,10 µg/l	4,0 g/ha/a	1,40 µg/l	6,0 g/ha/a	0,51 µg/l	2,9 g/ha/a
	Ni	23 µg/l	65 g/ha/a	< 10		< 10		35 µg/l	198 g/ha/a
	Pb	129 µg/l	365 g/ha/a	55 µg/l	220 g/ha/a	60 µg/l	250 g/ha/a	8 µg/l	46 g/ha/a
	Fe							7,34 mg/l	41,11 kg/ha/a
PAK	Phenanthren			0,39 µg/l	1,6 g/ha/a	0,25 µg/l	1,0 g/ha/a		
	Anthracen			0,12 µg/l	0,5 g/ha/a	0,09 µg/l	0,4 g/ha/a		
	Fluoranthen			1,14 µg/l	4,6 g/ha/a	0,63 µg/l	2,5 g/ha/a		
	Naphthalin			0,09 µg/l	0,3 g/ha/a	0,10 µg/l	0,4 g/ha/a		
	Benzo[a]pyren			0,45 µg/l	1,8 g/ha/a	0,32 µg/l	1,3 g/ha/a		
	Benzo[b]fluoranthen			0,69 µg/l	2,8 g/ha/a	0,53 µg/l	2,1 g/ha/a		
	Benzo[k]fluoranthen			0,28 µg/l	1,1 g/ha/a	0,20 µg/l	0,8 g/ha/a		
	Benzo[g,h,i]-perylene			0,57 µg/l	2,3 g/ha/a	0,54 µg/l	2,1 g/ha/a		
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren			0,42 µg/l	1,7 g/ha/a	0,33 µg/l	1,3 g/ha/a		
PCB	PCB 28								
	PCB 52								
	PCB 101								
	PCB 138								
	PCB 153								
	PCB 180								
Alkylphenole	Nonylphenol								
	Octylphenol								
	DEHP								
	Benzol								
Zehr/Nährstoffe	BSB5								
	TOC								
	oPO4-P								
	Gesamt-P								
	NH4-N			0,74 mg/l	3,00 kg/ha/a	0,60 mg/l	2,60 kg/ha/a		
	NO3-N								
	Gesamt-N								
Feststoffe	AFS	85 mg/l		151 mg/l	599 kg/ha/a	158 mg/l	629 kg/ha/a		
	AFS63				503 kg/ha/a		528 kg/ha/a		

		Konzentrationen/Frachten im Straßenabfluss												
		Fernstraßen						Konzentrationen				Frachten		
		Grotehusmann et al. (2015)	Grotehusmann et al. (2015)	Grotehusmann et al. (2015)	Grotehusmann et al. (2015)	Grotehusmann et al. (2015)	Grotehusmann et al. (2015)	Mittelwert	Median	75% Quantil	Max	Mittelwert	Median	75% Quantil
	Messort	A6 Sinsheim	A7 Großburgwedel	A37 Kirchhorst	A37 Kirchhorst	A37 Kirchhorst	A37 Kirchhorst							
	DTV	85.600	66.200	45.000	45.000	45.000	45.000							
	Messzeitraum	10/11 - 11/12	10/11 - 11/12	10/11 - 11/12	10/11 - 11/12	10/11 - 11/12	10/11 - 11/12							
	mittlerer Jahresniederschlag													
	mittlerer Abflussbeiwert													
	mittlerer Jahresabfluss	4.326 m³/ha/a		3.495 m³/ha/a		3.333 m³/ha/a								
Schwermetalle	Cu	186 µg/l	805 g/ha/a	69 µg/l	241 g/ha/a	105 µg/l	350 g/ha/a	109 µg/l	108 µg/l	124 µg/l	1266 µg/l	515 g/ha/a	460 g/ha/a	666 g/ha/a
	Cr							30 µg/l	22 µg/l	24 µg/l	542 µg/l	156 g/ha/a	85 g/ha/a	138 g/ha/a
	Zn	563 µg/l	2.436 g/ha/a	251 µg/l	877 g/ha/a	250 µg/l	833 g/ha/a	424 µg/l	398 µg/l	538 µg/l	4133 µg/l	1.988 g/ha/a	2.069 g/ha/a	2.502 g/ha/a
	Cd	0,33 µg/l	1,4 g/ha/a	0,17 µg/l	0,6 g/ha/a	0,25 µg/l	0,8 g/ha/a	0,63 µg/l	0,51 µg/l	1,10 µg/l	72,00 µg/l	2,6 g/ha/a	2,1 g/ha/a	3,7 g/ha/a
	Ni							32 µg/l	35 µg/l	35 µg/l	213,90 µg/l	169 g/ha/a	199 g/ha/a	203 g/ha/a
	Pb	20 µg/l	88 g/ha/a	13 µg/l	44 g/ha/a	21,7 µg/l	72 g/ha/a	29,7 µg/l	21,1 µg/l	46,7 µg/l	365,0 µg/l	120 g/ha/a	80 g/ha/a	187 g/ha/a
	Fe	2,93 mg/l	12,7 kg/ha/a	4,66 mg/l	16,3 kg/ha/a	4,98 mg/l	16,6 kg/ha/a	5,0 µg/l	4,8 µg/l	5,6 µg/l	41,1 mg/l	21,7 kg/ha/a	16,4 kg/ha/a	22,7 kg/ha/a
PAK	Phenanthren	0,33 µg/l	1,4 g/ha/a	0,18 µg/l	0,6 g/ha/a	0,17 µg/l	0,6 g/ha/a	0,23 µg/l	0,18 µg/l	0,26 µg/l	1,57 µg/l	0,87 g/ha/a	0,63 g/ha/a	1,03 g/ha/a
	Anthracen	0,12 µg/l	0,5 g/ha/a	0,09 µg/l	0,3 g/ha/a	0,04 µg/l	0,1 g/ha/a	0,08 µg/l	0,09 µg/l	0,11 µg/l	0,52 µg/l	0,32 g/ha/a	0,31 g/ha/a	0,42 g/ha/a
	Fluoranthen	0,72 µg/l	3,1 g/ha/a	0,46 µg/l	1,6 g/ha/a	0,42 µg/l	1,4 g/ha/a	0,53 µg/l	0,46 µg/l	0,59 µg/l	4,55 µg/l	2,04 g/ha/a	1,61 g/ha/a	2,36 g/ha/a
	Naphthalin	0,11 µg/l	0,5 g/ha/a	0,10 µg/l	0,3 g/ha/a	0,07 µg/l	0,2 g/ha/a	0,09 µg/l	0,10 µg/l	0,11 µg/l	0,48 µg/l	0,35 g/ha/a	0,35 g/ha/a	0,41 g/ha/a
	Benzo[a]pyren	0,20 µg/l	0,9 g/ha/a	0,16 µg/l	0,6 g/ha/a	0,17 µg/l	0,6 g/ha/a	0,18 µg/l	0,17 µg/l	0,19 µg/l	1,81 µg/l	0,66 g/ha/a	0,57 g/ha/a	0,72 g/ha/a
	Benzo[b]fluoranthen	0,35 µg/l	1,5 g/ha/a	0,26 µg/l	0,9 g/ha/a	0,29 µg/l	1,0 g/ha/a	0,30 µg/l	0,29 µg/l	0,32 µg/l	2,77 µg/l	1,13 g/ha/a	0,97 g/ha/a	1,24 g/ha/a
	Benzo[k]fluoranthen	0,18 µg/l	0,8 g/ha/a	0,13 µg/l	0,5 g/ha/a	0,14 µg/l	0,5 g/ha/a	0,15 µg/l	0,14 µg/l	0,16 µg/l	1,14 µg/l	0,57 g/ha/a	0,47 g/ha/a	0,62 g/ha/a
	Benzo[g,h,i]-perylen	0,55 µg/l	2,4 g/ha/a	0,26 µg/l	0,9 g/ha/a	0,33 µg/l	1,1 g/ha/a	0,38 µg/l	0,33 µg/l	0,44 µg/l	2,38 µg/l	1,46 g/ha/a	1,10 g/ha/a	1,74 g/ha/a
Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,38 µg/l	1,6 g/ha/a	0,19 µg/l	0,7 g/ha/a	0,25 µg/l	0,8 g/ha/a	0,27 µg/l	0,25 µg/l	0,32 µg/l	1,67 µg/l	1,05 g/ha/a	0,83 g/ha/a	1,24 g/ha/a	
PCB	PCB 28	0,0007 µg/l	0,003 g/ha/a	0,0001 µg/l	0,000 g/ha/a	0,0002 µg/l	0,001 g/ha/a	0,0003 µg/l	0,0002 µg/l	0,0005 µg/l	0,0030 µg/l	0,0013 g/ha/a	0,0007 g/ha/a	0,002 g/ha/a
	PCB 52	0,0007 µg/l	0,003 g/ha/a	0,0003 µg/l	0,001 g/ha/a	0,0003 µg/l	0,001 g/ha/a	0,0004 µg/l	0,0003 µg/l	0,0005 µg/l	0,0030 µg/l	0,0017 g/ha/a	0,0010 g/ha/a	0,002 g/ha/a
	PCB 101	0,0019 µg/l	0,008 g/ha/a	0,0009 µg/l	0,003 g/ha/a	0,0009 µg/l	0,003 g/ha/a	0,0012 µg/l	0,0009 µg/l	0,0014 µg/l	0,0082 µg/l	0,0048 g/ha/a	0,0031 g/ha/a	0,006 g/ha/a
	PCB 138	0,0038 µg/l	0,016 g/ha/a	0,0025 µg/l	0,009 g/ha/a	0,0029 µg/l	0,010 g/ha/a	0,0031 µg/l	0,0029 µg/l	0,0034 µg/l	0,0164 µg/l	0,0116 g/ha/a	0,0097 g/ha/a	0,013 g/ha/a
	PCB 153	0,0029 µg/l	0,013 g/ha/a	0,0019 µg/l	0,007 g/ha/a	0,0020 µg/l	0,007 g/ha/a	0,0023 µg/l	0,0020 µg/l	0,0025 µg/l	0,0125 µg/l	0,0086 g/ha/a	0,0067 g/ha/a	0,010 g/ha/a
	PCB 180	0,0021 µg/l	0,009 g/ha/a	0,0011 µg/l	0,004 g/ha/a	0,0014 µg/l	0,005 g/ha/a	0,0015 µg/l	0,0014 µg/l	0,0018 µg/l	0,0091 µg/l	0,0059 g/ha/a	0,0047 g/ha/a	0,007 g/ha/a
Alkylphenole	Nonylphenol	0,21 µg/l	0,91 g/ha/a	0,29 µg/l	1,01 g/ha/a	0,17 µg/l	0,57 g/ha/a	0,22 µg/l	0,21 µg/l	0,25 µg/l	1,01 µg/l	0,83 g/ha/a	0,91 g/ha/a	0,96 g/ha/a
	Octylphenol	0,070 µg/l	0,30 g/ha/a	0,050 µg/l	0,17 g/ha/a	0,040 µg/l	0,133 g/ha/a	0,053 µg/l	0,050 µg/l	0,060 µg/l	0,303 µg/l	0,204 g/ha/a	0,175 g/ha/a	0,239 g/ha/a
	DEHP	11,3 µg/l	49 g/ha/a	6,1 µg/l	21 g/ha/a	10,2 µg/l	34 g/ha/a	9,2 µg/l	10,2 µg/l	10,7 µg/l	48,9 µg/l	34,7 g/ha/a	33,9 g/ha/a	41,4 g/ha/a
	Benzol	0,013 µg/l	0,06 g/ha/a	0,002 µg/l	0,01 g/ha/a	0,004 µg/l	0,01 g/ha/a	0,005 µg/l	0,004 µg/l	0,009 µg/l	0,056 µg/l	0,026 g/ha/a	0,013 g/ha/a	0,035 g/ha/a
Zehr/Nährstoffe	BSB5							11,9 mg/l	12,0 mg/l	13,5 mg/l	97,8 mg/l	79 kg/ha/a	93 kg/ha/a	96 kg/ha/a
	TOC										28,30 mg/l			
	oPO4-P										0,00 mg/l			
	Gesamt-P							0,53 mg/l	0,31 mg/l	0,34 mg/l	10,54 mg/l	3,30 kg/ha/a	1,62 kg/ha/a	2,28 kg/ha/a
	NH4-N							0,86 mg/l	0,67 mg/l	0,79 mg/l	14,40 mg/l	4,47 kg/ha/a	3,11 kg/ha/a	4,21 kg/ha/a
	NO3-N							1,31 mg/l	1,31 mg/l	1,57 mg/l	11,38 mg/l	7,55 kg/ha/a	7,55 kg/ha/a	9,47 kg/ha/a
	Gesamt-N										0,00 mg/l			
Feststoffe	AFS	170 mg/l	825 kg/ha/a	92 mg/l	357 kg/ha/a	119 mg/l	389 kg/ha/a	163 mg/l	151 mg/l	176 mg/l	2121 mg/l	655 kg/ha/a	629 kg/ha/a	848 kg/ha/a
	AFS63	164 mg/l	778 kg/ha/a	72 mg/l	260 kg/ha/a	101 mg/l	327 kg/ha/a	112 mg/l	101 mg/l	133 mg/l	778 mg/l	531 kg/ha/a	516 kg/ha/a	717 kg/ha/a

		Konzentrationen/Frachten im Straßenabfluss											
		allgem. Straßen						Trennsystem			Fernstraßen		
		Schmitt et al. (2010), vgl. auch Welker (2004)			Nadler/Meißner (2007)			Brombach/Fuchs (2002)			gewählte Belastung Straßenabflüsse		
		sehr umfangreiche Lit. Auswertung repräsentativer Messprogramme			9 Jahre Messzeitraum, Bundesstraße (1996 - 2004)						mittlere Belastung		hohe Belastung
	Messort	keine Angabe zu DTV			DTV ca. 7.000 KFZ/d								
	DTV												
	Messzeitraum												
	mittlerer Jahresniederschlag												
	mittlerer Abflussbeiwert												
	mittlerer Jahresabfluss	Schwerpunktwert	oberer Vertrauensbereich	Maximum	Median	75% Quantil	Maximum	Median	75% Quantil	Maximum			
Schwermetalle	Cu	80 µg/l	250 µg/l	600 µg/l	30 µg/l	46 µg/l	116 µg/l	65 µg/l	122 µg/l	1.143 µg/l	110 µg/l	520 g/ha/a	
	Cr				4,9 µg/l	9 µg/l	18 µg/l	16 µg/l	23 µg/l	178 µg/l	30 µg/l	150 g/ha/a	
	Zn	440 µg/l	600 µg/l	41.000 µg/l	335 µg/l	476 µg/l	1378 µg/l	430 µg/l	917 µg/l	3.563 µg/l	420 µg/l	2.000 g/ha/a	
	Cd	5,0 µg/l	6,0 µg/l	37,0 µg/l	0,22 µg/l	0,31 µg/l	0,81 µg/l	2,4 µg/l	5,0 µg/l	30,0 µg/l	0,6 µg/l	2,6 g/ha/a	1,2 µg/l
	Ni							29 µg/l	50 µg/l	426 µg/l	35,0 µg/l	190 g/ha/a	70,0 µg/l
	Pb	170 µg/l	300 µg/l	2.400 µg/l	12,0 µg/l	15,0 µg/l	36,0 µg/l	95 µg/l	202 µg/l	2.408 µg/l	30,0 µg/l	120 g/ha/a	60,0 µg/l
	Fe				1,74 mg/l	2,81 mg/l	8,01 mg/l				5,50 mg/l	20,0 kg/ha/a	
PAK	Phenanthren	0,16 µg/l			0,07 µg/l						0,20 µg/l	0,90 g/ha/a	
	Anthracen	0,06 µg/l			0,02 µg/l						0,09 µg/l	0,32 g/ha/a	0,18 µg/l
	Fluoranthen	0,40 µg/l			0,18 µg/l						0,50 µg/l	2,00 g/ha/a	1,00 µg/l
	Naphthalin	0,06 µg/l			0,03 µg/l						0,10 µg/l	0,35 g/ha/a	0,20 µg/l
	Benzo[a]pyren	0,30 µg/l	0,30 µg/l	6,81 µg/l	0,07 µg/l						0,18 µg/l	0,65 g/ha/a	0,36 µg/l
	Benzo[b]fluoranthen	0,27 µg/l			0,12 µg/l						0,30 µg/l	1,10 g/ha/a	0,60 µg/l
	Benzo[k]fluoranthen	0,09 µg/l			0,04 µg/l						0,15 µg/l	0,55 g/ha/a	0,30 µg/l
	Benzo[g,h,i]-perylen	0,27 µg/l			0,12 µg/l						0,35 µg/l	1,40 g/ha/a	0,70 µg/l
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,19 µg/l			0,08 µg/l						0,26 µg/l	1,00 g/ha/a	
PCB	PCB 28										0,0002 µg/l	0,0010 g/ha/a	
	PCB 52										0,0003 µg/l	0,0015 g/ha/a	
	PCB 101										0,0009 µg/l	0,0045 g/ha/a	
	PCB 138										0,0029 µg/l	0,0100 g/ha/a	
	PCB 153										0,0020 µg/l	0,0080 g/ha/a	
	PCB 180										0,0014 µg/l	0,0060 g/ha/a	
Alkylphenole	Nonylphenol										0,21 µg/l	0,90 g/ha/a	0,42 µg/l
	Octylphenol										0,050 µg/l	0,200 g/ha/a	
	DEHP										10,2 µg/l	34,000 g/ha/a	
	Benzol										0,005 µg/l	0,030 g/ha/a	0,010 µg/l
Zehr/Nährstoffe	BSB5	15 mg/l	30 mg/l	125 mg/l				12 mg/l	24 mg/l	162 mg/l	15 mg/l	85 kg/ha/a	
	TOC	20 mg/l	30 mg/l	70 mg/l				19 mg/l	25 mg/l	31 mg/l	20 mg/l		
	oPO4-P	0,5 mg/l	1,0 mg/l	8,0 mg/l							0,50 mg/l		
	Gesamt-P	0,5 mg/l	1,2 mg/l	11,6 mg/l	0,19 mg/l	0,23 mg/l	0,60 mg/l	0,51 mg/l	1,02 mg/l	11,58 mg/l	0,50 mg/l	2,50 kg/ha/a	
	NH4-N	1,0 mg/l	2,5 mg/l	22,0 mg/l				0,92 mg/l	1,36 mg/l	21,93 mg/l	0,80 mg/l	4,00 kg/ha/a	
	NO3-N							1,40 mg/l	2,30 mg/l	12,83 mg/l	1,30 mg/l	7,60 kg/ha/a	
	Gesamt-N	3,0 mg/l	5,0 mg/l					4,18 mg/l	5,95 mg/l	6,50 mg/l	3,00 mg/l		
Feststoffe	AFS	200 mg/l	400 mg/l	1.925 mg/l	74 mg/l	138 mg/l	1.378 mg/l	153 mg/l	284 mg/l	1.535 mg/l	160 mg/l	660 kg/ha/a	
	AFS63	100 mg/l									110 mg/l	530 kg/ha/a	

		partikuläre Anteile							
		Grotehus- mann et al. (2015)	Grotehus- mann et al. (2015)	Grotehus- mann et al. (2015)	Lange et al (2003)	Lange et al (2003)	Endres et al. (2016)	Beer et al. (2011)	gewählt part. Anteil
		A6 Sinsheim	A7 Großburgwed el	A37 Kirchhorst	Köln Westhover Weg A 4	Köln Maarhäuser Weg A 59	Derchinger Str. Nov. 2012 bis Nov. 2013)		
	Messort								
	DTV								
	Messzeitraum								
	mittlerer Jahresniederschlag								
	mittlerer Abflussbeiwert								
	mittlerer Jahresabfluss								
Schwermetalle	Cu	0,83	0,82	0,81	0,73	0,89	0,68	0,90	0,81
	Cr						0,77	0,96	0,87
	Zn	0,75	0,81	0,79	0,68	0,70	0,77	0,80	0,76
	Cd	0,41	0,54	0,44				0,69	0,52
	Ni						0,64	0,88	0,76
	Pb	0,94	0,90	0,95		0,98	0,66	0,99	0,90
	Fe	0,96	0,96	0,98					0,97
PAK	Phenanthren	0,98	0,95	0,92					0,95
	Anthracen	0,98	0,96	0,94					0,96
	Fluoranthren	0,98	0,93	0,96					0,96
	Naphthalin	0,90	0,85	0,73					0,83
	Benzo[a]pyren	0,99	0,94	0,98					0,97
	Benzo[b]fluoranthren	0,99	0,96	0,99					0,98
	Benzo[k]fluoranthren	0,99	0,96	0,99					0,98
	Benzo[g,h,i]-perylene	0,99	0,97	0,99					0,98
PCB	Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,99	0,97	0,98					0,98
	PCB 28	0,90	0,90	0,90					0,90
	PCB 52	0,90	0,90	0,90					0,90
	PCB 101	0,90	0,90	0,90					0,90
	PCB 138	0,90	0,90	0,90					0,90
	PCB 153	0,90	0,90	0,90					0,90
Alkylphenole	PCB 180	0,90	0,90	0,90					0,90
	Nonylphenol	-	-	-					0,90
	Octylphenol	-	-	-					0,90
	DEHP	0,92	0,83	0,91					0,89
	Benzol	-	-	-					
Zehr/Nährstoffe	BSB5								
	TOC								
	oPO4-P								
	Gesamt-P								
	NH4-N								
	NO3-N								
Feststoffe	Gesamt-N								
	AFS								
	AFS63								

Anlage 4

Auswertung Verhältnis hohe /
mittlere Konzentration

Verhältnis oberes Quartil/Median

Brombach/Fuchs (2002)				Lange et al (2003) Maarhäuser Weg			Lange et al (2003) Westhofener Weg			Kasting/Grotehusmann (2011) Paderborn, Benteler Str.			Krauth/Klein (1982) A6		
Median	75%Quantil	Quotient		Median	75%Quantil	Quotient	Median	75%Quantil	Quotient	Median	75%Quantil	Quotient	Median	75%Quantil	Quotient
Cd	2,4 µg/l	5 µg/l	2,1	0,01 mg/l	0,01 mg/l	1,0	0,001 mg/l	0,0018 mg/l	1,8	0,0001 mg/l	0,0001 mg/l	1,4	0,0043 mg/l	0,0064 mg/l	1,5
Ni	29,1 µg/l	49,8 µg/l	1,7							0,0025 mg/l	0,0049 mg/l	2,0			
Pb	95 µg/l	202 µg/l	2,1	0,044 mg/l	0,103 mg/l	2,3	0,037 mg/l	0,084 mg/l	2,3	0,0041 mg/l	0,0054 mg/l	1,3	0,1823 mg/l	0,3001 mg/l	1,6
Anthracen				0,07 µg/l	0,11 µg/l	1,6	0,05 µg/l	0,1 µg/l	2,0						
Fluoranthen				0,65 µg/l	1,1 µg/l	1,7	0,38 µg/l	0,75 µg/l	2,0						
Naphthalin				0,05 µg/l	0,08 µg/l	1,6	0,05 µg/l	0,08 µg/l	1,6						
Benzo[a]pyren				0,34 µg/l	0,52 µg/l	1,5	0,18 µg/l	0,38 µg/l	2,1						
Benzo[b]fluoranthen				0,5 µg/l	0,81 µg/l	1,6	0,29 µg/l	0,57 µg/l	2,0						
Benzo[k]fluoranthen				0,2 µg/l	0,28 µg/l	1,4	0,11 µg/l	0,23 µg/l	2,1						
Benzo[g,h,i]-perylene				0,53 µg/l	0,84 µg/l	1,6	0,24 µg/l	0,59 µg/l	2,5						
Indeno[1,2,3-cd]-pyren				0,34 µg/l	0,48 µg/l	1,4	0,15 µg/l	0,44 µg/l	2,9						
SPAK				4,71 µg/l	6,68 µg/l	1,4	2,22 µg/l	4,98 µg/l	2,2						
Nonyphenol															
Benzol															
Mittelwert Quotient (75%Quantil/Median) gewählt															
Schwermetalle 1,76 2															
PAK 1,90 2															

Krauth/Klein A 6 (1982)

			Pb			
	0,0071	0,0035	0,0029	0,7153	0,1609	0,1616
	0,0097	0,0041	0,0025	0,33	0,1688	0,1248
	0,0049	0,0056	0,0032	0,1432	0,3967	0,1562
	0,0154	0,0026	0,0055	0,2151	0,1121	0,7627
	0,0186	0,0026	0,0028	0,2692	0,1067	0,1024
	0,0103	0,0039	0,0027	0,297	0,1628	0,1264
	0,007	0,0061		0,7237	0,257	
	0,0016	0,0035		0,1026	0,1552	
	0,0045	0,0026		0,2499	0,0949	
	0,0023	0,0043		0,0902	0,1736	
	0,0049	0,0043		0,2115	0,2515	
	0,0064	0,0029		0,1447	0,7316	
	0,0042	0,0016		0,1909	0,0636	
	0,016	0,0068		0,345	0,3581	
	0,0076	0,0035		0,3059	0,0996	
	0,0059	0,0038		0,2698	0,1591	
	0,0133	0,0054		0,9498	0,3662	
	0,005	0,0032		0,3013	0,1652	
	0,0065	0,0038		0,2997	0,1283	
	0,0039	0,0029		0,2096	0,1197	
	0,002	0,0085		0,1082	0,2655	
Mittelwert		0,005463		Mittelwert		0,2584125
Median		0,00425		Median		0,18225
75% Quantil		0,006425		75% Quantil		0,3001
Faktor		1,51		Faktor		1,65

Anlage 5

Konzentrationen in Sedimenten von Straßenabflüssen

Literaturzusammenstellung zu Konzentrationsdaten in Sedimenten von Straßenabflüssen

		Golwer (1998)	Lange et al. (2003)	Lange et al. (2003)	Grotehusmann/Kastin g/Hunze (2006)	Beer et al. (2011)	Grotehusmann et al. (2015)	Mittelwert	Median	gewählt c Sedimente im Straßenabfluss
	Messort	A 3 Frankfurt	Köln Westhover Weg A 4	Köln Maarhäuser Weg A 59	10 Beckenanlagen	Wüdig A555, Meckenheim A61; Bensberg A4	Hannover A7 , A37 Sinsheim A6			
	DTV	125.600	114.500	55.000	Mittel / Median 53.000 / 37.600 KFZ/d	70.000	45.000 bis 86.500			
		Sediment Versickerungsbecken A 3 Frankfurt (MW aus 0 - 5 cm aus zwei Sedimentkernen PN 1995)	Beckensedimente	Beckensedimente	Sedimente in Beckenanlagen (Median aus 10 Becken, ablaufnah)	Rückstand Straßenabfluss	Sediment von Straßenabflüssen (Mittelwerte 3 Standorte)			
Schwermetalle	Cu	595 mg/kg	405 mg/kg	114 mg/kg	260 mg/kg	1.010 mg/kg	748 mg/kg	522 mg/kg	500 mg/kg	556 mg/kg
	Cr	231 mg/kg				462 mg/kg		347 mg/kg	347 mg/kg	162 mg/kg
	Zn	2.901 mg/kg	2.550 mg/kg	754 mg/kg	1.400 mg/kg	2.946 mg/kg	2.124 mg/kg	2.112 mg/kg	2.337 mg/kg	1.988 mg/kg
PCB	PCB 28						0,0025 mg/kg	0,0025 mg/kg	0,0025 mg/kg	0,0025 mg/kg
	PCB 52						0,0031 mg/kg	0,0031 mg/kg	0,0031 mg/kg	0,0031 mg/kg
	PCB 101						0,0095 mg/kg	0,0095 mg/kg	0,0095 mg/kg	0,0095 mg/kg
	PCB 138						0,0245 mg/kg	0,0245 mg/kg	0,0245 mg/kg	0,0245 mg/kg
	PCB 152						0,0181 mg/kg	0,0181 mg/kg	0,0181 mg/kg	0,0181 mg/kg
	PCB 180						0,0121 mg/kg	0,0121 mg/kg	0,0121 mg/kg	0,0121 mg/kg

Erläuterungen:

rote Zahlen: Konzentrationen berechnet nach Gleichung 1 aus mittleren Konzentrationen im Straßenabfluss und den AFS Konzentrationen

Anlage 6

Konzentrationsdaten in Zu- und Ablauf von Regenbecken an Straßen

Literaturzusammenstellung zu Konzentrationsdaten in Zu- und Ablauf von Regenbecken an Straßen

	Lit-Quelle	Lange et al (2003)			Lange et al (2003)			Krauth, Klein (1982)			Krauth, Klein (1982)			Krauth, Klein (1981)		
	Messort	Köln A 4 Westhover Weg			Köln Marhäuser Weg A 59			A 81 Pleidelsheim			A 6 Obereisesheim			A 8/B 10 Ulm West		
		Betonbecken, RiStWag-Anlage			Erdbecken, RRB			Betonbecken, analog RiStWag			Betonbecken, vorgeschaltetes RRB			Betonbecken, vorgeschaltetes RRB		
	Beckenart															
	Besonderheiten	Wassertiefe < 2m									Wirkungsgrad ist Wirkungsgrad beider Bauwerke			Wirkungsgrad ist Wirkungsgrad beider Bauwerke		
	spez. Wasseroberfläche (m²/(ha A	27			256			82			4,6			4		
	spez. Dauerstauvolumen (m³/(ha A	41			202			149			10,2			9		
	max qa (bei den Messungen) (m/h)	9,7			0,6			2			19			9,5		
	Parameter	Zulauf	Ablauf	Wirkung (F)	Zulauf	Ablauf	Wirkung (F)	Zulauf	Ablauf	Wirkung (K)	Zulauf	Ablauf	Wirkung (K)	Zulauf	Ablauf	Wirkung (K)
Schwermetalle	Cu	110 µg/l	100 µg/l	0,07	121 µg/l	27 µg/l	0,77	97 µg/l	27 µg/l	0,73	117 µg/l	82 µg/l	0,26	58 µg/l	59 µg/l	-0,02
	Cr							9,6 µg/l	3,3 µg/l	0,66	20,4 µg/l	16 µg/l	0,33	5,20 µg/l	7,00 µg/l	-0,35
	Zn	490 µg/l	380 µg/l	0,23	540 µg/l	87 µg/l	0,84	360 µg/l	180 µg/l	0,5	620 µg/l	370 µg/l	0,37	320 µg/l	250 µg/l	0,26
	Cd	1,00 µg/l	1 µg/l	0,11	1,00 µg/l	1 µg/l	0,33	5,9 µg/l	2,2 µg/l	0,63	5,9 µg/l	5,1 µg/l	0,28	2,80 µg/l	1,90 µg/l	0,32
	Ni															
	Pb	55 µg/l	39 µg/l	0,29	62 µg/l	21 µg/l	0,67	202 µg/l	39 µg/l	0,79	245 µg/l	150 µg/l	0,39	163 µg/l	99,00 µg/l	0,39
	Hg															
	Fe							3,42 mg/l	0,89 mg/l	0,74	5,16 mg/l	4,71 mg/l	0,45	2,18 mg/l	1,55 mg/l	0,29
PAK	Phenanthren	0,39 µg/l	0,26 µg/l	0,34	0,25 µg/l	0,05 µg/l	0,8									
	Anthracen	0,138 µg/l	0,08426 µg/l		0,09 µg/l	0,05 µg/l										
	Fluoranthen	1,10 µg/l	0,60 µg/l	0,43	0,63 µg/l	0,03 µg/l	0,95									
	Naphthalin	0,144 µg/l	0,08809 µg/l		0,10 µg/l	0,05 µg/l										
	Benzo[a]pyren	0,45 µg/l	0,28 µg/l	0,39	0,32 µg/l	0,02 µg/l	0,94									
	Benzo[b]fluoranthen	0,69 µg/l	0,44 µg/l	0,36	0,53 µg/l	0,03 µg/l	0,95									
	Benzo[k]fluoranthen	0,28 µg/l	0,17 µg/l	0,41	0,20 µg/l	0,02 µg/l	0,92									
	Benzo[g,h,i]-perylen	0,57 µg/l	0,44 µg/l	0,23	0,54 µg/l	0,03 µg/l	0,95									
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,42 µg/l	0,32 µg/l	0,23	0,33 µg/l	0,02 µg/l	0,94									
	Σ PAK/EPA	6,28 µg/l	3,83 µg/l	0,39	4,40 µg/l	0,18 µg/l	0,96									
	Σ PAK/TVO							2,61 µg/l	0,27 µg/l	0,90	2,97 µg/l			2,51 µg/l	2,17 µg/l	0,14
PCB	PCB 28															
	PCB 52															
	PCB 101															
	PCB 138															
	PCB 153															
	PCB 180															
	S PCB-6															
Alkylphenole	Nonylphenol															
	Octyphenol															
	DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat															
	Benzol															
Zehr/Nährstoffe	BSB5															
	TOC															
	oPO4-P															
	Gesamt-P							0,25 mg/l	0,17 mg/l	0,32	0,35 mg/l	0,32 mg/l	0,09	0,31 mg/l	0,28 mg/l	0,1
	NH4-N	0,74 mg/l	1,10 mg/l	-0,48	0,60 mg/l	0,90 mg/l	-0,37	0,76 mg/l	0,49 mg/l	0,36	0,89 mg/l	0,75 mg/l	0,16	0,51 mg/l	0,62 mg/l	-0,18
	NO3-N															
	Gesamt-N	6,00 mg/l	4,00 mg/l	0,29	5,00 mg/l	3,00 mg/l	0,24									
Feststoffe	AFS	151 mg/l	131 mg/l	0,13	158 mg/l	29 mg/l	0,82	136,9 mg/l	21 mg/l	0,85	180 mg/l	91,2 mg/l	0,5	252 mg/l	126 mg/l	0,50
	AFS63															
	CSB			0,37			0,72			0,63			0,26			0,23

Erläuterung:
Blaue Zahlen über PAK Verteilung aus Summe PAK/EPA bzw. PAK/TVO berechnet
Grüne Zahlen: Wirkungsgrad aus Zu- und Ablaufkonzentration berechnet
Wirkung (F) frachtbezogener Wirkungsgrad, Winkung (K) konzentrationsbezogener Wirkungsgrad

Literaturzusammenstellung zu Konzentrationsdaten in Zu- und Ablauf von Regenbecken an Straßen

Statistik ohne Lamellenabscheider Fennsee!

	Lit-Quelle	Krauth, Stotz (1993)			Grotehusmann, Rüter (2013)									
	Messort	B 33/34 Singen			Fennsee			Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad		
	Beckenart	Erdbecken, Absetzbecken vor Versickerungsbecken			Lamellenabscheider, vorentlastet rkrit = 15 l/s/ha, 768 Lamellen, effektive Absetzfläche =17 m²/ha									
	Besonderheiten	mittlere Wassertiefe < 1 m, ungünstiger flacher Einlaufbereich												
	spez. Wasseroberfläche (m²/(ha Art	73			17,4									
	spez. Dauerstauvolumen (m³/(ha Art	41												
	max qa (bei den Messungen) (m/h)	1,9			3,4									
	Parameter	Zulauf	Ablauf	Wirkung (F)	Zulauf	Ablauf	Wirkung (F)	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	aus Zu-Ablauf
Schwermetalle	Cu	42,7 µg/l	25,3 µg/l	0,41				90,95 µg/l	103,5 µg/l	53,38333333 µg/l	43 µg/l	0,37	0,33	0,58
	Cr	24,20 µg/l	15,60 µg/l	0,36				14,85 µg/l	15 µg/l	10,475 µg/l	11,3 µg/l	0,25	0,34	0,25
	Zn	284,9 µg/l	150,6 µg/l	0,47	848 µg/l	437 µg/l	0,48	435,8166667 µg/l	425 µg/l	236,2666667 µg/l	215 µg/l	0,45	0,42	0,49
	Cd	3,70 µg/l	2,70 µg/l	0,27				3,383333333 µg/l	3,25 µg/l	2,316666667 µg/l	2,05 µg/l	0,32	0,30	0,37
	Ni	23,00 µg/l	18,00 µg/l	0,22				23 µg/l	23 µg/l	18 µg/l	18 µg/l	0,22	0,22	0,22
	Pb	128,8 µg/l	93,30 µg/l	0,28				142,6333333 µg/l	145,9 µg/l	73,55 µg/l	66,15 µg/l	0,47	0,39	0,55
	Hg													
	Fe	3,2 mg/l	1 mg/l	0,69	4,45 mg/l	2,54 mg/l	0,43	3,49 mg/l	3,31 mg/l	2,0375 mg/l	1,275 mg/l	0,54	0,57	0,61
PAK	Phenanthren							0,32 µg/l	0,32 µg/l	0,155 µg/l	0,155 µg/l	0,57	0,57	0,52
	Anthracen							0,11408 µg/l	0,11408 µg/l	0,06713 µg/l	0,06713 µg/l			0,41
	Fluoranthen							0,865 µg/l	0,865 µg/l	0,315 µg/l	0,315 µg/l	0,69	0,69	0,64
	Naphthalin							0,12222 µg/l	0,12222 µg/l	0,069045 µg/l	0,069045 µg/l			0,44
	Benzo[a]pyren							0,385 µg/l	0,385 µg/l	0,15 µg/l	0,15 µg/l	0,67	0,67	0,61
	Benzo[b]fluoranthen							0,61 µg/l	0,61 µg/l	0,235 µg/l	0,235 µg/l	0,66	0,66	0,61
	Benzo[k]fluoranthen							0,24 µg/l	0,24 µg/l	0,095 µg/l	0,095 µg/l	0,67	0,67	0,60
	Benzo[g,h,i]-perylene							0,555 µg/l	0,555 µg/l	0,235 µg/l	0,235 µg/l	0,59	0,59	0,58
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren							0,375 µg/l	0,375 µg/l	0,17 µg/l	0,17 µg/l	0,59	0,59	0,55
	Σ PAK/EPA							5,34 µg/l	5,34 µg/l	2,005 µg/l	2,005 µg/l	0,68	0,68	0,62
	Σ PAK/TVO							2,696666667 µg/l	2,61 µg/l	1,22 µg/l	1,22 µg/l			0,53
PCB	PCB 28													
	PCB 52													
	PCB 101													
	PCB 138													
	PCB 153													
	PCB 180													
	S PCB-6													
Alkylphenole	Nonylphenol													
	Octylphenol													
	DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat													
	Benzol													
Zehr/Nährstoffe	BSB5				9,80 mg/l	6,05 mg/l	0,38							
	TOC													
	oPO4-P													
	Gesamt-P				0,8 mg/l	0,48 mg/l	0,4	0,30 mg/l	0,31 mg/l	0,26 mg/l	0,28 mg/l	0,17	0,10	0,10
	NH4-N				0,67 mg/l	0,46 mg/l	0,31	0,70 mg/l	0,74 mg/l	0,77 mg/l	0,75 mg/l	-0,10	-0,18	-0,01
	NO3-N													
	Gesamt-N							5,50 mg/l	5,50 mg/l	3,50 mg/l	3,50 mg/l	0,27	0,27	0,36
Feststoffe	AFS	84,6 mg/l	78,1 mg/l	0,27	257 mg/l	69 mg/l	0,73	160,4166667 mg/l	154,5 mg/l	79,38333333 mg/l	84,65 mg/l	0,51	0,50	0,45
	AFS63													
	CSB			0,193									0,32	

Erläuterung:
Blaue Zahlen über PAK Verteilung aus Summe PAK/EPA bzw. PAK/TVO berechnet
Grüne Zahlen: Wirkungsgrad aus Zu- und Ablaufkonzentration berechnet
Wirkung (F) frachtbezogener Wirkungsgrad, Winkung (K) konzentrationsbezogener Wirkungsgrad

Anlage 7

Konzentrationsdaten
in Zu- und Ablauf von
Retentionsbodenfilteranlagen
an Straßen

Literaturzusammenstellung zu Konzentrationsdaten in Zu- und Ablauf von Retentionsbodenfiltern													
	Lit-Quelle	Grotehusmann et al. (2010)			Kasting/Grotehusmann (2011)			Grotehusmann/Kasting (2009)			Grotehusmann/Kasting (2009)		
	Messort	Halensee RBF			Paderborn Benteler Str RBF			Köln A3 RBF Köln Ost Westseite			A113 Berlin Späthstraße		
		Zulauf = Zulauf Vorstufe			Zulauf = Ablauf Vorstufe			Zulauf = Ablauf sehr große Vorstufe			Zulauf = Ablauf sehr große Vorstufe		
	Besonderheiten												
	Parameter	Zulauf	Ablauf	Wirkung	Zulauf	Ablauf	Wirkung	Zulauf	Ablauf	Wirkung	Zulauf	Ablauf	Wirkung
Schwermetalle	Cu				24,2 µg/l	11,2 µg/l	0,56	31,5 µg/l	22,8 µg/l	0,28	26,3 µg/l	9,3 µg/l	0,64
	Cr				5,2 µg/l	2,3 µg/l	0,58	3 µg/l	2,1 µg/l	0,29	5,9 µg/l	5,1 µg/l	0,13
	Zn	780 µg/l	18 µg/l	0,98	230 µg/l	20 µg/l	0,9	102 µg/l	49 µg/l	0,52	115 µg/l	38 µg/l	0,67
	Cd				0,2 µg/l	0,05 µg/l	0,9	0,28 µg/l	0,07 µg/l	0,75	0,1 µg/l	0,05 µg/l	0,9
	Ni				4,2 µg/l	1,6 µg/l	0,65	2,4 µg/l	1,4 µg/l	0,41	2,5 µg/l	1,6 µg/l	0,36
	Pb				5 µg/l	1,1 µg/l	0,79	4,9 µg/l	2,5 µg/l	0,49	4,9 µg/l	1,5 µg/l	0,69
	Hg												
	Fe				1,03 mg/l	0,1 mg/l	0,91						
PAK	Phenanthren				0,00186 µg/l	0,00031 µg/l		0,0093 µg/l	0,00124 µg/l		0,01736 µg/l	0,00806 µg/l	
	Anthracen				0,00066 µg/l	0,00011 µg/l		0,0033 µg/l	0,00044 µg/l		0,00616 µg/l	0,00286 µg/l	
	Fluoranthren				0,00474 µg/l	0,00079 µg/l		0,0237 µg/l	0,00316 µg/l		0,04424 µg/l	0,02054 µg/l	
	Naphthalin				0,00069 µg/l	0,00012 µg/l		0,0035 µg/l	0,00046 µg/l		0,00644 µg/l	0,00299 µg/l	
	Benzo[a]pyren				0,00186 µg/l	0,00031 µg/l		0,0093 µg/l	0,00124 µg/l		0,01736 µg/l	0,00806 µg/l	
	Benzo[b]fluoranthren				0,00324 µg/l	0,00054 µg/l		0,0162 µg/l	0,00216 µg/l		0,03024 µg/l	0,01404 µg/l	
	Benzo[k]fluoranthren				0,00111 µg/l	0,00019 µg/l		0,0056 µg/l	0,00074 µg/l		0,01036 µg/l	0,00481 µg/l	
	Benzo[g,h,i]-perylene				0,00324 µg/l	0,00054 µg/l		0,0162 µg/l	0,00216 µg/l		0,03024 µg/l	0,01404 µg/l	
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren				0,00222 µg/l	0,00037 µg/l		0,0111 µg/l	0,00148 µg/l		0,02072 µg/l	0,00962 µg/l	
	Σ PAK/EPA				0,03 µg/l	0,005 µg/l	0,9	0,15 µg/l	0,02 µg/l	0,86	0,28 µg/l	0,13 µg/l	0,52
	Σ PAK/TVO												
PCB	PCB 28												
	PCB 52												
	PCB 101												
	PCB 138												
	PCB 153												
	PCB 180												
	S PCB-6												
Alkylphenole	Nonylphenol												
	Octylphenol												
	DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat							4 µg/l	0,5 µg/l	0,9 µg/l	1,6 µg/l	0,07 µg/l	0,95
	Benzol												
Zehr/Nährstoffe	BSB5												
	TOC												
	oPO4-P												
	Gesamt-P	0,23 mg/l	0,03 mg/l	0,87							0,07 mg/l	0,03 mg/l	0,5
	NH4-N	0,45 mg/l	0,08 mg/l	0,82									
	NO3-N												
	Gesamt-N												
Feststoffe	AFS	51,2 mg/l	0,85 mg/l	0,98	30 mg/l	3 mg/l	0,91	4 mg/l	3 mg/l	0,25	23 mg/l	8 mg/l	0,66
	AFS63												
CSB				0,85			0,65						0,64

Erläuterung:
Blaue Zahlen über PAK Verteilung aus Summe PAK/EPA bzw. PAK/TVO berechnet
grüne Zahlen über Wirkungsgrad Ablaufkonzentration bzw. über Zu- und Ablaufkonzentration Wirkungsgrad berechnet
für PCB , Nonylphenol und Octylphenol sind die Ablaufkonzentrationen über mittlere Konzentrationen im Straßenabfluss und Wirkungsgrad für PAK berechnet

	Lit-Quelle	Grotehusmann/Kasting (2009)			Kasting/Grotehusmann (2007)			Gtotehusmann et al. (2009)			Gtotehusmann et al. (2011)			Nadler/Meißner (2008)		
	Messort	Lysimeter M 178			Lysimeter DBU_Bofi2			Adlershof RBF (TS)			Biesdorf RBF (TS)			Derchinger Str.		
		Zulauf = Straßenabflüsse aus Sandfang			Zulauf = Straßenabflüsse aus Sandfang Ablaufkonz.mit Wirkungsgraden berechnet			Zulauf = Ablauf Vorstufe			Zulauf = Ablauf Vorstufe Zn-Konzentration nicht plausibel			60 cm Sandfilter		
	Besonderheiten															
	Parameter	Zulauf	Ablauf	Wirkung	Zulauf	Ablauf	Wirkung	Zulauf	Ablauf	Wirkung	Zulauf	Ablauf	Wirkung	Zulauf	Ablauf	Wirkung
Schwermeta	Cu	39 µg/l	0,8 µg/l	0,79	62 µg/l	6,2 µg/l	0,9							30 µg/l	3 µg/l	0,89
	Cr													4,9 µg/l	1,6 µg/l	0,67
	Zn	237 µg/l	31 µg/l	0,87	155 µg/l	4,65 µg/l	0,97	209 µg/l	20 µg/l	0,92	160 µg/l	"69 µg/l "	0,56	335 µg/l	11 µg/l	0,97
	Cd	0,14 µg/l	0,06 µg/l	0,6										0,22 µg/l	0,05 µg/l	
	Ni															
	Pb	6 µg/l	1,20 µg/l	0,8	10 µg/l	4,5 µg/l	0,55							12,0 µg/l	0,5 µg/l	0,96
	Hg															
	Fe													1,74 mg/l	0,13 mg/l	0,92
PAK	Phenanthren	0,007564 µg/l	0,000372 µg/l		0,01302 µg/l	0,0031248 µg/l										
	Anthracen	0,002684 µg/l	0,000132 µg/l		0,00462 µg/l	0,0011088 µg/l										
	Fluoranthen	0,019276 µg/l	0,000948 µg/l		0,03318 µg/l	0,0079632 µg/l										
	Naphthalin	0,002806 µg/l	0,000138 µg/l		0,00483 µg/l	0,0011592 µg/l										
	Benzo[a]pyren	0,007564 µg/l	0,000372 µg/l		0,01302 µg/l	0,0031248 µg/l										
	Benzo[b]fluoranthen	0,013176 µg/l	0,000648 µg/l		0,02268 µg/l	0,0054432 µg/l										
	Benzo[k]fluoranthen	0,004514 µg/l	0,000222 µg/l		0,00777 µg/l	0,0018648 µg/l										
	Benzo[g,h,i]-perylen	0,013176 µg/l	0,000648 µg/l		0,02268 µg/l	0,0054432 µg/l										
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,009028 µg/l	0,000444 µg/l		0,01554 µg/l	0,0037296 µg/l										
	Σ PAK/EPA	0,122 µg/l	0,006 µg/l	0,95	0,21 µg/l	0,0504 µg/l	0,76									
	Σ PAK/TVO															
PCB	PCB 28															
	PCB 52															
	PCB 101															
	PCB 138															
	PCB 153															
	PCB 180															
	S PCB-6															
Alkylphenole	Nonylphenol															
	Octyphenol															
	DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat															
	Benzol															
Zehr/Nöhrst	BSB5															
	TOC															
	oPO4-P															
	Gesamt-P				0,08 mg/l	0,0312 mg/l	0,61	0,27 mg/l	0,025 mg/l	0,91	0,23 mg/l	0,021 mg/l	0,91	0,19 mg/l	0,07 mg/l	0,66
	NH4-N				0,45 mg/l	0,009 mg/l	0,98	0,4 mg/l	"0,23"	"0,16"	0,32 mg/l	0,1 mg/l	0,67			
	NO3-N															
	Gesamt-N															
Feststoffe	AFS	121 mg/l	7 mg/l	0,94	54 mg/l	3,78 mg/l	0,93							74 mg/l	5 mg/l	0,93
	AFS63									> 0,9			> 0,9			
CSB							0,67			0,96			0,92			

	Lit-Quelle							
	Messort	Zulauf		Ablauf				
	Besonderheiten						Wirkungsg rad	Ablauffracht
	Parameter	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median	berechnet		
Schwermetall	Cu	35,5 µg/l	30,75 µg/l	8,916666667 µg/l	7,75 µg/l		0,72	43 g/ha/a
	Cr	4,75 µg/l	5,05 µg/l	2,775 µg/l	2,20 µg/l		0,44	12,3 g/ha/a
	Zn	258,1111111 µg/l	209 µg/l	23,89375 µg/l	20 µg/l		0,90	112 g/ha/a
	Cd	0,188 µg/l	0,2 µg/l	0,056 µg/l	0,05 µg/l		0,83	0,28 g/ha/a
	Ni	3,033333333 µg/l	2,5 µg/l	1,533333333 µg/l	1,60 µg/l		0,41	8,96 g/ha/a
	Pb	7,133333333 µg/l	5,5 µg/l	1,883333333 µg/l	1,35 µg/l		0,74	7,56 g/ha/a
	Hg							0,000 g/ha/a
	Fe	1,3825 mg/l	1,3825 mg/l	0,1155 mg/l	0,1155 mg/l		0,92	0,647 kg/ha/a
PAK	Phenanthren	0,0098 µg/l	0,0093 µg/l	0,0026 µg/l	0,0012 µg/l		0,86	0,007 g/ha/a
	Anthracen	0,0035 µg/l	0,0033 µg/l	0,0009 µg/l	0,0004 µg/l		0,86	0,002 g/ha/a
	Fluoranthren	0,0250 µg/l	0,0237 µg/l	0,0067 µg/l	0,0032 µg/l		0,86	0,018 g/ha/a
	Naphthalin	0,0036 µg/l	0,0035 µg/l	0,0010 µg/l	0,0005 µg/l		0,86	0,003 g/ha/a
	Benzo[a]pyren	0,0098 µg/l	0,0093 µg/l	0,0026 µg/l	0,0012 µg/l		0,86	0,007 g/ha/a
	Benzo[b]fluoranthren	0,0171 µg/l	0,0162 µg/l	0,0046 µg/l	0,0022 µg/l		0,86	0,012 g/ha/a
	Benzo[k]fluoranthren	0,0059 µg/l	0,0056 µg/l	0,0016 µg/l	0,0007 µg/l		0,86	0,004 g/ha/a
	Benzo[g,h,i]-perylen	0,0171 µg/l	0,0162 µg/l	0,0046 µg/l	0,0022 µg/l		0,86	0,012 g/ha/a
	Indeno[1,2,3-cd]-pyren	0,0117 µg/l	0,0111 µg/l	0,0031 µg/l	0,0015 µg/l		0,86	0,008 g/ha/a
	Σ PAK/EPA	0,1584 µg/l	0,1500 µg/l	0,0423 µg/l	0,0200 µg/l		0,86	
	Σ PAK/TVO							
PCB	PCB 28					0,000028 µg/l	0,86	0,00016 g/ha/a
	PCB 52					0,000042 µg/l	0,86	0,00024 g/ha/a
	PCB 101					0,000126 µg/l	0,86	0,00071 g/ha/a
	PCB 138					0,000406 µg/l	0,86	0,00227 g/ha/a
	PCB 153					0,000280 µg/l	0,86	0,00157 g/ha/a
	PCB 180					0,000196 µg/l	0,86	0,00110 g/ha/a
	S PCB-6					0,000000 µg/l	0,86	
Alkylphenole	Nonylphenol					0,029 µg/l	0,86	0,165 g/ha/a
	Octyphenol					0,007 µg/l	0,86	0,0392 g/ha/a
	DEHP (Bis(2-ethyl-hexyl)phthalat	2,8 µg/l	2,8 µg/l	0,285 µg/l	0,285 µg/l		0,93	1,5960 g/ha/a
	Benzol							
Zehr/Nährstoffe	BSB5					3,60 mg/l	0,76	20,16 kg/ha/a
	TOC							
	oPO4-P							
	Gesamt-P	0,18 mg/l	0,21 mg/l	0,03 mg/l	0,03 mg/l		0,76	0,17 kg/ha/a
	NH4-N	0,41 mg/l	0,43 mg/l	0,06 mg/l	0,08 mg/l		0,82	0,45 kg/ha/a
	NO3-N							
	Gesamt-N							
Feststoffe	AFS	51,03 mg/l	51,20 mg/l	4,40 mg/l	3,8 mg/l		0,93	21,17 kg/ha/a
	AFS63				3,8 mg/l		0,93	21,17 kg/ha/a
CSB							0,76	

Anlage 8

Berechnungsbeispiele

Benzo(a)pyren
Fluoranthen
Kupfer
Zink
NH₄-N
Gesamt-P

Benzo(a)pyren

ZHK-UQN	0,27000 µg/l	
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	0,18 µg/l	
Straßenabfluss (hohe Belastung)	0,36 µg/l	
η _{RKB} Ablauf (mittl. Belastung)	0,39	
η _{RKB} opt Ablauf (mitt. Belastung)	0,68	
RBF Abfluss	0,0012 µg/l	
spezifischer Drosselabfluss	5,00 l/s/ha	
Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,25	0,00004 µg/l

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MNQ + C_{RW,hB} \cdot (1 - \eta_{RWBA}) \cdot Q_{RW}}{MNQ + Q_{RW}}$$

Gleichung 4a

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MNQ + C_{RBF,ab} \cdot Q_{RW}}{MNQ + Q_{RW}}$$

Gleichung 4b

Konzentration OWK nach Einleitung RW

$C_{OWK,RW}$ in mg/l

Konzentration OWK nach Einleitung RW

$C_{OWK,RW}$ in mg/l

Ausgangskonzentration OWK

C_{OWK} in mg/l

Ausgangskonzentration OWK

C_{OWK} in mg/l

Eingeleiteter Niederschlagsabfluss

Q_{RW} in l/s

Eingeleiteter Niederschlagsabfluss

Q_{RW} in l/s

Mittlerer Niedrigwasserabfluss OWK

MNQ in l/s

Mittlerer Niedrigwasserabfluss OWK

MNQ in l/s

Konzentration Niederschlagsabfluss, hohe Belastung

$C_{RW,hB}$ in mg/l

Ablaufkonzentration RBF

$C_{RBF,ab}$ in mg/l

Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage

η_{RWBA}

Straßenabfluss ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s	0,07203 µg/l	0,12003 µg/l	0,18002 µg/l	0,25716 µg/l	0,30001 µg/l	0,32728 µg/l	
10 l/s	0,04004 µg/l	0,07203 µg/l	0,12003 µg/l	0,20002 µg/l	0,25716 µg/l	0,30001 µg/l	
25 l/s	0,01718 µg/l	0,03277 µg/l	0,06004 µg/l	0,12003 µg/l	0,18002 µg/l	0,24001 µg/l	
50 l/s	0,00882 µg/l	0,01718 µg/l	0,03277 µg/l	0,07203 µg/l	0,12003 µg/l	0,18002 µg/l	
100 l/s	0,00449 µg/l	0,00882 µg/l	0,01718 µg/l	0,04004 µg/l	0,07203 µg/l	0,12003 µg/l	
250 l/s	0,00183 µg/l	0,00361 µg/l	0,00710 µg/l	0,01718 µg/l	0,03277 µg/l	0,06004 µg/l	
500 l/s	0,00094 µg/l	0,00183 µg/l	0,00361 µg/l	0,00882 µg/l	0,01718 µg/l	0,03277 µg/l	
1000 l/s	0,00049 µg/l	0,00094 µg/l	0,00183 µg/l	0,00449 µg/l	0,00882 µg/l	0,01718 µg/l	
2500 l/s	0,00022 µg/l	0,00040 µg/l	0,00076 µg/l	0,00183 µg/l	0,00361 µg/l	0,00710 µg/l	
5000 l/s	0,00013 µg/l	0,00022 µg/l	0,00040 µg/l	0,00094 µg/l	0,00183 µg/l	0,00361 µg/l	
10000 l/s	0,00009 µg/l	0,00013 µg/l	0,00022 µg/l	0,00049 µg/l	0,00094 µg/l	0,00183 µg/l	

Abfluss Sedimentationsanlage ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s	0,04395 µg/l	0,07323 µg/l	0,10982 µg/l	0,15687 µg/l	0,18301 µg/l	0,19964 µg/l	
10 l/s	0,02444 µg/l	0,04395 µg/l	0,07323 µg/l	0,12202 µg/l	0,15687 µg/l	0,18301 µg/l	
25 l/s	0,01050 µg/l	0,02000 µg/l	0,03664 µg/l	0,07323 µg/l	0,10982 µg/l	0,14641 µg/l	
50 l/s	0,00540 µg/l	0,01050 µg/l	0,02000 µg/l	0,04395 µg/l	0,07323 µg/l	0,10982 µg/l	
100 l/s	0,00275 µg/l	0,00540 µg/l	0,01050 µg/l	0,02444 µg/l	0,04395 µg/l	0,07323 µg/l	
250 l/s	0,00113 µg/l	0,00222 µg/l	0,00435 µg/l	0,01050 µg/l	0,02000 µg/l	0,03664 µg/l	
500 l/s	0,00059 µg/l	0,00113 µg/l	0,00222 µg/l	0,00540 µg/l	0,01050 µg/l	0,02000 µg/l	
1000 l/s	0,00032 µg/l	0,00059 µg/l	0,00113 µg/l	0,00275 µg/l	0,00540 µg/l	0,01050 µg/l	
2500 l/s	0,00015 µg/l	0,00026 µg/l	0,00048 µg/l	0,00113 µg/l	0,00222 µg/l	0,00435 µg/l	
5000 l/s	0,00010 µg/l	0,00015 µg/l	0,00026 µg/l	0,00059 µg/l	0,00113 µg/l	0,00222 µg/l	
10000 l/s	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	0,00015 µg/l	0,00032 µg/l	0,00059 µg/l	0,00113 µg/l	

Abfluss Sedimentationsanlage (optimiert) ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s	0,02307 µg/l	0,03843 µg/l	0,05762 µg/l	0,08230 µg/l	0,09601 µg/l	0,10473 µg/l	
10 l/s	0,01284 µg/l	0,02307 µg/l	0,03843 µg/l	0,06402 µg/l	0,08230 µg/l	0,09601 µg/l	
25 l/s	0,00553 µg/l	0,01051 µg/l	0,01924 µg/l	0,03843 µg/l	0,05762 µg/l	0,07681 µg/l	
50 l/s	0,00285 µg/l	0,00553 µg/l	0,01051 µg/l	0,02307 µg/l	0,03843 µg/l	0,05762 µg/l	
100 l/s	0,00146 µg/l	0,00285 µg/l	0,00553 µg/l	0,01284 µg/l	0,02307 µg/l	0,03843 µg/l	
250 l/s	0,00062 µg/l	0,00118 µg/l	0,00230 µg/l	0,00553 µg/l	0,01051 µg/l	0,01924 µg/l	
500 l/s	0,00033 µg/l	0,00062 µg/l	0,00118 µg/l	0,00285 µg/l	0,00553 µg/l	0,01051 µg/l	
1000 l/s	0,00019 µg/l	0,00033 µg/l	0,00062 µg/l	0,00146 µg/l	0,00285 µg/l	0,00553 µg/l	
2500 l/s	0,00010 µg/l	0,00016 µg/l	0,00027 µg/l	0,00062 µg/l	0,00118 µg/l	0,00230 µg/l	
5000 l/s	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	0,00016 µg/l	0,00033 µg/l	0,00062 µg/l	0,00118 µg/l	
10000 l/s	0,00006 µg/l	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	0,00019 µg/l	0,00033 µg/l	0,00062 µg/l	

Abfluss Retentionsbodenfilter ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s	0,00027 µg/l	0,00043 µg/l	0,00062 µg/l	0,00087 µg/l	0,00101 µg/l	0,00109 µg/l	
10 l/s	0,00017 µg/l	0,00027 µg/l	0,00043 µg/l	0,00069 µg/l	0,00087 µg/l	0,00101 µg/l	
25 l/s	0,00010 µg/l	0,00015 µg/l	0,00024 µg/l	0,00043 µg/l	0,00062 µg/l	0,00081 µg/l	
50 l/s	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	0,00015 µg/l	0,00027 µg/l	0,00043 µg/l	0,00062 µg/l	
100 l/s	0,00006 µg/l	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	0,00017 µg/l	0,00027 µg/l	0,00043 µg/l	
250 l/s	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	0,00015 µg/l	0,00024 µg/l	
500 l/s	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	0,00015 µg/l	
1000 l/s	0,00004 µg/l	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	0,00006 µg/l	0,00007 µg/l	0,00010 µg/l	
2500 l/s	0,00004 µg/l	0,00004 µg/l	0,00004 µg/l	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	0,00007 µg/l	
5000 l/s	0,00004 µg/l	0,00004 µg/l	0,00004 µg/l	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	
10000 l/s	0,00004 µg/l	0,00004 µg/l	0,00004 µg/l	0,00004 µg/l	0,00005 µg/l	0,00005 µg/l	

Fluoranthen

JD-UQN	0,00630 µg/l
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	2,00 g/ha/a
η _{RKB} Ablauf (mittl. Belastung)	0,38
η _{RKBopt} Ablauf (mitt. Belastung)	0,67
RBF Abfluss	0,018 g/ha/a

Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,75	0,00473 µg/l
---------------------------------	------	--------------

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MQ + B_{RW} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA})}{MQ}$$

Gleichung 2a

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MQ + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,b,a}}{MQ}$$

Gleichung 2b

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage
Mittelwasserabfluss OWK

$C_{OWK,RW}$ in mg/l
 C_{OWK} in mg/l
 B_{RW} in g/(ha a)
 $A_{E,b,a}$ in ha
 η_{RWBA}
 MQ in m³/a

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK
Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche
Mittelwasserabfluss OWK

$C_{OWK,RW}$ in mg/l
 C_{OWK} in mg/l
 $B_{RBF,ab}$ in g/(ha a)
 $A_{E,b,a}$ in ha
 MQ in m³/a

Straßenabfluss JD-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MQ							
5 l/s		0,00790 µg/l	0,01107 µg/l	0,01741 µg/l	0,03643 µg/l	0,06814 µg/l	0,13156 µg/l
10 l/s		0,00631 µg/l	0,00790 µg/l	0,01107 µg/l	0,02058 µg/l	0,03643 µg/l	0,06814 µg/l
25 l/s		0,00536 µg/l	0,00599 µg/l	0,00726 µg/l	0,01107 µg/l	0,01741 µg/l	0,03009 µg/l
50 l/s		0,00504 µg/l	0,00536 µg/l	0,00599 µg/l	0,00790 µg/l	0,01107 µg/l	0,01741 µg/l
100 l/s		0,00488 µg/l	0,00504 µg/l	0,00536 µg/l	0,00631 µg/l	0,00790 µg/l	0,01107 µg/l
250 l/s		0,00479 µg/l	0,00485 µg/l	0,00498 µg/l	0,00536 µg/l	0,00599 µg/l	0,00726 µg/l
500 l/s		0,00476 µg/l	0,00479 µg/l	0,00485 µg/l	0,00504 µg/l	0,00536 µg/l	0,00599 µg/l
1000 l/s		0,00474 µg/l	0,00476 µg/l	0,00479 µg/l	0,00488 µg/l	0,00504 µg/l	0,00536 µg/l
2500 l/s		0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00479 µg/l	0,00485 µg/l	0,00498 µg/l
5000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00476 µg/l	0,00479 µg/l	0,00485 µg/l
10000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00476 µg/l	0,00479 µg/l

Ablauf Sedimentationsanlage JD-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MQ							
5 l/s		0,00669 µg/l	0,00866 µg/l	0,01259 µg/l	0,02439 µg/l	0,04405 µg/l	0,08337 µg/l
10 l/s		0,00571 µg/l	0,00669 µg/l	0,00866 µg/l	0,01456 µg/l	0,02439 µg/l	0,04405 µg/l
25 l/s		0,00512 µg/l	0,00551 µg/l	0,00630 µg/l	0,00866 µg/l	0,01259 µg/l	0,02045 µg/l
50 l/s		0,00492 µg/l	0,00512 µg/l	0,00551 µg/l	0,00669 µg/l	0,00866 µg/l	0,01259 µg/l
100 l/s		0,00482 µg/l	0,00492 µg/l	0,00512 µg/l	0,00571 µg/l	0,00669 µg/l	0,00866 µg/l
250 l/s		0,00476 µg/l	0,00480 µg/l	0,00488 µg/l	0,00512 µg/l	0,00551 µg/l	0,00630 µg/l
500 l/s		0,00474 µg/l	0,00476 µg/l	0,00480 µg/l	0,00492 µg/l	0,00512 µg/l	0,00551 µg/l
1000 l/s		0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00476 µg/l	0,00482 µg/l	0,00492 µg/l	0,00512 µg/l
2500 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00476 µg/l	0,00480 µg/l	0,00488 µg/l
5000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00476 µg/l	0,00480 µg/l
10000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00476 µg/l

Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MQ							
5 l/s		0,00577 µg/l	0,00682 µg/l	0,00891 µg/l	0,01519 µg/l	0,02565 µg/l	0,04658 µg/l
10 l/s		0,00525 µg/l	0,00577 µg/l	0,00682 µg/l	0,00996 µg/l	0,01519 µg/l	0,02565 µg/l
25 l/s		0,00493 µg/l	0,00514 µg/l	0,00556 µg/l	0,00682 µg/l	0,00891 µg/l	0,01310 µg/l
50 l/s		0,00483 µg/l	0,00493 µg/l	0,00514 µg/l	0,00577 µg/l	0,00682 µg/l	0,00891 µg/l
100 l/s		0,00478 µg/l	0,00483 µg/l	0,00493 µg/l	0,00525 µg/l	0,00577 µg/l	0,00682 µg/l
250 l/s		0,00475 µg/l	0,00477 µg/l	0,00481 µg/l	0,00493 µg/l	0,00514 µg/l	0,00556 µg/l
500 l/s		0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00477 µg/l	0,00483 µg/l	0,00493 µg/l	0,00514 µg/l
1000 l/s		0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00478 µg/l	0,00483 µg/l	0,00493 µg/l
2500 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00475 µg/l	0,00477 µg/l	0,00481 µg/l
5000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00477 µg/l
10000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l

Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MQ							
5 l/s		0,00475 µg/l	0,00478 µg/l	0,00484 µg/l	0,00501 µg/l	0,00530 µg/l	0,00587 µg/l
10 l/s		0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00478 µg/l	0,00487 µg/l	0,00501 µg/l	0,00530 µg/l
25 l/s		0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00478 µg/l	0,00484 µg/l	0,00495 µg/l
50 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00478 µg/l	0,00484 µg/l
100 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l	0,00478 µg/l
250 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l	0,00475 µg/l
500 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00474 µg/l
1000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l
2500 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l
5000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l
10000 l/s		0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l	0,00473 µg/l

Fluoranthen

ZHK-UQN	0,12000 µg/l	
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	0,5 µg/l	
Straßenabfluss (hohe Belastung)	1 µg/l	
ηRKB Ablauf (mittl. Belastung)	0,38	
ηRKBopt Ablauf (mitt. Belastung)	0,67	
RBF Abfluss	0,0032 µg/l	
spezifischer Drosselabfluss	5,00 l/s/ha	
Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,75	0,00473 µg/l

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MNQ + C_{RW,hB} \cdot (1 - \eta_{RWBA}) \cdot Q_{RW}}{MNQ + Q_{RW}}$$

Gleichung 4a

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MNQ + C_{RBF,ab} \cdot Q_{RW}}{MNQ + Q_{RW}}$$

Gleichung 4b

Konzentration OWK nach Einleitung RW

$C_{OWK,RW}$ in mg/l

Konzentration OWK nach Einleitung RW

$C_{OWK,RW}$ in mg/l

Ausgangskonzentration OWK

C_{OWK} in mg/l

Ausgangskonzentration OWK

C_{OWK} in mg/l

Eingeleiteter Niederschlagsabfluss

Q_{RW} in l/s

Eingeleiteter Niederschlagsabfluss

Q_{RW} in l/s

Mittlerer Niedrigwasserabfluss OWK

MNQ in l/s

Mittlerer Niedrigwasserabfluss OWK

MNQ in l/s

Konzentration Niederschlagsabfluss, hohe Belastung

$C_{RW,hB}$ in mg/l

Ablaufkonzentration RBF

$C_{RBF,ab}$ in mg/l

Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage

η_{RWBA}

Straßenabfluss ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s		0,20378 µg/l	0,33648 µg/l	0,50236 µg/l	0,71564 µg/l	0,83412 µg/l	0,90952 µg/l
10 l/s		0,11531 µg/l	0,20378 µg/l	0,33648 µg/l	0,55766 µg/l	0,71564 µg/l	0,83412 µg/l
25 l/s		0,05212 µg/l	0,09520 µg/l	0,17060 µg/l	0,33648 µg/l	0,50236 µg/l	0,66824 µg/l
50 l/s		0,02900 µg/l	0,05212 µg/l	0,09520 µg/l	0,20378 µg/l	0,33648 µg/l	0,50236 µg/l
100 l/s		0,01701 µg/l	0,02900 µg/l	0,05212 µg/l	0,11531 µg/l	0,20378 µg/l	0,33648 µg/l
250 l/s		0,00968 µg/l	0,01458 µg/l	0,02424 µg/l	0,05212 µg/l	0,09520 µg/l	0,17060 µg/l
500 l/s		0,00721 µg/l	0,00968 µg/l	0,01458 µg/l	0,02900 µg/l	0,05212 µg/l	0,09520 µg/l
1000 l/s		0,00597 µg/l	0,00721 µg/l	0,00968 µg/l	0,01701 µg/l	0,02900 µg/l	0,05212 µg/l
2500 l/s		0,00522 µg/l	0,00572 µg/l	0,00671 µg/l	0,00968 µg/l	0,01458 µg/l	0,02424 µg/l
5000 l/s		0,00497 µg/l	0,00522 µg/l	0,00572 µg/l	0,00721 µg/l	0,00968 µg/l	0,01458 µg/l
10000 l/s		0,00485 µg/l	0,00497 µg/l	0,00522 µg/l	0,00597 µg/l	0,00721 µg/l	0,00968 µg/l

Abfluss Sedimentationsanlage ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s		0,12778 µg/l	0,20982 µg/l	0,31236 µg/l	0,44421 µg/l	0,51745 µg/l	0,56407 µg/l
10 l/s		0,07309 µg/l	0,12778 µg/l	0,20982 µg/l	0,34654 µg/l	0,44421 µg/l	0,51745 µg/l
25 l/s		0,03402 µg/l	0,06066 µg/l	0,10727 µg/l	0,20982 µg/l	0,31236 µg/l	0,41491 µg/l
50 l/s		0,01973 µg/l	0,03402 µg/l	0,06066 µg/l	0,12778 µg/l	0,20982 µg/l	0,31236 µg/l
100 l/s		0,01232 µg/l	0,01973 µg/l	0,03402 µg/l	0,07309 µg/l	0,12778 µg/l	0,20982 µg/l
250 l/s		0,00779 µg/l	0,01082 µg/l	0,01679 µg/l	0,03402 µg/l	0,06066 µg/l	0,10727 µg/l
500 l/s		0,00626 µg/l	0,00779 µg/l	0,01082 µg/l	0,01973 µg/l	0,03402 µg/l	0,06066 µg/l
1000 l/s		0,00549 µg/l	0,00626 µg/l	0,00779 µg/l	0,01232 µg/l	0,01973 µg/l	0,03402 µg/l
2500 l/s		0,00503 µg/l	0,00534 µg/l	0,00595 µg/l	0,00779 µg/l	0,01082 µg/l	0,01679 µg/l
5000 l/s		0,00488 µg/l	0,00503 µg/l	0,00534 µg/l	0,00626 µg/l	0,00779 µg/l	0,01082 µg/l
10000 l/s		0,00480 µg/l	0,00488 µg/l	0,00503 µg/l	0,00549 µg/l	0,00626 µg/l	0,00779 µg/l

Abfluss Sedimentationsanlage (optimiert) ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s		0,06978 µg/l	0,11315 µg/l	0,16736 µg/l	0,23706 µg/l	0,27579 µg/l	0,30043 µg/l
10 l/s		0,04087 µg/l	0,06978 µg/l	0,11315 µg/l	0,18543 µg/l	0,23706 µg/l	0,27579 µg/l
25 l/s		0,02021 µg/l	0,03430 µg/l	0,05894 µg/l	0,11315 µg/l	0,16736 µg/l	0,22158 µg/l
50 l/s		0,01266 µg/l	0,02021 µg/l	0,03430 µg/l	0,06978 µg/l	0,11315 µg/l	0,16736 µg/l
100 l/s		0,00874 µg/l	0,01266 µg/l	0,02021 µg/l	0,04087 µg/l	0,06978 µg/l	0,11315 µg/l
250 l/s		0,00634 µg/l	0,00795 µg/l	0,01110 µg/l	0,02021 µg/l	0,03430 µg/l	0,05894 µg/l
500 l/s		0,00554 µg/l	0,00634 µg/l	0,00795 µg/l	0,01266 µg/l	0,02021 µg/l	0,03430 µg/l
1000 l/s		0,00513 µg/l	0,00554 µg/l	0,00634 µg/l	0,00874 µg/l	0,01266 µg/l	0,02021 µg/l
2500 l/s		0,00489 µg/l	0,00505 µg/l	0,00537 µg/l	0,00634 µg/l	0,00795 µg/l	0,01110 µg/l
5000 l/s		0,00481 µg/l	0,00489 µg/l	0,00505 µg/l	0,00554 µg/l	0,00634 µg/l	0,00795 µg/l
10000 l/s		0,00477 µg/l	0,00481 µg/l	0,00489 µg/l	0,00513 µg/l	0,00554 µg/l	0,00634 µg/l

Abfluss Retentionsbodenfilter ZHK-UQN

Straßenfläche		0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
MNQ							
5 l/s		0,00442 µg/l	0,00422 µg/l	0,00396 µg/l	0,00364 µg/l	0,00345 µg/l	0,00334 µg/l
10 l/s		0,00456 µg/l	0,00442 µg/l	0,00422 µg/l	0,00388 µg/l	0,00364 µg/l	0,00345 µg/l
25 l/s		0,00465 µg/l	0,00459 µg/l	0,00447 µg/l	0,00422 µg/l	0,00396 µg/l	0,00371 µg/l
50 l/s		0,00469 µg/l	0,00465 µg/l	0,00459 µg/l	0,00442 µg/l	0,00422 µg/l	0,00396 µg/l
100 l/s		0,00471 µg/l	0,00469 µg/l	0,00465 µg/l	0,00456 µg/l	0,00442 µg/l	0,00422 µg/l
250 l/s		0,00472 µg/l	0,00471 µg/l	0,00470 µg/l	0,00465 µg/l	0,00459 µg/l	0,00447 µg/l
500 l/s		0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00471 µg/l	0,00469 µg/l	0,00465 µg/l	0,00459 µg/l
1000 l/s		0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00471 µg/l	0,00469 µg/l	0,00465 µg/l
2500 l/s		0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00471 µg/l	0,00470 µg/l
5000 l/s		0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00471 µg/l
10000 l/s		0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l	0,00472 µg/l

Kupfer

JD-UQN	160,0 mg/kg
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	520 g/ha/a
f _{part}	0,81
Sowk	20 g/m³
η _{RKB AFS} (mittl. Belastung)	0,4
η _{RKBopt AFS} (mitt. Belastung)	0,7
RBF Abfluss	43 g/ha/a
RBF AFS Ablauf	21.170 g/ha/a
Straßenabfluss AFS	530.000 g/ha/a
Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,75 120,0 mg/kg

$$C_{sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{sed,OWK} + B_{RW} \cdot f_{part} \cdot A_{E,2,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA,AFS}) \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RW,AFS} \cdot A_{E,2,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA,AFS})} \quad \text{Gleichung 3a}$$

$$C_{sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{sed,OWK} + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,2,a} \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RBF,ab,AFS} \cdot A_{E,2,a}} \quad \text{Gleichung 3b}$$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK
Mittelwasserabfluss OWK
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss
Spezifische AFS-Fracht
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche
partikulärer Anteil
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage bezogen auf AFS

$C_{sed,OWK,RW}$ in mg/kg
 $C_{sed,OWK}$ in mg/kg
 MQ in m³/a
 S_{OWK} in g/m³
 B_{RW} in g/(ha·a)
 $B_{RW,AFS}$ in g/(ha·a)
 $A_{E,2,a}$ in ha
 f_{part}
 $\eta_{RWBA,AFS}$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK
Mittelwasserabfluss OWK
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK
Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF
Spezifische AFS-Fracht Ablauf RBF
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche

$C_{sed,OWK,RW}$ in mg/kg
 $C_{sed,OWK}$ in mg/kg
 MQ in m³/a
 S_{OWK} in g/m³
 $B_{RBF,ab}$ in g/(ha·a)
 $B_{RBF,ab,AFS}$ in g/(ha·a)
 $A_{E,2,a}$ in ha

Straßenabfluss JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	147,2 mg/kg	172,3 mg/kg	217,1 mg/kg	319,6 mg/kg	428,1 mg/kg	543,0 mg/kg
10 l/s	133,9 mg/kg	147,2 mg/kg	172,3 mg/kg	237,1 mg/kg	319,6 mg/kg	428,1 mg/kg
25 l/s	125,6 mg/kg	131,2 mg/kg	141,9 mg/kg	172,3 mg/kg	217,1 mg/kg	289,7 mg/kg
50 l/s	122,8 mg/kg	125,6 mg/kg	131,2 mg/kg	147,2 mg/kg	172,3 mg/kg	217,1 mg/kg
100 l/s	121,4 mg/kg	122,8 mg/kg	125,6 mg/kg	133,9 mg/kg	147,2 mg/kg	172,3 mg/kg
250 l/s	120,6 mg/kg	121,1 mg/kg	122,3 mg/kg	125,6 mg/kg	131,2 mg/kg	141,9 mg/kg
500 l/s	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,1 mg/kg	122,8 mg/kg	125,6 mg/kg	131,2 mg/kg
1000 l/s	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,4 mg/kg	122,8 mg/kg	125,6 mg/kg
2500 l/s	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,2 mg/kg	120,6 mg/kg	121,1 mg/kg	122,3 mg/kg
5000 l/s	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,1 mg/kg
10000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg

Ablauf Sedimentationsanlage JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	136,6 mg/kg	152,4 mg/kg	181,8 mg/kg	255,8 mg/kg	346,2 mg/kg	458,8 mg/kg
10 l/s	128,4 mg/kg	136,6 mg/kg	152,4 mg/kg	195,5 mg/kg	255,8 mg/kg	346,2 mg/kg
25 l/s	123,4 mg/kg	126,7 mg/kg	133,3 mg/kg	152,4 mg/kg	181,8 mg/kg	233,2 mg/kg
50 l/s	121,7 mg/kg	123,4 mg/kg	126,7 mg/kg	136,6 mg/kg	152,4 mg/kg	181,8 mg/kg
100 l/s	120,8 mg/kg	121,7 mg/kg	123,4 mg/kg	128,4 mg/kg	136,6 mg/kg	152,4 mg/kg
250 l/s	120,3 mg/kg	120,7 mg/kg	121,4 mg/kg	123,4 mg/kg	126,7 mg/kg	133,3 mg/kg
500 l/s	120,2 mg/kg	120,3 mg/kg	120,7 mg/kg	121,7 mg/kg	123,4 mg/kg	126,7 mg/kg
1000 l/s	120,1 mg/kg	120,2 mg/kg	120,3 mg/kg	120,8 mg/kg	121,7 mg/kg	123,4 mg/kg
2500 l/s	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,7 mg/kg	121,4 mg/kg
5000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,2 mg/kg	120,3 mg/kg	120,7 mg/kg
10000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,2 mg/kg	120,3 mg/kg

Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	126,8 mg/kg	133,3 mg/kg	145,4 mg/kg	175,8 mg/kg	213,0 mg/kg	259,3 mg/kg
10 l/s	123,5 mg/kg	126,8 mg/kg	133,3 mg/kg	151,0 mg/kg	175,8 mg/kg	213,0 mg/kg
25 l/s	121,4 mg/kg	122,8 mg/kg	125,5 mg/kg	133,3 mg/kg	145,4 mg/kg	166,5 mg/kg
50 l/s	120,7 mg/kg	121,4 mg/kg	122,8 mg/kg	126,8 mg/kg	133,3 mg/kg	145,4 mg/kg
100 l/s	120,3 mg/kg	120,7 mg/kg	121,4 mg/kg	123,5 mg/kg	126,8 mg/kg	133,3 mg/kg
250 l/s	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,4 mg/kg	122,8 mg/kg	125,5 mg/kg
500 l/s	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,7 mg/kg	121,4 mg/kg	122,8 mg/kg
1000 l/s	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,7 mg/kg	121,4 mg/kg
2500 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg
5000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg
10000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg

Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	123,2 mg/kg	126,4 mg/kg	132,7 mg/kg	151,5 mg/kg	182,1 mg/kg	240,2 mg/kg
10 l/s	121,6 mg/kg	123,2 mg/kg	126,4 mg/kg	135,9 mg/kg	151,5 mg/kg	182,1 mg/kg
25 l/s	120,6 mg/kg	121,3 mg/kg	122,6 mg/kg	126,4 mg/kg	132,7 mg/kg	145,3 mg/kg
50 l/s	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,3 mg/kg	123,2 mg/kg	126,4 mg/kg	132,7 mg/kg
100 l/s	120,2 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,6 mg/kg	123,2 mg/kg	126,4 mg/kg
250 l/s	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,3 mg/kg	122,6 mg/kg
500 l/s	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg	121,3 mg/kg
1000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,2 mg/kg	120,3 mg/kg	120,6 mg/kg
2500 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg	120,3 mg/kg
5000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg	120,1 mg/kg
10000 l/s	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,0 mg/kg	120,1 mg/kg

Kupfer

JD-UQN	160,0 mg/kg
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	520 g/ha/a
fpart	0,81
Sowk	20 g/m²
ηRKB Ablauf (mittl. Belastung)	0,32
ηRKBopt Ablauf (mitt. Belastung)	0,57
RBF Abfluss	43 g/ha/a
RBF AFS Ablauf	21.170 g/ha/a
Straßenabfluss AFS	530.000 g/ha/a
Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,25 40,0 mg/kg

$$C_{sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{sed,OWK} + B_{RW} \cdot f_{part} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA,AFS}) \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RW,AFS} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA,AFS})} \quad \text{Gleichung 3a}$$

$$C_{sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{sed,OWK} + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,b,a} \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RBF,ab,AFS} \cdot A_{E,b,a}} \quad \text{Gleichung 3b}$$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW	$C_{sed,OWK,RW}$ in mg/kg	Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW	$C_{sed,OWK,RW}$ in mg/kg
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK	$C_{sed,OWK}$ in mg/kg	Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK	$C_{sed,OWK}$ in mg/kg
Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m³/a	Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m³/a
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK	S_{OWK} in g/m²	Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK	S_{OWK} in g/m²
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss	B_{RW} in g/(ha a)	Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF	$B_{RBF,ab}$ in g/(ha a)
Spezifische AFS-Fracht	$B_{RW,AFS}$ in g/(ha a)	Spezifische AFS-Fracht Ablauf RBF	$B_{RBF,ab,AFS}$ in g/(ha a)
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche	$A_{E,b,a}$ in ha	angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche	$A_{E,b,a}$ in ha
partikulärer Anteil	f_{part}		
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage bezogen auf AFS	$\eta_{RWBA,AFS}$		

Straßenabfluss JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	70,4 mg/kg	98,5 mg/kg	148,6 mg/kg	263,3 mg/kg	384,6 mg/kg	513,2 mg/kg
10 l/s	55,5 mg/kg	70,4 mg/kg	98,5 mg/kg	171,0 mg/kg	263,3 mg/kg	384,6 mg/kg
25 l/s	46,3 mg/kg	52,5 mg/kg	64,5 mg/kg	98,5 mg/kg	148,6 mg/kg	229,9 mg/kg
50 l/s	43,2 mg/kg	46,3 mg/kg	52,5 mg/kg	70,4 mg/kg	98,5 mg/kg	148,6 mg/kg
100 l/s	41,6 mg/kg	43,2 mg/kg	46,3 mg/kg	55,5 mg/kg	70,4 mg/kg	98,5 mg/kg
250 l/s	40,6 mg/kg	41,3 mg/kg	42,5 mg/kg	46,3 mg/kg	52,5 mg/kg	64,5 mg/kg
500 l/s	40,3 mg/kg	40,6 mg/kg	41,3 mg/kg	43,2 mg/kg	46,3 mg/kg	52,5 mg/kg
1000 l/s	40,2 mg/kg	40,3 mg/kg	40,6 mg/kg	41,6 mg/kg	43,2 mg/kg	46,3 mg/kg
2500 l/s	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,6 mg/kg	41,3 mg/kg	42,5 mg/kg
5000 l/s	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,6 mg/kg	41,3 mg/kg
10000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,2 mg/kg	40,3 mg/kg	40,6 mg/kg

Ablauf Sedimentationsanlage JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	61,0 mg/kg	80,8 mg/kg	117,4 mg/kg	207,7 mg/kg	314,4 mg/kg	442,5 mg/kg
10 l/s	50,6 mg/kg	61,0 mg/kg	80,8 mg/kg	134,3 mg/kg	207,7 mg/kg	314,4 mg/kg
25 l/s	44,3 mg/kg	48,5 mg/kg	56,9 mg/kg	80,8 mg/kg	117,4 mg/kg	180,4 mg/kg
50 l/s	42,2 mg/kg	44,3 mg/kg	48,5 mg/kg	61,0 mg/kg	80,8 mg/kg	117,4 mg/kg
100 l/s	41,1 mg/kg	42,2 mg/kg	44,3 mg/kg	50,6 mg/kg	61,0 mg/kg	80,8 mg/kg
250 l/s	40,4 mg/kg	40,9 mg/kg	41,7 mg/kg	44,3 mg/kg	48,5 mg/kg	56,9 mg/kg
500 l/s	40,2 mg/kg	40,4 mg/kg	40,9 mg/kg	42,2 mg/kg	44,3 mg/kg	48,5 mg/kg
1000 l/s	40,1 mg/kg	40,2 mg/kg	40,4 mg/kg	41,1 mg/kg	42,2 mg/kg	44,3 mg/kg
2500 l/s	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,2 mg/kg	40,4 mg/kg	40,9 mg/kg	41,7 mg/kg
5000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,2 mg/kg	40,4 mg/kg	40,9 mg/kg
10000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,2 mg/kg	40,4 mg/kg

Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	52,8 mg/kg	65,0 mg/kg	87,4 mg/kg	142,8 mg/kg	208,2 mg/kg	286,7 mg/kg
10 l/s	46,5 mg/kg	52,8 mg/kg	65,0 mg/kg	97,8 mg/kg	142,8 mg/kg	208,2 mg/kg
25 l/s	42,6 mg/kg	45,2 mg/kg	50,3 mg/kg	65,0 mg/kg	87,4 mg/kg	126,1 mg/kg
50 l/s	41,3 mg/kg	42,6 mg/kg	45,2 mg/kg	52,8 mg/kg	65,0 mg/kg	87,4 mg/kg
100 l/s	40,7 mg/kg	41,3 mg/kg	42,6 mg/kg	46,5 mg/kg	52,8 mg/kg	65,0 mg/kg
250 l/s	40,3 mg/kg	40,5 mg/kg	41,1 mg/kg	42,6 mg/kg	45,2 mg/kg	50,3 mg/kg
500 l/s	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,5 mg/kg	41,3 mg/kg	42,6 mg/kg	45,2 mg/kg
1000 l/s	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,7 mg/kg	41,3 mg/kg	42,6 mg/kg
2500 l/s	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,5 mg/kg	41,1 mg/kg
5000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,5 mg/kg
10000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg

Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	43,3 mg/kg	46,7 mg/kg	53,3 mg/kg	72,9 mg/kg	104,7 mg/kg	165,3 mg/kg
10 l/s	41,7 mg/kg	43,3 mg/kg	46,7 mg/kg	56,6 mg/kg	72,9 mg/kg	104,7 mg/kg
25 l/s	40,7 mg/kg	41,3 mg/kg	42,7 mg/kg	46,7 mg/kg	53,3 mg/kg	66,4 mg/kg
50 l/s	40,3 mg/kg	40,7 mg/kg	41,3 mg/kg	43,3 mg/kg	46,7 mg/kg	53,3 mg/kg
100 l/s	40,2 mg/kg	40,3 mg/kg	40,7 mg/kg	41,7 mg/kg	43,3 mg/kg	46,7 mg/kg
250 l/s	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,7 mg/kg	41,3 mg/kg	42,7 mg/kg
500 l/s	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg	40,7 mg/kg	41,3 mg/kg
1000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,2 mg/kg	40,3 mg/kg	40,7 mg/kg
2500 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg	40,3 mg/kg
5000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg	40,1 mg/kg
10000 l/s	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,0 mg/kg	40,1 mg/kg

Zink

JD-UQN	800,0 mg/kg
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	2.000 g/ha/a
f _{part}	0,76
Sowk	20 g/m³
η _{RKB} AFS (mittl. Belastung)	0,4
η _{RKB} opt AFS (mitt. Belastung)	0,7
RBF Abfluss	112 g/ha/a
RBF AFS Ablauf	21.170 g/ha/a
Straßenabfluss AFS	530.000 g/ha/a
Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,75 600,0 mg/kg

$$C_{\text{sed,OWK,RW}} = \frac{MQ \cdot S_{\text{OWK}} \cdot C_{\text{sed,OWK}} + B_{\text{RW}} \cdot f_{\text{part}} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{\text{RWBA,AFS}}) \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{\text{OWK}} + B_{\text{RW,AFS}} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{\text{RWBA,AFS}})} \quad \text{Gleichung 3a}$$

$$C_{\text{sed,OWK,RW}} = \frac{MQ \cdot S_{\text{OWK}} \cdot C_{\text{sed,OWK}} + B_{\text{RBF,ab}} \cdot A_{E,b,a} \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{\text{OWK}} + B_{\text{RBF,ab,AFS}} \cdot A_{E,b,a}} \quad \text{Gleichung 3b}$$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK
Mittelwasserabfluss OWK
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss
Spezifische AFS-Fracht
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche
partikulärer Anteil
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage bezogen auf AFS

$C_{\text{sed,OWK,RW}}$ in mg/kg
 $C_{\text{sed,OWK}}$ in mg/kg
 MQ in m³/a
 S_{OWK} in g/m³
 B_{RW} in g/(ha a)
 $B_{\text{RW,AFS}}$ in g/(ha a)
 $A_{E,b,a}$ in ha
 f_{part}
 $\eta_{\text{RWBA,AFS}}$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK
Mittelwasserabfluss OWK
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK
Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF
Spezifische AFS-Fracht Ablauf RBF
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche

$C_{\text{sed,OWK,RW}}$ in mg/kg
 $C_{\text{sed,OWK}}$ in mg/kg
 MQ in m³/a
 S_{OWK} in g/m³
 $B_{\text{RBF,ab}}$ in g/(ha a)
 $B_{\text{RBF,ab,AFS}}$ in g/(ha a)
 $A_{E,b,a}$ in ha

Straßenabfluss JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	691,4 mg/kg	775,8 mg/kg	926,3 mg/kg	1271,0 mg/kg	1635,6 mg/kg	2021,9 mg/kg	
10 l/s	646,7 mg/kg	691,4 mg/kg	775,8 mg/kg	993,7 mg/kg	1271,0 mg/kg	1635,6 mg/kg	
25 l/s	618,9 mg/kg	637,5 mg/kg	673,8 mg/kg	775,8 mg/kg	926,3 mg/kg	1170,5 mg/kg	
50 l/s	609,5 mg/kg	618,9 mg/kg	637,5 mg/kg	691,4 mg/kg	775,8 mg/kg	926,3 mg/kg	
100 l/s	604,8 mg/kg	609,5 mg/kg	618,9 mg/kg	646,7 mg/kg	691,4 mg/kg	775,8 mg/kg	
250 l/s	601,9 mg/kg	603,8 mg/kg	607,6 mg/kg	618,9 mg/kg	637,5 mg/kg	673,8 mg/kg	
500 l/s	601,0 mg/kg	601,9 mg/kg	603,8 mg/kg	609,5 mg/kg	618,9 mg/kg	637,5 mg/kg	
1000 l/s	600,5 mg/kg	601,0 mg/kg	601,9 mg/kg	604,8 mg/kg	609,5 mg/kg	618,9 mg/kg	
2500 l/s	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	600,8 mg/kg	601,9 mg/kg	603,8 mg/kg	607,6 mg/kg	
5000 l/s	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	601,0 mg/kg	601,9 mg/kg	603,8 mg/kg	
10000 l/s	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,5 mg/kg	601,0 mg/kg	601,9 mg/kg	

Ablauf Sedimentationsanlage JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	655,8 mg/kg	708,9 mg/kg	807,7 mg/kg	1056,6 mg/kg	1360,2 mg/kg	1738,7 mg/kg	
10 l/s	628,2 mg/kg	655,8 mg/kg	708,9 mg/kg	853,9 mg/kg	1056,6 mg/kg	1360,2 mg/kg	
25 l/s	611,4 mg/kg	622,6 mg/kg	644,8 mg/kg	708,9 mg/kg	807,7 mg/kg	980,6 mg/kg	
50 l/s	605,7 mg/kg	611,4 mg/kg	622,6 mg/kg	655,8 mg/kg	708,9 mg/kg	807,7 mg/kg	
100 l/s	602,9 mg/kg	605,7 mg/kg	611,4 mg/kg	628,2 mg/kg	655,8 mg/kg	708,9 mg/kg	
250 l/s	601,1 mg/kg	602,3 mg/kg	604,6 mg/kg	611,4 mg/kg	622,6 mg/kg	644,8 mg/kg	
500 l/s	600,6 mg/kg	601,1 mg/kg	602,3 mg/kg	605,7 mg/kg	611,4 mg/kg	622,6 mg/kg	
1000 l/s	600,3 mg/kg	600,6 mg/kg	601,1 mg/kg	602,9 mg/kg	605,7 mg/kg	611,4 mg/kg	
2500 l/s	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,5 mg/kg	601,1 mg/kg	602,3 mg/kg	604,6 mg/kg	
5000 l/s	600,1 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,6 mg/kg	601,1 mg/kg	602,3 mg/kg	
10000 l/s	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,1 mg/kg	600,3 mg/kg	600,6 mg/kg	601,1 mg/kg	

Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	620,5 mg/kg	640,0 mg/kg	676,4 mg/kg	767,9 mg/kg	879,5 mg/kg	1018,7 mg/kg	
10 l/s	610,4 mg/kg	620,5 mg/kg	640,0 mg/kg	693,4 mg/kg	767,9 mg/kg	879,5 mg/kg	
25 l/s	604,2 mg/kg	608,3 mg/kg	616,5 mg/kg	640,0 mg/kg	676,4 mg/kg	740,0 mg/kg	
50 l/s	602,1 mg/kg	604,2 mg/kg	608,3 mg/kg	620,5 mg/kg	640,0 mg/kg	676,4 mg/kg	
100 l/s	601,0 mg/kg	602,1 mg/kg	604,2 mg/kg	610,4 mg/kg	620,5 mg/kg	640,0 mg/kg	
250 l/s	600,4 mg/kg	600,8 mg/kg	601,7 mg/kg	604,2 mg/kg	608,3 mg/kg	616,5 mg/kg	
500 l/s	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	600,8 mg/kg	602,1 mg/kg	604,2 mg/kg	608,3 mg/kg	
1000 l/s	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	601,0 mg/kg	602,1 mg/kg	604,2 mg/kg	
2500 l/s	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	600,8 mg/kg	601,7 mg/kg	
5000 l/s	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	600,8 mg/kg	
10000 l/s	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	

Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	607,9 mg/kg	615,7 mg/kg	631,3 mg/kg	677,4 mg/kg	752,3 mg/kg	895,1 mg/kg	
10 l/s	603,9 mg/kg	607,9 mg/kg	615,7 mg/kg	639,0 mg/kg	677,4 mg/kg	752,3 mg/kg	
25 l/s	601,6 mg/kg	603,1 mg/kg	606,3 mg/kg	615,7 mg/kg	631,3 mg/kg	662,1 mg/kg	
50 l/s	600,8 mg/kg	601,6 mg/kg	603,1 mg/kg	607,9 mg/kg	615,7 mg/kg	631,3 mg/kg	
100 l/s	600,4 mg/kg	600,8 mg/kg	601,6 mg/kg	603,9 mg/kg	607,9 mg/kg	615,7 mg/kg	
250 l/s	600,2 mg/kg	600,3 mg/kg	600,6 mg/kg	601,6 mg/kg	603,1 mg/kg	606,3 mg/kg	
500 l/s	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,3 mg/kg	600,8 mg/kg	601,6 mg/kg	603,1 mg/kg	
1000 l/s	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,4 mg/kg	600,8 mg/kg	601,6 mg/kg	
2500 l/s	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,3 mg/kg	600,6 mg/kg	
5000 l/s	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	600,3 mg/kg	
10000 l/s	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,0 mg/kg	600,1 mg/kg	600,2 mg/kg	

Zink

JD-UQN	800,0 mg/kg
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	2.000 g/ha/a
f _{part}	0,76
Sowk	20 g/m²
η _{RKB} AFS (mittl. Belastung)	0,4
η _{RKB} opt AFS (mitt. Belastung)	0,7
RBF Abfluss	112 g/ha/a
RBF AFS Ablauf	21.170 g/ha/a
Straßenabfluss AFS	530.000 g/ha/a
Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,25 200,0 mg/kg

$$C_{sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{sed,OWK} + B_{RW} \cdot f_{part} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RW,BAFS}) \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RW,AFS} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RW,BAFS})} \quad \text{Gleichung 3a}$$

$$C_{sed,OWK,RW} = \frac{MQ \cdot S_{OWK} \cdot C_{sed,OWK} + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,b,a} \cdot 10^6}{MQ \cdot S_{OWK} + B_{RBF,ab,AFS} \cdot A_{E,b,a}} \quad \text{Gleichung 3b}$$

Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW	$C_{sed,OWK,RW}$ in mg/kg	Konzentration OWK Schwebstoff nach Einleitung RW	$C_{sed,OWK,RW}$ in mg/kg
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK	$C_{sed,OWK}$ in mg/kg	Ausgangs-Schadstoffkonzentration im Schwebstoff OWK	$C_{sed,OWK}$ in mg/kg
Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m³/a	Mittelwasserabfluss OWK	MQ in m³/a
Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK	S_{OWK} in g/m²	Ausgangs-Schwebstoffkonzentration OWK	S_{OWK} in g/m²
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss	B_{RW} in g/(ha a)	Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF	$B_{RBF,ab}$ in g/(ha a)
Spezifische AFS-Fracht	$B_{RW,AFS}$ in g/(ha a)	Spezifische AFS-Fracht Ablauf RBF	$B_{RBF,ab,AFS}$ in g/(ha a)
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche	$A_{E,b,a}$ in ha	angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche	$A_{E,b,a}$ in ha
partikulärer Anteil	f_{part}		
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage bezogen auf AFS	$\eta_{RW,BAFS}$		

Straßenabfluss JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	307,6 mg/kg	406,8 mg/kg	583,9 mg/kg	989,3 mg/kg	1418,2 mg/kg	1872,7 mg/kg
10 l/s	254,9 mg/kg	307,6 mg/kg	406,8 mg/kg	663,2 mg/kg	989,3 mg/kg	1418,2 mg/kg
25 l/s	222,2 mg/kg	244,1 mg/kg	286,8 mg/kg	406,8 mg/kg	583,9 mg/kg	871,2 mg/kg
50 l/s	211,2 mg/kg	222,2 mg/kg	244,1 mg/kg	307,6 mg/kg	406,8 mg/kg	583,9 mg/kg
100 l/s	205,6 mg/kg	211,2 mg/kg	222,2 mg/kg	254,9 mg/kg	307,6 mg/kg	406,8 mg/kg
250 l/s	202,2 mg/kg	204,5 mg/kg	208,9 mg/kg	222,2 mg/kg	244,1 mg/kg	286,8 mg/kg
500 l/s	201,1 mg/kg	202,2 mg/kg	204,5 mg/kg	211,2 mg/kg	222,2 mg/kg	244,1 mg/kg
1000 l/s	200,6 mg/kg	201,1 mg/kg	202,2 mg/kg	205,6 mg/kg	211,2 mg/kg	222,2 mg/kg
2500 l/s	200,2 mg/kg	200,4 mg/kg	200,9 mg/kg	202,2 mg/kg	204,5 mg/kg	208,9 mg/kg
5000 l/s	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,4 mg/kg	201,1 mg/kg	202,2 mg/kg	204,5 mg/kg
10000 l/s	200,1 mg/kg	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,6 mg/kg	201,1 mg/kg	202,2 mg/kg

Ablauf Sedimentationsanlage JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	265,6 mg/kg	328,1 mg/kg	444,4 mg/kg	737,2 mg/kg	1094,3 mg/kg	1539,5 mg/kg
10 l/s	233,2 mg/kg	265,6 mg/kg	328,1 mg/kg	498,6 mg/kg	737,2 mg/kg	1094,3 mg/kg
25 l/s	213,4 mg/kg	226,6 mg/kg	252,7 mg/kg	328,1 mg/kg	444,4 mg/kg	647,8 mg/kg
50 l/s	206,7 mg/kg	213,4 mg/kg	226,6 mg/kg	265,6 mg/kg	328,1 mg/kg	444,4 mg/kg
100 l/s	203,4 mg/kg	206,7 mg/kg	213,4 mg/kg	233,2 mg/kg	265,6 mg/kg	328,1 mg/kg
250 l/s	201,3 mg/kg	202,7 mg/kg	205,4 mg/kg	213,4 mg/kg	226,6 mg/kg	252,7 mg/kg
500 l/s	200,7 mg/kg	201,3 mg/kg	202,7 mg/kg	206,7 mg/kg	213,4 mg/kg	226,6 mg/kg
1000 l/s	200,3 mg/kg	200,7 mg/kg	201,3 mg/kg	203,4 mg/kg	206,7 mg/kg	213,4 mg/kg
2500 l/s	200,1 mg/kg	200,3 mg/kg	200,5 mg/kg	201,3 mg/kg	202,7 mg/kg	205,4 mg/kg
5000 l/s	200,1 mg/kg	200,1 mg/kg	200,3 mg/kg	200,7 mg/kg	201,3 mg/kg	202,7 mg/kg
10000 l/s	200,0 mg/kg	200,1 mg/kg	200,1 mg/kg	200,3 mg/kg	200,7 mg/kg	201,3 mg/kg

Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	230,3 mg/kg	259,2 mg/kg	313,0 mg/kg	448,4 mg/kg	613,6 mg/kg	819,6 mg/kg
10 l/s	215,4 mg/kg	230,3 mg/kg	259,2 mg/kg	338,1 mg/kg	448,4 mg/kg	613,6 mg/kg
25 l/s	206,2 mg/kg	212,3 mg/kg	224,4 mg/kg	259,2 mg/kg	313,0 mg/kg	407,1 mg/kg
50 l/s	203,1 mg/kg	206,2 mg/kg	212,3 mg/kg	230,3 mg/kg	259,2 mg/kg	313,0 mg/kg
100 l/s	201,6 mg/kg	203,1 mg/kg	206,2 mg/kg	215,4 mg/kg	230,3 mg/kg	259,2 mg/kg
250 l/s	200,6 mg/kg	201,2 mg/kg	202,5 mg/kg	206,2 mg/kg	212,3 mg/kg	224,4 mg/kg
500 l/s	200,3 mg/kg	200,6 mg/kg	201,2 mg/kg	203,1 mg/kg	206,2 mg/kg	212,3 mg/kg
1000 l/s	200,2 mg/kg	200,3 mg/kg	200,6 mg/kg	201,6 mg/kg	203,1 mg/kg	206,2 mg/kg
2500 l/s	200,1 mg/kg	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,6 mg/kg	201,2 mg/kg	202,5 mg/kg
5000 l/s	200,0 mg/kg	200,1 mg/kg	200,1 mg/kg	200,3 mg/kg	200,6 mg/kg	201,2 mg/kg
10000 l/s	200,0 mg/kg	200,0 mg/kg	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,3 mg/kg	200,6 mg/kg

Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN

	Straßenfläche					
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha
5 l/s	208,5 mg/kg	217,0 mg/kg	233,9 mg/kg	284,0 mg/kg	365,3 mg/kg	520,2 mg/kg
10 l/s	204,3 mg/kg	208,5 mg/kg	217,0 mg/kg	242,4 mg/kg	284,0 mg/kg	365,3 mg/kg
25 l/s	201,7 mg/kg	203,4 mg/kg	206,8 mg/kg	217,0 mg/kg	233,9 mg/kg	267,4 mg/kg
50 l/s	200,9 mg/kg	201,7 mg/kg	203,4 mg/kg	208,5 mg/kg	217,0 mg/kg	233,9 mg/kg
100 l/s	200,4 mg/kg	200,9 mg/kg	201,7 mg/kg	204,3 mg/kg	208,5 mg/kg	217,0 mg/kg
250 l/s	200,2 mg/kg	200,3 mg/kg	200,7 mg/kg	201,7 mg/kg	203,4 mg/kg	206,8 mg/kg
500 l/s	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,3 mg/kg	200,9 mg/kg	201,7 mg/kg	203,4 mg/kg
1000 l/s	200,0 mg/kg	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,4 mg/kg	200,9 mg/kg	201,7 mg/kg
2500 l/s	200,0 mg/kg	200,0 mg/kg	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,3 mg/kg	200,7 mg/kg
5000 l/s	200,0 mg/kg	200,0 mg/kg	200,0 mg/kg	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg	200,3 mg/kg
10000 l/s	200,0 mg/kg	200,0 mg/kg	200,0 mg/kg	200,0 mg/kg	200,1 mg/kg	200,2 mg/kg

NH4-N

JD-UQN

	0,1 mg/l
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	4.000 g/ha/a
η _{RKB} Ablauf (mittl. Belastung)	0
η _{RKBopt} Ablauf (mitt. Belastung)	0
RBF Abfluss	450 g/ha/a

Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,75	0,075 mg/l
---------------------------------	------	------------

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MQ + B_{RW} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWBA})}{MQ}$$

Gleichung 2a

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MQ + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,b,a}}{MQ}$$

Gleichung 2b

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage
Mittelwasserabfluss OWK

$C_{OWK,RW}$ in mg/l
 C_{OWK} in mg/l
 B_{RW} in g/(ha·a)
 $A_{E,b,a}$ in ha
 η_{RWBA}
 MQ in m³/a

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK
Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF
angeschlossene befestigte Fahrbahnfläche
Mittelwasserabfluss OWK

$C_{OWK,RW}$ in mg/l
 C_{OWK} in mg/l
 $B_{RBF,ab}$ in g/(ha·a)
 $A_{E,b,a}$ in ha
 MQ in m³/a

Straßenabfluss JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	0,13842 mg/l	0,20184 mg/l	0,32868 mg/l	
10 l/s	0,07817 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10671 mg/l	0,13842 mg/l	0,20184 mg/l	
25 l/s	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08007 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	0,12574 mg/l	
50 l/s	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	
100 l/s	0,07532 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07817 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	
250 l/s	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07551 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08007 mg/l	
500 l/s	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	
1000 l/s	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07532 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	
2500 l/s	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07505 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07551 mg/l	
5000 l/s	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	
10000 l/s	0,07500 mg/l	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	

Ablauf Sedimentationsanlage JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	0,13842 mg/l	0,20184 mg/l	0,32868 mg/l	
10 l/s	0,07817 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10671 mg/l	0,13842 mg/l	0,20184 mg/l	
25 l/s	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08007 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	0,12574 mg/l	
50 l/s	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	
100 l/s	0,07532 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07817 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	
250 l/s	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07551 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08007 mg/l	
500 l/s	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	
1000 l/s	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07532 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	
2500 l/s	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07505 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07551 mg/l	
5000 l/s	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	
10000 l/s	0,07500 mg/l	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	

Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	0,13842 mg/l	0,20184 mg/l	0,32868 mg/l	
10 l/s	0,07817 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10671 mg/l	0,13842 mg/l	0,20184 mg/l	
25 l/s	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08007 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	0,12574 mg/l	
50 l/s	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	0,10037 mg/l	
100 l/s	0,07532 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07817 mg/l	0,08134 mg/l	0,08768 mg/l	
250 l/s	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07551 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	0,08007 mg/l	
500 l/s	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	0,07754 mg/l	
1000 l/s	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07532 mg/l	0,07563 mg/l	0,07627 mg/l	
2500 l/s	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07505 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	0,07551 mg/l	
5000 l/s	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	0,07525 mg/l	
10000 l/s	0,07500 mg/l	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07513 mg/l	

Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,07571 mg/l	0,07643 mg/l	0,07785 mg/l	0,08213 mg/l	0,08927 mg/l	0,10354 mg/l	
10 l/s	0,07536 mg/l	0,07571 mg/l	0,07643 mg/l	0,07857 mg/l	0,08213 mg/l	0,08927 mg/l	
25 l/s	0,07514 mg/l	0,07529 mg/l	0,07557 mg/l	0,07643 mg/l	0,07785 mg/l	0,08071 mg/l	
50 l/s	0,07507 mg/l	0,07514 mg/l	0,07529 mg/l	0,07571 mg/l	0,07643 mg/l	0,07785 mg/l	
100 l/s	0,07504 mg/l	0,07507 mg/l	0,07514 mg/l	0,07536 mg/l	0,07571 mg/l	0,07643 mg/l	
250 l/s	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	0,07514 mg/l	0,07529 mg/l	0,07557 mg/l	
500 l/s	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07507 mg/l	0,07514 mg/l	0,07529 mg/l	
1000 l/s	0,07500 mg/l	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07504 mg/l	0,07507 mg/l	0,07514 mg/l	
2500 l/s	0,07500 mg/l	0,07500 mg/l	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	0,07506 mg/l	
5000 l/s	0,07500 mg/l	0,07500 mg/l	0,07500 mg/l	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	0,07503 mg/l	
10000 l/s	0,07500 mg/l	0,07500 mg/l	0,07500 mg/l	0,07500 mg/l	0,07501 mg/l	0,07501 mg/l	

NH4-N

JD-UQN

	0,1 mg/l
Straßenabfluss (mittlere Belastung)	4.000 g/ha/a
ηRKB Ablauf (mittl. Belastung)	0
ηRKBopt Ablauf (mitt. Belastung)	0
RBF Abfluss	450 g/ha/a

Gewässervorbelastung (x*JD-UQN)	0,25	0,025 mg/l
---------------------------------	------	------------

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MQ + B_{RW} \cdot A_{E,b,a} \cdot (1 - \eta_{RWSA})}{MQ}$$

Gleichung 2a

$$C_{OWK,RW} = \frac{C_{OWK} \cdot MQ + B_{RBF,ab} \cdot A_{E,b,a}}{MQ}$$

Gleichung 2b

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK
Spezifische Schadstofffracht Regenabfluss
angeschlossene befestigte Fahrbahnoäche
Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsanlage
Mittelwasserabfluss OWK

$C_{OWK,RW}$ in mg/l
 C_{OWK} in mg/l
 B_{RW} in g/(ha a)
 $A_{E,b,a}$ in ha
 η_{RWSA}
 MQ in m³/a

Schadstoffkonzentration OWK nach Einleitung RW
Ausgangs-Schadstoffkonzentration im OWK
Spezifische Schadstofffracht Ablauf RBF
angeschlossene befestigte Fahrbahnoäche
Mittelwasserabfluss OWK

$C_{OWK,RW}$ in mg/l
 C_{OWK} in mg/l
 $B_{RBF,ab}$ in g/(ha a)
 $A_{E,b,a}$ in ha
 MQ in m³/a

Straßenabfluss JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	0,08842 mg/l	0,15184 mg/l	0,27868 mg/l	
10 l/s	0,02817 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05671 mg/l	0,08842 mg/l	0,15184 mg/l	
25 l/s	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03007 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	0,07574 mg/l	
50 l/s	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	
100 l/s	0,02532 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02817 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	
250 l/s	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02551 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03007 mg/l	
500 l/s	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	
1000 l/s	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02532 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	
2500 l/s	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02505 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02551 mg/l	
5000 l/s	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	
10000 l/s	0,02500 mg/l	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	

Ablauf Sedimentationsanlage JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	0,08842 mg/l	0,15184 mg/l	0,27868 mg/l	
10 l/s	0,02817 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05671 mg/l	0,08842 mg/l	0,15184 mg/l	
25 l/s	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03007 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	0,07574 mg/l	
50 l/s	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	
100 l/s	0,02532 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02817 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	
250 l/s	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02551 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03007 mg/l	
500 l/s	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	
1000 l/s	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02532 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	
2500 l/s	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02505 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02551 mg/l	
5000 l/s	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	
10000 l/s	0,02500 mg/l	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	

Ablauf Sedimentationsanlage (optimiert) JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	0,08842 mg/l	0,15184 mg/l	0,27868 mg/l	
10 l/s	0,02817 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05671 mg/l	0,08842 mg/l	0,15184 mg/l	
25 l/s	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03007 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	0,07574 mg/l	
50 l/s	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	0,05037 mg/l	
100 l/s	0,02532 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02817 mg/l	0,03134 mg/l	0,03768 mg/l	
250 l/s	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02551 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	0,03007 mg/l	
500 l/s	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	0,02754 mg/l	
1000 l/s	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02532 mg/l	0,02563 mg/l	0,02627 mg/l	
2500 l/s	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02505 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	0,02551 mg/l	
5000 l/s	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	0,02525 mg/l	
10000 l/s	0,02500 mg/l	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02513 mg/l	

Ablauf Retentionsbodenfilter JD-UQN

Straßenfläche							
MQ	0,25 ha	0,5 ha	1 ha	2,5 ha	5 ha	10 ha	
5 l/s	0,02571 mg/l	0,02643 mg/l	0,02785 mg/l	0,03213 mg/l	0,03927 mg/l	0,05354 mg/l	
10 l/s	0,02536 mg/l	0,02571 mg/l	0,02643 mg/l	0,02857 mg/l	0,03213 mg/l	0,03927 mg/l	
25 l/s	0,02514 mg/l	0,02529 mg/l	0,02557 mg/l	0,02643 mg/l	0,02785 mg/l	0,03071 mg/l	
50 l/s	0,02507 mg/l	0,02514 mg/l	0,02529 mg/l	0,02571 mg/l	0,02643 mg/l	0,02785 mg/l	
100 l/s	0,02504 mg/l	0,02507 mg/l	0,02514 mg/l	0,02536 mg/l	0,02571 mg/l	0,02643 mg/l	
250 l/s	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	0,02514 mg/l	0,02529 mg/l	0,02557 mg/l	
500 l/s	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02507 mg/l	0,02514 mg/l	0,02529 mg/l	
1000 l/s	0,02500 mg/l	0,02500 mg/l	0,02501 mg/l	0,02504 mg/l	0,02507 mg/l	0,02514 mg/l	
2500 l/s	0,02500 mg/l	0,02500 mg/l	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	0,02506 mg/l	
5000 l/s	0,02500 mg/l	0,02500 mg/l	0,02500 mg/l	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	0,02503 mg/l	
10000 l/s	0,02500 mg/l	0,02500 mg/l	0,02500 mg/l	0,02500 mg/l	0,02501 mg/l	0,02501 mg/l	

