



Filtermaterialprüfung: Anwendung der ÖNORM B 2506 Teil 3 für das hochrangige Straßennetz

Tadele Measho Haile · Maria Fürhacker

Online publiziert: 18. September 2017

© Der/die Autor(en) 2017. Dieser Artikel ist eine Open-Access-Publikation.

Zusammenfassung Verkehrsflächenabflüsse können mit organischen und anorganischen Stoffen belastet sein und als verunreinigt gelten, sodass sie vor Einbringung in den Untergrund gereinigt werden müssen. Die Belastungen stammen bzw. entstehen aus Abgasnebenprodukten, Reifen-, Karosserie- und Fahrbahnverschleiß, Abflüssen aus Niederschlägen, nasser und trockener Deposition und Fahrbahninstandhaltungsarbeiten. Im ÖWAV-Regelblatt 45 und in der ÖNORM B 2506, Teil 1 und 2 wird der Stand der Technik der Reinigung vor Versickerung in den Untergrund mit Bodenfiltern bzw. „technischen Bodenfiltern“ (ÖNORM) und „technischen Filtern“ (ÖWAV-RB 45) beschrieben. Die Kriterien der Mindestleistungsfähigkeit und deren Prüfung wurden in der ÖNORM B 2506, Teil 3 festgelegt. Da sowohl in der ÖNORM B 2506, Teil 1 und 2 als auch im ÖWAV-RB 45 die hochrangigen Straßen ausgenommen wurden, sollen in diesem Artikel die Grundlagen der ÖNORM B 2506, Teil 3 erläutert und ihre Anwendbarkeit auch auf hochrangige Straßen aufgezeigt werden. Es konnte gezeigt werden, dass aufgrund der in der ÖNORM B 2506-3 gewählten strengen Prüfbedingungen und Prüfkriterien die Prüfung der technischen Filtermaterialien aus wissenschaftlicher Sicht geeignet sind, auch die Anforderungen an die Reinigung von Straßenabwässern von hochbelasteten Straßen mit hohen durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastungen (JDTV), wie jenen des hochrangigen Straßennetzes, zu erfüllen. Es sei noch darauf hingewiesen,

dass die Prüfung der technischen Filtermaterialien nach ÖNORM B 2506-3 für die Versickerung in das Grundwasser erstellt wurde.

Schlüsselwörter Straßenabwässer · Materialprüfung · ÖNORM B 2506 Teil 3 · Hochrangige Straßen · JDTV >15.000

Testing methods for filtermaterials: Application of ÖNORM B 2506 Part 3 for roads with high annual average daily traffic (AADT)

Abstract Street runoff can be contaminated with organic and inorganic substances, and therefore have to be treated before being infiltrated in the underground. The contaminations are from tires, vehicles, roads, precipitation, wet and dry deposition, road maintenance work or are generated by exhaust gas products. The state of the art of cleaning before infiltration into the underground is described in the ÖWAV-Regelblatt 45 and ÖNORM B 2506 Parts 1 & 2, with the help of soil filters or “technical soil filters” (ÖNORM) and “technical filters” (ÖWAV-RB 45). The testing methods and performance criteria for such filters have been defined in ÖNORM B 2506 Part 3. Since both the ÖNORM B 2506 Parts 1 & 2 and the ÖWAV-RB 45 have exempted the high-ranking roads, this article explains the background of ÖNORM B2506 Part 3 and its applicability for run-off treatment of high-ranking roads. It has been shown that due to the strict test conditions and test criteria chosen in ÖNORM B 2506-3, the testing of the technical filter materials is from a scientific point of view also suitable, to meet the requirements for roads with high annual average daily traffic (AADT). It should be pointed out that the testing methods according to ÖNORM B 2506-3 was designed for infiltration into the underground.

1 Einleitung

Abwässer von Straßen können relativ stark mit Spurenstoffen belastet sein. In der Qualitätszielverordnung Chemie Grundwasser ist ein Verbot der direkten Einbringung von Schadstoffen in das Grundwasser enthalten, wobei unter direkter Einbringung jede dauernde oder zeitweilige Einbringung von Schadstoffen in das Grundwasser ohne Bodenpassage zu verstehen ist. Aus diesem Grund ist die Behandlung von Straßenabwässern besonders bei stark befahrenen Straßen vor der Einleitung in ein Gewässer oder in den Untergrund erforderlich. Im ÖWAV-Regelblatt 45 (ÖWAV-RB 45 2015) und in der ÖNORM B 2506, Teil 1 und 2 wird der Stand der Technik der Reinigung vor Versickerung in den Untergrund beschrieben. Da in den Vorschriften neben Bodenfiltern auch Aussagen zu „technischen Bodenfiltern“ (ÖNORM B 2506-2 2012) bzw. zu „technischen Filtern“ (ÖWAV-RB 45 2015) gemacht werden, war es notwendig, diese zu charakterisieren bzw. eine Mindestleistungsfähigkeit zu fordern. Die Kriterien der Mindestleistungsfähigkeit und deren Prüfung wurden in der ÖNORM B 2506-Teil 3 (ÖNORM B 2506-3 2016) festgelegt.

Allerdings sind sowohl in der ÖNORM B 2506-Teil 3 als auch im ÖWAV-RB 45 die hochrangigen Straßen nicht berücksichtigt, weil diese durch die Vorschriften der FSG in den RVS konkretisiert wurden. Ziel dieses Artikels ist es, die Grundlagen der ÖNORM B 2506-Teil 3 zu erläutern und ihre Anwendbarkeit auch auf hochrangige Straßen aufzuzeigen.

2 Verunreinigungen von Straßenabwässern

Verkehrsflächenabflüsse können mit organischen und anorganischen Spurenstoffen, Feststoffen (z. B. abfiltrierbaren Stoffen) und Nährstoffen belastet sein (Fürhacker et al. 2013; Geiger-Kaiser und Jäger 2005; Göbel et al. 2007;

DI T. M. Haile ·
 Univ.-Prof. DI Dr. M. Fürhacker (✉)
 Department für Wasser,
 Atmosphäre und Umwelt,
 Institut für Siedlungswasserbau,
 Industriewasserwirtschaft und
 Gewässerschutz, Universität
 für Bodenkultur Wien,
 Muthgasse 18, 1190 Wien, Österreich
maria.fuerhacker@boku.ac.at

Tab. 1 Typische Spurenstoffe in Niederschlagsabflüssen von befestigten Verkehrsflächen und ihre Hauptquellen. (Nach Ball 1998; Davis et al. 2001; Geiger-Kaiser und Jäger 2005; Horstmeyer und Helmreich 2014; Legret und Pagotto 1999; McKenzie et al. 2009; Sansalone und Buchberger 1997; Thorpe und Harrison 2008; Zafra et al. 2011)

Stoffe	Hauptquellen
Ba	Bremsbeläge und Verkleidungen
Cd	Reifenverschleiß, Bremsbeläge, Schmieröle, Verbrennung und Korrosion
Co	Verschleiß von Spikereifen, Korrosion von Buchsen, Bremsdrähten und Heizkörpern
Cr	Bewegliche Motorteile, Bremsbeläge, Asphalt- und Fahrbahnverschleiß, Korrosion von geschweißten Metallbeschichtungen und Lacken
Cu	Lager- und Buchsenverschleiß, bewegliche Motorteile, Bremsbeläge, Reifenverschleiß, Asphalt- und Fahrbahnverschleiß und Schmieröle
Ni	Automobil-Emission, Schmieröl, Korrosion von Karosserieteilen, Bremsbeläge, Asphalt und Fahrbahnverschleiß und Verschleiß von beweglichen Teilen in Motoren, Katalysatoren
Pb	Fahrzeugabgase, Reifenverschleiß, Schmieröle, Fett, Bremsbeläge, Lagerverschleiß, Asphalt- und Fahrbahnverschleiß sowie Verschleiß beweglicher Teile in Motoren
Pt	Katalysatoren
Sb	Bremsbeläge und Verkleidungen
Sr	Bremsbeläge und Verkleidungen
Ti	Bremsbeläge und Verkleidungen
V	Reifenverschleiß, Asphalt und Fahrbahnverschleiß
Zn	Reifenverschleiß, Motoröl, Fett, Bremsbeläge, Asphalt- und Fahrbahnverschleiß und Schmieröle
PAK	Reifenverschleiß, Fahrzeugabgase, Asphaltabnutzung/Straßenalterung
MKW	Motorölaustritt, Fahrzeugabgase, Kraftstoffe und Frostschutzmittel, Verflüchtigungsverlust
PAK polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, MKW Mineralölkohlenwasserstoffe	

Helmreich et al. 2010; Sansalone und Buchberger 1997). Die Belastung hängt im Wesentlichen von verschiedenen Parametern wie Witterungsbedingungen (Dauer von Trockenperioden und Niederschlagsintensität), Verkehrsfrequenz oder der jahresdurchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung (JDTV) und der Art der Nutzung (z. B. „stop-and-go“ im Kreuzungsbereich, Beschleunigungsspur, Parkfläche) ab. Diese unerwünschten Niederschlagsbestandteile stammen bzw. entstehen aus Abgasnebenprodukten, Reifen-, Karosserie- und Fahrbahnverschleiß, Abflüssen aus Niederschlägen, nasser und trockener Deposition und Fahrbahninstandhaltungsarbeiten.

Die Spurenstoffe, die durch den Kraftfahrzeugverkehr in den Gewässerkreislauf eingetragen werden können, sind in Tab. 1 zusammengefasst.

3 Konzentrationen verschiedener Kontaminationen

Die Konzentrationen von Verunreinigungen wie ungelöste Stoffe, Schwermetalle und organische Verbindungen (z. B. MKW und PAK) in Niederschlagsabflüssen von hochrangigen Straßen können so hoch sein, dass diese als verschmutzt eingestuft werden und vor der Einleitung in Gewässer oder Grundwasser zu behandeln sind.

Tab. 2 gibt einen Auszug aus Literaturdaten zu Schwermetallen, MKW

und PAK in Verkehrsflächenabflüssen wieder. In Tab. 2 ist erkennbar, dass die Schwermetallkonzentrationen auch innerhalb vergleichbarer JDTV-Belastungen sehr unterschiedlich sind und z. B. für Cu im Bereich 25 bis 682 µg/l schwanken. Tendenziell sieht man eine geringere Konzentration bei kleineren JDTV. Für Pb liegen die älteren Werte im oberen Konzentrationsbereich >50 µg/l. In der Zusammenfassung von Huber et al. (2016), die nur Werte nach dem Jahr 2000 gelistet haben, liegt die mittlere Pb-Konzentration bei 13 µg/l.

Box-Whisker-Plots von der Konzentrationsmatrix aus Tab. 2 ist in Abb. 1 dargestellt. Die Ergebnisse zeigten dass der Verkehrsfrequenz (JDTV) keinen größtmöglichen Einfluss auf die Konzentrationen der Schadstoffe hatte. Die höchsten Gesamtgehalte an Cu, Ni und Zn wurden in Autobahnabflüssen an der A23 in Wien, Österreich gemessen (Fürhacker et al. 2013). Sehr hohe Gesamt-Pb-Konzentrationen (200 bis 250 µg/l) wurden in Autobahnabflüssen an der A23 in Wien, Österreich (Fürhacker et al. 2013), an der A81 (Pleidelsheim) und A6 (Obereisesheim), Deutschland (Stotz 1987), I-94, Minneapolis, USA (Thomson et al. 1997) und 31 Autobahnen in 11 Staaten, USA (Driscoll et al. 1990) gemessen. Die höchsten gesamten 16 EPA-PAK-Konzentrationen in Autobahnabflüssen wurden in absteigender Reihenfolge an der M7 in Monasterevin bypass, Ireland

(Desta et al. 2007), an der A23 in Wien, Österreich (Fürhacker et al. 2013), und an der M7 in Kildare, Ireland (Desta et al. 2007) bestimmt (Abb. 1).

Die Spurenstoffkonzentrationen sind nicht nur von den JDTV abhängig. In einigen Studien konnte ein Zusammenhang zwischen Schwermetallbelastung in Autobahnabflüssen und JDTV hergestellt werden (Crabtree et al. 2008; Horstmeyer und Helmreich 2014). Anhand der Schwermetallbelastung von Versickerungsmulden fanden Horstmeyer und Helmreich (2014) einen Zusammenhang zwischen Schwermetallbelastung des Oberbodens und JDTV; über 80.000 JDTV erfolgte keine weitere Zunahme der Kontamination. Die Ergebnisse dieser Literaturstudie zeigen, dass das JDTV keinen signifikanten Einfluss auf die Schadstoffkonzentrationen hat. Ein höheres Verkehrsaufkommen (JDTV >15.000) allein führt somit nicht zu einem Anstieg der Schadstoffkonzentrationen im Straßenabwasser. Auch andere Studien (Herrera 2007; Kayhanian et al. 2003, 2012) ermittelten eine ähnliche Schlussfolgerung.

Die Schadstoffkonzentrationen in Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen zeigten ortsspezifisch signifikante Unterschiede. Diese Variabilität resultiert nicht nur aus der Verkehrsdichte, sondern auch aus den Unterschieden in der Landnutzung, des gesamten kumulativen Niederschlags, der vorangegangenen Trockenperioden

Tab. 2 Schwermetalle, PAK und MKW-Straßenablaufkonzentrationen aus der Literatur. (Zusammengefasst von Haile und Fürhacker)

Land	Ort	JDTV	Untersuchungs- zeitraum	Probe- anzahl	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	PAK	MKW	Literatur
					µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	
AUT	Autobahn A23, Wien	255.000	23.03.2011	1	72	682	69	112	2560	18	3	Fürhacker et al. (2013)
AUT	Autobahn A23, Wien	255.000	11.07.2013	1	11	131	9,8	195	633	–	–	Fürhacker et al. (2013)
AUT	Autobahn A21, Hinterbrühl	42.000	12.2005–05.2008	10	–	205	–	–	360	3,01	2	Fuerhacker et al. (2011)
AUT	Autobahn, Mönchsgraben	60.530	–	–	78	145	29	22	520	–	–	Höfler et al. (2004)
AUT	Autobahn A1, Schwarzenbergkaserne, Salz	>60.000	12.2001–04.2003	29	<1	41	2	8	110	–	0,036	Geiger-Kaiser und Jäger (2005)
AUT	Autobahn A1, Bau-los West, Salzburg	>60.000	12.2001–04.2003	29	3	43	3	7	88	–	0,194	Geiger-Kaiser und Jäger (2005)
AUT	Autobahn A1, Bau-los Ost, Salzburg	>60.000	12.2001–04.2003	29	6	59	3	11	260	–	0,205	Geiger-Kaiser und Jäger (2005)
ATU	Landesstraße L202 Hard-Bregenz	26.000	01.2005–06.2006	9	14	61	11	9,8	204	–	0,7	Scheffknecht und Prodingler (2007)
ATU	Pilotuntersuchung	26.000–60.500	–	9	10	67	4,6	14	302	–	2,06	Clara et al. (2014)
DEU	Landshuter Alle, München	57.000	11.2003–11.2005	57	–	191	43	56	847	–	–	Helmreich et al. (2010)
DEU	Landshuter Alle, München	57.000	11.2003–11.2005	350	–	194	–	37	933	–	–	Hilliges et al. (2013)
DEU	A3, Köln-Ost	156.000	11.2006–08.2007	20	3	32	2,4	4,9	102	0,15	0,14	Grotehusmann und Kasting (2009)
DEU	A113, Berlin	140.000	11.2006–08.2007	20	5,9	26	2,5	4,9	115	0,28	0,04	Grotehusmann und Kasting (2009)
DEU	Autobahn mit unterschiedlicher DTV	52.000–107.600	20 Woche (1997)	20	–	140	–	17	1250	–	–	Dierkes und Geiger (1999)
DEU	A 555 Widdig	69.368	2005–2006	65	5	27	10	25	106	–	–	Kocher et al. (2010)
DEU	A 61 Meckenheim	73.310	2005–2006	63	5	25	10	25	260	–	–	Kocher et al. (2010)
DEU	A4 Bensberg	71.220	2005–2006	76	5	27	11	25	355	–	–	Kocher et al. (2010)
DEU	Hauptstraße, Literaturstudie	>15.000	–	–	11	97	11	170	407	1,65	4,17	Göbel et al. (2007)
DEU	Autobahn, Literaturstudie	>30.000	–	–	11	36	15	13	217	–	–	Huber et al. (2016)
DEU	Pleidelsheim A81	41.000	–	–	9,6	97	–	200	360	–	7,02	Stotz (1987)
DEU	Obereisesheim A6	47.000	–	–	20	117	–	250	620	–	5,51	Stotz (1987)
DEU	Ulm-West A8	52.100	–	–	5,2	58	–	160	320	–	2,05	Stotz (1987)
DEU	Halenreie, Hamburg	15.000	08.2008–07.2010	8	–	130	–	–	400	–	–	Dobner und Holthuis (2011)
DEU	Berlin	15.000–20.000	–	10	–	127	29	80	500	–	–	Schütte (1997)
CH	N1, Winterthur, Zürich	25.300–73.700	08.1996–11.2000	>10	–	57	–	26	354	–	–	Furumai et al. (2002)
CH	SABA Attinghausen	21.000	03.2007–12.2008	17	13	60	6	9	346	2,7	–	Steiner et al. (2008)
CH	SABA Burgdorf	>17.000	08.2002–11.2004	–	10	57	7	23	299	2,6	1,46	Langbein et al. (2006)
CH	A1 Mattstetten, Bern	60.000	2006–2007	–	12	127	7	19	381	2,3	–	Scheiwiller et al. (2008)
CH	SABA Burgdorf	>17.000	01.2003–02.2004	>20	16	66	7	24	436	–	–	Steiner et al. (2006)
CH	Basel-Landschaft, Birsfelden, N2, Hagnau	>120.000	2008–2012	65	–	57	–	–	188	–	–	Zbinden et al. (2015)
CH	Stark befahrenen Straßen, Literaturstudie	>15.000	–	–	8,9	34	11	15	118	–	0,293	Hürlimann (2011)

Tab. 2 Schwermetalle, PAK und MKW-Straßenablaufkonzentrationen aus der Literatur. (Zusammengefasst von Haile und Fűr-hacker) (Fortsetzung)

Land	Ort	JDTV	Untersuchungs- zeitraum	Probe- anzahl	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	PAK	MKW	Literatur
					µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	
USA	Los Angeles, USA	260.000–328.000	2002–2003	62	10	93	20	33	506	0,4	–	Lau et al. (2009)
USA	Non-urban highways (16), California	2100–29.000	2002–2003	635	6,5	12	11	17	75,9	–	–	Kayhanian et al. (2007)
USA	Urban highways (8), California	30.000–100.000	2002–2003	635	6,4	27	7,8	24	134	–	–	Kayhanian et al. (2007)
USA	Urban highways (10), California	100.000–328.000	–	635	12	50	13	75	261	–	–	Kayhanian et al. (2007)
USA	Ohio, USA	150.000	04.1995–11.1995	5	21	135	43	64	470	–	–	Sansalone und Buchberger (1997)
USA	Austin, Texas area USA	58.150	09.1993–05.1995	–	–	37	25	53	222	–	–	Barrett et al. (1998)
USA	31 Autobahnen in 11 Staaten	>30.000	–	–	–	54	–	234	368	–	–	Driscoll et al. (1990)
USA	I-94, Minneapolis	114.000	–	136	13	47	10	207	174	–	–	Thomson et al. (1997)
UK	M4, Brinkworth Brook	71.930	12.1997–12.1998	10	ND	24	ND	ND	101	–	–	Moy et al. (2003)
UK	A417, River Frome	23.650	06.1998–07.1999	10	12	55	12	51	222	–	–	Moy et al. (2003)
UK	M4, River Ray	36.110	12.1998–03.2000	10	9,1	68	6,7	51	220	–	–	Moy et al. (2003)
UK	M40, Souldern Brook	83.580	08.1999–11.2000	10	7,7	32	4	17	98	–	–	Moy et al. (2003)
UK	A34, Gallos Brook	64.950	09.2000–03.2002	10	4,8	43	4,5	15	149	–	–	Moy et al. (2003)
UK	A34, Newbury	37.190	05.2001–06.2002	10	2,7	24	4,7	4,4	52,5	1,73	–	Moy et al. (2003)
UK	4 Klimaregionen (6 Autobahn/Region)	15.000–>120.000	06.2004–12.2006	240	–	91	–	–	353	7,5	–	Crabtree et al. (2008)
IRL	Motorway, Kildare/Portlaoise	32.000	08.2005–10.2005	6	–	46	–	67	181	–	–	Gill et al. (2017)
IRL	Kildare	25.760	08.2003–12.2005	42	–	120	–	140	660	11	–	Desta et al. (2007)
IRL	Maynooth	29.140	08.2003–12.2005	42	–	–	–	–	70	2,06	–	Desta et al. (2007)
IRL	Monasterevin bypass	18.430	08.2003–12.2005	42	–	40	–	–	150	21,8	–	Desta et al. (2007)
NL	Motorway A1, Laren	–	01.2003–09.2004	80	4,1	117	3,8	29	290	2,36	–	Tromp et al. (2012)
NL	A7, Amsterdam (impervious asphalt)	53.000	07.1994–09.1195	3–6	5	121	5	93	452	5,2	4	Berbee et al. (1999)
NL	A9, Amsterdam (pervious asphalt)	83.00	07.1994–09.1195	3–6	1	40	1	7	47	0,3	<0,1	Berbee et al. (1999)
JP	Autobahn, Osaka	75.000	08.1997–11.1997	4	6,5	66	5,5	34	648	1,28	–	Shinya et al. (2000)
JP	Autobahn, Osaka	62.000	05.1999–08.2000	8	–	68	–	31	713	0,69	–	Shinya et al. (2003)
AUS	Parramatta Road, Sydney	84.500	08.2007–04.2008	8	–	105	–	47	348	–	–	Davis and Birch (2010)
<i>Mittelwert von allen Messungen</i>					13,1	86	13,5	59	383	4,8	1,9	–
<i>Mittelwert ohne Extremwerte</i>					8,8	76	11,1	40,8	279	2,1	1,5	–

und der maximalen stündlichen Niederschlagsintensität. Atmosphärische Ablagerungen, Probenahmestrategien und Probeanzahl pro Regenereignis sind weitere mögliche potenzielle Einflussfaktoren (Crabtree et al. 2008; Helmreich et al. 2010; Kayhanian et al. 2012). So konnte mit den verfügbaren Literaturdaten kein zusätzlicher statistischer Zusammenhang in Hinblick auf JDTV allein ermittelt werden.

Spurenstoffe in Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen sind sowohl in gelöster als auch in partikulärer Phase präsent. Die Verteilung der Schwermetalle zwischen der gelösten und der partikulären Phase ist besonders für die Beurteilung der Toxizität des Niederschlagsabflusses sowie für die Entwicklung oder Auswahl von Behandlungssystemen entscheidend (Furumai et al. 2002; Haile et al. 2016; Helm-

reich et al. 2010; Kayhanian et al. 2012). Trotz einiger Inkonsistenzen in den Literaturdaten zeigen die vorhandenen Monitoringdaten, dass die größten Fraktionen an Schwermetallen (Cr, Cu, Ni, Pb & Zn) und PAK in Verkehrsabflüssen in der Regel überwiegend in der partikulären Phase liegen. Somit liegen die partikulären Anteile für die Schwermetalle (Cr, Cu, Ni und Zn) bei jeweils über 50% und für Pb bei über

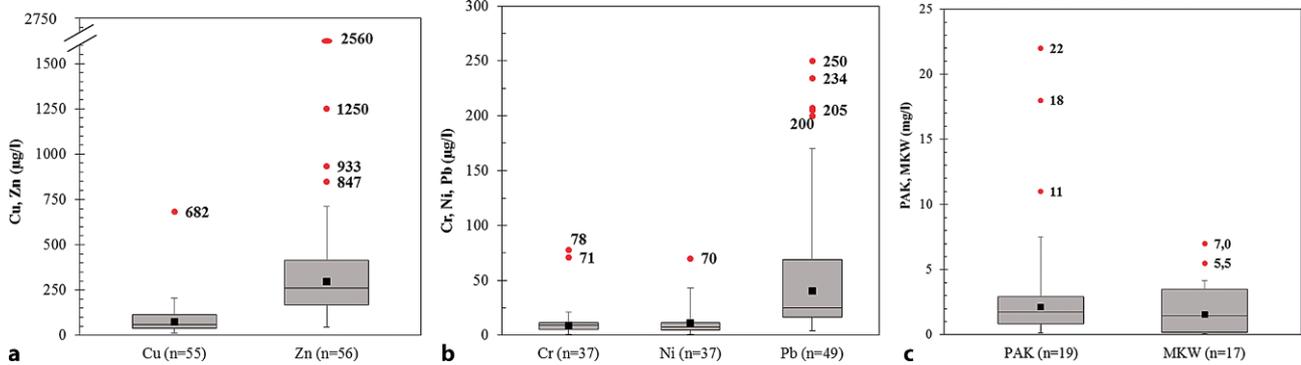


Abb. 1 Schwermetall-, PAK- und MKW-Konzentrationen (gesamt) in Niederschlagsabflüssen von stark befahrenen Straßen mit JDTR > 15.000 Fahrzeuge pro Tag (Zusammenstellung der Tab. 1). *Box-Whisker-Plots*: oberes bzw. unteres Ende der Box entspricht dem oberen bzw. unteren Quartil, der Strich in der Box dem Median und das kleine Quadrat (*schwarz*) in der Box der mittleren Konzentration; die kleinen Kreise (*rot*) stellen Extremwerte dar

Tab. 3 Überblick über die Prüfmethode und Kriterien für Niederschlagsbehandlungssysteme für den Abfluss von Verkehrsflächen

Literatur	Land	Prüfmethode	Prüfsubstanz**	Einleitung in
ÖNORM B 2506-3 (2016)	AUT	Labor	AFS, Cu, Zn, NaCl, MKW	Grundwasser
ÖNORM B 2506-2 (2012)	AUT	Keine Angabe	AFS, Cu, Zn, MKW	Grundwasser
ASTRA (2016a, 2016b)	CH	Anlage	AFS, Cu, Zn	Keine Angabe
ASTRA (2010)	CH	Anlage	AFS, Cu, Zn, PAK, DOC	Einleitung in die Gewässer
Schmidt et al. (2015)	CH	Labor & Anlage	Cu, Zn, Pestizide (z. B. Mecoprop Diuron)	Keine Angabe
DIBt (2011, 2012)	DEU	Labor & Pilotanlage	AFS, Cu, Zn, NaCl, MKW	Grundwasser
LANUV (2014)	DEU	Labor oder Anlage	AFS, Cu, Zn, NaCl, MKW	Oberflächengewässer
NJDEP (2009)	USA, NJ	Anlage	AFS	Keine Angabe
NJDEP (2013; 2017)	USA, NJ	Labor	AFS	Keine Angabe
Sample et al. (2012)	USA, VA	Labor oder Anlage	AFS, P	Keine Angabe
WDOE (2011)	USA, WA	Labor & Anlage	AFS, Cu, Zn, MKW, P	Grundwasser- und Oberflächengewässer
Boogaard (2015)	NL	Labor & Anlage	AFS	Grundwasser- und Oberflächengewässer
Victorian Stormwater Committee (2006)	AUS	Keine Angabe	AFS, gelösten Stoffe, TN, TP	Keine Angabe
ARC (2003)	NZL	Anlage	AFS	Keine Angabe
Fassman (2012)	NZL	Anlage	AFS, Cu, Zn	Meerwasser
Monrabal-Martinez et al. (2017)	NOR	Labor	Cu, Ni, Pb, Zn	Mäßig verschmutzte Oberflächengewässer

** AFS und MKW werden nach Methode individuell definiert

80 % (Ball et al. 1998; Helmreich et al. 2010; Huber et al. 2016; Kayhanian et al. 2012; Sansalone und Buchberger 1997).

4 Überblick über bestehende Prüfmethode

Überblick über die internationale Behandlung von Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen, Prüfmethode und vorgeschlagene Prüfsubstanz (Tab. 3).

5 Prüfverfahren nach ÖNORM B 2506-3

In Österreich wurde eine Prüfmethode entwickelt, um die Eignung von techni-

schen Filtermaterialien für die Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen zu überprüfen (ÖNORM B 2506-3 2016). Die Laborprüfmethode wird verwendet, um die Entfernung von Partikeln (abfiltrierbare Stoffe AFS), gelösten Schwermetallen (Blei, Kupfer und Zink) und Mineralölkohlenwasserstoffen zu beschreiben und die Remobilisierung der Schwermetalle durch Streusalz (NaCl) zu prüfen. Zusätzlich werden auch die Durchlässigkeit des Filtermaterials und seine Veränderung durch Partikelzugabe überprüft.

Die Prüfmethode besteht aus acht Teilprüfungen, die in der angegebenen Reihenfolge durchgeführt werden:

1. Infiltrationsrate und Suffusionsstabilitätstest
2. Partikelretention I
3. Schwermetallrückhalt (Cu, Pb und Zn)
 - 3.1 Versuche im Überstaubetrieb
 - 3.2 Kapazitätsprüfung mit 4 Jahresfracht
4. Mineralölrückhalt
5. Partikelretention II
6. Bestimmung der Änderung der Infiltrationsrate und der Remobilisierung der AFS
7. Remobilisierung von Schwermetallen durch Beschickung mit 5 g/l NaCl
8. Säureneutralisationskapazität

Tab. 4 Ausgewählte Konzentrationen der Niederschlagswässer von befestigten Flächen für die Berechnung der Jahresfrachten

Parameter	AFS (mg/L)	Pb (µg/L)	Cu (µg/L)	Zn (µg/L)	Mineralöl (mg/L)	NaCl (mg/L)
Prüfung im Überstaubetrieb	90	50	100	400	5,0	–
Kapazitätsprüfung	–	200	400	1600	–	–
Remobilisierung von Schwermetallen	–	–	–	–	–	5000

Bei der Prüfung wird das Filtermaterial mit vier Jahresfrachten für Schwermetalle bzw. AFS und einer Jahresfracht Mineralöl beschickt. Zur Berechnung der Jahresfrachten wurde eine mittlere Belastung des Niederschlagsabflusses von befestigten Flächen mit Partikeln, Schwermetallen und Mineralöl der Literatur entnommen und die in Tab. 4 angegebenen Konzentrationen ausgewählt.

Die Prüfung gilt als bestanden, wenn ein definierter Mindestrückhalt bzw. eine definierte Konzentration eingehalten wird.

Die Prüfungen werden für unterschiedliche hydraulische Belastungen (Flächenverhältnisse (As: Ared) von 1:15 bis 1:250) definiert. Bei der Prüfung von Anlagen mit Flächenverhältnissen (As: Ared) größer 1:100 ist eine Absetzanlage erforderlich, die zumindest 50 % der Partikel entfernt.

6 Anwendung der ÖNORM B 2506-3 für die Eignungsprüfung von Substraten zur Reinigung von Niederschlagsabflüssen vom hochrangigen Straßennetz

Da die ÖNORM B 2506-3 als Grundlage für die ÖNORM B 2506-1 und -2 und für das ÖWAV-Regelblatt 45 erstellt wurde und der Geltungsbereich dieser ÖNORM Einzugsflächen für die Versickerung von Abflüssen von Dachflächen, befestigten Bodenflächen, wie z. B. Höfen, Zufahrten, Gehwegen, Terrassen, Pkw-Abstellflächen, Lager- und Ladeflächen sowie Verkehrsflächen bis zu einer Belastung von 5000 JDTV (durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke), nicht aber den Abfluss von übergeordneten Verkehrsflächen wie z. B. Autobahnen oder Hauptverkehrsstraßen umfasst, und auch das ÖWAV-Regelblatt 45 für JDTV >15.000 Kfz/24 h

auf die RVS verweist, stellt sich die Frage, ob die ÖNORM B 2506-3 für die Versickerung von Abwasser von hochrangigen Straßen anwendbar ist.

Dazu ist festzustellen, dass die Schwermetallbelastungen nicht nur von der Verkehrsbelastung abhängen und auch innerhalb vergleichbarer JDTV sehr unterschiedlich sein können (Tab. 2). Die in der Prüfmethode der ÖNORM B 2506-3 verwendeten Schwermetallkonzentrationen und auch die MKW-Konzentrationen sind höher als die mittleren Konzentrationsniveaus von hochrangigen Straßen. Zusätzlich werden die Prüfungen mit gelösten Schwermetallen bei niedrigem pH-Wert (pH 5,5 bzw. 5,8) durchgeführt. Dies bietet eine zusätzliche Sicherheit, da im Straßenabwasser ein erheblicher Teil der Schwermetalle an Partikel gebunden ist und mit diesen entfernt wird. Für die Mineralölprüfung wird Heizöl EL direkt auf die Oberfläche aufgetragen, nach dem Eindringen des Heizöls wird die Säule im Überstaubetrieb beschickt. Für die Prüfung des Partikelrückhalts und der Suffusionsneigung der Materialien werden sehr feine Quarzpartikel (>50 Gew-% <63 µm) verwendet, die weder Mineralöle noch Schwermetalle adsorbieren. All dies stellt eine Verschärfung der Konditionen gegenüber der Praxis dar (Haile und Fürhacker 2015; Haile et al. 2016).

Aus den in der ÖNORM B 2506-3 gewählten Prüfbedingungen und Prüfkriterien für die Prüfung der technischen Filtermaterialien nach ÖNORM B 2506-2 und ÖWAV-RB 45 ergibt sich, dass die erfolgreich geprüften Materialien aus wissenschaftlicher Sicht geeignet sind, auch die Anforderungen an die Reinigung von Straßenabwässern von hochbelasteten Straßen mit hohen JDTV, z. B. des hochrangigen

Straßennetzes, zu erfüllen. Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Prüfung der technischen Filtermaterialien nach ÖNORM B 2506-3 für die Versickerung in das Grundwasser erstellt wurde.

Erfahrungen aus durchgeführten Projekten am Institut für Siedlungswasserbau der Universität für Bodenkultur Wien zeigen, dass technische Filtermaterialien eine gute Reinigungsleistung für die Behandlung von Spurenstoffen von Straßenabwässern aufweisen.

7 Schlussfolgerungen

Auch wenn die ÖNORM B 2506-3 als Grundlage für die ÖNORM B 2506-1 und -2 und für das ÖWAV-Regelblatt 45 (Anwendungsbereiche JDTV <5000 bzw. <15.000 Kfz/24 h) erstellt wurde, ergibt sich, dass aufgrund der in der ÖNORM B 2506-3 gewählten Prüfbedingungen und Prüfkriterien aus wissenschaftlicher Sicht auch die Anforderungen der Reinigung von Straßenabwässern von hochbelasteten Straßen mit hohen JDTV, wie jener des hochrangigen Straßennetzes, erfüllt werden.

Acknowledgements Open access funding provided by University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU).

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. ■

Literatur

- ARC (2003): Stormwater Management Devices: Design Guideline Manual. Technical Publication 10. Auckland, Auckland Regional Council, SS 1–249.
- ASTRA (2016a): Technisches Merkblatt Bauteil Entwässerung und Strassenabwasserbehandlung: Leistungsprüfung neuer Verfahren, 21 001-10468. Fachhandbuch T/U (Trassee/Umwelt), Abteilung Strasseninfrastruktur I, Bundesamt für Strassen ASTRA, SS, 1–8.
- ASTRA (2016b): Technisches Merkblatt Bauteil, Entwässerung und Strassenabwasserbehandlung: Funktionsprüfung bei der Abnahme und bei der periodischen Kontrolle, 21 001-10469. Fachhandbuch T/U (Trassee/Umwelt), Abteilung Strasseninfrastruktur I, Bundesamt für Strassen ASTRA, SS, 1–10.
- ASTRA (2010): Straßenabwasserbehandlungsverfahren, Stand der Technik. Bundesamt für Straßen ASTRA. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern, SS, 1–130.
- Ball, J.E., Jenks, R., Aubourg, D. (1998): An assessment of the availability of pollutant constituents on road surfaces. *Sci. Total Environ.* 209(2–3), 243–254.
- Barrett, M.E., Irish Jr, L.B., Malina Jr, J.F., Charbeneau, R.J. (1998): Characterization of highway runoff in Austin, Texas, area. *J. Environ. Eng.* 124, 131–137.
- Berbee, R., Rijs, G., de Brouwer, R., Van Velzen, I. (1999): Characterization and Treatment of Runoff from Highways in the Netherlands Paved with Impervious and Pervious Asphalt. *Water Environment Research* 71 (2), 183–190.
- Boogaard, F.C. (2015): Stormwater characteristics and new testing methods for certain sustainable urban drainage systems in The Netherlands. Dissertation, Technische Universiteit Delft. ISBN: 978-94-6259-745-7.
- Clara, M., Ertl, T., Giselbrecht, G., Gruber, G., Hofer, T., Humer, E., Kretschmer, F., Kolla, L., Scheffknecht, C., Weiß, S. und Windhofer, G. (2014): Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, Österreich, SS, 1–1354.
- Crabtree, B., Dempsey, P., Johnson, I., Whitehead, M. (2008): The development of a riskbased approach to managing the ecological impact of pollutants in highway runoff. *Water Sci. Technol.* 57, 1595–1600.
- Davis, B. and Birch, G. (2010): Comparison of heavy metal loads in stormwater runoff from major and minor urban roads using pollutant yield rating curves. *Environmental Pollution* 158 (8), 2541–2545.
- Davis, A.P., Shokouhian, M., Ni, S. (2001): Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere* 44, 997–1009.
- Destia, M.B., Bruen, M., Higgins, N., Johnston, P. (2007): Highway runoff quality in Ireland. *Journal of Environmental Monitoring* 9(4), 366–371.
- DIBt (2011): Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2.000 m² und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Entwurf Februar 2011, SS, 1–20.
- DIBt (2012): Zulassungsgrundsätze Niederschlagswasserbehandlungsanlagen; Teil 2: Waserdurchlässige Beläge für Kfz-Verkehrsflächen für die Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser (Abwasserbehandelnde Flächenbeläge) Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- Dierkes, C., Geiger, W.F. (1999): Pollution retention capabilities of roadside soils. *Water Sci. Technol.* 39 (2), 201–208.
- Dobner und Holthuis (2011): Praxiserprobung und technische Optimierung eines neuartigen Hochleistungs-Pflanzenfilterverfahrens zur Behandlung belasteter Niederschlagswässer. AiF-Vorhaben-Nr. 15508N/1 und N/2 Gemeinsamer Abschlussbericht für den Zeitraum: 01.02.2008 bis 30.11.2010. SS, 1–172.
- Driscoll, E.D., Shelley, P.E. and Strecker, E.W. (1990): Pollutant Loadings and Impacts from Highway Stormwater Runoff. Vol. I: Design Procedure. Technical Report No. FHWA-RD-88-07. prepared for the Federal Highway Administration. Washington, D.C.
- Fassman, E. (2012): Stormwater BMP treatment performance variability for sediment and heavy metals. *Separation and Purification Technology* 84, 95–103.
- Fuerhacker, M., Haile, T.M., Monai, B., Mentler, A. (2011): Performance of a filtration system equipped with filter media for parking lot runoff treatment. *Desalination* 275, 118–125.
- Fürhacker, M., Haile, T.M., Schärffinger, B., Kammerer, G., Allabashi, R., Magnat, S. (2013): Entwicklung von Methoden zur Prüfung der Eignung von Substraten für die Oberflächenwasserbehandlung von Dach- und Verkehrsflächen. Fördervertrag GZ B100121. Wien, Österreich, SS, 1–240.
- Furumai, H., Balmer, H., Boller, M. (2002): Dynamic Behavior of Suspended Pollutants and Particle Size Distribution in Highway Runoff. *Water Sci. Technol.* 46 (11–12), 413–418.
- Geiger-Kaiser, M., & Jäger, P. (2005): Reinigung von Straßenabwässern. Wirksamkeit von Retentionsfilterbecken zur Reinigung von Straßenoberflächenwässern. *Gewässerschutz* 11, SS, 1–54.
- Gill, L.W., Ring, P., Casey, B., Higgins, N.M.P., Johnston, P.M. (2017): Long term heavy metal removal by a constructed wetland treating rainfall runoff from a motorway. *Science of the Total Environment* 601–602, 32–44.
- Göbel, P., Dierkes, C., Coldwey, W.G. (2007): Stormwater runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology* Vol. 91, 26–42.
- Grotehusmann, D. und Kasting, U. (2009): Vergleich der Reinigungsleistung von Retentionsbodenfiltern und Versickerungsanlagen an Bundesfernstraßen. Schlussbericht zum Forschungsprojekt FE-Nr. 05.141/2005/GRB im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAS), SS, 1–53.
- Haile, T.M., Fürhacker, M. (2015): Prüfmethode zur Filterwirkung und -eignung. Versickerung von Niederschlagswässern: ÖWAV-Regelblatt 45 Rahmenbedingungen, Bemessung und Betrieb von Versickerungsanlagen, 06.11.2015, Wien. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- Haile, T.M., Hobiger, G., Kammerer, G., Allabashi, R., Schaerffinger, B., Fuerhacker, M. (2016): Hydraulic Performance and Pollutant Concentration Profile in a Stormwater Runoff Filtration Systems. *WATER AIR SOIL POLL.* 227(1)
- Helmreich, B., Hilliges, R., Schriewer, A., Horn, H. (2010): Runoff pollutants of a highly trafficked urban road e correlation analysis and seasonal influences. *Chemosphere* 80, 991–997.
- Herrera Environmental Consultants (2007): Untreated Highway Runoff in Western Washington. White Paper
- Hilliges, R., Schriewer, A., Helmreich, B. (2013): A three-stage treatment system for highly polluted urban road runoff. *Journal of Environmental Management* 128, 306–312.
- Höfler, M., Weidinger, A., Buschbeck, G., Eder, J. (2004): Bericht Projekt Regenbecken. Autobahn-regenbecken Mönchsgraben. Endbericht. Land Oberösterreich, Abteilung Wasserwirtschaft – Gewässerschutz, Linz.
- Horstmeyer, N., und Helmreich, B. (2014): Erfahrung mit Schwermetallbelastungen beim Betrieb von Versickerungsmulden. Zukunftsfähige Bewirtschaftungskonzepte für Niederschlagswässer. 42. Abwassertechnisches Seminar, Nr. 211, 129–144. prepared for Washington State Department of Transportation, Seattle, May 2007.
- Huber, M., Welker, A., Helmreich, B. (2015): Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning. *Science of the Total Environment* 541, 895–919
- Hürlimann, J. (2011): Auswirkungen von Straßenabwasser aus Oberflächengewässer. Gewässerökologische Beurteilung: Abwasser Hauptartikel, 793–801.
- Kayhanian, M., Singh, A., Suverkropp, C., Borroum, S. (2003): Impact of annual average daily traffic on highway runoff pollutant concentrations. *Journal of Environmental Engineering* 129 (11), 975.
- Kayhanian, M., C. Suverkropp, A. Ruby and K. Tsay. (2007): Characterization and prediction of highway runoff constituent event mean concentration. *Journal of environmental management.* 85, 279–295.
- Kayhanian, M., McKenzie, E.R., Leatherbarrow, J. E., Young, T.M. (2012): Characteristics of road sediment fractionated particles captured from paved surfaces, surface run-off and detention basins. *Science of the Total Environment*, 439, 172–186.
- Kocher, B., Brose, S., Chlubek, A., Karagüzel, N., Klein, N., Siebertz, I. (2010): Stoffeintrag in Straßenrandböden: Messzeitraum 2005/2006. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, SS, 1–45.
- Langbein, S., Steiner, M., Boller, M. (2006): Schadstoffe im Straßenabwasser einer stark befahrenen Straße und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus geotextil und Adsorbentmaterial. Schlussbericht des Forschungsprojekts, SS, 1–130.
- LANUV (2014): Entwicklung einer Prüfvorschrift für dezentrale Behandlungsanlagen für Verkehrsflächenabflüsse bei Einleitung in Oberflächengewässer. Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Bericht_Welker_01_2014.pdf. Zugriffen: 13.06.2017.
- Lau, S.-L., Han, Y., Kang, J.-H., Kayhanian, M., Stenstrom, M.K. (2009): Characteristics of highway stormwater runoff in Los Angeles: metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Water Environ. Res.* 81, 308–318.
- Legret, M. and Pagotto, C. (1999): Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway. *Sci. Total Environ.* 235 (1–3), 143–150.
- McKenzie, E.R., Money, J.E., Green, P.J., Young, T.M. (2009): Metals associated with stormwater-relevant brake and tire samples. *Sci. Total Environ.* 407(22), 5855–5860.
- Monrabal-Martinez, C., Hyas, A., Muthanna, T.M. (2017): Pilot Scale Testing of Adsorbent

- Amended Filters under High Hydraulic Loads for Highway Runoff in Cold Climates. *Water* 9 (230), doi:10.3390/w9030230.
- Moy, E., Crabtree, R., Simms, T. (2003) Long term monitoring of pollution from highway runoff. Environment Agency R&D Report No. P2-038. Seiten, 1–172. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290643/sp2-038-tr1-e-e.pdf. Zugegriffen: 13.06.2017.
- NJDEP (2009)**: Protocol for Total Suspended Solids Removal Based on Field Testing: Amendments to TARP Protocol Dated August 5, 2009 Revised December 15, 2009. Trenton, NJ: New Jersey Department of Environmental Protection. http://www.state.nj.us/dep/stormwater/pdf/field_protocol_12_15_09.pdf. Zugegriffen: 18.07.2017.
- NJDEP (2013)**: Procedure for Obtaining Verification of a Stormwater Manufactured Treatment Device from New Jersey Corporation for Advanced Technology. <http://www.njstormwater.org/pdf/njcat-mtd-process-1-25-13.pdf>. Zugegriffen: 18.07.2017.
- NJDEP (2017)**: Laboratory Test Protocols and Verification Procedure: New Jersey Corporation for Advanced Technology Interpretations. <http://www.njcat.org/uploads/docs/NJCATInterpretations-LabTestProtocols%20June%202017.pdf>. Zugegriffen: 18.07.2017.
- ÖWAV-RB 45 (2015)**: Oberflächenentwässerung durch Versickerung in den Untergrund. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband. Austrian Standards plus Publishing 1020 Wien.
- ÖNORM B 2506-2 (2012)**: Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 2: Qualitative Anforderungen an das zu versickernde Regenwasser sowie Anforderungen an Bemessung, Bau und Betrieb von Reinigungsanlagen. Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM B2506-3 (2016)**: Regenwasser-Sickeranlagen für Abläufe von Dachflächen und befestigten Flächen – Teil 3: Filtermaterialien Anforderungen und Prüfmethoden. Österreichisches Normungsinstitut.
- Sample, D.J., Grizzard, T.J., Sansalone, J., Davis, A.P., Roseen, R.M., Walker, J. (2012)**: Assessing performance of manufactured treatment devices for the removal of phosphorus from urban stormwater. *J. Environ. Manag.* 113, 279–291
- Sansalone, J.J. & Buchberger, S.G. (1997)**: Partitioning and First Flush of Metals in Urban Roadway Storm Water. *J. Environ. Eng.* 123 (2), 134–143.
- Scheffknecht, C., & Prodingner, H. (2007)**: Abwasser- und Bodenuntersuchungen am Retentionsfilterbecken Landesstraße L 202 Hard-Bregenz (Emissionsmessstelle Bregenzerachbrücke). Umweltinstitut Vorarlberg, pp 1–21. http://www.vorarlberg.at/pdf/filterbecken_l202.pdf. Zugegriffen: 25.01.2017
- Scheiwiller, E., Ochsenbein, U., Kaufmann, P., Rudin, M. (2008)**: Schadstoffabschwemmungen: Am Beispiel von Hochleistungsstraßen. *gwa*. SS. 539–546.
- Schmidt, S., Burkhardt, M., Gohl, M., Boller, M. (2015)**: Neue Konzepte zur dezentralen Behandlung von Regenwasserabflüssen. *Aqua Urbanica* 2015, Stuttgart, 07–08 October 2015. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Vol. 225. pp. 85–90
- Schütte, M. (1997)**: Messungen der Regenwasserverschmutzung im Einzugsgebiet des Biesdorfer Baggersees. Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie, Hannover. Zitiert in Huber et al. (2016).
- Shinya, M., Tsuchinaga, T., Kitano, M., Tamada, Y., Ishikawa, M. (2000)**: Characterization of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Highway Runoff. *Water Sci. Technol.* 42 (7–8), 201–208.
- Shinya, M., Tsuruho, K., Konishi, T., Ishikawa, M. (2003)**: Evaluation of factors influencing diffusion of pollutant loads in urban highway runoff. *Water Science and Technology* 47, 227–232.
- Steiner, M., Langbein, S., Boller, M. (2006)**: Bankette bestehende Straßen – Untersuchung der Versickerung von Strassenabwasser über Strassenrandstreifen an einer bestehenden Strasse. Schlussbericht des Forschungsprojekts, SS. 1–59.
- Steiner, M., Goosse, P., Hermann, E., Boller, M. (2008)**: Leistungsbeurteilung der SABA Attinghausen. Halbzeit des Monitorings. *GWA* 88.7, 531–538.
- Stotz, G. (1987)**: Investigations of the properties of the surface water runoff from federal highways in the FRG. *Sci. of the Total Envir.* 59: 329–337.
- Thomson, N.R., McBean, E.A., Snodgrass, W. (1997)**: Highway stormwater runoff quality: development of surrogate parameter relationships. *Water Air Soil Pollut.* 94, 307–347.
- Thorpe, A. and Harrison, R.M. (2008)**: Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Sci. Total Environ.* 400 (1–3), 270–282.
- Tromp, K., Lima, A.T., Barendregt, A., Verhoeven, J.T.A. (2012)**: Retention of heavy metals and poly-aromatic hydrocarbons from road water in a constructed wetland and the effect of deicing. *Journal of Hazardous Materials* 203–204, 290–298.
- Victorian Stormwater Committee (2006)**: Urban Stormwater: Best Practice Environmental Management Guidelines. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, pp. 1–268.
- WDOE (2011)**: Technical Guidance Manual for Evaluating Emerging Stormwater Treatment Technologies: Technology Assessment Protocol – Ecology (TAPE). *Publication No. 11-10-061*, 2011 ed. Washington State Department of Ecology, Lacey, WA, SS. 1–73. <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/summarypages/1110061.html>. Zugegriffen: 19.07.2017.
- Zafra, C.A., Temprano, J., Tejero, I. (2011)**: Distribution of the concentration of heavy metals associated with the sediment particles accumulated on road surfaces. *Environmental Technology* 32(9), 997–1008.
- Zbinden, R., Goosse, P., Steiner, M. (2015)**: Strassen und Verkehr. *VSS: Fachartikel*, 33–38.