

Decentralizované odstranění polutantů z dešťových vod pomocí systému filtračního žlabu - DRAINFIX CLEAN

1. Cíle výzkumu

V rámci čištění městských odpadních vod se systémy separace u zdrojů nyní ve stále vyšší míře zavádějí pro účely odvádění různých typů odpadních vod, jakými jsou odtoky dešťových vod nebo odpadní vody z domácností a průmyslových podniků, a to odděleně pro účely jejich čištění a odvádění do stávajících vodních systémů.

V průběhu asi 20 let byly instalovány centralizované čistící systémy pro dešťové a odpadní vody ve formě retenčních půdních filtrů a máme tedy zatím jen málo zkušeností s menšími systémy čištění znečištěných dešťových odtoků, které jsou instalovány lokálně v blízkosti dopravně rušných oblastí.

Tato studie se zaměřuje na systém filtračního žlabu, který je testován v reálných podmínkách v prostředí dvoupruhové příjezdové silnice do města Augsburg, Německo. V laboratorních podmínkách lze zkoušet různé aspekty, jakými jsou odbourávání rozpuštěných látek, ale pro odzkoušení filtračního systému v rámci jeho komplexní výkonnosti je nutné brát v úvahu sezónní aspekty včetně používání posypových solí v zimě a "skutečného" odtoku vod s "reálnými" charakteristikami obsažených pevných látek.

Systém filtračního žlabu byl zřízen ve zkušební stanici "Derchingerstrase", která byla vybudována v roce 1996 a která je již 9 let využívána Bavorskou environmentální agenturou i pro účely testování různých filtračních systémů infiltrace dešťových vod. Ze stávajících 12 zkušebních ploch jich bylo 5 modifikováno pro zkušební období 15 měsíců počínaje dubnem 2009.

2. Metodologie

Vysoká chemická příbuznost polutantů s nejmenšími částicemi v odtocích dešťových vod (Tab. 1) ukazuje, že systémy čištění dešťových vod musí být schopné eliminovat i ty nejmenší velikosti částic. Pro zajištění tohoto základního požadavku byl pro testovaný systém čištění zvolen mechanismus filtrace. Na základě rovnoměrného rozložení těžkých kovů vázaných na různé velikosti částic byl jako referenční indikátor vybrán zinek, protože jeho částice, stejně jako jeho koloidní forma, zajišťují nejvyšší účinnost odbourávání těžkých kovů. Zinek také zajišťuje nejvyšší koncentrace těžkých kovů v odtocích dešťových vod, umožňující analýzu mimo analytická omezení.

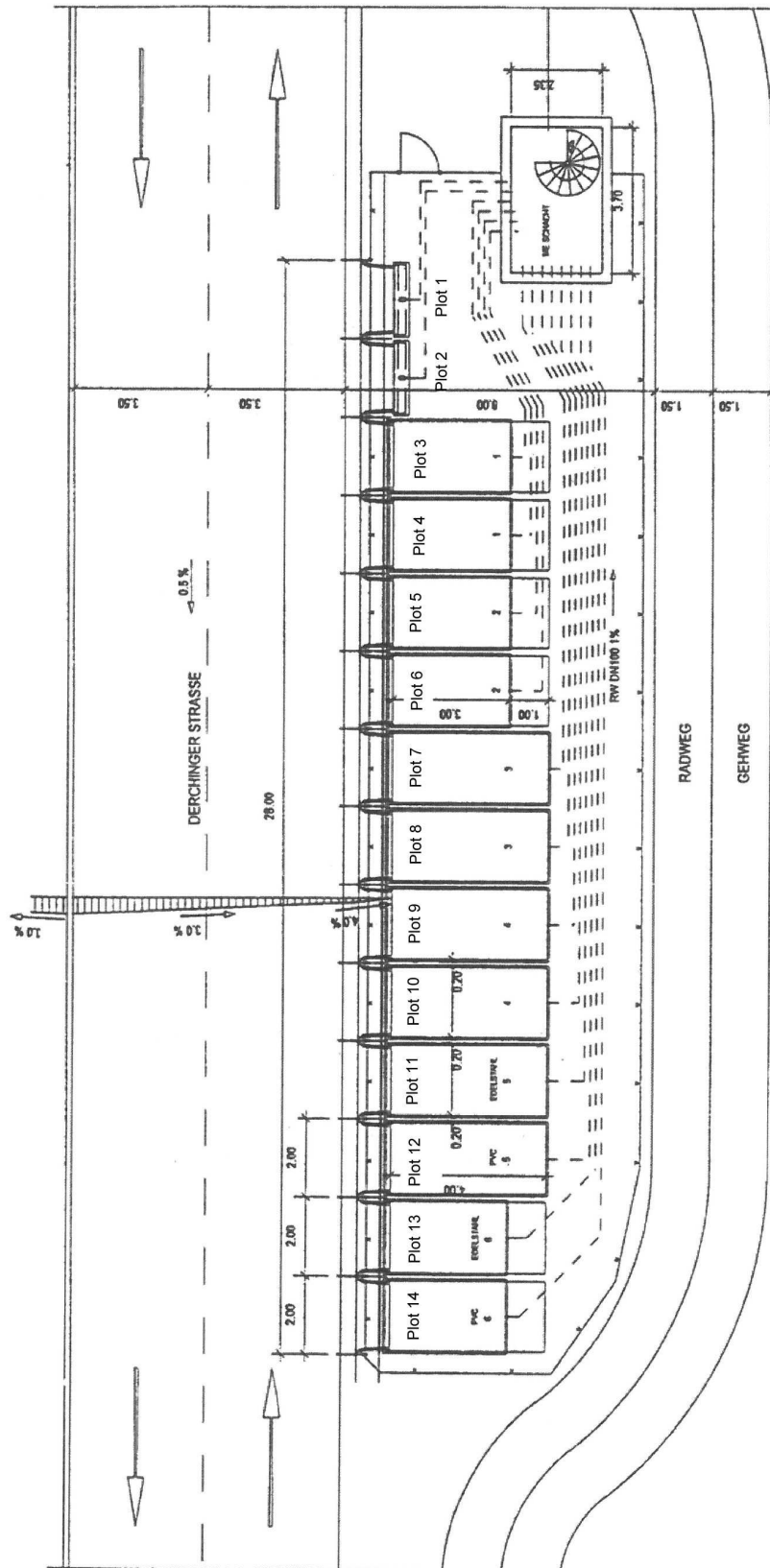
Tabulka 1

Pollutants and particle sizes in storm water runoff							
particle sizes mm	TSS %	Pb %	Cd %	PAH %	TPH %	Cu %	Zn %
< 0,006	38	15	15	15	50	15	15
0,006 - 0,060	49	75	75	40	40	75	75
0,060 - 0,150	7	10	10	20	5	10	10
0,150 - 0,350	4			25	5		
> 0,350	2						
Total	100	100	100	100	100	100	100

Zdroj: Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, LfU 2002

Zkušební stanice „Derchingerstrasse“ (Obr.1) , která je využívána k vyhodnocení systému čištění dešťových vod, se nachází u příjezdové silnice do Augsburgu.

Obr.1



Každá plocha zkušební stanice je propojena s dvouproudovým segmentem 15 m² příjezdové silnice (délka 2 m, šířka 7,5 m) se sklonem směrem k plochám. Vzdálenost mezi filtračním žlabem a pojízdnou plochou je 2,1 m. Prostor mezi provozovanou silnicí a žlabem sestává z asfaltového segmentu širokého 0,6 m bez pojezdu, a 1,5 m široké betonové krajnice. Minerální zrno asfaltové silnice sestává z 30 % karbonátu. Použili jsme zkušební plochy č. 2 - 6 (obr. 2). Plocha č. 2 poskytuje údaje o přítoku, zatímco plocha č. 3 - 6 obsahuje filtrační žlaby se 4 různými filtračními plochami o velikostech 0,09 m², 0,18 m², 0,36 m² a 0,72 m² představující 0,6% - 1,2 % - 2,4 % a 4,8 % neprostupných částí odvodněných ploch.

Obr. 2: Zkušební stanice – Derchingerstraße (schematický pohled – plocha t 2 – 6)



V průběhu prvních 6 měsíců zkoušek byly zkoušeny další dva filtrační žlaby. Jeden filtrační žlab zcela vyschnul a druhý filtrační žlab měl hladinu vody stále vyšší než filtrační substrát, dočasně využívající plochy č. 7 a 8 (Obr.3). Oba žlaby poskytovaly stejnou filtrační plochu s 2 % připojeného drenážního prostoru.

Obr 3 : Dočasně využití plochy 7 a 8



Při analýze přítoků dešťových vod z komunikace Boller, Kaufmann a Ochsenbein v roce 2005 jsme zjistili, že postřiková voda přispívá ve velké míře k celkové vodní bilanci. Při předpokladu obdobné situace zjištěné podél příjezdové silnice do Augsburgu a ve zkušební stanici Derchingerstrasse (Obr. 4) by vodní bilance vykazovala, že asi polovina dešťových srážek je odváděna mimo silnici vzduchem, zatímco asi čtvrtina až jedna třetina je odváděná pouze prostřednictvím stávajících odvodňovacích systémů. Odpařování a zbylá voda na povrchu silnice dosahuje 20%.

Obr. 4: Charakteristiky odtoku



Za účelem maximalizování množství vody, a tedy i objemu pevných částic a polutantů natékajících do zkušebních ploch, byly podél ohrazení zkušební stanice nainstalovány plastové zákryty pro shromažďování postřikové vody. Dále bylo s městskou radou Augsburgu dohodnuto, že po dobu provádění měření pozastaví čištění silnice.

Čtyři instalované filtrační žlaby poskytují 4 různé filtrační plochy se stejnými výškami filtračního substrátu 0,17 m a stejnými výškami zadržitého objemu 0,31 m na plochách 4,5 a 6 a 0,28 m na ploše 3 (nad filtračním substrátem).

Zkušební stanice byla navštěvována nejméně jednou týdně. Zapisovali jsme hladinu vody/objemy a po homogenizaci, před vyprázdněním sběrných nádrží, jsme odebírali vzorky pro analýzy na nerozpuštěné látky a polutanty. Pro provedení hydraulického vyhodnocení byly každý měsíc měřeny koeficienty propustnosti (k_f -hodnoty). Objemy vody byly zapisovány pro úplné odtoky (= přítok filtrace), odtok filtru a přepad. U povrchových odtoků byly také shromažďovány celkové nerozpuštěné látky a byly separovány z vody pro účely analýzy množství a obsahu polutantů.

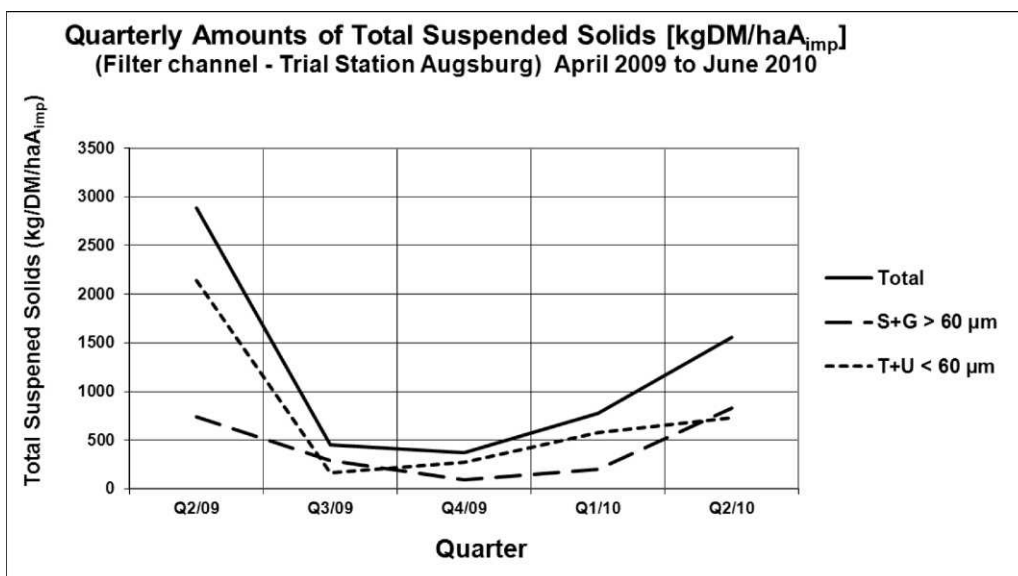
3. Výsledky

3.1 Odtokové podmínky

Během roku v odtocích dešťových vod neexistuje žádné rovnoměrné rozložení zatížení nerozpuštěnými látkami. Ve čtvrtletních analýzách jsme zjistili velké rozdíly s nejvyšší mírou zatížení ve druhých čtvrtletích (Obr. 5). Tato zjištění se shodují s výsledky předchozích zkoušek prováděných Bavorskou environmentální agenturou zahrnujících 9 ročních cyklů (Tabulka 2) a nejvyšší výskyt NLC se pravidelně opakuje v zimním období, což prokazuje reprezentativnost jednoletého zkušebního období. Velká zatížení NLC jsou pravděpodobně způsobena opožděným dopadem koroze vlivem posypových soli.

Významné není jen vysoké množství celkových nerozpuštěných látek s 4500 kgDM/ha*a, ale navíc je zde i velký podíl jemných částic (< 60 µm) s asi 70% celkového zatížení pevnými látkami nebo 3157 kgDM/ha*a. Vývoj prostupnosti filtračního systému je ovlivněn hlavně zatížením jemnými částicemi. Na základě stávajících znalostí lze předpokládat, že při pravidelném čištění silnic a bez používání posypových soli se může zatížení jemnými částicemi ve zkušební stanici snížit na 1/30 měřeného zatížení. Podíl látek měřených ztrátami žiháním pravděpodobně také přispívá ke ztrátě hydraulické propustnosti. Alej stromů zasazená před deseti lety by také mohla přispět k budoucímu zvýšení ztrát žiháním měřeným s pouze 10% v průběhu zkušebního období.

Obr.5



Tabulka 2

**Annual cycle of runoff concentrations at the trial station
 Derchingerstraße (Research period: 1996 - 2005)**

Quarter		4	1	2	3
EC	in µS/cm	1146	6103	186	111
Na	in mg/l	187	1285	12,8	2,5
TSS	in mg/l	49,7	120	378	56,7
Fe	in µg/l	1090	2240	2548	591
Zn	in µg/l	282	615	409	218

Source: Prüfung von dezentralem Straßenabfluss
 Behandlungsverfahren im Feld; Lambert, 12.05.2011

3.2 Hydraulická kapacita

Jak je patrné z tabulky 3, existuje zde úzká vazba mezi specifickou velikostí filtrační plochy a hydraulickou efektivitou (\emptyset). V průběhu analyzovaného období 1 roku bylo u filtračních žlabů s filtrační plochou 2,4 - 4,8 % z A_{imp} dosaženo účinnosti mezi 93 - 99 % . Pro filtrační žlaby s filtrační plochou 0,6 - 1,2 % je stupeň účinnosti mezi 53 - 75 % . V podmínkách zkušební stanice Derchingerstrasse tedy nelze doporučit filtrační plochy menší než 2 % z A_{imp} .

Tabulka 3

Hydraulic Capacity of Filter Channels						
Total water flows in mm per 15 m² A_{imp} at the Trial Station Derchingerstrasse						
(April 2009 up to March 2010)						
	Q2/09	Q3/09	Q4/09	Q1/10	Σ	\emptyset
	in mm	in mm	in mm	in mm	in mm	in %
Plot 3 A_f of $A_{imp} = 4,8$ %					607	
filter channel capacity	147 ¹	171	183	101	602	99,2
filter channel overflow	4,7 ¹	0	0	0	4,7	0,8
Plot 4 A_f of $A_{imp} = 2,4$ %					774	
filter channel capacity	185,6 ¹	224	213	99,1	721,6	93,2
filter channel overflow	50 ¹	2,3	0	0	52,3	6,8
Plot 5 A_f of $A_{imp} = 1,2$ %					719	
filter channel capacity	143,4 ¹	192	118	87,4	539,5	75,1
filter channel overflow	96,5 ¹	36,6	46,2	0,2	179,5	24,9
Plot 6 A_f of $A_{imp} = 0,6$ %					622	
filter channel capacity	105,7 ¹	81,2	67,2	77,5	331,7	53,4
filter channel overflow	111 ¹	116,8	60,7	1,9	290,3	46,6

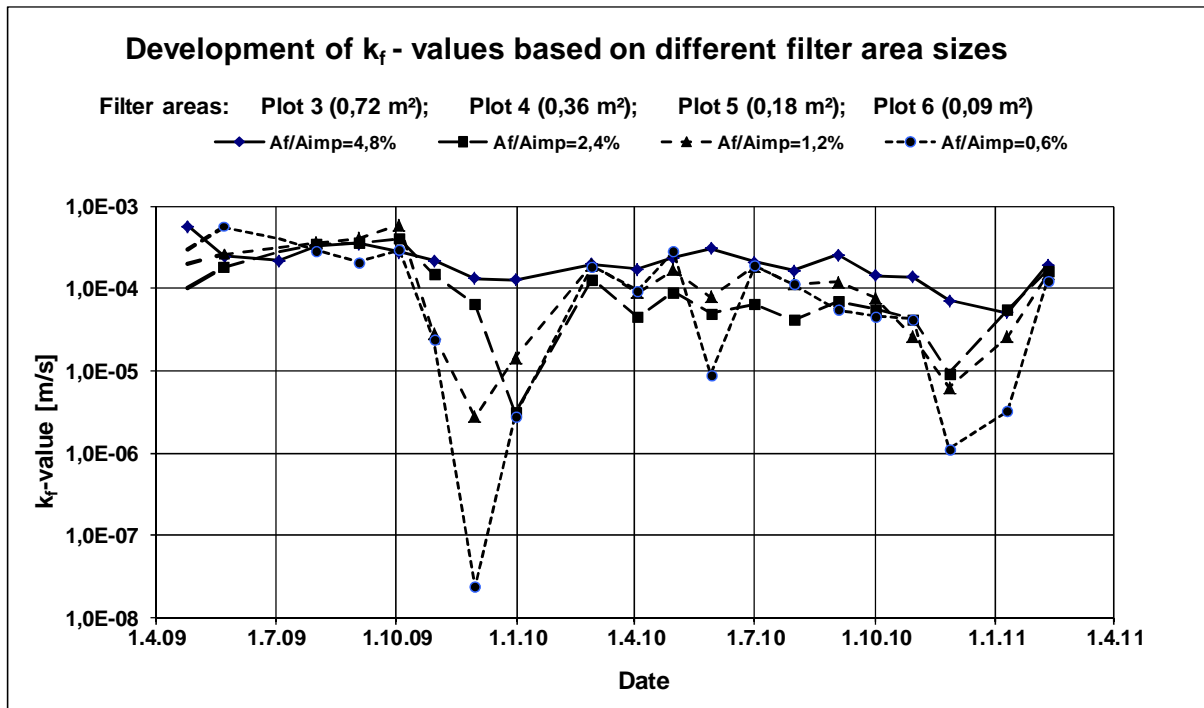
¹ values adjusted after replacement of filter channels through channels with increased height of retention volumes from 0,03 m to 0,31 m for plot 3 (04.07.2009) and to 0,28 m for plots 4, 5 and 6 (05.06.2009)

Hydraulická kapacita je určena hlavně velikostí filtrační plochy a koeficientem prostupnosti. Se zvyšujícím se zatížením nerozpuštěnými látkami sedimentace na filtračním povrchu ovlivňuje propustnost systému - zvláště pak menší částice vedou ke snížení prostupnosti.

Obr. 6 ukazuje vývoj koeficientu propustnosti (k_f -hodnoty) instalovaných filtračních systémů v závislosti na velikosti filtračních ploch (0,6 - 1,2 - 2,4 a 4,8% A_{imp}). Filtrační žlab s 4,8 % A_{imp} vykazuje podle očekávání nejmenší ovlivnění, protože se zatížení může rozložit na větší povrch než ve srovnání s filtračním žlabem s menší filtrační plochou 0,6 % A_{imp} .

Největší ovlivnění propustnosti se vyskytuje na začátku zimních období v listopadu. Ačkoliv ještě nenastaly mrazivé podmínky, nastal již výrazný pokles propustnosti. Zatím není známo, zda je to výsledkem zvýšené aktivity mikroorganismů v důsledku vyššího obsahu vlhkosti způsobeného kratšími dny a nižšími teplotami, nebo sezónním vlivem zvýšeného množství organických látek z důvodu padání listů z blízké aleje stromů nebo zda existují ještě další důvody. Použití posypové soli, které může být dalším faktorem, začalo později, jak bylo zjištěno analýzou elektrické vodivosti u vzorků vody.

Obr. 6



k_f -value: koeficient propustnosti

Snížení propustnosti v průběhu zimního období může být kompenzováno odpovídajícím dimenzováním retenčních objemů. V případě Mnichova, tabulky 4 a 5 ukazují, že maximální intenzita dešťů je v průběhu zimního období nižší. Když vezmeme v úvahu dvouletý dešťový přítok a 15,0 min. interval (D), což je relevantní interval pro výběr maximální intenzity pro hydraulický výpočet filtračních žlabů, potom srážky v průběhu zimy představují pouze jednu čtvrtinu dešťové intenzity v porovnání s letním obdobím. Díky vhodnému retenčnímu objemu filtračních žlabů docházelo v průběhu zimního období jen k malým nebo k žádným přepadům u žlabů s filtrační plochou větší než 2,4 % A_{imp} , jak je patrné z tab. 3.

Tabulka 4: max. letní intenzity v Mnichově

T	0,5		1,0		2,0	
	hN	rN	hN	rN	hN	rN
5,0 min	4,1	135,8	6,0	198,5	7,8	261,2
10,0 min	6,8	113,7	9,5	157,5	12,1	201,4
15,0 min	8,6	95,0	11,8	130,6	14,9	166,1
20,0 min	9,7	80,9	13,4	111,5	17,1	142,1
30,0 min	11,1	61,4	15,5	86,3	20,0	111,1
45,0 min	12,0	44,3	17,4	64,4	22,8	84,5
60,0 min	12,3	34,0	18,5	51,4	24,7	68,7

Tabulka 5: max. zimní intenzity v Mnichově

T	0,5		1,0		2,0	
	hN	rN	hN	rN	hN	rN
5,0 min	0,6	21,1	1,1	36,1	1,5	51,1
10,0 min	1,4	23,1	2,0	33,1	2,6	43,2
15,0 min	2,0	22,6	2,8	30,6	3,5	38,5
20,0 min	2,6	21,7	3,4	28,4	4,2	35,1
30,0 min	3,5	19,5	4,5	24,8	5,4	30,1
45,0 min	4,5	16,7	5,6	20,9	6,8	25,1
60,0 min	5,2	14,5	6,5	18,1	7,8	21,6

Zavodnění může být dalším důležitým faktorem způsobujícím dramatickou ztrátu propustnosti, což může vést k úplnému zanesení filtru. Abychom vyzkoušeli vývoj propustnosti při různých podmínkách nasycení, nainstalovali jsme dva další filtrační žlaby s 2 % A_f z A_{imp} .

Jeden filtrační žlab byl nainstalován s odtokem vyšším než je úroveň filtračního substrátu, což způsobilo stav úplného zavodnění, zatímco odtok z druhého filtru tvořil nejnižší bod umožňující úplné vysušení systému (Obr. 7 a 8).

Zavodněný systém byl dodatečně zakryt deskou pro zabránění růstu řas tím, že bylo zamezeno průniku slunečního světla, protože tyto řasy by také mohly vést k ucpávání filtru.

Obr. 7 zavodněný filtr. žlab



Obr. 8 vysušený filtr. žlab



Během období 3 měsíců se propustnost zavodněného systému dramaticky snížila z $43,6 * 10^{-5} \text{ m/s}$ na $0,7 * 10^{-5} \text{ m/s}$, a to v porovnání s vysušeným filtračním systémem, udržujícím hodnotu k_f $37,9 * 10^{-5} \text{ m/s}$, tedy téměř původní stav. Filtrační povrch zavodněného systému byl pokryt hustou vrstvou mikroorganismů.

3.3 Odstraňování polutantů

Laboratorní analýza pro národní technické schválení (DIBt -certifikát) byla provedena firmou LGA TÜV Rheinland. Zkoušen byl stupeň eliminace nerozpuštěných látek s použitím jemného křemičitého písku (průměrná velikost zrna $d_{50\%}$ $65 \mu\text{m}$, max. velikost zrna $d_{95\%}$ $190 \mu\text{m}$), eliminace kapalného oleje (topný olej) a eliminace rozpuštěného zinku a mědi s vyššími koncentracemi (Zinek $62500 \mu\text{g/l Zn}_{\text{dis}}$, Měď $7200 \mu\text{g/l Cu}_{\text{dis}}$). Vysoké koncentrace byly vybrány pro reprezentování 10-leté zátěže polutantů.

Díky jemnému filtračnímu substrátu a vysoké kapacitě vázání bylo dosaženo vysoké míry odstraňování. Souhrn výsledků je uvedený tab. 5.

Tabulka 5

Testing Report No. 7311238-01 LGA TÜV Rheinland			
Testing criteria: Zulassungsgrundsätze des DIBt für "Niederschlagswasserbehandlungsanlagen", Draft January 2011, including SVA-resolutions 14.01.2011. An average pollutant load of 10 years has been applied.			
Pollutant	DRAINFIX CLEAN		DIBt
	Degr. of Efficiency (%)	Outflow (%)	Tolerated outflow (%)
TSS	99,5	0,46	8
TPH	99,9	0,046	20
Zn	99,8	0,11	30
Cu	99,8	0,14	20

Pollutant load/concentration: TSS 3000g Silica fines Millisil W4, TPH 40,8g Diesel EL, Zinc 62500 $\mu\text{g/l Zn}_{\text{dis}}$ (129,6 l H₂O), Copper 7200 $\mu\text{g/l Cu}_{\text{dis}}$ (129,6 l H₂O)
 Filter area of test channel: 0,125 m²

Protože tyto laboratorní výsledky neberou v úvahu důležité faktory, jakými jsou obsah organických látek v odtoku aktivitu mikroorganismů, klimatické podmínky, dopad posypových solí na látky v odtoku vody atd., došli jsme k názoru, že jednoróční testy v terénu jsou nevyhnutelné.

Mimo jiné byly analyzovány parametry elektrické vodivosti (EC), celkové nerozpuštěné látky, železo, zinek, celkové uhlovodíky a polycyklické aromatické uhlovodíky. Souhrn těchto údajů naleznete v tab. 6. Zanalyzovali jsme smíšené vzorky představující čtvrtletní vstupní a výstupní koncentrace ve filtračních žlabech. Poměry odstranění jsou ve stejném rozsahu, jako laboratorní výsledky LGA TÜV Rheinland, vyjma zimního období s aplikací posypové soli.

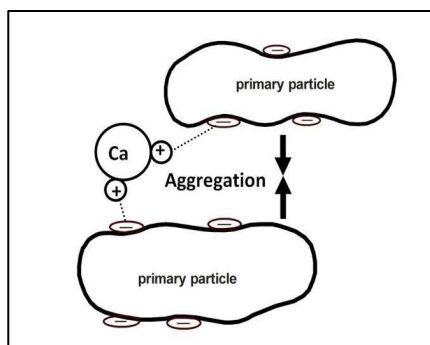
Tabulka 6

Discharge weighted in- and outflow concentrations - Trial Station Derchingerstrasse ($A_f = 2,4 \% \text{ of } A_{imp}$) April 2009 - March 2010							
		Q2/09	Q3/09	de-icing salt Q4/09	de-icing salt Q1/10	Q2/10	Limits acc. to BBodSchV (Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance)
EC in $\mu\text{S/cm}$	inflow	151	97	1551	9658	161	
	outflow	223	149	1138	12357	183	
TSS in mg/l	inflow	2559	210	163	650	536	
	outflow ¹	-	-	-	-	8	
Fe _{tot} in mg/l	inflow	35	8,06	4,92	19,7	17,2	
	outflow	0,72	0,35	0,47	1,15	0,1	
Zn _{tot} in $\mu\text{g/l}$	inflow	1200	390	418	1301	660	500
	outflow	13	16	27	134	14	
TPH in mg/l	inflow	5,88	0,34	1,14	1,29	0,86	0,2
	outflow	values at / or below the analytical limit of 0,1 mg/l					
PAH ₁₆ in $\mu\text{g/l}$	inflow	13,90	2,46	2,85	14,50	3,14	0,2
	outflow	-	<0,001	0,08	0,14	0,05	

¹ runoff based TSS not quantifiable in the 1st year due to substrate based releases of TSS

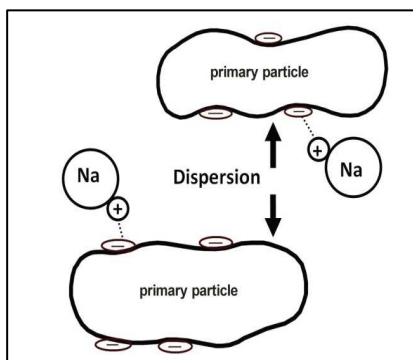
Při pohledu na hodnoty z 1. čtvrtletí 2010 (Q1/10) lze nalézt vysoké hodnoty elektrické vodivosti, což indikuje vysokou aplikaci posypové soli. Toto mělo zřejmě dopad na odstraňování zinku. Koncentrace na odtoku byla v 1. čtvrtletí 10x vyšší než v měsících s nízkými hodnotami elektrické vodivosti. Protože byla na odtoku zjištěna vyšší koncentrace zinku vázaného na pevné částice, a ne rozpuštěné frakce, je zřejmé, že posypová sůl měla negativní dopady na mechanickou filtraci.

Obr. 9



Shluky tvořené flokulací

Obr. 10



9 Disperse -vznik jemných částic

Protože většina posypových solí používaných v Německu obsahuje chlorid sodný, rozpuštěná posypová sůl způsobuje vysoké koncentrace jednomocných sodíkových kationů Na^+ (Obr. 9). Tyto kationy nahrazují spoustu vícemocných kationů (Obr. 10) jako je Ca^{++} , Mg^{++} nebo Al^{+++} , které spojují nejjemnější pevné částice do větších shluků. Tento mechanismus se potom ztratí a vede k disintegraci větších částic.

Protože sodík omezuje tvoření shluků, filtrem projde více jemných částic, což vede k měřitelnému snížení účinnosti čištění. V důsledku použití filtračního substrátu byla ale koncentrace na odtoku stále čtyřikrát nižší než jsou limity podle nařízení federální ochrany půdy, které určuje kvalitu průsaků z půdy do podzemních vod.

Další důležitý aspekt souvisí s obsahem organických látek v odtocích dešťových vod. Sběr nepřechištěných odtoků (Obr. 11) jako reference pro vyhodnocení obsahu polutantů a vlastností nerozpuštěných pevných látek ve zkušební stanici odhalil, že v průběhu zavodnění ve sběrné nádrži vede spotřeba kyslíku organickými látkami k anoxickým podmínkám. Anoxické podmínky způsobují, že se železo v pevném skupenství, které je vždy ve velkých objemech přítomné jako pevná látka v oblastech se silnou dopravou, transformuje do rozpuštěného stavu z důvodu nedostatku kyslíku. Na vodním povrchu, kde je kyslík přítomen, se objevuje jako tenká kůže vrstva sraženého oxidu železa/ hydroxidu signalizující anoxické podmínky níže.

Oxidové /hydroxidové povrchy metalického železa poskytují dobré vlastnosti pro vázání těžkých kovů, a jakékoliv anoxické podmínky mohou tedy způsobovat opětné rozpouštění železa a následně i opětovné rozpouštění těžkých kovů. Toto nastává obzvláště ve stále zavodněných systémech, jakými jsou usazovací nádrže, separátory, lapáky písku atd., a to v důsledku procesů hnití organických látek při nedostatku kyslíku. Dále budou produkovány rozpuštěné organické vedlejší produkty zvyšující chemickou (CHSK) a biologickou (BSK) spotřebu kyslíku na odtoku, což povede ke znečišťování recipientů.

Obr. 11 Sběr odtoků dešť. vodv a nerozpuštěných látek ve zkušební stanici Derchingerstrasse



Surface layer of iron oxide/hydroxide

4. Závěry

- Filtrační žlaby jsou pravděpodobně neefektivnější malými systémy čištění odtoků dešťových vod. Skutečnost, že filtrace může zachytit nejjemnější částice a že je dovoleno vysušování sedimentu a že žádné zavodnění nepřekáží přísunu kyslíku společně s možností realizace větších specifických filtračních prostor a používání sedimentů samých pro zachycení polutantů v odtocích dešťových vod přispívá k vysoké účinnosti a dlouhé životnosti
- Filtrační žlaby s retenční výškou asi 0,30 m nabízejí dobrou hydraulickou účinnost kombinovanou s vhodně nízkou filtrační rychlostí. Systémy s vysokou filtrační rychlostí kombinované s tenkými vrstvami filtračního materiálu způsobují nedostatky ve filtraci jemných částic v průběhu zimního období, což je způsobeno používáním posypových solí produkujících významná množství jemných částic.
- Specifická velikost požadované filtrační plochy závisí na zatížení jemnými částicemi. Při podmínkách vysoké zátěže ve zkušební stanici Augsburg je požadován filtrační systém s filtrační plochou 2 - 4 % A_{imp} .
- Stupeň odstraňování anorganických a organických polutantů je velice vysoký. V případě extrémního zatížení posypovou solí je snižena výkonnost filtrace jemných částic. Navzdory zvýšené koncentraci na odtoku způsobené vysokým zatížením posypové soli, ale stupeň eliminace zinku dosáhl 90 % a u PAH dokonce 99 %.

Literatura

Boller, M. (EAWAG), Kaufmann P. (HSB), Ochsenbein, U. (GSA) (2005): Bankette bestehender Straßen – Untersuchung der Versickerung von Straßenabwasser über Straßenrandstreifen an einer bestehenden Straße – Schlussbericht des Forschungsprojektes.

Brunner, Prof. P.G. (2002), Bodenfilter zur Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Abteilung 4 – Wasser und Altlasten.

Deutsches Institut für Bautechnik - DIBt (2011), Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung: Anlage zur Behandlung von Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen für die Versickerung DRAINFIX CLEAN, Z-84.2-7

LAMBERT, B. (2007), Bodenkundliche Untersuchungen an der Straßenbankettlysimeteranlage in Augsburg, Derchingerstraße. Abschlussbericht 2007. Auftraggeber Landesamt für Umwelt Augsburg.

LAMBERT, B. (2010), Reinigung von Verkehrsabflüssen durch Rinnenfilter der Fa. Hauraton, Versuchsanlage Derchingerstraße. Zwischenbericht. Auftraggeber Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) e.V., Berlin.

LAMBERT, B (2011), unveröffentlichte Präsentation – Prüfung von dezentralem Straßenabfluss – Behandlungsverfahren im Feld, 12.05.2011

Meißner, Dr.-Ing. E; Nadler Dipl.-Ing (FH) A. (2007): Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen. Abschlussbericht. Entwicklungsvorhaben Oktober 1996 – Oktober 2005 Bayern, Landesamt für Umwelt -LfU

TÜV Rheinland LGA Products GmbH (2011), Prüfbericht: Zulassungsprüfung einer „Rinne“