

Kvantifikace efektů hospodaření s dešťovými vodami ve městech – směřování k novému přístupu v rámci integrovaného plánování

Andreas MATZINGER^{1*}, Marco SCHMIDT², Mathias RIECHEL¹, Andreas HEIN³, Juliane BRÄCKER³, Clemens STREHL³, Darla NICKEL⁴, Jens LIBBE⁴, Heiko SIEKER⁵, Matthias PALLASCH⁵, Manfred KÖHLER⁶, Daniel KAISER⁶, Stefan BRÜCKMANN⁷, Constantin MÖLLER⁷, Björn BÜTER⁸, Günter GROSS⁹, Robert GÜNTHER⁹, Ina SÄUMEL¹⁰, Thomas TAUTE¹¹, Hella SCHWARZMÜLLER¹, Hartmut BARTEL¹², Stefan HEISE¹², Christian REMY¹, Hauke SONNENBERG¹, Theo SCHMITT¹³, Bernd HEINZMANN¹⁴, Kay JOSWIG¹⁴, Matthias REHFELD-KLEIN¹⁵, Brigitte REICHMANN¹⁵, Pascale ROUAULT¹

¹*Kompetenzzentrum Wasser Berlin (KWB), Berlin, Germany*

²*Technische Universität Berlin, Institut für Architektur, Berlin, Germany*

³*IWW Water Centre, Muelheim an der Ruhr, Germany*

⁴*Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin, Germany*

⁵*Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker, Hoppegarten, Germany*

⁶*Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg, Germany*

⁷*Atelier Dreiseitl, Ueberlingen, Germany*

⁸*GEO-NET Umweltconsulting, Hannover, Germany*

⁹*Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover, Germany*

¹⁰*Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Berlin, Germany*

¹¹*Freie Universität Berlin, Arbeitsbereich Hydrogeologie, Berlin, Germany*

¹²*Umweltbundesamt, Berlin, Germany*

¹³*Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Kaiserslautern, Germany*

¹⁴*Berliner Wasserbetriebe, Berlin, Germany*

¹⁵*Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Land Berlin, Berlin, Germany*

**Corresponding author's e-mail: andreas.matzinger@kompetenz-wasser.de*

ABSTRAKT

Integrované plánování hospodaření s dešťovými vodami vyžaduje kvantitativní popis pozitivních a negativních efektů možných opatření. Navrhujeme kvantifikovat tyto efekty pomocí výkonnostních ukazatelů v osmi kategoriích: fyzika budov a služby, kvalita krajiny, městské klima, biodiverzita, podzemní voda, povrchová voda, přímé náklady a nepřímé environmentální náklady (užívání zdrojů). První výsledky naznačují, že definované výkonnostní ukazatele umožňují objektivní prvotní výběr opatření založený na jejich schopnosti splnit místní vodohospodářské cíle. Finální výběr opatření by měl být založen na vyhodnocení pro určitou městskou část (aby se snížily nejistoty ukazatelů) a oponován místními zúčastněnými stranami.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hospodaření s dešťovými vodami; společenské, environmentální a ekonomické výkonnostní ukazatele; analýza nákladů-užitku

ÚVOD

Dešťový odtok ze zpevněných povrchů může mít vážné dopady na povrchové recipienty, zahrnující hydraulické narušení (Krejci et al. 2004), narušení trofie (SenGUV 2002), toxické vlivy (Burkhardt et al. 2009) a snížení jakosti koupacích vod (Oppermann 2011). Kromě toho konvenční systém odkanalizování neumožňuje užívání dešťové vody (i) v budovách (např. chladicí systémy, (SenStadt 2010)), pro zlepšení městské krajiny (Dreiseitl and Grau 2009) a pro snížení tepelné expozice ve městech (Harlan et al. 2006), (ii) pro zvýšení biodiverzity (Oberndorfer et al. 2007) a pro znovuvytvoření přirozenějšího koloběhu vody (Kravčík et al. 2007). Opatření ke vsakování dešťového odtoku mohou také ovlivnit zdroje podzemní vody, ať již pozitivně nebo i negativně (Göbel et al. 2004). Zavádění opatření pro hospodaření s dešťovou vodou (HDV) může rovněž vést jak ke snížení, tak i ke zvýšení přímých a nepřímých nákladů a k užívání zdrojů.

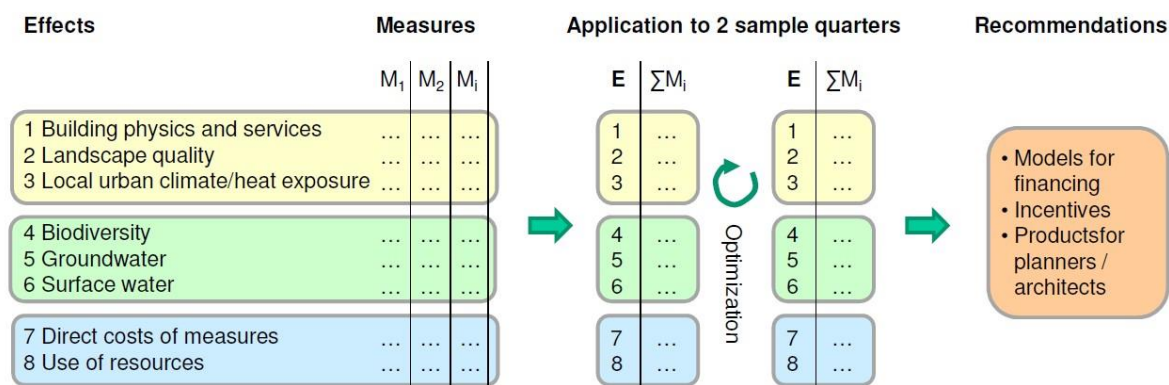
Pro snížení negativních dopadů nepropustných povrchů a pro využití potenciálních přínosů dešťové vody může být použita celá řada opatření v různých prostorových měřítcích:

- na úrovni budov: např. zelené střechy, užívání dešťové vody nebo lokální vsakování (SenStadt 2010)
- na úrovni městských čtvrtí: např. nahrazování nepropustných povrchů propustnými, umělé nádrže, filtry v šachtách, úprava čištění ulic (Zweynertl et al. 2007)
- na úrovni povodí jednotné a oddílné kanalizace: např. čištění vod odtékajících z dešťové kanalizace a odlehčených vod z jednotné kanalizace, retence ve stokách (DWA 2005).

V současnosti se používá široká škála opatření HDV, avšak pro většinu z nich nejsou kvantifikovány jejich přínosy či negativní dopady. Cílem našeho projektu proto je vyplnit tuto mezeru, abychom pomohli osobám s rozhodovací pravomocí nalézt optimální kombinaci opatření pro jejich specifické podmínky.

METODY

Cíle HDV jsou formulovány pro osm kategorií efektů (efekty 1 až 8 na Obr. 1). Tyto cíle závisí na místní situaci; např. pokud je hladina podzemní vody pod požadovanou úrovní, bude jedním z cílů v kategorii „podzemní voda“ zvýšení dotace podzemní vody (na cílovou výšku hladiny podzemní vody). Za účelem výběru příslušných opatření pro splnění místních cílů jsou tyto cíle rozděleny do generických výkonnostních ukazatelů (indikátorů). Ve výše uvedeném příkladě budou v kategorii „podzemní voda“ posuzována pozitivně opatření s vysokou hodnotou indikátoru „rychlost doplňování zásob podzemní vody“



Obr. 1: Použitá strategie.

Výsledná matice opatření a efektů (Obr. 1) umožňuje výběr a vyhodnocení specifických kombinací opatření tím, že zohledňuje jak náklady, tak přínosy. Náklady jsou uvedeny v kategorii přímé náklady (efekt 7 v Obr. 1), zatímco „environmentální náklady“ jsou popsány jako užívání zdrojů (efekt 8). Přínosy, očekávané po zavedení určitého HDV opatření, jsou definovány pomocí různých nefinančních efektů (efekty 1-6 a 8 na Obr. 1). Pokud všechny

efekty nejsou při rozhodování stejně důležité, mohou být na základě místních podmínek či preferencí zúčastněných stran ještě použity váhové faktory. Závěrečné vyhodnocení může být provedeno tak, že osoby s rozhodovací pravomocí zdůraznění vlivy jednotlivých kategorií, nebo výpočtem kombinované hodnoty, jako je poměr “průměrného přínosu” a nákladu na každou kombinaci opatření. Tento postup bude ukázán pro specifickou kombinaci opatření na příkladě dvou čtvrtí v Berlíně včetně optimalizačního kroku zahrnujícího zohlednění zúčastněných stran. Získané zkušenosti budou převedeny do doporučení a metodických pokynů nebo softwarových pomůcek určených pro plánovače a architekty (Obr. 1).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Stanovení indikátorů

V následující části jsou popsány místní cíle a výkonnostní ukazatele pro jednotlivá opatření pro osm kategorií efektů z Obr. 1, (viz též přehled v Tab. 1).

Tab. 1: Cíle a kvantitativní výkonnostní ukazatele HDV opatření

Kategorie efektu	Cíle HDV (podle místní situace)	Výkonnostní ukazatele jednotlivých opatření [jednotka] (zobecnitelné)
Fyzika budov a služby	Přínosy užívání dešťové vody pro obyvatele budov	<ul style="list-style-type: none"> • Užívání dešťové vody jako užitkové vody [%] • Úspora energie při chlazení (nebo vytápění) [kWh m⁻² rok⁻¹]
Kvalita krajiny	Strukturální bohatství	<ul style="list-style-type: none"> • Rozmanitost mikroreliefu [m] • Rozmanitost výšky porostu [m] • Objem sušiny porostu [kg m⁻²] • Podíl otevřených vodních ploch [%]
	Využitelnost	Stupnice 0-3: žádná až vysoká přidaná využitelnost (detaily viz text)
Městské klima	Zvýšení tepelného komfortu (jako Predicted Mean Vote, Universal Thermal Climate Index nebo počet horkých dní/tropických nocí)	<ul style="list-style-type: none"> • Podíl výparu [%] • Objem zeleně na připojenou nepropustnou plochu [m³ m⁻²] • Albedo (míra odrazivosti) povrchu [-]
Biodiverzita	Druhá rozmanitost	α - a β -diverzita (rostlinná a živočišná) [# druhů]
	Rozmanitost habitatů	Strukturální diverzita vegetace [# počet různých elementů]
	Propojení habitatů	Průměrná vzdálenost mezi opatřeními [m] a rozptýlení druhů mezi opatřeními [%]
	Výskyt vzácných druhů	Podíl vzácných druhů [%]
Podzemní voda	Cílová výška hladiny podzemní vody	Změna v dotaci podzemní vody [mm]
	Zamezení zhoršování jakosti podzemní vody	Změna elektrické vodivosti, koncentrací chloridů, sulfátů, zinku a biocidů [%]
Povrchová voda	<i>Jednotný stokový systém:</i>	
	Snížení dopadů dešťových oddělovačů (hydraulický stres, deficit kyslíku, toxicita amoniaku)	Snížení jednoletého odtoku [%] (v porovnání se situací bez opatření)
	<i>Oddílný stokový systém:</i>	
	Snížení hydraulického stresu	Snížení jednoletého odtoku [%] (v porovnání se situací bez opatření)
	Snížení eutrofizace	Snížení vnosu P a N [%] (v závislosti na celkovém ročním snížení odtoku a/nebo účinnosti předčištění vod)
	Snížení kontaminace sedimentů	Snížení vnosu nerozpuštěných látek (v závislosti na celkovém ročním snížení odtoku a/nebo účinnosti předčištění vod)
	<i>Povodně (oddílný i jednotný stokový systém):</i>	
Podpora prevence povodní	Snížení 30 leté povodně [%] (v porovnání se situací bez opatření)	
Přímé náklady	Minimalizace nákladů	Současná hodnota ročních nákladů na připojenou nepropustnou plochu [€ rok ⁻¹ m ⁻²]
Užívání zdrojů	Minimalizace nepřímých dopadů na životní prostředí	<ul style="list-style-type: none"> • Kumulativní potřeba energie z neobnovitelných zdrojů [MJ m⁻²] • Snížování obsahu minerálů z abiotických zdrojů [kg Fe-eq m⁻²] • Globální oteplování [kg CO₂-eq m⁻²] vše na připojenou nepropustnou plochu

Fyzika budov a služby. Stavební sektor je globálně zodpovědný za spotřebu více než 1/3 celkových zdrojů a 40% energie (UNEP, 2007 in: www.zebistis.ch). Centrální zásobování vodou a odvádění odpadních vod může vest k vysokým finančním a environmentálním nákladům.

Budovy jsou hlavním zdrojem vypouštění dešťových vod do kanalizace. HDV opatření na úrovni budov mohou snížit nebo dokonce zastavit (strategie nulových emisí) tyto dopady na životní prostředí (viz níže kategorie “podzemní voda” a “povrchová voda”) a zlepšit místní klima pomocí výparu (viz níže kategorie “městske klima”). Dešťová voda může být také užívána přímo (toalety, zahrady atd.) nebo nepřímo pro chlazení nebo vytápění budov pomocí vypařování a kondenzace-absorpce, jak bylo ukázáno na WaterGy v Berlíně-Dahlemu (www.watergy.de). To může mít přímý přínos pro obyvatele jako úspora vody a energie (Schmidt 2010a). Tento přínos může být měřen pomocí ukazatelů (i) užívání dešťové vody jako užitkové vody [%], zahrnujícího všechny způsoby užívání dešťové vody, a (ii) úspora energie [kWh m⁻² rok⁻¹] pro chladicí nebo vytápěcí systémy využívající dešťovou vodu.

Kvalita krajiny. HDV opatření mohou zvýšit kvalitu městské krajiny a mít pro ni estetický přínos. Soustředíme se přitom na opatření, která jsou součástí městské zelené infrastruktury, jako zelené střechy nebo dešťové zahrady (tj. souhrnné označení rozmanitých jednotlivých nebo kombinovaných opatření na úrovni terénu od jednoduchých vsakovacích zařízení přes zatravněné pozemky po mokřady a otevřené vodní plochy). HDV opatření budou vyhodnocena běžnou analýzou užitečnosti založenou na popisu návrhu (tj. strukturálním bohatství) a dostupnosti a využitelnosti. Ačkoliv efekty závisí na souboru opatření ve svém specifickém prostředí, potenciál zvýšení kvality krajiny může být též hodnocen pro jednotlivá opatření pomocí generických výkonnostních ukazatelů: Strukturální bohatství může být kvantifikováno na základě mikoreliéfu, rozmanitosti výšky porostu (od mechu po stromy), objemu porostu a podílu otevřených vodních ploch. Využitelnost může být hodnocena stupnicí od 0 do 3, založené na následujících kritériích:

- 0 (žádná přidaná využitelnost): nepropustná zpevněná plocha
- 1 (nízká): vizuálně atraktivní (např. nepřístupná plocha osázená rákosem ve dvorku)
- 2 (střední): přístupná pro omezené užívání (např. pěšinky a oblasti k sezení v rámci zelené infrastruktury)
- 3 (vysoká): optimalizovaná pro užívání (např. loďky na rybníku nebo hřiště ve vsakovacím průlehu)

Biodiverzita také zhodnocuje krajinu pro rostlinstvo a zvířectvo (viz níže kategorie “biodiverzita”).

Místní městské klima/tepelná expozice. Hustě zastavěné městské oblasti mohou být značně vystaveny teplu. Teplo se obecně popisuje teplotou vzduchu v různých výškách (např. teplota vzduchu ve výšce 2 m pro pěší). Rozsah negativních vlivů vystavení teplu je hodnocen pomocí lidského vnímání, např. počtem horkých dní (> 30 °C) nebo tropických nocí (> 20 °C) v určité lokalitě. Tepelný komfort je dán bilancí tepla člověka a jejími termofyzikálními principy a dá se vypočítat jako funkce teploty vzduchu a záření, vlhkosti a rychlosti (VDI 2008). Příklady jsou Predicted Mean Vote (PMV) (předpokládaný střední tepelný pocit člověka) a Universal Thermal Climate Index (UTCI) (univerzální teplotní klimatický index).

HDV opatření mohou snížit tepelnou expozici, tzn. mohou vést ke snížení počtu horkých dní/tropických nocí, a tak snížit tepelnou nepohodu pro lidi. Výkonnostní ukazatele jsou především vztaheny ke zvýšení výparu, hodnocenému jako podíl výparu ve vztahu k povrchovému odtoku a vsaku ve srovnání s přírodním prostředím (Kravčík et. al 2007; Schmidt 2010b), a k objemu zeleně HDV opatření na připojenou nepropustnou plochu. Absorpci tepla HDV opatřeními rovněž ovlivňuje jejich albedo (míra odrazivosti).

Biodiverzita. Městská krajina může mít vysokou biodiverzitu flóry a fauny a může poskytovat nové habitáty vzácným a ohroženým druhům. Kromě své vnitřní hodnoty biodiverzita podporuje mnoho ekosystémových služeb ve městě, částečně spjatých se zvýšením „kvality krajiny“ (viz výše). Např. Fuller et al. (2007) ukázali, že druhově bohaté městské parky zvyšují psychickou pohodu. Druhově a strukturálně bohatá vegetace podél silnic zlepšuje kvalitu ovzduší (např.

Weber et al. 2014a) a zvyšuje atraktivitu volných prostor (např. Weber et al. 2008; Weber et al. 2014b).

Přínosy různých HDV opatření pro zvýšení biodiverzity charakterizujeme pomocí souboru ukazatelů genetické, druhové, ekosystémové a funkční úrovně biodiverzity: Druhová diverzita je vyjádřena ukazateli α - and β -diverzity, odvozenými na základě průzkumu flóry a fauny realizovaných HDV opatření. Potenciál těchto opatření poskytnout habitat pro vzácné a ohrožené druhy ve městě se odhaduje pomocí podílu vzácných a ohrožených druhů. Nabídka *nových městských habitatů* se odhaduje jako podíl nových druhů z celkového počtu druhů. Pro odhad diverzity habitatů se používá strukturální diverzita vegetace. Kromě toho se analyzuje stupeň propojení jednotlivých habitatů a sousedící městské zeleně a procento rozptýlení druhů pro charakterizování fragmentace, izolace nebo odrazových můstků (zatím samostatných kousků přirozeného území nepropojených s ostatními) v městské krajině. Za účelem doporučení, jak zvýšit biodiverzitu, se analyzuje vliv místních parametrů, různých technologií a variant návrhu na biodiverzitu HDV opatření.

Podzemní voda. Množství a jakost podzemní vody je ovlivněna HDV opatřeními zahrnujícími vsakování, jako např. přeměna nepropustných povrchů na propustné nebo vsakování v příkopech či průlezích. Co se týče jakosti podzemní vody, obecným cílem je zabránit jejímu zhoršování (EU 2000; BBodSchV 1999; GrwV 2010). Proto budou vlivy záviset na jakosti zdroje vsakované vody (odtok ze střech, ulic atd.) a na jakosti podzemní vody, která je jejím příjemcem. Co se týče množství, zvýšená dotace podzemní vody může mít jak pozitivní, tak negativní vlivy v závislosti na místních podmínkách, referenčním stavu a místní cílové výšce hladiny podzemní vody. Výkonnostní ukazatele pro výběr a hodnocení HDV opatření jsou v závislosti na místních cílech: (i) změna v dotaci podzemní vody [mm] (ii) změny [%] elektrické vodivosti a koncentrací chloridů, sulfátů a zinku (jako zástupce těžkých kovů). Kromě toho se posuzují dva biocidy spjaté se stavebními materiály – Mecoprop and Terbutryn – avšak neočekává se kompletní kvantifikace všech HDV opatření.

Povrchové vody. V hustě zastavěných městských oblastech může mít srážkový odtok značné negativní dopady na povrchové recipienty (jezera, vodní toky). K nejčastějším dopadům patří hydraulický stres ve vodních tocích způsobený zvýšenými rychlostmi po zaústění dešťového odtoku (Borchardt 1992, Krejci et al. 2004), eutrofizace způsobená vnosem živin (Borchardt et al. 2003), kontaminace sedimentů v důsledku toxických látek, jako jsou těžké kovy, navázaných na nerozpuštěných látkách, a, zejména v případě jednotné kanalizace, deficit kyslíku (Riechel et al. 2010, Lammersen 1997) a zvýšené koncentrace amoniaku (Krejci et al. 2004, Lammersen 1997). V případě *jednotného stokového systému*, jsou povrchové vody ovlivňovány jen přepady z dešťových oddělovačů, které se zpravidla vyskytují jen za přívalových dešťů. Proto bylo za jediný ukazatel jak hydraulických, tak látkových vlivů zvoleno snížení špičkového jednoletého srážkového odtoku.

V případě *oddílného stokového systému* závisí hydraulický stres rovněž na špičkových odtocích (1 letá událost), avšak vnos znečištění může být relevantní rovněž při méně vydatných srážkách, a proto je posuzován pro větší časové měřítko. Jako indikátor se volí např. snížení ročního vnosu nerozpuštěných látek, protože ty reprezentují i velké množství biologicky rozložitelných organických látek, těžkých kovů a patogenních mikroorganismů. Potenciál eutrofizace se posuzuje pomocí vnosu celkového fosforu (P) a dusíku (N) vypouštěného s nebo bez příslušného opatření. Kromě toho se kvantifikuje účinnost odstraňování dvou vybraných biocidů (viz též výše kategorii „podzemní voda“). Ačkoliv to není ústřední zaměření této práce, pro úplnost byla ještě doplněna retenční kapacita HDV opatření pro prevenci povodní během extrémních srážkových událostí (30 letá povodeň).

Přímé náklady. Zavádění a provoz HDV opatření je spojeno s přímými náklady. Kromě absolutních rozdílů, se také u jednotlivých opatření mohou významně lišit relativní investiční

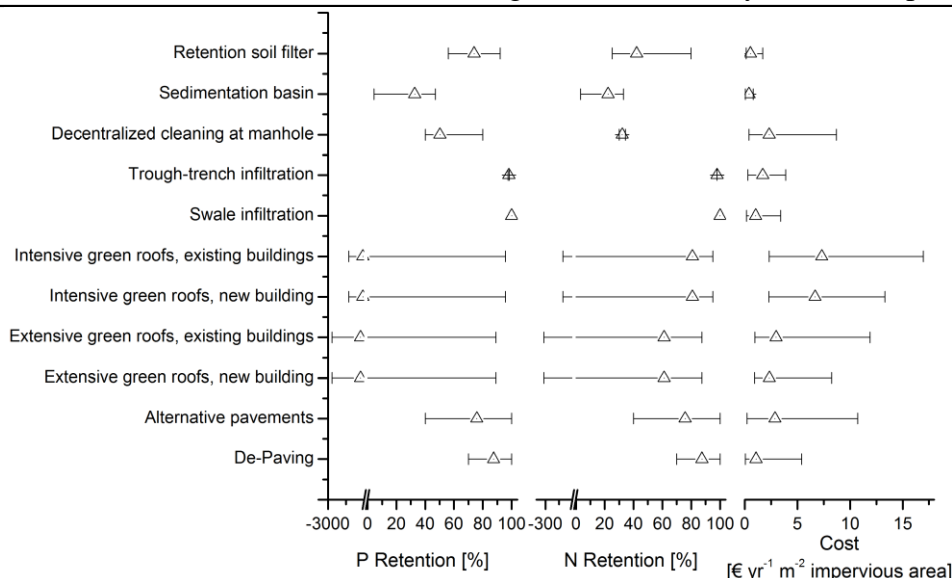
náklady (včetně plánování, výkupu pozemků a výstavby) a provozní náklady (včetně personálních nákladů, údržby a energie). Proto musí být posuzovány jak investiční, tak provozní náklady. Protože HDV opatření mají dlouhou dobu životnosti (např. vsakovací zařízení ≥ 15 let, sedimentační nádrže ≥ 50 let), je nezbytné zohlednit tyto náklady po celou dobu jejich životnosti. Zde jsou všechny budoucí investiční a provozní výdaje HDV opatření shrnuty do jednoho ukazatele zvaného „současná hodnota ročních nákladů“ podle metodiky dynamického porovnávání nákladů DWA a DVGW (2012). Aby bylo možno porovnávat náklady opatření různé velikosti, vztahuje se ukazatel na připojenou nepropustnou plochu. Tento ukazatel může sloužit jako rozhodovací kritérium pro identifikaci potenciálně nejlevnějšího řešení budoucího HDV.

Užívání zdrojů. Kromě výše uvedených zamýšlených přínosů pro životní prostředí ovlivňují HDV opatření životní prostředí i nepřímo, protože vyžadují další zdroje pro infrastrukturu, provoz a údržbu, např. stavební materiály nebo elektřinu pro čerpání. Používá se metoda Posouzení životního cyklu (Life Cycle Assessment) (ISO 14040/44 2006), kdy všechna přímá a nepřímá užívání zdrojů jsou zohledněna na základě typických návrhových parametrů a posouzena s ohledem na dopady na životní prostředí týkající se jak užívání omezených přírodních zdrojů (např. fosilních paliv nebo rud), tak s nimi spojených emisí (např. skleníkových plynů). HDV opatření se posuzují pomocí tří ukazatelů popisujících kumulativní potřebu energie z neobnovitelných zdrojů paliv (VDI 1997), snižování obsahu minerálů z abiotických zdrojů (Goedkoop et al. 2009) a potenciál globálního oteplování. Podobně jako u „přímých nákladů“ jsou ukazatele počítány pro rok a připojenou nepropustnou plochu.

Příklad vyhodnocení ukazatelů

Příklady výsledků na Obr. 2 pro efekt 6 “povrchová voda” (ukazatele: retence vnosu N a P oddílnou kanalizací) a efekt 7 “přímé náklady” (ukazatel: současná hodnota ročních nákladů) ukazují dva hlavní body:

1. Vybrané ukazatele umožňují předběžný výběr opatření. Např. „retenční půdní filtr“ je velmi účinný pro retenci P, avšak nikoliv pro retenci N, zatímco u většiny „zelených střech“ je tomu naopak. Náklady (kromě výkupu pozemků) jsou nejvyšší u „intenzivních zelených střech“. Na druhou stranu opatření s velmi odlišnými prostorovými měřítky, jako „retenční půdní filtry“ a dva druhy „vsakování“, mají podobné náklady na připojenou nepropustnou plochu.
2. Rozpětí nákladů a účinků může být značné (> 100 % průměru), což naznačuje velkou závislost na místních podmínkách a na typu opatření a jeho provozování (např. hnojené zelené střechy mohou být zdrojem živin). HDV opatření s nízkým rozpětím jsou zpravidla ta, pro něž bylo k dispozici málo dat.



Obr. 2: Průměrná, minimální a maximální účinnost vybraných HDV opatření s ohledem na retenci (snížení vnosu) fosforu a dusíku a současná hodnota ročních nákladů včetně investičních a provozních nákladů a nákladů na výkup pozemků (upraveno z Mutz et al. 2013).

ZÁVĚRY

- Prvním krokem při stanovení strategie HDV je posouzení místních problémů a s nimi spojených cílů.
- Druhým krokem je - pomocí ukazatelů definovaných v této studii - předběžný výběr určitých opatření založený na jejich schopnosti dosáhnout stanovených cílů (např. obnovení přirozeného koloběhu vody pomocí opatření podporujících výpar nebo vsak).
- Pro použití v širokém spektru situací musí být pro většinu účinků zváženo více než jeden ukazatel (např. pro efekt 6 „vnos do povrchových vod“ by retence živin měla být doplněna o ukazatele hydraulického stresu, hygieny, toxicity atd.).
- Jako třetí krok musí být vyhodnocen účinek opatření pro určitou městskou část, aby se snížily jejich nejistoty. Nakonec by navržená kombinace opatření měla být předložena k oponentuře všem místním zúčastněným stranám.

PODĚKOVÁNÍ

Výsledky byly získány v rámci projektů KURAS a Nitrolimit, převážně financovaných Německým ministerstvem vzdělávání a výzkumu (BMBWF) v rámci iniciativy FONA (Výzkum pro trvale udržitelný rozvoj). KWB bylo též spolufinancováno Veolia Water a Berliner Wasserbetriebe.

REFERENCE

- BBodSchV. 1999. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV): 34.
- Borchardt, D. 1992. Wirkungen stoßartiger stofflicher und hydraulischer Belastungen auf ausgewählte Fließgewässerorganismen? Wasser-Abwasser-Abfall 10: 174.
- Borchardt, D., B. Bürgel, A. Durchschlag, O. Grimm, M. Grottker, M. Halle, P. Podraza, D. Schitthelm, and M. Uhl. 2003. Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V.
- Burkhardt, M., Junghans, M., Zuleeg, S., Schoknecht, U., Lamani, X., Bester, K., Vonbank, R., Simmler, H., and Boller, M. 2009. Biocides in building facades - Ecotoxicological effects, leaching and environmental risk assessment for surface waters. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 21: 36-47.
- Dreiseitl, H., and Grau, D. 2009. Recent Waterscapes. Birkhäuser

- DWA, DVGW. 2012. Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, Hennef.
- DWA. 2005. Empfehlungen für Planung, Konstruktion und Betrieb von Retentionsbodenfilteranlagen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem. DWA-Merkblatt 178, Hennef.
- EU. 2000. European Water Framework Directive - Council Directive 2000/60/EC of 23 October 2000. EU.
- Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H. and Gaston, K.J. 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters* 3:390–394.
- Göbel, P., Stubbe, H., Weinert, M., Zimmermann, J., Fach, S., Dierkes, C., Kories, H., Messer, J., Mertsch, V., Geiger, W.F. and Coldewey, W.G. 2004. Near-natural stormwater management and its effects on the water budget and groundwater surface in urban areas taking account of the hydrogeological conditions. *Journal of Hydrology* 299(3-4): 267-283.
- Goedkoop, M. J., Heijungs, R., Huijbregts, M. A. J., De Schryver, A., Struijs, J. and Van Zelm, R. 2009. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; Report I: Characterization. <http://www.lcia-recipe.net>,
- GrwV. 2010. Verordnung zum Schutz des Grundwassers, Bundesgesetzblatt.
- Harlan, S. L., Brazel, A. J., Prashad, L., Stefanov, W. L., and Larsen, L. 2006. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social Science and Medicine* 63: 2847-2863.
- ISO 14040. 2006. Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework. International Standardisation Organisation, Geneva, Switzerland
- ISO 14044. 2006. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Standardisation Organisation, Geneva, Switzerland
- Kravčík, M.; Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M., Tóth, E. 2007. Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm. Publisher Municipalia, 94 pp. <http://www.waterparadigm.org/>
- Krejci, V., Kreikenbaum, S., and Fankhauser, R. 2004. Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter - Akute Ammoniak- und hydraulische Beeinträchtigungen. *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 9: 671-679.
- Lammersen, R. 1997. Die Auswirkungen der Stadtentwässerung auf den Stoffhaushalt von Fließgewässern. Schriftenreihe der Universität Hannover, Heft 15.
- Mutz, D., Matzinger, A., Remy, C. 2013. Massnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge urbaner Bereiche. Nitrolimit Diskussionspapier, 40.
- Oberndorfer E., Lundholm, J., Brass, B., Coffmann, R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. and Rowe, B. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *Bioscience*. 57: (10): 823 - 833.
- Oppermann, S. 2011. Beurteilung von Managementmaßnahmen am Berliner Halensee. Diploma thesis. TU Berlin.
- Riechel, M., Matzinger, A., Rouault, P., Schroeder, K., Sonnenberg, H., Pawlowsky-Reusing, E., and Leszinski, M. 2010. Application of stormwater impact assessment guidelines for urban lowland rivers – the challenge of distinction between background pollution and impacts of combined sewer overflows (CSO). Novatech 2010.
- Schmidt, M. 2010a. Ecological design for climate mitigation in contemporary urban living. *Int. Journal of Water*, Vol. 5, No. 4, 2010 pp 337-352
- Schmidt, M. 2010b. ‘A new paradigm in sustainable land use’, TOPOS, Vol. 70 ‘Sustainability’, pp.99–103, www.topos.de
- SenGUV. 2002. Abwasserbeseitigungsplan Berlin 2001 Teil 4 – Regenwasser- und Mischwasserableitung, Notüberläufe.
- SenStadt. 2010. Rainwater management concepts: Greening buildings, cooling buildings - Planning, construction, operation and maintenance guidelines, Berlin, Germany. 66 pp.
- VDI. 1997. VDI guideline 4600: 1997-06: Cumulative energy demand - Terms, definitions, calculation methods (in German). VDI Verlag, Düsseldorf, Germany.
- VDI. 2008. VDI guideline 3787 Part 2: Environmental meteorology – Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level – Part I: Climate. VDI Verlag, Düsseldorf, Germany.
- Weber, F., Kowarik and I., Säumel, I. 2014a. Herbaceous plants as filters: Immobilization of particulates along urban street corridors. *Environmental Pollution* 186: 234–240.
- Weber, F., Kowarik, I. and Säumel, I. 2014b. A walk on the wild side: perceptions of roadside vegetation beyond trees. *Urban Forestry and Urban Greening*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2013.10.010>.
- Weber, R., Schnier, J. and Jacobsen, T., 2008. Aesthetics of streetscapes: Influence of fundamental properties on aesthetic judgments of urban space. *Perceptual and Motor Skills* 106,128-146.
- Zweynert U., Sieker H., Hagendorf U., Kirschbaum B., Wunderlich D. 2007. Die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung ist Stand der Technik. *KA Abwasser Abfall* 54 (9): 883-886