

Die Stadt als hydrologisches System im Wandel

Mathias Uhl und Malte Henrichs, Münster

Die Stadt ist das bedeutsamste Habitat des Menschen. Sie deckt seine Bedürfnisse des Wohnens, Arbeitens, des Konsums sowie der Mobilität und wirkt über ihre Grenzen hinaus auf den Wasser- und Stoffhaushalt der Landschaft. Das Siedlungsgebiet wirkt als eigenständiges hydrologisches System der Mikroskale und ist Teil des urbanisierten Gewässereinzugsgebietes in der Mikro- und Mesoskale. Künftige Wandelprozesse des Klimas und der Gesellschaft beeinflussen Siedlung und Gewässer.

In dem Übersichtsbeitrag werden die grundsätzlichen Zusammenhänge beider hydrologischer Systeme verdeutlicht und das planerische Handlungsrepertoire für künftige Entwicklungen saldiert. Die jüngsten Entwicklungen des technischen Regelwerkes und Erkenntnisse des Verbundforschungsvorhabens SAMUWA innerhalb des BMBF-Förderschwerpunktes INIS finden Eingang.

1 Urbanisierung in Gewässereinzugsgebieten

1.1 Urbanisierung und Stadtgröße

Urbanisierung bezeichnet die Ausbreitung städtischer Lebensformen in Form (i) städtischer Bau- und Nutzungstypologien („physische Urbanisierung“), (ii) einer Verflechtung zwischen Stadt und Umland („funktionale Urbanisierung“) sowie (iii) der Verbreitung städtischer Verhaltensweisen („soziale Urbanisierung“, Heineberg 2000). Der Urbanisierungsgrad beschreibt den Anteil der Stadt- an der Gesamtbevölkerung, die Urbanisierungsrate die Änderung des Urbanisierungsgrades pro Zeit.

Der Urbanisierungsgrad in Deutschland betrug 1950 69 %, in 2015 73 % und für 2050 werden 84 % prognostiziert (destatis 2016). 90 % der 2062 Städte haben weniger als 50.000 Einwohner und beherbergen ein Drittel der Gesamtbevölkerung von 82 Millionen Menschen (Tabelle 1). Über die Hälfte der Bevölkerung wohnt in Städten unter 250.000 Einwohnern. Kleine und mittlere Städte sind somit von erheblicher Bedeutung für die Umsetzung von Maßnahmen zur nachhaltigen Entwicklung.

1.2 Siedlungs- und Verkehrsfläche

Die Bodenfläche Deutschlands von 357.409 km² war in 2015 zu 49.066 km² (13,7 %) als Siedlungs- und Verkehrsfläche ausgewiesen (Gebäude- und Freifläche (25.077 km²), Verkehrsfläche (18.108 km²), Betriebsfläche (ohne Abbauland), Erholungsfläche, Friedhof). „Siedlungs- und Verkehrsfläche“ und „versiegelte Fläche“ sind nicht gleich. Für NRW wurden 53 % der Siedlungs- und Verkehrsflächen als abflusswirksame befestigte Flächen ermittelt (MUNLV 2006). Deggau (2006) ermittelte für den Versiegelungsgrad der Siedlungs- und Verkehrsfläche die Spanne 35% bis 63%

Tabelle 1: Stadtgrößen und Bevölkerungsanzahl (Datenquelle: destatis 2015)

Einwohner	Anzahl der Städte	Einwohner		Anteil an der Gesamtbevölkerung
		Summe je Klasse	Summe gesamt	
< 10.000	895	4.938.641	4.938.641	6,1%
< 20.000	519	7.516.122	12.454.763	15,3%
< 50.000	464	14.183.199	26.637.962	32,8%
< 100.000	107	7.355.585	33.993.547	41,9%
< 150.000	23	2.694.961	36.688.508	45,2%
< 200.000	15	2.479.912	39.168.420	48,2%
< 250.000	13	2.929.075	42.097.495	51,8%
< 300.000	5	1.370.575	43.468.070	53,5%
< 500.000	7	2.438.735	45.906.805	56,5%
< 1.000.000	10	5.746.155	51.652.960	63,6%
< 2.000.000	3	4.239.055	55.892.015	68,8%
< 4.000.000	1	3.469.849	59.361.864	73,1%

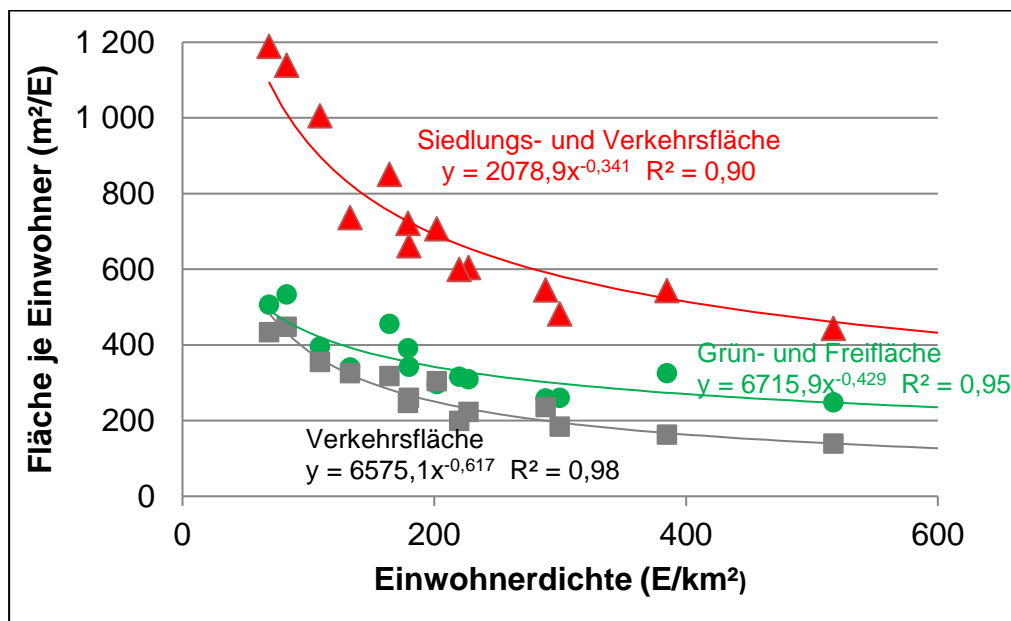


Abb. 1: Zusammenhang von Siedlungsdichte und Flächenanspruch (Datenquelle: DESTATIS 2015a)

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland erhöhte sich in 2014 um 252 km²/a (69 ha/d). Die nationale Nachhaltigkeitsstrategie fordert für 2020 maximal 30 ha/d. Der Flächenzuwachs von Siedlungs- und Freiflächen hat deutlich abgenommen. Der Zuwachs von Verkehrsflächen hingegen hat sich seit 1993 nicht signifikant verändert (DESTATIS 2015b).

Die Einwohnerdichte ist die entscheidende Einflussgröße für die Inanspruchnahme von Gebäude- und Freifläche sowie Verkehrsfläche. Die Einwohnerdichte und der Flächenbedarf je Einwohner stehen in einem umgekehrt proportionalen Verhältnis

(Abb. 1). In Bundesländern mit hohen Einwohnerdichten ist der einwohnerspezifische Bedarf an Siedlungs- und Verkehrsfläche gering. In „Flächenländern“ mit geringen Einwohnerdichten beanspruchen die Menschen deutlich mehr Fläche. Als Hauptursachen sind geringe Grundstückspreise sowie geringere Geschossigkeit der Gebäude anzunehmen.

1.3 Urbanisierte Gewässereinzugsgebiete

Die physische und die funktionale Urbanisierung beeinflussen den Wasser- und Stoffhaushalt der Landschaft. Der Primäreffekt ist die Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen. Sekundäreffekte sind die Entwicklung periurbaner Gebiete mit geringerer Siedlungsdichte, Entwicklung abflussverstärkender Flächennutzungen, Gewässerstrukturen sowie Infrastrukturen im Siedlungsumfeld. Eine Fragmentierung der Landschaft durch Infrastrukturtrassen sowie die Infrastrukturfolgekosten bei geringen Bebauungsdichten sind ebenfalls bedeutsam (Siedentop 2005).

Kleine und mittlere Gewässereinzugsgebiete im Land NRW weisen eine große Spannweite befestigter Flächenanteile auf (Abb. 2). Teilweise sind erhebliche Überprägungen durch befestigte Flächen festzustellen, die auf einen großen Handlungsbedarf zur Emissionsminderung der Abflussmenge und –güte hinweisen.

2 Hydrologie urban geprägter Einzugsgebiete

2.1 Wasserhaushalt und Abflussregime

Siedlungsgebiete prägen den Wasserhaushalt der Landschaft und das Abflussregime der Gewässer. Die Bebauung von Einzugsgebieten ist der umfassendste Eingriff für Gewässer (Baumgartner und Liebscher 1996) infolge der Flächenversiegelung sowie der häufig erheblichen Eingriffe in die Gewässermorphologie und Ufervegetation. Die hydrologischen Merkmale der Urbanisierung sind mannigfaltig untersucht (u.a. Leopold 1968, White and Greer, 2006, Ya 2012, Barron et al. 2013) und können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Abflussganglinien mit erhöhten Abflussvolumina, höhere und früher auftretenden Abflussspitzen sowie geringeren Dauern (Abb. 3)
- Abflussregime mit (i) höheren Häufigkeiten kleiner und mittlerer Hochwasserabflüssen mit kurzen Dauern (2-24 Stunden) und geringen Wiederkehrintervallen (1-10 Jahre) sowie (ii) verminderten Niedrigwasserabflüssen infolge der verminderten Grundwasserneubildung
- Wasserhaushalt mit hohem Oberflächenabfluss, geringer Grundwasserneubildung sowie geringer Verdunstung

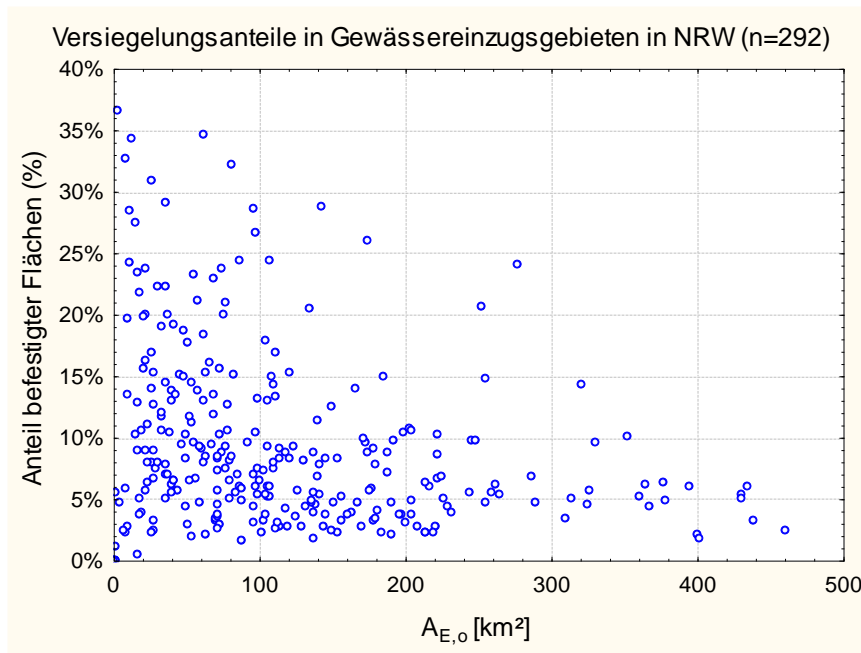


Abb. 2: Anteil befestigter Flächen von Gewässereinzugsgebieten in NRW
(n= 292; Stand 2010; Basis: Siedlungs- und Verkehrsflächen nach ATKIS Objektnr. 2100, 2200, 3000 und Befestigungsgrade gemäß MUNLV 2006)

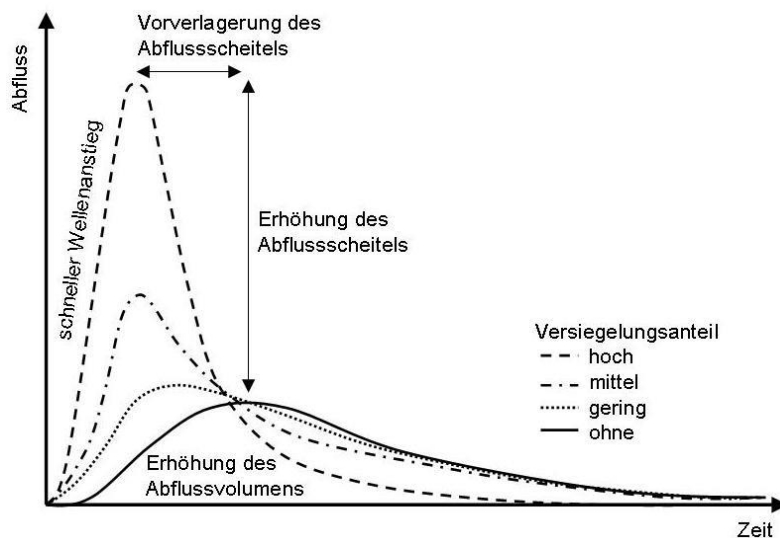


Abb. 3: Veränderung von Abflussganglinien abhängig vom Versiegelungsanteil

Das veränderte Abflussregime erhöht den Sedimenttransport und die Häufigkeit von Organismendrift, so dass die ökologische Qualität der Gewässer verringert wird (u.a. Booth and Jackson 1997). Bei Versiegelungsanteilen im Einzugsgebiet von etwa 2% zeigen sich erste Änderungen des Abflussregimes. Versiegelungsanteile über etwa 5% bewirken Schäden an Morphologie und Biozönose (Yang et al. 2010).

Hochwasserabflüsse großflächiger Starkregenereignisse werden nur unmaßgeblich durch Siedlungsgebiete beeinflusst, sondern durch die Abflusscharakteristik des weiterhin dominierenden unbesiedelten Einzugsgebietes. Sturzfluten infolge lokaler Starkniederschläge führen in Siedlungsgebieten zu hohen Schadenssummen, wenn

Entwässerungsnetze und kleine lokale Gewässer überlastet werden. Große Gewässer reagieren auf Sturzregen zumeist nur unwesentlich.

Die anthropogene Beeinflussung von Gewässereinzugsgebieten kann mesoskalig durch die „Hydrologische Güte“ (Eisele und Leibundgut 2006) aufgrund von Kenndaten des Einzugsgebietes und des Gewässers bewertet werden.

2.2 Stoffliche Belastung der Niederschlagsabflüsse aus Siedlungsgebieten

Niederschlagsabflüsse enthalten Stoffe aus anthropogenen Nutzungen. Urbane Gewässer werden vornehmlich durch die häufigen Einleitungen aus Trennsystemen und von Straßen sowie die selteneren Überläufe aus Mischsystemen belastet.

Metastudien (u.a. Uhl und Kasting 2002, Brombach und Fuchs 2003a, 2003b, Welker 2004, Göbel et al. 2016) bis dato publizierter Messprogramme zeigen, dass Niederschlagsabflüsse aus Trennsystemen und von Straßen vornehmlich durch abfiltrierbare Stoffe, Schwermetalle, MKW und PAK geprägt werden. Gesamtphosphor kann bei Einleitungen in eutrophe Gewässer zusätzlich bedeutsam sein. Die Entlastungsabflüsse des Mischsystems führen vorrangig zu Belastungen durch abfiltrierbare Stoffe, Kohlenstoffverbindungen, Nährstoffe und Ammonium, das zum toxischen Ammoniak dissoziieren kann. Viele umweltrelevante Stoffe sind an die Feinfraktion abfiltrierbarer Stoffe ($< 63 \mu\text{m}$, AFS_{fein} oder AFS63) gebunden, der mittlerweile die Rolle als Leitparameter zukommt. Die Emissionen von Mikroschadstoffen sowie von Toxinen aus Bauprodukten wurden in jüngerer Zeit intensiver untersucht.

Die Konzentrationen und Frachten sind abhängig von der Art des Entwässerungssystems, der Flächennutzung, der Intensität und Dauer der abflusswirksamen Regenergebnisse sowie deren meteorologischen Vorgeschichte. Innerhalb eines Abflussergebnisses ist häufig eine hohe abflussabhängige Variabilität zu beobachten. Für die Immissionswirkung im Gewässer sind Konzentrationen oder Frachten der jeweiligen Inhaltsstoffe verantwortlich.

2.3 Immissionswirkungen der Niederschlagsabflüsse aus Siedlungsgebieten

Die Einleitungen von Niederschlagsabflüssen aus Siedlungsgebieten wirken auf das Abflussregime, die Gewässergüte, die Morphologie und die Biozönose der Gewässer (u.a. Borchardt 1998). Abhängig vom Abfluss und der Stoffgruppe (sauerstoffzehrende Stoffe, Nährstoffe, Schadstoffe) sind akute, verzögerte und Langzeitwirkungen zu beobachten. Sie können von lokaler, regionaler und überregionaler Bedeutung sein. Neben den Emissionen müssen die Eigenschaften des Gewässers (Typ, Abflusscharakteristik, Morphologie, Eutrophierungsgrad und Vorbelastung) sowie die Nutzung des Einzugsgebietes berücksichtigt werden.

Die Morphologie und Abflusssdynamik der Gewässer sind entscheidende abiotische Einflussgröße für aquatische Habitate (u.a. Leibundgut 1996, Sommerhäuser et al 1998, Tetzlaff 2003). Veränderungen der Abflusssdynamik wirken sich auf die Gewäs-

sermorphologie und –biozönosen aus. Eine Erhöhung häufiger, kleiner Hochwasserabflüsse führt zu verstärkter Sohlen- und Ufererosion sowie Driftereignisse des Makrozoobenthos („hydraulischer Stress“). Wiederbesiedlung und Reproduktion der Benthosorganismen werden behindert mit der Folge verringerter Organismenanzahl und eine Artenverarmung zugunsten wenig spezifischer Arten (Ubiquisten).

Mischwasserentlastungen können akute Auswirkungen infolge hoher Konzentrationen von Ammonium (Ammoniaktoxizität) und organischen Kohlenstoffverbindungen (Sauerstoffmangel) verursachen. Die Ereignis- oder Jahresfracht von Nährstoffen trägt zur Eutrophierung von Oberflächengewässern bei.

Einleitungen der Niederschlagsabflüsse aus Trennsystemen und von Straßen wirken zumeist langfristig durch die Akkumulation von Schwermetallen und organischen Schadstoffen im Gewässersediment und der Biozönose.

Ein verminderter Trockenwetterabfluss beschränkt den Lebensraum von Fischen. Die Wasserqualität verschlechtert sich, wenn Einleitungen auf eine verminderte Wasserführung treffen. In abflussarmen Zeiten können kleine, urban geprägte Gewässer vollständig trockenfallen, so dass die aquatische Fauna abstirbt.

2.4 Stadtklima

Das Stadtklima wird durch geringere Windgeschwindigkeiten, erhöhte Lufttemperaturen, geringere Luftfeuchtigkeit und erhöhte Niederschläge (v.a. in Lee-Lagen) geprägt (Kuttler 2013). Der urbane Wasserhaushalt ist durch erhöhten Oberflächenabfluss, verringerte Grundwasserneubildung und verringerte Verdunstung gekennzeichnet. Die Verdunstung ist das wesentliche Bindeglied zwischen Wasserhaushalt und Stadtklima, da deren Energiebedarf die Lufttemperatur verringert.

3 Wandelprozesse

Die Veränderungen von Randbedingungen sind für heutige Planungsprozesse von höherer Relevanz als in der Vergangenheit. Dies erfordert die umfassenderen Erkenntnisse über Wandelprozesse, bessere Prognoseinstrumente sowie sozioökonomische Bewertungen der langfristigen Infrastrukturkosten. Für die Siedlungswasserwirtschaft sind die Wandelprozesse in folgenden Bereichen bedeutsam:

- Klimawandel (Veränderung der Niederschlagscharakteristik, Veränderung der Verdunstung und der Lufttemperatur)
- Demographie (Flächenbedarf, Mobilität, Wasserbedarf und Abwasseranfall, Stoffemissionen, Refinanzierung von Infrastruktur)
- Mobilität (Stoffemissionen, Flächenbedarf)

- Technologie (IT-/MSR-Bereich, Emissionsminderung, Verfahrenstechnik, Betrieb, Planungsinstrumente)
- Politik (rechtliche und technische Vorgaben, Sicherheit)
- Ökonomie (volkswirtschaftliche Rahmenbedingungen)

4 Handlungsfelder und Maßnahmen

4.1 Flächennutzung

Siedlungs- und Verkehrsflächen verursachen hydrologische Belastungen. Eine restriktive Flächennutzung leistet Beiträge zu Resilienz und Umweltentlastung.

4.1.1 Bauliche Maßnahmen

Maßnahmen zur Steuerung der Flächennutzung und des Städtebaus setzen an mehreren Punkten an:

- Flächenmanagement-Systeme und Kosten-Nutzen-Analysen zur Steuerung und ökonomischen Beurteilung von Siedlungsentwicklung von Kommunen
- Flächenentsiegelung und -begrünung (öffentliche und private Verkehrsflächen, Höfe, Dachflächen von Wohn-, Misch und Gewerbegebieten)
- Verdichtung des Siedlungsbestandes (Baulücken, Brachflächen, Sanierung, Geschossigkeit)
- hohe Dichte bei Neubaumaßnahmen (GRZ und GFZ) sowie konsequente Beschränkung der Folgeversiegelung für Freiflächen
- neue baurechtliche Kategorie „urbane Gebiete“ mit höheren Nutzungsdichten
- restriktive Ausweisung neuen Baulandes im peri-urbanen Bereich
- Beschränkung der Wohnungsbauförderung auf verdichtete Bauweisen

4.1.2 Information und Bildung

Informations- und Bildungsmaßnahmen zur Information unterstützen die Meinungsbildung und das Verhalten der Bevölkerung als Umweltnutzer. Für eine verantwortliche Flächennutzung sind Informationen über den Flächenverbrauch, die Regenwasserbewirtschaftung sowie den individuellen Wohnflächenbedarf erforderlich.

4.1.3 Fördermaßnahmen

Anreize durch Fördermaßnahmen oder fiskalische Entlastungen tragen zur Minderung des Flächenverbrauchs bei:

- Förderung von Maßnahmen zur Flächenentsiegelung und –begrünung und zur Regenwasserbewirtschaftung
- qualitative Aufwertung der Wohnstandorte im Innenbereich von Kommunen
- Minderung der Pendlerpauschale

4.2 Planungsansätze

Die Änderungen in der Fachplanung der Wasserwirtschaft, der Siedlungswasserwirtschaft aber auch im Städtebau und der Freiraumplanung haben gute Voraussetzungen für Umweltentlastungen und Zukunftsentwicklungen geschaffen, die es konsequent zu nutzen gilt. Planungstheoretisch ist zwischen Mitigation (Ursachenbekämpfung) und Adaption (Anpassungsmaßnahmen) zu differenzieren.

4.2.1 Integrale Planung

Das Arbeitsblatt DWA-A 100 „Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung“ konkretisiert die konzeptionelle Entwicklungsplanung der Siedlungsentwässerung. Die Veränderungen des Wasserhaushaltes durch Siedlungsaktivitäten sind in mengenmäßiger und stofflicher Hinsicht so gering zu halten, wie es technisch, ökologisch und wirtschaftlich vertretbar ist. Für urbane Gewässer ist die integrale Entwässerungsplanung das entscheidende Planungsinstrument zur Verknüpfung von Maßnahmen der Siedlungsentwässerung und der Gewässerentwicklung (DWA-M 609 2009, DWA-A 100 2005). Kernpunkte der integralen Planung sind:

- ganzheitlicher Planungsansatz für Siedlungsentwässerung und -gewässer zur engen Verzahnung mit der WRRL
- Monitoring im Entwässerungssystem und Gewässer zur Erhebung von Grundlagendaten und zur Erfolgskontrolle
- Realisierung von Stufenlösungen mit Flexibilität für künftigen Entwicklungen und Anpassungsbedarf („no regret“ - Prinzip)
- Koordination und Kooperation mit anderen Planungsvorhaben und -trägern

4.2.2 Emissions- und Immissionsprüfung

Der kombinierte Ansatz von Emissions- und Immissionsprinzip der WRRL wird für die Siedlungsentwässerung im künftigen Arbeitsblatt DWA-A 102 Teil A und Teil B (auch: BWK Arbeitsblatt 3) konkretisiert.

Das künftige DWA-A102 Teil A behandelt die Emissionsanforderungen mit der übergeordneten Zielsetzung des DWA-A 100, die Veränderungen des örtlichen Wasserhaushaltes in mengenmäßiger und stofflicher Hinsicht so gering wie möglich und vertretbar zu halten. Zielgröße der Wassermenge ist die langjährige Wasserbilanz aus Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung. Zielgröße zur Wassergüte ist die Jahresfracht der Feinfraktion abfiltrierbarer Stoffe AFS (Korndurchmesser

< 63 µm, neue Bezeichnung AFS63), die auch als Stellvertretergröße für die vorwiegend partikulär gebundenen Stoffe in Niederschlags- und Mischwasserabflüssen gilt.

Das künftige DWA-A102 Teil B enthält Immissionsprüfungen für niederschlagsbedingte Einleitungen aus Misch- und Trennsystemen in oberirdische Fließgewässer. Die Nachweisführung kann durch eine Relevanzprüfung, rechnerisch vereinfacht, rechnerisch detailliert oder durch Messungen und biologische Untersuchungen erfolgen. Maßnahmen zur Begrenzung der Belastungen werden benannt. Die Immissionsprüfung sichert nach derzeitigem Kenntnisstand ab, dass die Ziele der WRRL durch die Siedlungsentwässerung nicht beeinträchtigt werden.

Änderungen der Emissionsgrößen und der Immissionssituation werden durch die beiden konsistenten Teile des Arbeitsblattes berücksichtigt.

4.2.3 Wassersensitive Stadtplanung

Wassersensitive Stadtplanung (Water Sensitive Urban Design, WSUD) beschreibt einen transdisziplinären Planungsansatz, der die wasserwirtschaftlichen Belange und die gestalterischen Potenziale des Wassers im Siedlungsraum verknüpft (Fletcher et al. 2014). In enger Zusammenarbeit von Wasserwirtschaft, Städtebau und Freiraumarchitektur werden Lösungen entwickelt, die dem Wasserhaushalt, dem Überflutungsschutz, den urbanen Gewässern, dem Stadtklima, der Stadtökologie, der Identität und Qualität des Stadtraumes sowie dem Lebensumfeld der Menschen dienlich sind. Als Planungsraum wird zumeist das Grundstück, das Quartier und der Stadtteil, die Gewässerachsen oder im Einzelfall der ganze Stadtraum bearbeitet.

Aus freiraumplanerischer Sicht weist Behneke (2003) die Negativfolgen einer fragmentierten Stadtlandschaft nach, die sich bei isolierter Umsetzung dezentraler Einzelmaßnahmen ergibt. Kruse (2014) begründet damit einen meso-/mikroskaligen Planungsansatz (IWRM) für größere funktional-gestalterisch konsistente Gebietseinheiten.

Deister et al. (2016) empfehlen einen „Wasserplan“ als mesoskalig gliedernden konzeptionellen Fahrplan für Freiraumplanung und Siedlungswasserwirtschaft.

4.3 Maßnahmen

4.3.1 Flächenabkopplung

Die an das Kanalnetz angeschlossenen Flächen zu reduzieren ist eine sehr effiziente Maßnahme zur Minderung der hydraulischen und stofflichen Emissionen. Ein Rückbau versiegelter Flächen kann bei Sanierungsmaßnahmen im öffentlichen, gewerblichen und privaten Bereich erfolgen. Dazu gehört die Verkleinerung, durchlässige Befestigung oder Begrünung von Verkehrs- und Hofflächen, eine nachträgliche Dachbegrünung sowie Umstellung auf Anlagen zur Regenwasserbewirtschaftung.

Für die dicht besiedelten Städte im Emscherraum wurde ein realistisches Abkopplungspotenzial von 15 % des versiegelten Flächenbestandes in der „Zukunftsvereinbarung Regenwasser“ festgehalten. Mit Stand 5/2016 wurden bereits 7,1 % Abkopplung erzielt. Schmitt et al. (2016) weisen nach, dass die Flächenabkopplung zu einer

deutlich überproportionalen Reduktion von Entlastungsabflüssen und -frachten in einem der großen Mischsysteme in Dortmund führt.

4.3.2 Regenwasserbewirtschaftung

Die Regenwasserbewirtschaftung beinhaltet planerische, gestalterische und bauliche Maßnahmen zur Vermeidung, Versickerung, naturähnlich verzögerten Ableitung sowie zur dezentralen Reinigung der Niederschlagsabflüsse befestigter Flächen.

Das Ziel ist, den Wasserhaushalt entwässerungstechnisch neu zu erschließender Gebiete (Neubau- und Konversionsgebiete) dem unbebauten Zustand anzunähern (Arbeitsblatt DWA-A102 Teil A). Das vereinfachte Wasserbilanzverfahren für Siedlungsgebiete „WABILA“ unterstützt hierzu die Planer (Henrichs et al. 2014).

Die Regenwasserbewirtschaftung ist vorwiegend dezentral oder semizentral auf den Grundstücken und im Quartier organisiert. Folgende Module werden kombiniert:

- Minimierung versiegelter Flächen (Erschließungsart, durchlässige befestigte Flächen), Dachbegrünung)
- Regenwasserversickerung (Mulden, Mulden-Rigolen-System)
- Begrünung (Dachbegrünung, Gehölzpflanzung, Grünflächenbewässerung)
- Regenwassernutzung (Grünflächenbewässerung, Betriebswasser)
- oberflächige, verzögernde Ableitung (Retention)
- dezentrale Behandlung (Belastungsschwerpunkte)

Die Infrastruktur zur Regenwasserbewirtschaftung wird vornehmlich an die Geländeoberfläche verlagert und daher funktional und gestalterisch gemeinsam mit der Freiraumplanung entwickelt. Zahlreiche kleine und große Erschließungsprojekte haben seit über 20 Jahren die Regenwasserbewirtschaftung erfolgreich umgesetzt. Sie ist allgemein anerkannte Regel der Technik.

Die Regenwasserbewirtschaftung kann die Verdunstung wirksam erhöhen und damit einen Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas leisten. Die Verdunstung in Stadtgebieten wird durch eine lockere, höhengestaffelte Vegetation („Savannentyp“) ohne Wasserstress am effektivsten erhöht. Eine Grünflächenbewässerung nahe der Feldkapazität ist günstig. Die Beschattung von Flächen durch höherwüchsige Vegetation wirkt temperaturmindernd (Kuttler 2013). Durchlässige, begrünte Oberflächenbefestigungen zeichnen sich durch hohe Verdunstung und hohe Grundwasserneubildung aus (Starke et al. 2010). Gebäudebegrünung erhöht die Verdunstung. Offene Wasserflächen tragen weniger als Grünflächen zur Verdunstung bei, da ihre verdunstungsaktive Fläche geringer ist. Wasserkörper wirken zudem als Wärmespeicher, die die nächtliche Abkühlung der Umgebung verzögert.



Abb. 4: Versickerungsmulde



Abb. 5: Retentionsgraben

4.3.3 Rückhaltung von Niederschlagsabflüssen

Regenrückhalteanlagen im Trenn- und Mischsystem dienen zur Minderung der hydraulischen Belastung von Siedlungsgewässern auf ein gewässerökologisch vertretbares Maß (vgl. u.a. Arbeitsblatt DWA-A 102-2). Sie werden als zentrale Becken bevorzugt ohne Dauerstau in Erdbauweise erstellt (DWA-A117, DWA-A166). Die Einleitung aus dem Becken in das Gewässer soll möglichst die natürliche Abflussdynamik im Gewässer nachbilden. Ungünstig sind plötzlich einsetzende Abflüsse, da sie den Gewässerlebewesen keine Zeit zum Rückzug in Refugialhabitate lassen. Technisch auf einen konstanten Wert geregelte Abflüsse behindern die natürliche Hochwasserdynamik und tragen zu uniformen hydraulischen Verhältnissen bei. In baulich oder morphologisch beengten Verhältnissen kann die Rückhaltewirkung teilweise auch in das Gewässer verlagert werden (MUNLV 2008).

4.3.4 Behandlung von Niederschlagsabflüssen

Die Behandlung von Niederschlagsabflüssen dient der Emissionsminderung vor Einleitung in ein Oberflächengewässer oder in das Grundwasser. Die Behandlungserfordernisse wird im künftigen DWA-A 102 im Rahmen einer Emissionsbilanz und einer Immissionsprüfung ermittelt. Zentrale Behandlungsanlagen sind der Regelfall. Im Einzelfall sind an „hot spots“ dezentrale Anlagen zweckmäßig, für die in letzter Zeit sehr viel Produkt- und Regelwerksentwicklung betrieben wurde.

Sedimentationsanlagen eignen sich bei grobpartikulären Stoffen und mit minderem Wirkungsgrad auch bei feinputikulären Stoffen. Das DWA-A 102 verringert die zulässige Oberflächenbeschickung von Sedimentationsbecken von 10 m/h auf 4m/h, um die bislang sehr mäßigen Wirkungsgrade der Sedimentationsbecken zu erhöhen. Weitere Hinweise enthält das einschlägig technische Regelwerk. Forschungsvorhaben untersuchen derzeit die hydromechanischen Eigenschaften von Sedimentationsbecken mit Vorschlägen für die Sanierung und den Neubau von Becken. Die Teilbehandlung des Jahresabflusses auf der Kläranlage ist ein wichtiger Baustein der Behandlung niederschlagsbedingter Abflüsse in Trenn- und Mischsystemen.

Retentionsbodenfilteranlagen können feinpartikuläre und ausgewählte gelöste Stoffe zuverlässig mit hohem Wirkungsgrad zurückhalten. Die Neufassung technischer Regeln ist erfolgt (MKULNV 2015) oder steht kurz bevor (künftiges DWA-A 178).

4.3.5 Überflutungsvorsorge

Um lokale Überflutungsrisiken zu minimieren, sind Maßnahmen auf unterschiedlichen Ebenen, wie Infrastruktur, Gewässer, Siedlungsflächen, Grundstück, Kanalnetz und Verhalten sinnvoll. Zum Nachweis der Überflutungsgefährdung und des Schadenspotenzials werden seit einigen Jahren 2-dimensionale Simulationsmodelle für Überflutungsprüfungen nach DWA-M 119 (2016) und DIN EN 752 eingesetzt. Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge sind

- wassersensitive Verkehrs- und Straßenplanung,
- Schaffung von Notwasserwegen,
- multifunktionale Nutzung von Freiflächen als Rückhaltevolumina.

Des Weiteren reduzieren auch die Maßnahmen zur Flächenabkopplung, Betriebsoptimierung und Regenwasserbewirtschaftung sowie die wassersensitive Stadtplanung das Überflutungsrisiko.

4.3.6 Betriebsoptimierung

Leistungsreserven bestehender Abwasserinfrastruktur können mit Optimierungszielen zur Emissions- und Kostenminderung aktiviert werden. Die Leistung von Kläranlagen muss auch bei Mischwasserabfluss voll genutzt werden. Die Drosselabflüsse von Regenbecken im Mischsystem sind integral an die Leistung der Kläranlage anzupassen und untereinander abzustimmen (vgl. Henrichs und Leutnant 2017). Die Pumpenleistung und der Betrieb von Pumpwerken müssen dem Bedarf angepasst und untereinander statisch oder variabel abgestimmt werden. Das Stauvolumen im Kanalnetz kann voll genutzt werden. Eine gründliche Analyse des realen Betriebes liefert die Grundlage für Netzoptimierungen durch bauliche Maßnahmen sowie durch Kanalnetzsteuerung. Diese wird mit zuverlässiger MSR-Technik umgesetzt (DWA-M 180 2005, Hoppe et al. 2011).

4.3.7 Siedlungsgewässer

Siedlungsgewässer werden durch Einleitungen der Siedlungsentwässerung belastet. Maßnahmen zum Rückhalt, zur Behandlung oder zur Beschränkung von Einleitungen können erforderlich sein aufgrund der Emissions- und Immissionsanforderungen, der Maßnahmenprogramme (§ 82 WHG), der Bewirtschaftungspläne (§ 83 WHG), der Wasserschutzgebietsverordnungen oder Regelungen der Bundesländer.

Renaturierungsmaßnahmen können morphologische und ökologische Defizite siedlungsdominierter und -tangierender Gewässer beseitigen oder mindern. Ziel ist zumindest das gute ökologische Potenzial, wenn die gute ökologische Qualität nicht erreichbar ist. Eine enge Verknüpfung mit Freiraumplanung und Städtebau ist obligatorisch. Nähere Ausführungen enthält DWA-M 609-1.

Die Gewässerauen von Siedlungsgewässern sind meist stark degradiert. Neubebauung ist weitgehend verboten. Der Rückbau oder die Umgestaltung degradierter Auen und Randzonen sind hochrangige Ziele der Gewässerökologie, des Hochwasserschutzes und offerieren große Chancen für Städtebau und Landschaftsarchitektur. Die ökologische Aufwertung auch nur von Abschnitten können wertvolle Beiträge für ein Trittstein- und Strahlwirkungskonzept eines Siedlungsgewässers sein.

5 Fazit

Städte sind der eindeutig bevorzugte Lebens- und Wirtschaftsraum der Menschen in Deutschland mit einem hohen Anteil an Klein- und Mittelstädten. Urbane Gebiete und urbanisierte Gewässereinzugsgebiete weisen erhebliche hydrologische Auswirkungen auf Wasserhaushalt und Abflussregime insbesondere kleiner und mittlerer Gewässer auf. Gemeinsam mit morphologischen Degradationen und Stoffemissionen führen sie zu ökologischen Defiziten in Oberflächengewässern. Die Prozesse können als gut verstanden gelten. In Forschungsvorhaben und im technischen Regelwerk wurden die Voraussetzungen für planerisches Handeln im urbanen Raum geschaffen, das den Zielen der EG-Wasserrahmenrichtlinie entspricht. Konzeptionelle Basis ist die „integrale Entwässerungsplanung“. Mit „water sensitive urban design“ lassen sich gemeinsam mit Städtebau und Freiraumplanung Synergien aktivieren, die mittels „blue-green infrastructure“ Mehrwerte und Lösungen zum Umgang mit den Wandelprozessen der Zukunft bieten.

Literatur

- Baumgartner A, Liebscher H J: Lehrbuch der Hydrologie Band 1 Allgemeine Hydrologie, Verlag Gebrüder Borntraeger Berlin Stuttgart, 1996.
- Barron OV, Barr AD, Donn MJ: Effect of urbanization on the water balance of a catchment with shallow groundwater. In: Journal of Hydrology, 485, pp. 162–176, 2003.
- Beneke G: Regenwasser in Stadt und Landschaft. Vom Stück-Werk zur Raumentwicklung. Plädoyer für eine Umorientierung. Beiträge zur räumlichen Planung 70. Hannover: Institut für Freiraumentwicklung und Planungsbezogene Soziologie, Universität Hannover, 2003.
- Borchardt D (1998) Auswirkungen von Mischwassereinleitungen auf den Sauerstoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern: Fallbeispiel Kuhbach (Hessen). GWF Wasser Abwasser 139 (1998), Heft 6, 1998.
- Brombach HJ, Fuchs S: Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen, Abschlussbericht, ATV-DVWK-Forschungsfonds 2001, Projekt 1-01, GFA Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, 2003a.
- Brombach HJ, Fuchs S: Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkanalisationen, Korrespondenz Abwasser 50, Nr. 4, S. 441-450, 2003b.
- Deggau M: Nutzung der Bodenfläche – Flächenerhebung 2004 nach Art der tatsächlichen Nutzung, Wirtschaft und Statistik 3 2006Hrsg Statistisches Bundesamt Wiesbaden, S 212-219, 2006.
- Deister L, Brenne F, Stokman A, Henrichs M, Jesulke M, Hoppe H, Uhl M: Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung. Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter. SAMUWA Publikation, 2016. http://www.samuwa.de/img/pdfs/leitfaden_wassersensible_stadtentwicklung.pdf, am 10.1.2017.
- DESTATIS: Daten aus dem Gemeindeverzeichnis-Städte in Deutschland nach Fläche und Bevölkerung auf Grundlage des Zensus 2011 und Bevölkerungsdichte, 2015a.
- DESTATIS: Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Fachserie 3 Reihe 5.1, 2015b.

- DWA-A 100: Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung. DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2006.
- DWA-A 102-A (in Bearbeitung): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Teil A: Emissionsbezogene Bewertungen und Regelungen für Regenwetterabflüsse in Siedlungen, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2016.
- DWA-A 102-B (in Bearbeitung): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Teil B: Immissionsbezogene Bewertungen und Regelungen zur Einleitung von Regenwetterabflüssen in Oberflächengewässer, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2016.
- DWA-A117 Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2014.
- DWA-A166 Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2013.
- DWA-A 178 (in Bearbeitung): Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2016.
- DWA M 609-1 Entwicklung urbaner Fließgewässer, Teil 1: Grundlagen, Planung und Umsetzung, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2009.
- DWA M 609-2 Entwicklung urbaner Fließgewässer, Teil 2: Grundlagen, Planung und Umsetzung, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2016.
- DWA-M 119 Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2016.
- DWA-M 180 Handlungsrahmen zur Planung der Abflusssteuerung in Kanalnetzen, DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2005.
- Eisele M, Leibundgut Ch: Hydrologische Güte – ein Beitrag zur erweiterten Bewertung von Flusseinzugsgebieten im Gewässerschutz. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Bd 21 Institut für Hydrologie, Albrecht-Ludwigs-Universität Freiburg i Br., 2006.
- Fletcher TD, Shuster W, Hunt WF, Ashley R, Butler D, Arthur S, Trowsdale S, Barraud S, Semadeni-Davies A, Bertrand-Krajewski JL, Mikkelsen PS, Rivard G, Uhl M, Dagenais D: SUDS, LID, BMPs, WSUD and more - The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. - In: Urban Water Journal Vol 12, Issue 7, pp. 525-542, ISSN 1573-062X, 2015.
- Göbel P, Bürgel B, Burkhardt M, Düster L, Fitz M, Fröhlich R, Fuchs S, Hillenbrand T, Nehls T, Starke P, Uhl M, Welke A: Diffuse Stoffausträge in Gewässer aus Siedlungs- und Verkehrsflächen. DWA Themen, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, ISBN 978-3-88721-267-4, 2016.
- Heineberg H: Stadtgeographie. Verlag Schöningh, Paderborn, 3. Auflage, ISBN 3-8252-2166-0, 2006.
- Henrichs M, Langner J, Uhl M: Entwicklung eines Bilanzmodells für den urbanen Niederschlagswasserhaushalt. In: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband [Hrsg.] AQUA URBANICA 2014 -Misch- und Niederschlagswasserbehandlung im urbanen Raum. Wien: Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, ISBN 978-3-902978-28-8, 2014.
- Henrichs, M. und Leutnant, D. (2017): Optimierung der Art und Lage von Mischwasserbehandlungsanlagen. In: IWARU Institut für Wasser.Ressourcen.Umwelt (Hrsg.): Wasser in deiner Stadt von Morgen. Münster: Fachhochschule Münster, ISBN 978-3-938137-93-2.
- Hoppe, H., Messmann, S., Giga, A., und Gruening, H. (2011): A real-time control strategy for separation of highly polluted storm water based on UV-Vis online measurements--from theory to operation. In: Water Science and Technology, 63(10), S. 2287–93.
- KFZ-Bundesamt: http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html, 13.12.2016
- Kruse E: Integriertes Regenwassermanagement für den wassersensiblen Umbau von Städten, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-9474-5, 2015.
- Kuttler W: Klimatologie. Verlag Schöningh, Paderborn, 2. Auflage, ISBN 978-3-8252-4059-2, 2013.
- Leibundgut Ch: Abflussdynamik – unbekannte Größe im Gewässerschutz ? In: Lebensraum Gewässer – nachhaltiger Gewässerschutz im 21. Jahrhundert. Proceedings eines internationalen Symposiums. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser und Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg e.V. (Hrsg), S 37-51, 1996.

- Leopold LB: Hydrology for Urban Land Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects of Urban Landuse US Geological Survey Circular 554, 1968.
- MKULNV: Retentionsbodenfilter – Handbuch für Planung, Bau und Betrieb. Minister für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW (MKULNV), Düsseldorf (Hrsg.), 2016.
- MUNLV: Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen 12. Aufl, Hrsg Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2006.
- MUNLV: Handlungsanleitung bei punktuellen Niederschlagswassereinleitungen für die Ermittlung gewässerstruktureller Maßnahmen. Bearbeitung : Prof. Dr. Brunotte, Universität zu Köln, Dr. Koenzen, Planungsbüro Koenzen, Dr. A. Niemann, Dahlem Beratende Ingenieure GmbH&Co. Wasserwirtschaft KG im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Stand 2008.
- Schmitt TG, Grün E, Spengler B, Becker M: Aktiver Gewässerschutz durch Regenwasserabkopplung. Korrespondenz Abwasser, Abfall 63, Nr. 12, S. 1055-1061, 2016.
- Siedentop S: Problemdimensionen der Flächeninanspruchnahme. Dokumentation der Fachtagung „Flächenverbrauch“ und „Bodenbewusstsein“ 31.1.2005 im Ernst-Reuter-Haus Berlin, Veranstalter TU Berlin, Institut für Stadt- und Regionalplanung, Fachgebiet örtliche und regionale Gesamtplanung, Prof. Dr. Nuissl, S. 11-21, 2005.
- Sommerhäuser M, Schumacher H, Podraza P: Fließgewässertypologie und Leitildentwicklung - Zielsetzung und Methoden. Bericht der Jahrestagung 1997 Hrsg Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Krefeld, S 86-90, 1998.
- Tetzlaff D: Hydrologische Bewertung der Abflussdynamik in urbanen Gewässern. Dissertation an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albrecht-Ludwigs-Universität Freiburg, 2003.
- SAMUWA Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushaltes, Verbundforschungsprojekt im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahmen INIS, <http://www.samuwa.de/>, https://nawam-inis.de/sites/default/files/dokumente/publikationen/2016-nawam-inis-ergebnisse_barrierefrei.pdf, 2016.
- Starke, P, Göbel, P, Coldewey, WG: Urban evaporation rates for water-permeable pavements. In: Water Science and Technology, 62(5), S. 1161–1169, 2010.
- Umweltbundesamt (UBA): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/siedlungsflaechenbelegung-fuer-wohnen#textpart-5>, besucht am 8.12.2016
- Statistisches Bundesamt: Umweltökonomische Gesamtrechnungen. Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatoren zu Umwelt und Ökonomie (Stand 11/2015).
- Uhl M, Kasting U: Verschmutzung des Niederschlagsabflusses in Misch- und Trennsystemen und von Straßen, Wasser und Abfall 4 Nr. 3, S. 14-22, 2002.
- Welker A: Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf - Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Habilitationsschrift, Schriftenreihe der TU Kaiserslautern, FG Siedlungswasserwirtschaft, Band 20, 2004.
- White MD, Greer KA : The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. In: Landscape and Urban Plan 74, 125-138, 2006.
- Ya L, Youpeng X, Yi S: Hydrological Effects of Urbanization in the Qinhuai River Basin, China. In: Procedia Engineering, 28, pp. 767–771, 2012.
- Yang G, Bowling LC, Cherkauer KA, Pijanowski BC, Niyogi D: Hydroclimatic response of watersheds to urban intensity- an Observational and modeling based analysis for the White River basin, Indiana. In: Journal of Hydrometeorology 11 (1), 122-138, 2010.

Anschrift der Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl, Dr.-Ing. Malte Henrichs
FH Münster
FB Bauingenieurwesen
Institut für Wasser·Ressourcen·Umwelt (IWARU)
Corrensstr. 21
481049 Münster
E-Mail: uhl@fh-muenster.de