Zimmermann-Timm H. & K. Teubner (2019): Stadt und Land, Gewässer im Wandel. In: Lozán J. L., S.-W. Breckle, H. Graßl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 174-181. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. DOI:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.26.

5.4 Stadt und Land - Gewässer im Wandel

Heike Zimmermann-Timm & Katrin Teubner

Gewässer prägen die Landschaft und gestalten auch das Bild unserer Städte und Gemeinden. Im urbanen Raum müssen Fließgewässer unterschiedliche Funktionen erfüllen. Diese Funktionen, so zeigt die Geschichte, unterliegen einem historischen Wandel, der von der Beziehung Mensch-Wasser geprägt ist. Obgleich die Gewässer mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie zunehmend in den Fokus gerückt sind, ist die überwiegende Zahl der Gewässer in keinem guten Zustand. Der Klimawandel und die Urbanisierung wirken als zusätzliche Stressoren, welche die Funktionalität gefährden. Gleichwohl kann festgestellt werden, dass sich die Gewässer zunehmender Beliebtheit im Stadtbild erfreuen, gleichzeitig kommt es zur schleichenden Aufgabe öffentlichen Raums zugunsten privaten Eigentums.

The City and the Country - Urban Waters in Transition: *Waters shape the landscape as well as the image of our cities and communities. In urban areas, watercourses have to fulfill different functions, which are subject to historical change marked by the relationship between man and water. Although the waters under the EU Water Framework Directive have increasingly come into focus, the majority of the waters are not in good shape. Climate change and urbanization act as additional stressors that endanger the rivers' functionality. Nevertheless, the waters have enjoyed increasing popularity in the cityscape, even as the public space is being gradually abandoned in favor of private property.*

Aquatische Ökosysteme im städtischen Raum

Städtische Ökosysteme rücken wieder in den Fokus (Gilbert 1989, Sukopp & Wittig 1998), obgleich sie nur 3% der Erdoberfläche einnehmen. Die Bevölkerungszunahme in den Ballungsräumen und der Klimawandel stellen eine starke Belastung in den vom Menschen überformten und belasteten Systemen dar. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf Gewässer im urbanen europäischen Raum.

Begriffsbestimmung

Stadtgewässer oder urbane Gewässer sind Steh- und Fließgewässer, die den charakteristischen Einflüssen von menschlichen Siedlungen unterliegen, im Gegensatz zu den Gewässern in der freien Landschaft.

»Der Begriff Stadtgewässer beschreibt verschiedenartige limnische Systeme, die durch ihre Lage in urbanen Ballungszentren gekennzeichnet sind. Im Bereich der stehenden Gewässer sind neben natürlich entstandenen Kleingewässern, Teiche und Seen auch Parkgewässer und Regenrückhaltebecken zu nennen, als Fließgewässer sind Entwässerungsgräben, Kanäle und Flüsse, z.T. mit Hafenbecken aufzuführen« (Gunkel 1991, S. 124). Demnach beinhalten urbane Gewässer unterschiedliche Gewässertypen, die durch eine intensive Nutzung geprägt sind. Schumacher (1991, S. 17) schreibt »Urbane Fließgewässer sind also der Bach und der Fluss in der Stadt, die den speziellen Einflussgrößen dieses höchst naturfernen Raumes unterliegen«.

Gewässer des urbanen Typs sind nicht zwingend auf einen städtischen Raum beschränkt. Siedlungsgebiete können auch auf ober- und unterhalb gelegene Abschnitte in hydrologischer, struktureller, ökologischer und funktioneller Hinsicht Einfluss nehmen, die somit Merkmale urbaner Gewässer aufweisen. Der Übergang zwischen urbanen Gewässern und solchen in der freien Landschaft ist daher fließend. In der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie werden urbane Gewässer den Kategorien der künstlichen und der erheblich veränderten Oberflächengewässer zugeordnet. Als künstliche Wasserkörper gelten dabei alle »von Menschenhand geschaffenen Gerinne, die zur Wasserkraftnutzung, Schifffahrt, Hochwasserabfuhr oder Be- und Entwässerung angelegt wurden und nicht Teilstrecke eines natürlichen, regulierten Wasserlaufs sind. Erheblich veränderte Wasserkörper dagegen sind Gewässer natürlichen Ursprungs, die infolge physikalischer Veränderungen durch Eingriffe des Menschen in ihrem Wesen stark modifiziert wurden. Ein Gewässer wird dann als erheblich verändert ausgewiesen, wenn es hydromorphologisch deutlich verändert ist und mehr als 30% des Uferstreifen besiedelt sind, bzw. industriell genutzt werden. Das trifft auf Gewässer im städtischen Bereich zu (EU-WRR 2000).

Historie

Die Geschichte der urbanen Gewässer ist von einem Funktionswandel geprägt, der die Beziehung Mensch-Gewässer wiederspiegelt:

- Anfänge der Stadtentwicklung bis Mitte des 19. Jahrhunderts:

  - Siedlungen entstanden am Wasser und prägten die wirtschaftliche und politische Entwicklung. Es bestand eine Verknüpfung zwischen Mensch, Stadt und Gewässer (Energiegewinnung, Transport, Trink- und Brauchwasser, Abwasser, Schutz).

  - Industrialisierung bis Ende des 20. Jahrhunderts: Fließgewässer wurden begradigt oder (z.T. auch unterirdisch) kanalisiert und dienten in erster Linie der Entsorgung industrieller und kommunaler Abwässer. Der Mensch wendet sich vom Gewässer ab.
- Renaturierung und Revitalisierung von den 1970er Jahren bis heute:

Ökologische Aspekte prägten ab den 1970er Jahren den Umgang mit Gewässern. Der Ausbau von Reinigungsanlagen sowie der Einsatz neuer Klärtechniken gewann an Bedeutung. Flüsse und Bäche wurden renaturiert, neue Kleingewässer wurden geschaffen und als Gestaltungselement in den städtischen Raum integriert, (historische) Gewässer wurden wiederhergestellt (*Abb. 5.4-1*) oder Gebäude in Wassernähe errichtet (*Abb. 5.4-2*). Der gesellschaftliche Wandel gen Freizeitgesellschaft führte wieder zu einer engeren Vernetzung von Mensch und Wasser

Gewässerqualität:

Die Mitgliedsstaaten der EU hatten sich im Jahr 2000 darauf geeinigt bis 2015 für alle Gewässer einen »guten Zustand« zu erreichen. Viele Maßnahmen wurden getätigt, aber diese reichten nicht aus, die Frist wurde schließlich bis 2027 verlängert. Problematisch sind nach wie vor der Ausbau und die Begradigung, sowie der diffuse Eintrag von Dünger und Pestiziden aus der Landwirtschaft. Zudem belasten Nano- und Mikroplastikpartikel sowie andere Spurenstoffe zunehmend die Gewässer.

Charakteristika urbaner Gewässer

Aus den anthropogenen Einflüssen ergibt sich eine Reihe von hydrologischen, ökologischen, strukturellen und funktionalen Merkmalen, die typisch für urbane Gewässer sind.

Stehgewässer

Natürliche urbane Seen inmitten von Städten sind häufig Teil von Überschwemmungsgebieten der Flussauen und damit meist flache Seen. Die Durchmischungen selbst in der warmen Jahreszeit erfolgt meist vollständig bis zum Grund (polymiktische Gewässer), wodurch sie sich von tiefen Seen unterscheiden. In flachen urbanen Seen verändern die Austauschprozesse am Seegrund (Grenzschicht Sediment-Wasser, z.B. Kleeberg et al. 2013), meist ohne Zeitverzögerung, die Eigenschaften oberflächennaher Wasserschichten: in der Tiefe rückgelöste Nährstoffe mischen sich in die lichtdurchfluteten oberflächennahen Wasserschichten und sind für das Algenwachstum wieder sofort verfügbar.

Ein spezifischer Gewässertyp unter den polymiktischen Seen sind stark durchflossene Flußseen im urbanen Bereich. Sie sind Erweiterungen von Flussabschnitten, die kein deutlich ausgeprägtes Seebecken bilden, sich aber wegen der längeren Verweilzeit des Wasserkörpers, etwa 3-30 Tage, von einem typischen Flussabschnitt unterscheiden.

Diese Verweilzeit beeinflusst entscheidend die Ökologie der im freien Wasser lebenden Organismen eines Gewässers, nämlich ob sich ein Flussplankton oder ein »echtes« Seenplankton ausprägen kann. Während Algenzellen sich bei guter Nährstoffverfügbarkeit einmal am Tag teilen und so bereits bei geringer Verweilzeit des Wassers rasch Algenbiomasse aufbauen können, benötigt das Durchlaufen der Entwicklungsstadien vom Zooplankton meist mehr Zeit. Das Zooplankton unterliegt somit der Gefahr, ausgewaschen zu werden, bevor es sich fertig entwickelt hat.

In der Nähe von Siedlungsgebieten künstliche errichtete Gewässer, wie Fischteiche, Kiesgruben, naturnahe Badeseen und Gartenteiche, bauen ein Plankton auf, das mit dem eines natürlichen Sees funktional vergleichbar ist. Schwimmteiche sind anders zu bewerten, da dort die Entwicklung des Zooplanktons technisch unterbunden wird. Während in einem urbanen Gewässer mit einem »echten« Seeplankton das Algenwachstum in zweierlei Hinsicht reguliert wird, nämlich »von unten« über die den Algen zur Verfügung stehenden Nährstoffe (»bottom up« Effekt) und »von oben« über den Fraß des Zooplanktons (»top down« Effekt), wird

Abb. 5.4-1: *Der historische Hafen der Stadt Bad Karlshafen wurde wiederhergestellt (April 2019). Foto: Heike Zimmermann-Timm.*

Abb. 5.4-2: *Tradition trifft Moderne – Hamburgs neuer Stadtteil, die Hafencity mit Elbphilarmonie (Fertiggestellt 2017). Foto: Susanne Barkmann.*

das Algenwachstum in den Schwimmteichen nur »bottom up« gesteuert. Ein naturnahes urbanes Gewässer ist gegen Störungen über weite Bereiche abgepuffert, wogegen ein Schwimmteich eher instabil ist, d.h. permanent von technischen Regulationen abhängig.

Fließgewässer

Hydrologisch betrachtet sind Fließgewässer Gerinne, in denen der oberirdische Abfluss in Abhängigkeit der Geländemorphologie transportiert wird, beeinflusst von Geochemie und Vegetation. Entstehungsort sind oberirdische Grundwasseraustritte und Seen. Die Aufenthaltszeit des Wassers ist kurz, der Niederschlag und das Einzugsgebiet bestimmen den Abfluss. »Urbane Fließgewässer sind also der Bach und der Fluß in der Stadt, die den speziellen Einflußgrößen dieses höchstnaturfernen Raumes unterliegen« (Schuhmacher 1991, Seite 17). Während ein Stadtbach oft gänzlich »stadttypisch« verändert ist, spiegelt sich im Fluss häufig nur eine graduelle städtische Beeinflussungen (z.B. chemisch-physikalische und biologische Parameter) wieder. Die städtischen Fließgewässer wurden hinsichtlich der Morphologie verändert, d.h. begradigt, vertieft, z.T. in Betonhalbschalen gelegt oder anderweitig befestigt. Absturzbauwerke wurden eingebaut, um das Gefälle herzustellen und zusätzliche Maßnahmen (z.B. Tieferlegung, trapezförmige Erweiterung, Rückhaltebecken) konstruiert, um Hochwasserspitzen aufzufangen. Eine Verzahnung mit dem Umland ist nicht gegeben. Stadtbäche sind häufig schwer zu finden, da Quellen versiegt sind, Bachabschnitte überbaut oder verrohrt wurden. In den städtischen Fließgewässern ist die Hydrologie gestört, da es keine hydrologische Beziehungen zwischen Niederschlag, Einzugsgebiet und Abfluss gibt. Zusätzlich verhindert die dichte Bebauung und Versiegelung von Oberflächen die Grundwasserbildung. Die Folgen sind lange Phasen von unnatürlichen Niedrigwasser und stoßartige Hochwasserwellen.

Kanäle, Grachten und Fleete

Künstlich geschaffene Wasserstrassen sind Stillgewässer, Wasserbewegung kommt nur durch fahrende Schiffe und die damit einhergehende Sog- und Schwallbewegung im Uferbereich zustande. Charakteristisch sind der technische Ausbau und der hohe Gehalt von suspendierten partikulären Material. Zum Zwecke der Schiffbarkeit werden Kanäle regelmäßig gepflegt (z.B. Baggern, Entfernung von Makrophyten). In wenigen Städten ist ein System von Grachten erhalten, die dem Lastentransport dien(t)en oder auch die Abwasserentsorgung unterstütz(t)en. Fleete sind gezeitenbeeinflusste Kanalsysteme in Städten (*Abb. 5.4-2*).

Hafen

Hafenbecken sind Ihrem Zweck entsprechend durch technischen Ausbau entstanden, Wasserbewegungen kommen vor allem über den Schiffsverkehr sowie mancherorts auch über den Gezeiteneinfluss zustande. Die Becken sind Sedimentfallen und müssen regelmäßig geräumt werden (Schumacher 1998).

Gewässer und Eutrophierung

Stehgewässer

Nährstoffanreicherungen, meist gekoppelt an einen unmittelbaren Biomassezuwachs von Phytoplankton, Makrophyten oder Phytobenthos, werden als Eutrophierung bezeichnet. Eine über Jahre allmähliche Nährstofferhöhung in öffentlichen urbanen Gewässern bleibt entweder lange Zeit unentdeckt oder wird geduldet. Die Eutrophierung per se definiert nicht, welcher Nährstoff sich im Gewässer anreichert.

Generell sind vier Hauptnährelemente für das Algenwachstum notwendig: Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Phosphor (P) und Silizium (Si). Liegen diese Elemente in einen ökologischen Stöchiometrieverhältnis von 106:16:1:17 vor (Teubner & Dokulil 2002), kann man annehmen, dass ein ausgewogenes Wachstum der Algen erfolgen kann, weil die Nährstoffressourcen der optimalen elementaren Zusammensetzung ihrer Biomasse entsprechen (Teubner & Dokulil 2002). Da man bei Stadtgewässern davon ausgehen kann, dass immer genügend gelöster Kohlenstoff im Wasser vorhanden ist, bleiben Si, N und P kritisch für die Entwicklung von Algen. Generell sind nur die gelösten Fraktionen dem Algenwachstum verfügbar: Silikat für Si, hauptsächlich Nitrat-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff für N und gelöstes Phosphat für P. Als Faustregel dauert die »turnover Zeit«, die Zeitspanne bis ein in der Biomasse gebundenes Nährelement wieder verfügbar freigesetzt wird, für das Silizium Wochen bis Monate, für den Stickstoff Tage bis Wochen und für den Phosphor Stunden bis Tage. Um eine für einen Stadtsee aussagekräftige Beziehung zwischen Nährstoffkonzentration und Algenbiomasse aufzuzeigen, sollten daher für Si das Silikat, für N das Nitrat oder auch der Gesamt-Stickstoff (TN) und für P der Gesamt-Phosphor (TP) bewertet werden.

Ein »mehr« an Silikat in urbanen Gewässern infolge der Substitution von Phosphat in Waschmitteln (phosphatfrei seit 1986), hat sich bisher nicht negativ ausgewirkt. Kiesel- und Goldalgen sind Teil der Planktongemeinschaft und brauchen für ihren Zellaufbau unbedingt Si. Höhere Silikatkonzentrationen stimulieren daher das

Wachstum dieser Algen, die saisonal vorwiegend im Frühjahr und Herbst wachsen. Viele dieser für ein urbanes Ökosystem unproblematischen Algen haben eine außerordentlich hohe Affinität Phosphat aufzunehmen. Silikathaltige Algen binden P und verlagern diesen in das Sediment, wodurch zumindest zeitweise, selbst im Sommer, die P-Verfügbarkeit für andere Algen reduziert ist – ein wesentlicher Aspekt insbesondere für Badegewässer. Die Problematik Eutrophierung reduziert sich somit eigentlich auf den Eintrag von N und P in urbanen Gewässern, um eine hohe Wassergüte für die vielfache Nutzung der Gewässer im Siedlungsbereich zu gewährleisten.

Vollenweider-Modelle dienen der Beschreibung des Ausmaßes der Eutrophierung in urbanen stehenden Gewässern und legen Trophie-Grenzwerte fest. Sie beziehen sich auf die Frühjahrssituation, wenn die Algenbiomasse »ungestört«, entsprechend der über den Winter angesammelten Nährstoffe (TP, TN), »auswachsen« kann (»bottom-up« Effekt). Nach einer linearen Abhängigkeit tritt bei hohen Nährstoffkonzentrationen eine Sättigung auf: trotz einer weiteren Nährstoffanreicherung bleibt die Bildung einer adäquat höheren Algenbiomasse aus, weil andere Faktoren wie z.B. Lichtmangel im algentrüben Wasserkörper dann wachstumsbegrenzend sind. Urbane Gewässer, sprechen auf zusätzlichen Phosphateintrag besonders sensitiv an (weil Stickstoff über die Landwirtschaft und andere Abwässer vielfach im Überschuss vorliegt, vgl. urbane Alte Donau, Teubner et al. 2018a). Eine weit im Überschuss zugegebene Menge an Stickstoff bleibt unbemerkt, d.h. ohne Begleitung einer unerwünschten Algenmassenentwicklung, solange der P-Gehalt zuverlässig niedrig (limitierend) ist. Sobald etwas mehr P (P1) hinzukommen würde, würde sich aufgrund des übermäßig hohen N-Pools (N16) eine rasante Algenentwicklung (C106) ergeben.

Je nach Landesbezug (Standards wie DIN-Norm oder ÖNORM) gelten verschiedene Trophie-Grenzwerte: ein urbaner mesotropher See, wie z.B. der Große Müggelsee (z.B. Behrendt & Opitz 1996), wird seinem natürlichen Referenzzustand eines Flachsees im Tiefland gerecht (mesotroph = mäßiger Nährstoffgehalt), nicht aber ein mesotroph-alpiner See mit einem per se extrem nährstoffarmen Referenzzustand.

Übermäßige Nährstoffzufuhr, die über den Referenzstatus eines urbanen Sees hinaus geht, verwandelt das Gewässer in einen extremen Standort: eine reduzierte Biodiversität und Massenentwicklungen von problematischen Cyanobakterien (potenzielle Toxinbildner) sind die Folge. Der urbane Flachsee Alte Donau ist ein Erfolgsbeispiel langfristiger Sanierungsmassnahmen (Teubner et al. 2018a, 2018b), wo nachhaltig einer Verbesserung der Wasserqualität zurück zu dem mesotrophen Zustand gelang und somit ökosystemare Leistungen wieder gewährleistet sind.

Seit 2000 wird der Gesundheitsstatus eines Gewässers über die Bioindikation von Lebensgemeinschaften bestimmt (EU-WRR 2000). Der zugrunde liegende Zusammenhang liegt hier in der Ökophysiologie der Lebenswelt eines Sees. So können z.B. bestimmte Algen sich nur in nährstoffarmen Gewässern gut entwickeln und werden bei Nährstoffzuwachs von nährstoffliebenden Arten massiv verdrängt.

Fließgewässer

Die Phosphor- und Stickstoffeinträge in Fließgewässern haben sich, wie oben beschrieben, durch die Einführung phosphatfreier Waschmittel, Produktionsstilllegungen, Bau und Modernisierung kommunaler und industrieller Kläranlagen (Phosphatfällung) sowie den höheren Anschlussgrad von Siedlungen an die Abwasserreinigung deutlich verringert. Die Hauptquelle der Nährstoffbelastung der Gewässer ist heute die Landwirtschaft, aber auch kommunale Kläranlagen, Kraftwerke, Verkehr und Industriebetriebe tragen zur Nährstoffbelastung bei.

Die Stickstoffeinträge in die Oberflächengewässer in Deutschland lagen 2012-2014 bei 487.000 t/Jahr, im Vergleich zum Zeitraum 1983-1987 beträgt die Minderung ca. 50%. Dies ist überwiegend auf den Rückgang der Stickstoffeinträge aus Punktquellen (kommunale Kläranlagen und industrielle Direkteinleiter) und durch die verbesserte Reinigungsleistung der Kläranlagen zurückzuführen. Die Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen gingen um 35% zurück. 51% des Stickstoffs wurden 2012-2014 über das Grundwasser in Oberflächengewässer eingetragen. Mit ca. 75% dominieren die Stickstoffeinträge die Oberflächengewässer.

Die Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer in Deutschland betrugen im Jahr 2012-2014 ca. 23.000 t/Jahr. Gegenüber dem Vergleichszeitraum 1983-1987 ist dies eine Reduzierung um 72%. Auch dies ist überwiegend auf die Verringerung der Einträge aus Punktquellen zurückzuführen (87%). Trotz der deutlichen Verringerung der Einträge aus Punktquellen hatten diese 2012-2014 noch einen Anteil von 34% an den Gesamteinträgen. Die Verminderung der Einträge aus urbanen Flächen (Mischkanalisationsüberläufe und Trennkanalisation, nicht angeschlossene Einwohner an kommunale Kläranlagen oder Kanalisation) hat an der Reduktion der diffusen Einträge den größten Anteil.

Bei den diffusen Pfaden dominieren für Phosphor neben den urbanen Flächen die Einträge über das Grundwasser mit 21% der Gesamteinträge, gefolgt von den Einträgen über die Erosion mit 16%. Die Phosphoreinträge aus der Landwirtschaft betragen etwa 50% der gesamten Phosphoreinträge. Die Verringerung der Einträge spiegelt sich in einer Abnahme der Konzentrationen in den Gewässern wider. Die Konzentrationen der Phosphor- und Stickstoffverbindungen werden durch die Abflussverhältnisse beeinflusst. Während die Konzentrationen von Gesamtphosphor und Ammonium-Stickstoff bereits Anfang der 1990er Jahre zurückgingen, setzte bei Nitrat-Stickstoff erst ab Mitte der 1990er Jahre eine Reduzierung ein. Diese ist geringer als bei Gesamtphosphor und Ammonium-Stickstoff.

Die Phosphor- und Stickstoff-Konzentrationen liegen aber immer noch nicht überall in den Bereichen, die ein Erreichen eines guten ökologischen Zustands/Potenzials ermöglichen (vgl. UBA 2017).

Auswirkungen des Klimawandels

Stehgewässer

Während bei dem Langzeiteffekt Eutrophierung gefragt wird WIE VIEL Algenbiomasse sich in Abhängigkeit zunehmender Nährstoffkonzentrationen in einem Gewässer gebildet hat, werden Langzeiteffekte durch den Klimawandel oft über die Frage beantwortet, WANN bestimmte Ereignisse im See von Jahr zu Jahr erfolgten. Die Beobachtung zur sogenannten Phänologie von Ereignissen können heute klimarelevant ausgewertet werden. Solche Ereignisse im See sind beispielsweise der Tag im Jahr beginnender Eisschmelze oder des Minimums der Wassertemperatur, der Tag maximaler Algenbiomasse im Frühjahr, Sommer oder Herbst oder des sogenannten Klarwasserstadiums bzw. die Anzahl der Tage mit Überschreitung hoher Wassertemperaturen im Sommer. Ob solche phänologische Beobachtungen in einem See klimabedingt erfolgen, kann mittels Klimaindex geprüft werden. Der auf der nördlichen Halbkugel häufig relevante Klimaindex ist der North Atlantic Oscillation Index (NAO-Index), der aus der Druckdifferenz zwischen Azoren und Island berechnet wird. Wenn es einen korrelativen Zusammenhang zwischen den lokalen Wetterparametern und dem globalen Klimaindex gibt, liegt die Vermutung nahe, dass das Wetter klimaabhängig verläuft. So sind für Österreich beispielsweise sogenannte NAO-positive Jahre, d.h. Jahre wo der NAO-Index deutlich positiv von dem langjährigen Mittel abweicht, sehr heiße und zugleich trockene Jahre. Umgekehrt NAO-negative Jahre sind kühle und feuchte Jahre. Ein Beispiel verschiedener Klimaeffekte kann anhand einer Langzeitstudie an der urbanen Alten Donau in Wien gezeigt werden (Teubner et al. 2018b). Der Einfluss der Klimaerwärmung lässt sich hier aus dem statistischen Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur im Winter und Frühjahr und dem Klimasignal im Winter (NAODJFM) klar ableiten. Der stärkste Anstieg der Oberflächenwassertemperatur ergibt sich in der zweiten Hälfte des Monats April, nämlich um 1,52 °C pro Dekade. Bezüglich Seenphänologie biologischer Prozesse kann ein um eine Woche per Dekade verfrühtes Klarwasserstadium im Frühjahr abgelesen werden (kurzweiliger Moment klaren Wassers infolge minimierter Schwebealgenbiomassen bedingt durch hohen Fraßdruck des Zooplanktons). Die Periode extrem erwärmten Wassers (über 22 °C Wassertemperatur an der Seeoberfläche) verlängert sich um 10,5 Tage pro Dekade im Sommer. Mit der Verlängerung der warmen Jahreszeit können immer häufiger das Medusenstadiums von wärmeliebenden Süßwasserquallen (*Craspedacusta sowerbii*, Neobiota s. auch *Tab. 5.4-1*) in der Alten Donau beobachtet werden.

Wärmeliebende Arten setzen sich in den Seen im Zuge der Klimaerwärmung zunehmend durch. Die Klimaerwärmung kann scheinbar paradox in besonderen Situationen auch kälteliebende Arten fördern, die sich in einem kurzen Zeitfenster aufgrund des plötzlichen Ausbleibens anderer Arten nischenhaft in Massen entwickeln (Beispiel Großer Müggelsee, Shatwell et al. 2008). Die zeitlichen Verschiebungen der saisonalen Abfolge, wie z.B. eine Verfrühung der Ereignisse im Frühjahr und eine Verlängerung der Warmwasserperioden im Sommer, können letztendlich auch eine Veränderung in der Struktur der Biozönosen bewirken. Dagegen verblassen die Klimaeffekte im Herbst. Die Klimarelevanz für biologische Prozesse in urbanen Seen herauszuarbeiten, ist generell schwieriger als für physikalische Prozesse, da Temperatureffekte die biologischen Ausprägungen nur überlagern aber die physikalischen Eigenschaften im See direkt bedingen. Es zeigt sich weiter, dass Seen mit einem großen Einzugsgebiet, wie dies vornehmlich für viele flache Seen des Tieflandes zutrifft, insbesondere der Klimaerwärmung unterliegen. Darüber hinaus kann eine Erwärmung kleiner urbaner Gewässer durch die Wirkung städtischer Wärmeinseln lokal verstärkt werden (IPCC 2014).

Fließgewässer

Hydrologie: Der Grundsatz, dass ein Fluss sein Einzugsgebiet wiederspiegelt, trifft für urbane Gewässer nicht zu. Natürlicherweise entspricht die Wasserführung dem Quellabfluss, die Stadt saugt jedoch Grundwasser in ihr Trinkwassersystem (über Wasserscheiden hinweg) an, das somit aus anderen Einzugsgebieten

stammen kann und gibt es als Abwasser wieder in das Fließgewässer ab. Hinzu kommt, dass Niederschlag zu sporadischen und extremen Abflussspitzen führt, die durch Bebauung und Versiegelung von Flächen begünstigt werden. Retention und Verdunstung sind auf städtischen Böden eingeschränkt (z.B. versiegelte Flächen, trockene Böden, wenig Grünflächen). Daher läuft der Niederschlag unverzüglich über die Kanalisation dem nächsten Fließgewässer zu und erhöht kurzfristig den Abfluss, was erheblich Hochwasserfolgen haben kann, da dem stark verbauten Fließgewässer natürliche Retentionsräume fehlen. Für Deutschland wurde eine Zunahme von niederschlagsbedingten Hochwasserereignissen nachgewiesen. Die Zahl der extremen Hochwasserereignisse, hervorgerufen durch Starkregenereignisse, hat sich sogar verdoppelt.

Eine geringere Wassermenge und ein geringer Durchfluss wird in vielen Gewässern vor allem in den Sommermonaten beobachtet, was sich auf die Gewässertemperatur, den Sauerstoffgehalt und die aquatische Biozönose auswirkt.

Temperatur: Siedlungen befinden sich überwiegend im Mittel- und Unterlauf von Fließgewässern. Die mittleren Luft- und Wassertemperaturen sind miteinander korreliert und zeigen im Mittel- und Unterlauf tages- und jahreszeitlich bedingte Temperaturveränderungen, die flußabwärts geringer ausfallen.

In Deutschland hat sich die Lufttemperatur im Jahresmittel im Zeitraum 1881 bis 2015 um 1,4K erhöht. Es ist davon auszugehen, dass sich langfristig auch die Gewässertemperaturen der Oberflächengewässer erhöhen. Wann und in welchem Ausmaß dies geschieht, hängt von einer Vielzahl weiterer Faktoren ab, beispielsweise Wasserstand, Durchfluss, Uferbeschaffenheit (Beschattung), aber auch von der Bewirtschaftung der Gewässer, z.B. Kühlwassereinleitungen.

Untersuchungen der internationalen Kommission zum Schutz des Rheins zeigen, dass die Wassertemperaturen im Rhein durchschnittlich von 1978-2011 um 1,0-1,5K angestiegen sind. Die Wassertemperatur stieg dabei nicht kontinuierlich über diesen Zeitraum an, sondern geht auf einen Anstieg in den Jahren 1987 bis 1989 zurück, was mit der stark ausgeprägten Nordatlantischen Oszillation erklärt wird. Einen weiteren regional begrenzten, aber deutlichen Effekt erzeugen Wärmeeinleitungen durch Kraftwerke. Rund 60 Prozent der Wärmeeinleitungen in den Rhein ergaben sich 2010 im Oberrhein zwischen Karlsruhe und Worms. Die Temperaturerhöhung bis Mainz ist v.a. auf Wärmeeinleitungen auf dieser Strecke sowie zu einem geringen Anteil auf die natürliche Erwärmung zurückzuführen. Die tatsächlich gemessene mittlere Temperaturerhöhung bei Mainz liegt bei 1,4 K. Die Anzahl der Tage, an denen die Wassertemperatur über 22 °C lag,

Tab. 5.4-1: *Prognosen für Steh- und Fließgewässer im städtischen Raum.*

Faktor	Auswirkungen auf das Gewässer
Klima	Veränderung der Artenzusammensetzung Abnahme der Artenzahl Veränderungen in der Phänologie
Eutrophierung	Veränderung der Artenzusammensetzung Abnahme der Artenzahl Verschlechterung der Gewässerqualität
Arzneimittel, Pestizide u. a. Substanzen	Anreicherung im Gewässer Schädigung der aquatischen Organismen und ihrer Konsumenten
Nano- und Mikroplastik	Störung der natürlichen Räuber-Beute-Beziehung Ausbreiten von Krankheiten über Biofilme Störungen des Hormonsystems über Additive
Licht	Insektensterben
Neobiota	Verdrängung einheimischer Pfanzen- und Tierarten Ausbreitung wasserbürtiger Krankheiten
Wasservögel	Remobilisierung von Nährstoffen durch Gründeln Düngung durch Fütterung Verschlechterung der Gewässerqualität
Gewässermanagement	Habitatverlust und damit Rückgang der Arten Fehlen von Retentionsräumen Verschlechterung der Gewässerqualität Hochwasserrisiko

nahm im vergangenen Jahrzehnt deutlich zu (IKSR 2011). In Niedersachsen war im Sommer 2019 sogar geplant das Kernkraftwerk Grohnde (KWG) vom Netz zu nehmen, da die Weser drohte 26 °C zu übersteigen, womit kein Kühlwasser mehr hätte eingeleitet werden dürfen (Malcher et al. 2019).

Sauerstoff: Hohe Wassertemperaturen bedeutet niedrige Sauerstoffkonzentration und das wiederum bedeutet Stress für die im Wasser lebenden Organismen. Kommen dann noch weitere Faktoren hinzu, wie eine starke organische Belastung, dann werden kritische Werte, Sauerstoffkonzentrationen < 4 mg/Liter erreicht. In der Tide-Elbe treten in den Sommermonaten immer wieder »Sauerstofflöcher« auf, die durch das Absterben von Phytoplankton in der eingetieften Unterelbe erklärt werden.

Eine geringe Sauerstoffkonzentration bedingt außerdem die Rücklösung von Stickstoff und Phosphor aus dem Sediment (interne Düngung).

Nähr- und Schadstoffe: Die bekannteste Einwirkung von Siedlungen auf Gewässer ist das Einleiten von häuslichen und industriellen Abwässern. Häusliche Abwässer, die nicht der dritten Reinigungsstufe der Kläranlage unterliegen, sind durch ihren Gehalt an Phosphor und Stickstoff besonders geeignet die Primärproduktion zu fördern.

Problematisch sind sporadische Spitzen von Abwassereintrag in die Kläranlage, wie sie in fakultativ genutzten Gebieten (z.B. Ferienanlagen, Büro- und Industriegebiete) auftreten, oder auch durch Starkregenereignisse, die einen größeren Wasserdurchsatz in der Kläranlage herbeiführen.

Industrielle Abwässer müssen durch Vorbehandlungen schon vor der Einleitung in die Kläranlage behandelt sein. Trotzdem gibt es eine Reihe von Substanzen, die von den Kläranlagen nicht eliminiert werden.

Abb. 5.4-3: *Weite Teile des Rheins, hier bei St. Goarshausen, sind im Oktober 2018 trockengefallen. Foto: Heike Zimmermann-Timm.*

Durch verringerte Durchflüsse, wie sie in den Sommermonaten zuletzt auftraten, kann die Nähr- und Schadstoffkonzentration in belasteten Gewässern zur Überschreitung von Toleranzgrenzen führen.

Flora und Fauna: Über niedrige Wasserstände können besondere Lebensräume, z.B. Laichplätze nicht mehr erreicht werden (*Abb. 5.4-3*). Das Absinken des Wasserstandes sowie das Trockenfallen von Ufer- und Sohleabschnitten führt zur Beeinträchtigung von Fischpopulationen durch ein vermindertes Nahrungsangebot. Die ungewöhnlich hohe Dichte von Individuen auf kleinem Raum erzeugt einen weiteren Belastungsfaktor und erhöht das Risiko der Übertragung von Krankheiten. Sind einzelne Gewässerabschnitte ausgetrocknet, dann ist das Wanderverhalten eingeschränkt.

Die veränderte Fließgeschwindigkeit führt zu einer verstärkten Sedimentation, was eine Verdichtung des benthischen Lebensraumes herbeiführt. Damit ist der Rückzugraum für viele Benthosorganismen eingeschränkt.

Eine Zusammenstellung von Faktoren sowie deren Auswirkungen auf das Gewässer erfolgt in *Tab. 5.4-1*. Viele dieser Einflussfaktoren, aber auch natürliche Faktoren, interagieren, was das Erkennen von Kausalbeziehungen erheblich erschwert.

Ökosystemare und soziale Dienstleistungen urbaner Gewässer:

Der Begriff »Ökosystemdienstleistungen« (»Ecosystem Services«) beschreibt den vielfältigen Nutzen, den der Mensch tagtäglich aus den Ökosystemen seiner Umgebung zieht. Urbane Gewässer können bei entsprechender Gestaltung sowohl ökologische als auch ökonomische und soziokulturelle Funktionen übernehmen. Die wichtigsten ökosystemaren Dienstleistungen sind im folgendem zusammengefasst:

- Klimatische Funktion: Verdunstung, Strahlungsabsorption durch Wasserkörper und Vegetation sowie Entstehung und Durchzug von Frischluft sorgen für einen Temperaturausgleich.
- Lebensraum für Flora und Fauna: Gewässer bieten Lebens- und Rückzugräume für Pflanzen und Tiere bieten. Sie schaffen Wander- und Ausbreitungskorridore zwischen Stadt und Land.
- Trinkwasser: Circa 17 Prozent des über die öffentliche Wasserversorgung in Deutschland bereitgestellten Trinkwassers stammt aus Uferfiltration oder künstlicher Grundwasseranreicherung.
- Vorfluter: Einleitung von häuslichen Abwässern und Industrieabwässern (incl. Kühlwasser).
- Angeln und Aquaponik: Angeln und Fischerei stellen eine Möglichkeit der Ernährung dar. Zukünftig kön-

nen auch Aquaponik-Syteme für Urban Farming an Bedeutung gewinnen, indem sie Fische und Pflanzen vor Ort im Kreislauf produzieren.

- Transport: Viele Wasserstrassen sind wichtige Transportwege für Fracht- oder Personenverkehr. Ein Frachtschiff ersetzt 150 Lastwagen (Malcher et al. 2019). Schaden entsteht, wenn die Schiffbarkeit nicht mehr gewährleistet ist (*Abb. 5.4-3*).
- Pädagogische und umweltpsychologische Funktionen: Gewässer werden im Rahmen der städtischen Gestaltung häufig mit ökologischen und erlebnispädagogischen Aspekten verknüpft, womit sie auch die Umweltbildung befördern. Umweltpsychologen haben festgestellt, dass sich »Blauräume«, geprägt duch sichtbare, erlebbare, natürliche oder künstliche Wasserflächen, stressmildernd erweisen.
- Erholungs- und Freizeitraum: Zudem kann wassergebundener Sport oder auch uferbegleitende körperliche Betätigung werden.
- Kulturelle Funktion und soziale Funktion: Städtische Fließgewässer und gewässernahe Räume sind bedeutende Orte für soziale Begegnungen und Kommunikation.
- Elemente der Denkmalpflege: Gewässer und damit verbundene Bauwerke, wie Brücken und Wehre, stellen historische Elemente dar und können von großem denkmalpflegerischen Wert sein.
- Architektur: Sogenannte »Blauräume« gewinnen im Städtebau zunehmend für das Stadtklima an Bedeutung. Sie bieten Frischluftschneisen und können die Überwärmung in der Stadt abmildern sowie unverbaubare Ausblicke gewährleisten.

Ausblick

Die zunehmende Urbanisierung und der Klimawandel erfordern gerade auch in den Städten eine Entwicklung, die die Wohlfahrtswirkung des aquatischen Lebensraumes verbessert. Der Verzahnung der Gewässer mit dem Umland ist es geschuldet, dass es lokaler und regionaler (und z.T. auch großräumigere) Maßnahmen bedarf, um eine Funktionalität dauerhaft zu gewährleisten. Es braucht das Zusammenspiel auf unterschiedlichen räumlichen Skalen und unter Einbeziehung unterschiedlicher Sektoren, stets im Dialog mit Experten aus Wissenschaft und Technik. Der Weg der Kreislaufwirtschaft sollte dabei unbedingt verfolgt werden. Die Reduktion von Nährstoffen und Pestiziden im ländlichen Raum sollte unserer Einschätzung nach höchste Priorität erhalten.

Von Seiten der Politik gilt es alle Anstrengungen zu unternehmen, um eine informierte und konsenswillige Gesellschaft herbeizuführen mit dem Ziel Wasser als Gemeingut zu bewahren und gesundheitlichen sowie wirtschaftlichen Schaden zu minimieren.

Literatur

BEHRENDT H. & D. OPITZ (1999): Ableitung einer Klassifikation für die Gewässergüte von planktondominierten Fließgewässern und Flussseen im Berliner Raum und güteklassebezogener Zielvorgaben zur Nährstoffreduzierung im Berliner Gewässersystem. IGB, Heft 1: 1-26.

EU-WRR (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000.

GILBERT O. L. (1989): Städtische Ökosysteme. Neumann Verlag.

GUNKEL G. (1991): Die gewässerökologische Situation in einer urbanen Großsiedlung (Märkisches Viertel, Berlin). In: Schumacher, H. & B. Thiesmeier (Hrsg.), Urbane Gewässer, Westarp Wissenschaften: 122-174.

IKSR (2011): Warn- und Alarmplan Rhein 2010.

IPCC (2014): Klimaänderung 2015: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II, und III zum fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). In: Pachauri R. K. & L. Meyer (Hrsg.) IPCC, Genf, Schweiz, Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

KLEEBERG A., A. FREIDANK & K. JOEHNK (2013): Effects of ice cover on sediment resuspension and phosphorus entrainment in shallow lakes: Combining in situ experiments and wind-wave modeling. Limnology and Oceanography 58: 1819-1833.

MALCHER I., A.-K. NEZIK & K. RUDZIO (2019): Läuft nicht. DIE ZEIT vom 1. August 2019.

SCHUMACHER H. (1991): Limnologische Vorgaben und Bewertungskriterien zur ökologischen Verbesserung urbaner Fließgewässer.- In: Schumacher, H. & Thiesmeier B. (Hrsg.), Urbane Gewässer, Westarp Wissenschaften: 16-37.

SCHUMACHER H. (1998): Stadtgewässer.- In: Sukopp, H. & Wittig, R., Stadtökologie, Gustave Fischer Verlag: 201-218.

SHATWELL T. O. M., J. KÖHLER & A. NICKLISCH (2008): Warming promotes cold-adapted phytoplankton in temperate lakes and opens a loophole for Oscillatoriales in spring. Global Change Biology 14.9: 2194-2200.

SUKOPP H. & R. WITTIG (1998): Stadtökologie.- Gustav Fischer.

TEUBNER K. & M. T. DOKULIL (2002): Ecological stoichiometry of TN:TP:SRSi in freshwaters: nutrient ratios and seasonal shifts in phytoplankton assemblages. Archiv für Hydrobiologie (now: Fundamental and Applied Limnology), 154 (84):625-646.

TEUBNER K., W. KABAS & I. E. TEUBNER (2018a): Phytoplankton in Alte Donau: Response to trophic change from hypertrophic to mesotrophic over 22 years. In: Dokulil M.T., K. Donabaum, K. Teubner (eds) - The Alte Donau: Successful restoration and sustainable management - An ecosystem case study of a shallow urban lake. Springer:107-147 DOI:10.1007/978-3-319-93270-5_9

TEUBNER K., M. GROSSSCHARTNER & I. E. TEUBNER (2018b): Response of zooplankton to restoration and climate warming in Alte Donau. In: Dokulil M. T., K. Donabaum & K. Teubner (eds) - The Alte Donau: Successful restoration and sustainable management - An ecosystem case study of a shallow urban lake. Springer:163-212 DOI:10.1007/978-3-319-93270-5_11.

UBA (Umweltbundesamt) (2017): Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung. Dessau-Roßlau.

Kontakt:

PD Dr. Heike Zimmermann-Timm
Institut für Ökologie, Evolution und Diversität
Goethe-Universität, Frankfurt am Main
zimmermann-timm@bio.uni-frankfurt.de

PD Dr. Katrin Teubner
Abteilung für Limnologie und Biologische Ozeanographie
Universität Wien (Wien, Österreich)
katrin.teubner@univie.ac.at

Zimmermann-Timm H. & K. Teubner (2019): Stadt und Land, Gewässer im Wandel. In: Lozán J. L., S.-W. Breckle, H. Graßl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 174-181. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. DOI:10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.26.