

Urbane Klimaresilienz hat viele Farben

Sascha Henninger, Lena Albert

(Prof. Dr. Sascha Henninger, TU Kaiserslautern, Fachbereich Raum- und Umweltplanung, sascha.henninger@ru.uni-kl.de)
(Lena Albert, MSc., TU Kaiserslautern, Fachbereich Raum- und Umweltplanung, lena.albert@ru.uni-kl.de)

1 ABSTRACT

In der heutigen Zeit stellt sich immer wieder die Frage: „Wie können unsere Städte klimaresilienter gestaltet werden?“ Eine erst einmal einfache Antwort wäre: **BUNT**.

In Anlehnung an die **GRAUE** Infrastruktur (z. B. Verkehrsflächen) werden urbane Grün- und Wasserflächen auch als **GRÜNE** bzw. **BLAUE** Infrastruktur bezeichnet. Diese Flächen können wirtschaftliche, soziale, vor allem aber ökologische Leistungen ausüben (Reduktion der Lufttemperatur, Filterung von Luftschadstoffen, Erhöhung der Biodiversität etc.), die insbesondere in verdichteten Räumen von großer Bedeutung sind. Diese grün-blaue Stadtentwicklung mit einer Förderung des Stadtgrüns (Pflanzen) und Stadtblaus (Wasser) ist vielen bereits ein Begriff. Unbekannter oder weniger beachtet und gegenwärtig im urbanen Raum noch kaum aufzufinden ist die **BEIGE** Infrastruktur. Hinter der Farbe **BEIGE** versteckt sich das Holz. Doch gerade verbautes Holz liefert ein Rundpaket zur Klimastabilisierung und -anpassung (u. a. reduziert die Holzbauweise Treibhausgasemissionen der Zement- und Stahlproduktion).

Urbane Räume erwärmen sich aufgrund des städtischen Wärmeinseleffektes stärker als das ländlich geprägte Umland. **GRÜN**, **BLAU** und **BEIGE** (Pflanzen, Wasser, Holz) können diesem Effekt entgegenwirken. Während die Ökosystemdienstleistungen der **GRÜNEN** Infrastruktur mittlerweile hinlänglich bekannt sind, steht die Betrachtung der **BLAUEN** Infrastruktur noch immer im Schatten ebendieser bzw. wird in vielen Untersuchungen - im Rahmen der Betrachtung innerurbaner Grünflächen - der Einfachheit halber in die **GRÜNE** Infrastruktur integriert.

Im Rahmen der Betrachtung der **BLAUEN** Infrastruktur ist vermutlich der Einfluss eines urbanen Gewässers auf die Umgebungstemperatur (in Abhängigkeit der Tageszeit) der am intensivsten untersuchte Effekt. Daraus resultierende Erkenntnisse nehmen für die angewandte Stadtklimatologie einen wichtigen Stellenwert ein, da die **BLAUE** Infrastruktur eine vergleichbare Wirkung aufweisen kann wie urbane Grünflächen.

Das Stadtblau kann aber auch eine tragende Rolle in der Stadtgestaltung und -entwicklung einnehmen. Hierzu zählen neben den temperaturregulierenden künstlichen und/ oder natürlichen Wasserflächen, die Vernetzung von Grünzügen durch Wasserachsen sowie Wasserspiele (Fontänen, Springbrunnen). Unter anderem üben offene urbane Wasserflächen am Tage teilweise einen größeren Abkühlungseffekt auf ihre Umgebung aus, im Vergleich z. B. zur Dach- und Fassadenbegrünung.

Ein ebenfalls positiver Effekt der **BLAUEN** Infrastruktur ist die Schaffung dezentraler Puffer- und Speicherräume (Rückhaltebecken, straßenbegleitende Tiefbeete, Versickerungsmulden, etc.) zum Rückhalt des Oberflächenabflusses bei Starkregenereignissen. Regengärten oder sog. Regendiebe sammeln, speichern und filtern Wasser und entsprechen dem Prinzip der „Schwammstadt“.

Die **BLAUE** Infrastruktur definiert sich aus einer Vielzahl kleiner und großer Wasserflächen, die u. a. auch einen positiven Nutzen für die menschliche Gesundheit besitzen. Fragen, die sich mit der Geographie der Gesundheit oder auch der psychologischen Wirkung der **BLAUEN** Infrastruktur beschäftigen, sind grundlegende Beispiele, die immer wieder das enorme Potenzial hervorheben, das natürliche bzw. naturnahe Wasserkörper auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen besitzen.

Dieser Beitrag soll eine kurze Übersicht über die Potenziale einer **BUNTEN**, vor allem aber einer **BLAUEN** Infrastruktur im urbanen Raum geben, um noch einmal deutlich zu machen, dass eine planungsorientierte, angewandte Stadtklimatologie weitaus mehr Möglichkeiten bietet einen Raum klimaresilient zu gestalten, als immer nur alleine auf die „grüne Karte“ zu setzen.

Keywords: grüne Infrastruktur, blaue Infrastruktur, graue Infrastruktur, Klimaanpassung, Klimaresilienz

2 EINLEITUNG

Die Folgen des Klimawandels sind längst allgegenwärtig und stellen u. a. urbane Räume vor stetig wachsende Herausforderungen. Starkniederschläge mit Sturzfluten, das Vertrocknen des Stadtgrüns und vermehrt auftretende Hitzewellen sind Klimawandelfolgen, die sich im Siedlungsraum zunehmend zeigen

und Menschen sowie die Natur belasten. Neben dem Klimaschutz (Mitigation) kommt der Klimawandelanpassung (Adaption) eine immer größer werdende Bedeutung bei politischen Entscheidungen und im Verwaltungshandeln zu. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit einigen Beispielen urbaner Adaption und zeigt einige Anwendungsbeispiele, aber auch Stolpersteine für mehr urbane Klimaresilienz auf – aus Sicht der **BEIGEN**, **GRÜNEN** und schwerpunktmäßig vor allem **BLAUEN** Infrastruktur.

3 WIE ENTSTEHT NACHHALTIGE URBANE KLIMARESILIENZ?

Die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) bildet den politischen Rahmen zur Klimawandelanpassung. Das Ziel der DAS ist es, die Vulnerabilität von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu verringern und die Anpassungsfähigkeit des Landes (Anpassungskapazität) zu erhalten oder sogar zu steigern.

Viele Bundesländer, darunter auch Rheinland-Pfalz, sind jedoch noch weit entfernt von einer flächendeckenden Integration des Themas „Klimawandelanpassung“ hinein in die kommunale Verwaltungsarbeit. Grundsätzlich sollte schon heute der Adaption sowohl auf Landesebene als auch kommunal ein größerer Stellenwert beigemessen werden. Selbstverständlich gibt es bereits Kommunen, die mit guten Beispielen voran gehen, z. B. durch Gesamtstrategien zur Anpassung an den Klimawandel, Konzepten zur Bewältigung von Starkregenereignissen, der Erstellung von Hitzeaktionsplänen oder Aktivitäten zur Förderung des Stadtgrüns. Allerdings sind diese noch immer auf einem zahlenmäßig geringen Niveau.

Eine klimaresiliente Stadt muss **BUNT** sein, um sich dem Klimawandel anzupassen. Die grün-blaue bzw. grüne Stadtentwicklung mit einer Förderung des Stadtgrüns (Pflanzen) und Stadtblaus (Wasser) ist vielen bereits geläufig. In Anlehnung an die **GRAUE** Infrastruktur (z. B. Verkehrsflächen) werden urbane Grün- und Wasserflächen auch als **GRÜNE** bzw. **BLAUE** Infrastruktur bezeichnet. Unbekannter oder weniger beachtet und gegenwärtig im urbanen Raum noch kaum aufzufinden ist die **BEIGE** Infrastruktur.

3.1 BEIGE Infrastruktur

Aber was verbirgt sich hinter der Farbe **BEIGE**? Es ist ein Baumaterial mit langer Vergangenheit, das aber nach und nach aus dem Stadtbild verschwunden ist – das Holz. Gegenwärtig wird Holz nur in einem äußerst geringen Umfang für den Häuserbau verwendet. Dabei stellt verbautes Holz quasi ein Rundpaket zur Klimastabilisierung und Klimaanpassung dar und die aktuelle Entwicklung zeigt, dass Holz auch groß kann, wie der Bau des bisher größten Holzhochhauses in Norwegen (Mjøstårnet, 85,4 Meter) oder auch das in Planung befindliche „Roots“ in der Hamburger Hafencity zeigen.

Die CO₂-Emissionen aus der Zement- und Stahlproduktion haben einen großen Anteil an der Gesamtmission klimarelevanter Treibhausgase. Durch den gezielten Einsatz und die Förderung der Holzbaubweise könnte dieser Ausstoß vermieden oder zumindest deutlich verringert werden. Zudem stellen Holzgebäude eine Kohlenstoffsенke dar, da im Holz das von den Bäumen zuvor aus der Luft aufgenommene und in den Stämmen eingelagerte CO₂ gespeichert wird. Unter anderem Churkina et al. (2020) konnten zeigen, dass z. B. ein fünfgeschossiges Wohngebäude aus Brettschichtholz bis zu 180 kg C m⁻² speichert. Dieser Betrag ist rund drei Mal höher als in der oberirdischen Biomasse natürlicher Wälder mit hoher Kohlenstoffdichte.

Auch in der Kreislaufwirtschaft erwächst dem Holz mittlerweile eine bedeutendere Rolle. Holz kann nach seiner eigentlichen Nutzung als Baumaterial wiederverwendet oder verbrannt werden, liefert so noch einmal klimaneutrale Energie. Die Wiederverwertbarkeit nach der Erstnutzung steigert somit die Kreislauffizienz. Gleichzeitig kann die regionale Wertschöpfung gestärkt werden, u. a. durch die Verwendung von Holz aus kommunalen Liegenschaften. Es entsteht in vielerlei Hinsicht ein doppelter Nutzen zur Klimastabilisierung (Kotremba, 2021).

Zudem weist Holz thermoregulierende Eigenschaften auf und wirkt sich positiv auf den Brand- und Schallschutz aus.

Für Hans Joachim Schellnhuber, emeritierter Direktor des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, [...] *„bieten uns Bäume eine Technologie von beispielloser Perfektion. Sie entziehen unserer Atmosphäre CO₂ und wandeln es in Sauerstoff zum Atmen und in Kohlenstoff im Baumstamm um, den wir nutzen können. Ich kann mir keine sicherere Art der Kohlenstoffspeicherung vorstellen. Die Menschheit hat Holz für viele*

Jahrhunderte für Bauwerke genutzt, doch jetzt geht es angesichts der Herausforderung der Klimastabilisierung um eine völlig neue Größenordnung. Wenn wir das Holz zu modernen Baumaterialien verarbeiten und die Ernte und das Bauen klug managen, können wir Menschen uns ein sicheres Zuhause auf der Erde bauen" (Kotremba, 2021).

3.2 GRÜNE Infrastruktur

Siedlungsräume erwärmen sich aufgrund der thermisch-physikalischen Eigenschaften der eingesetzten künstlichen Baumaterialien und der Bebauungsdichte stärker als ländlich geprägte Standorte. Was entsteht ist das mittlerweile sehr gut erforschte urbane Wärmeinsel, das Temperaturdifferenzen von 5 bis 10 K gegenüber dem Umland aufweisen kann. **GRÜNE** Infrastruktur kann diesbezüglich eine Milderung der urbanen Überwärmung erzeugen. Pflanzen wirken aufgrund ihrer Verdunstungsleistung wie eine „natürliche Klimaanlage“. Dach- und Fassadenbegrünungen können eine Reduktion der Umgebungstemperaturen um bis zu 15 K bewirken. Vor allem das Fassadengrün mindert das Erwärmungspotenzial im Straßenraum und fördert gleichzeitig eine Verbesserung des Stadtbildes. Zudem sorgt großkroniges, straßenbegleitendes und schattenspendendes Grün (Bäume) für eine Verringerung der Asphalttemperaturen um bis zu 20 K. Dies ist v. a. für den Effekt der lokalen Erwärmung von Bedeutung, da der Straßenbelag aufgrund seiner thermisch-physikalischen Eigenschaften als Wärmespeicher fungiert, der seine Wärme bis weit in die Nacht hinein an die Umgebung abgibt. Bis zu 160 m² Fläche kann ein großkroniger, vollständig belaubter Baum im Sommer mit seinem Schattenwurf kühlen. Zugleich besteht die Möglichkeit über den Festsetzungskatalog in § 9 des Baugesetzbuches viele „Angebote“ der **GRÜNEN** Infrastruktur im Bebauungsplan direkt festzusetzen.

Um den positiven Effekt des urbanen Grüns für das lokale Klima vollends nutzen zu können, bedarf es jedoch seiner Vitalität, denn nur dann ist die **GRÜNE** Infrastruktur in der Lage seine Ökosystemdienstleistungen auszuspielen. Daher ist es wichtig auf urbanes Grün respektive Baumarten zurückzugreifen, die sowohl hitzeangepasst als auch trockenstresstolerant sind, zudem keine Schaderregerempfindlichkeit aufweisen und keine Allergien auslösen (Henninger, 2015). Ebenso müssen sie Frost standhalten und mit weiteren urbanen Einflüssen wie dem Salzeintrag, der Bodenverdichtung und dem Platzmangel zurechtkommen. Das Projekt „Stadtgrün 2021: Neue Bäume braucht das Land!“ der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau in Veitshöchheim geht dieser Frage an drei urbanen Standorten in Bayern nach – bisher mit den folgenden urbanen Zukunftsbäumen: Ulme (*Ulmus lobel*, *Ulmus rebona*), Linde (*Tilia x euchlora*, *Tiliatomentosa*), Zerreiche (*Quercus cerris*), Gleditschie (*Gleditsiatriacanthus*), Purpur-Esche (*Fraxinus angustifolia* 'Raywood'), Zürgelbaum (*Celtis occidentalis*) und Ahorn (*Acer campestre*, *Acer opalus*). Schon heute leiden die Stadtbäume unter Trockenheit und Hitze, zeigen Trockenstresssymptome oder sterben ab. Der Pflege und Bewässerung (z. B. durch eine ressourcenschonende Tröpfchenbewässerung) kommt eine immer größere Bedeutung zu, was wiederum eng verknüpft ist mit der **BLAUEN** Infrastruktur.

3.3 BLAUE Infrastruktur

Auch die **BLAUE** Infrastruktur nimmt eine zunehmend wichtige Rolle im Rahmen einer nachhaltigen Stadtgestaltung und -entwicklung ein. Zu den Themen der **BLAUEN** Infrastruktur zählen u. a. die Vernetzung von Grünzügen durch Wasserachsen und temperaturregulierende künstliche/ natürliche Wasserflächen, aber auch Wasserspiele (Fontänen, Springbrunnen). Offene urbane Wasserflächen üben im Vergleich zu Dach- und Fassadenbegrünungen oder Grünflächen während der Tagstunden teilweise einen größeren Abkühlungseffekt auf ihre Umgebung aus.

Das Forschungsfeld der **BLAUEN** Infrastruktur ist im Zusammenhang mit einer ökologischen bzw. lokalklimatologischen Betrachtung urbaner Räume ein eher junges. Gerade bei der Betrachtung der Frage „Was ist eigentlich eine blaue Infrastruktur?“ ergibt sich gegenwärtig keine eindeutige und einheitliche Definition. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass die **BLAUE** Infrastruktur urbane Gewässerflächen beschreibt, die zur lokalklimatischen Entlastung beitragen können (u. a. als urbane Ausgleichsräume). Hierunter sind sowohl Fließ- (Flüsse) als auch Stillgewässer (Teiche, Seen) zu verstehen, aber auch Überflutungsbereiche (Henninger & Weber, 2020).

Die **GRÜNE** Infrastruktur definiert sich aus einer Vielzahl kleiner und großer Grünflächen, die einen positiven Nutzen für den Menschen und die Natur besitzen. In vielen Fällen werden künstliche oder auch natürliche Gewässer innerhalb urbaner Grünflächen in das allgemeine Verständnis von solchen

innerstädtischen Grünflächen hinzugezählt. Vor allem die englischsprachige Literatur setzt die **BLAUE** Infrastruktur oftmals mit der **GRÜNEN** gleich. Beide sind aus deren Sicht fester Bestandteil von Naturschutzgebieten, landwirtschaftlich genutzten Flächen, Waldlandschaften, urbanen Parkflächen, Landschaftsgärten, Kolonien von Schrebergärten, Friedhöfen, Brach- und Freiflächen, Feuchtgebieten, aber auch Gewässern inklusive deren Ufersaum und werden unter dem Begriff der **GRÜNEN** Infrastruktur subsummiert. Korrekt wäre in der eigentlichen Darstellung des Sachverhaltes aber sicherlich der Begriff der **GRÜN-BLAUEN** Infrastruktur (Henninger & Weber, 2020). Dieser enge Zusammenhang beider Flächen soll auch in kleinster Weise in Frage gestellt werden. Jedoch wird an dieser Stelle der Fokus stärker auf das Stadtblau gelegt.

Die Schlüsselfunktionen, die einer **BLAUEN** Infrastruktur zugesprochen werden können, sind der Verbrauch/ die Nutzung von Wasser als Trink- bzw. Brauchwasser, die Wasseraufbereitung, die Speicherung von Wasser, die Infiltration in den Boden und somit die natürliche Grundlage zur Grundwasserneubildung, der Einfluss auf das lokale Klima aufgrund der Evapotranspiration und natürlich als Lebengrundlage vieler Pflanzen und Tiere als fester Bestandteil des urbanen Ökosystems. Vielfach werden die Leistungen und der Nutzen, den der Mensch und seine Umgebung von den Gewässern beziehen, ganz allgemein auch unter dem Begriff des Wassermanagements zusammengefasst.

Grundsätzlich können bei der Betrachtung der **BLAUEN** Infrastruktur drei größere Themenkomplexe

- Lokalklima,
- Gesundheit und
- Ökosystemdienstleistungen

unterschieden werden, die zwar mehr oder minder stark in ihrer Wirkung miteinander verzahnt sind, allerdings zum besseren Verständnis in der Folge getrennt voneinander betrachtet werden:

3.3.1 BLAUE Infrastruktur und Lokalklima

Vergleichbar mit dem positiven Nutzen „grüner Flächen“ bieten aus lokalklimatischer Sicht offene Wasserflächen ein für den urbanen Raum nicht zu unterschätzendes Potenzial. Auf Grundlage der dem Wasser eigenen thermisch-physikalischen Eigenschaften ist die Geschwindigkeit, mit der es sich am Tage erwärmt, verglichen mit der von natürlichen und v. a. künstlichen Bodenoberflächen sehr langsam. Dementsprechend sind Wasserflächen an Sommertagen deutlich kühler als ihre direkte Umgebung. Hinzu kommt die über Wasserflächen sehr viel höhere Verdunstungsrate im Vergleich zu versiegelten Oberflächen. Die Folge ist ein gesteigerter Verdunstungsprozess, der der Luft Energie entzieht, die letztendlich der bodennahen Luftschicht nicht mehr zur Erwärmung zur Verfügung steht (Henninger & Weber, 2020).

Bei der Betrachtung wie urbane Flächennutzungen Einfluss auf das Lokalklima nehmen können, wird neben den unterschiedlich stark bebauten und versiegelten Flächen in nahezu allen Beispielen die positive Wirkung des urbanen Grüns auf die nähere Umgebung hingewiesen, und wie diese aus lokalklimatischer Sicht die bodennahen atmosphärischen Verhältnisse zu modifizieren vermag. Diese Flächen der **GRÜNEN** Infrastruktur (innerstädtische Grün- und/ oder Parkflächen, Dach- und Fassadenbegrünung etc.) sind oft zitierte Beispiele, wenn es darum geht eine positive Bilanz innerhalb des urbanen Raumes zu ziehen. Deren nachhaltig positive Wirkung sowohl aus allgemein stadtökologischer als auch speziell stadtklimatischer Sicht ist natürlich unbestritten. Allerdings muss einer weiteren innerstädtischen Flächennutzung der „blauen Flächen“ Rechnung getragen werden, die ebenso die lokalklimatischen Verhältnisse modifizieren kann (Völker et al., 2013; Löhmus&Balbus, 2014; Haase 2015; Völker & Kistemann, 2015).

Inwieweit sich eine Wasserfläche lokalklimatisch (z. B. temperaturreduzierend) auf die umliegenden Bereiche auszuwirken vermag, hängt ganz entscheidend von der Eindringtiefe in die Bebauungsstruktur ab. Sind Gewässer an ihren Rändern offen ist der positive Effekt deutlich nachweisbar. Wird es jedoch durch z. B. Dämme oder Wände zum Stadtkörper hin abgetrennt, ist deren Wirkung stark unterbunden. Hindernisse von 5 m bis 10 m Höhe sorgen bereits für eine beträchtliche Verringerung des Temperatureffekts in benachbarten Straßen. Auch der Straßenverlauf bzw. die -breite, die Kfz-Dichte sowie die Art der ufersäumenden Bebauung behindern die lokalklimatische Wirkung des Gewässers. So ist beispielsweise die von einem Fluss ausgehende Zunahme der Luftfeuchtigkeit in einem dicht bebauten Stadtteil um rund zwei Drittel geringer als in einer aufgelockert bebauten Fläche (Hupfer & Kuttler, 2006).

Das urbane Gewässer bzw. dessen temperaturreduzierender Effekt ist demnach sicherlich aus Sicht der **BLAUEN** Infrastruktur und an dieser Stelle vor allem für den stadtklimatischen Aspekt die am häufigsten untersuchte Wirkung, die das Wasser auf die lokalklimatischen Verhältnisse des angrenzenden Raumes ausübt. Allem voran galt und gilt es die Veränderung der Umgebungstemperatur in Abhängigkeit zur Tageszeit zu untersuchen, da diese Erkenntnisse und die daraus resultierenden Schlussfolgerungen, vor allem aus Sicht einer angewandten, planungsorientierten Stadtklimatologie, eine vergleichbare Wirkung zu der von urbanen Grünflächen aufweisen und somit einen wichtigen Stellenwert einnehmen können (Henninger & Weber, 2020).

Gerade im Hinblick auf die Herausforderungen des Klimawandels, denen der urbane Raum gegenübersteht, ist es wichtig die unterschiedlichen lokalklimatischen Wirkungen der verschiedenen urbanen Flächennutzungen zu untersuchen/analysieren, um deren spezifische Charakteristika zu kennen. Wiederrum offenbart sich in vielen Fällen das Problem, dass es eine entsprechend große Anzahl an Untersuchungen zu urbanen Frei- und Grünflächen gibt, nur wenige allerdings explizit auf die innerhalb solcher Nutzungen platzierten Wasserflächen eingehen. Daher ist es noch immer schwer eine allgemeine klimatologisch-orientierte Klassifikation der unterschiedlichen Wasserflächen vorzunehmen (Henninger & Weber, 2020).

3.3.2 BLAUE Infrastruktur und Gesundheit

Die gesundheitliche Wirkung urbaner Grünflächen ist hinlänglich bekannt und untersucht. Daher soll im Rahmen der positiven Wirkung der **BLAUEN** Infrastruktur auf die Gesundheit dieser Themenkomplex etwas genauer betrachtet werden. Dennoch gilt es zu berücksichtigen, dass sich bei einer genauen Wirkungsbeschreibung urbaner Gewässer auf den menschlichen Organismus der Einfluss „grüner Flächen“ nicht komplett ausschließen lässt, da diese das Gewässer meist umgeben.

Gegenwärtig existiert eine Reihe von Veröffentlichungen, die sich mit den Auswirkungen von urbanen, suburbanen und ruralen Wasserflächen befassen. Die Untersuchungsansätze hierzu sind vielfältig und reichen von qualitativen (Interviews etc.) bis hin zu quantitativen Methoden (GIS-Analysen, klimatologische Messungen etc.). Vor allem in Arbeiten, die sich mit der Gesundheit oder auch der psychologischen Wirkung von Natur- und Kulturlandschaften beschäftigen, finden sich grundlegende Beispiele, welche immer wieder das enorme Potenzial hervorheben, das solche natürlichen bzw. naturnahen Flächen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen haben. Jedoch zeigt sich auch hier immer wieder das Problem, dass keine flächenscharfe Einteilung bzw. Trennung vorgenommen wurde. Bei der Bewertung von urbanen Gewässern ist vielfach davon auszugehen, dass bei der Reflexion der Ergebnisse diese in nahezu allen Fällen sehr stark verflochten sind mit der Denomination „urbane Freiflächen“, worunter nicht nur das urbane Gewässer, sondern auch das urbane Grün zu verstehen ist (Völker & Kistemann, 2015). Dennoch zeigt sich vor allem in den letzten Jahren, dass der Bedarf und das Interesse an einer genaueren Betrachtung, mit dem Fokus auf der **BLAUEN** Infrastrukturleistung, beständig wächst. Die stetig steigende Zahl an Forschungsergebnissen in Bezug auf die gesundheitliche Wirkung von Gewässern spiegelt sich sehr gut in einer Reihe von fachwissenschaftlichen Publikationen unter anderem aus Großbritannien wider (z. B. Barton & Pretty, 2010). In zehn großangelegten Studien wurden der Zusammenhang und das Potenzial urbaner Wasserflächen auf das psychologische, physiologische und soziale Wohlbefinden der urbanen Bevölkerung untersucht. Eine wichtige Erkenntnis der britischen Studie war die signifikant positive Wirkung auf die Menschen, die von solchen urbanen Gewässern ausgeht. In Großbritannien hat diese Erkenntnis dazu geführt, dass im Arbeitsfeld der Grünflächenplanung bzw. auch der Stadtplanung mittlerweile sensibler mit dem Thema umgegangen und ein deutlicheres Augenmerk auf die Planung von urbanen Wasserflächen gelegt wird. Dies bedeutet nicht, dass zugunsten der **BLAUEN** Infrastruktur die **GRÜNE** Infrastruktur zurückgedrängt wird. Jedoch ist gegenwärtig ein Umdenken zu erkennen, was sich darin äußert, dass sich die Verantwortlichen intensiver mit der Frage der Nutzung und Gestaltung einer innerstädtischen Freifläche in Bezug auf eine **GRÜN-BLAUE** Infrastruktur beschäftigen.

North et al. (2011) konnten in einer Studie im Großraum von Oslo zeigen, dass die Bevölkerung vor allem bei kleinen und mittleren urbanen Grünflächen eher auf Anpflanzungen von Bäumen und/ oder Blumenbeeten zugunsten einer Wasserfläche verzichten würden. Urbane Gewässer sind vor allem aus der Sicht der Stadtbevölkerung ein unverzichtbarer Standort der Erholung (Rose & Aspinall, 2012; White et al., 2013). In den Niederlanden werden urbane Wasserflächen von großen Teilen der Bevölkerung im Vergleich zu Grün- und Freiflächen als durchweg positiver empfunden (White et al., 2010). Und auch Studien aus

semiariden Gebieten konnten aufzeigen, dass die urbane **BLAUE** Infrastruktur einen signifikant positiven Einfluss auf die Bewohnerinnen und Bewohner nimmt, die in nächster Nähe zu ebensolcher wohnen und leben (Yabes et al. 1997). Vor allem dieses Ergebnis ist aber sicherlich nicht alleine nur auf die psychologische Wirkung der **BLAUEN** Infrastruktur zurückzuführen, sondern in einem solchen Resultat spiegelt sich eine weitere Wirkung urbaner Gewässer wider und dies ist die bereits erwähnte positive Einflussnahme auf das lokale Klima.

Unter anderem wird der urbane Raum von vielen Menschen zunehmend als durchaus gesundheitlich belastend angesehen. Nicht zuletzt aufgrund einer Vielzahl negativer Einflüsse (Lärm, Luftqualität etc.) fehlt es vielfach an adäquaten Erholungsräumen und so ist das Verlangen nach einer entsprechenden Ausstattung urbaner Rückzugsräume enorm. Hierbei spielt die **BLAUE** Infrastruktur in den Augen vieler eine ganz entscheidende Rolle (Bolund&Hunhammer, 1999). Wasser, vor allem langsam bewegtes oder fließendes, wird als beruhigend empfunden, und dient somit dem Abbau von in der Stadt entstehendem Stress. So zeigten u. a. DeCoensel et al. (2011), dass wichtige Elemente der **BLAUEN** Infrastruktur, wie zum Beispiel künstlich angelegte Bachläufe und Fontänen, vermutlich durch das Plätschern des Wassers als beruhigend empfunden werden, da sie den benachbarten urbanen Lärm (z. B. Straßenlärm) größtenteils überdecken.

Interessanterweise wird der Rückzugsraum des urbanen Gewässers aus der Sicht der Erholung von vielen Menschen als anthropogen gemachter Kulturraum und weniger als naturnahe Landschaft wahrgenommen. Dies bedeutet im Verständnis vieler, dass urbane Gewässer zur eigenen Regeneration genutzt werden, jedoch nicht als Lebensraum, u. a. für Tiere zur Verfügung stehen dürfen. Dies konnten Bolund und Hunhammer (1999) an diversen Beispielen zeigen, wonach Frösche als ruhestörender Faktor in urbanen Stillgewässern aus diesem Bereich entfernt werden mussten oder auch originär an Gewässern beheimatete Insekten (v. a. Fliegen und Mücken) als negativ aufgefasste Erscheinung aus der Idealvorstellung eines solchen Raumes zu entfernen sind.

3.3.3 Ökosystemdienstleistung der BLAUEN Infrastruktur

Die **BLAUE** Infrastruktur stellt eine wichtige Komponente als integrativer Bestandteil des Ökosystemkomplexes Stadt dar, die auf die biotischen und abiotischen Faktoren der anderen Teilsysteme des Ökosystems Stadt Einfluss nimmt. Aus den dargestellten Wirkungen auf das menschliche Wohlbefinden und auf das lokale Klima ergeben sich ökologische Dienstleistungen, die sowohl als regulierende (ökologische) Dienstleistungen (*regulating services*) als auch als sozio(kulturelle) Dienstleistungen (*supporting services*) angesehen werden können (Henninger & Weber, 2020).

Hervorgerufen durch den Klimawandel weisen mittlerweile nahezu alle größeren urbanen Siedlungsräume drei hydrologische Problemfelder auf (Henninger, 2011):

- Hochwasserproblem (Zunahme des Oberflächenabflusses)
- Kontaminationsproblem (Verschlechterung der Regen- und Grundwasserqualität)
- Vorratsproblem (Abnahme der Grundwasserneubildung)

Ökosystemdienstleistungen, sowohl von der **GRÜNEN** als auch von der **BLAUEN** Infrastruktur, definieren Vorteile, welche die Bevölkerung aus ihren „Leistungen“ beziehen kann. Vielfach beschränkt sich deren Nutzen jedoch auf die sozio(kulturellen) Dienstleistungen. Die entsprechenden natürlichen/ naturnahen Räume werden auf vielfältige Weise in Anspruch genommen, denn sie bieten Möglichkeiten zur Gesunderhaltung und Erholung, zur geistigen Bereicherung und Erbauung sowie zum ästhetischen Genuss (Grunewald & Bastian, 2013). Die eigentlichen Potenziale, definiert über die regulierenden ökologischen Dienstleistungen, die allgemein gesprochen die Grundvoraussetzung der Existenz menschlichen Lebens sind (z. B. die temperaturregulierende Wirkung u. a. durch die **BLAUE** Infrastruktur; Grunewald & Bastian, 2013), werden nur in einem geringen Maßen ausgenutzt und finden kaum Berücksichtigung in der Stadtplanung sowie den politischen Entscheidungsebenen, aufgrund von meist unzureichendem Fachwissen oder fehlenden, themenspezifischen Erhebungen ihrer Berücksichtigung.

Ökosystemdienstleistungen weisen eine ganze Palette von Vorteilen auf, die letztendlich auch durch gezielten, planungsorientierten Einsatz der urbanen Bevölkerung zu Gute kommen können. Solche Beispiele sind das Straßenbegleitgrün, Grün- und Parkflächen, Teiche und Seen, urbane Waldflächen, Feuchtgebiete sowie Fließgewässer. All diese natürlichen bzw. naturnahen Dienstleistungen generieren auf

unterschiedlichste Weise positive Modifikationen für ihre Umgebung, die sich letztendlich auf die Qualität des urbanen Lebens auswirken und daher gegenwärtig und vor allem für zukünftige Planvorhaben stärker in die Stadtplanung bzw. Landschaftsplanung Einzug erhalten sollten. Einige dieser Dienstleistungen sind neben der lokalklimatischen Regulierungsfunktion die Verbesserung der Luftqualität durch Filterung der Luft, Lärmreduktion und Verbesserung des urbanen Wassermanagements.

Sicherlich ist die **BLAUE** Infrastruktur nur ein Bestandteil des gesamten ökologischen Komplexes, jedoch sollte klar sein, dass die gesamte Bandbreite an naturnahen und natürlichen Dienstleistungen, v. a. im urbanen Raum, nur funktionieren kann, wenn alle Teilsysteme in eine entsprechende Planung und potenzielle Umsetzung einbezogen werden. Mittlerweile gibt es eine Vielzahl von Beispielen, die den Ökosystemdienstleistungen Rechnung tragen. Bezogen auf die **BLAUE** Infrastruktur beschränkt sich dies zumeist auf Feucht- bzw. Auengebiete, also Räume, die charakterisiert sind durch Grünflächen mit einem hohen Durchfeuchtungsgrad. Ein Beispiel hierfür ist der „New York Green Infrastructure Plan“, der seit einigen Jahren an unterschiedlichen Standorten in New York City umgesetzt wird. Der Fokus hierbei liegt auf dem Umgang mit Hochwasserereignissen/-katastrophen, die nicht zuletzt durch Starkniederschlagsereignisse hervorgerufen werden. Dieser Herausforderung soll durch eine gezielte Zwischenspeicherung der Niederschläge begegnet werden, u. a. durch gezielte Begrünung von Dächern, aber auch durch Rückversiegelung entlang von Straßenzügen und an den Uferbereichen des Hudson und East River. Hier wird ein gezieltes Wassermanagement eingesetzt, das auch durch die Regenrückhaltung mittels kleinerer urbaner Stillgewässer unterstützt wird (Haase, 2015; Henninger & Weber, 2020).

Eine weitere positive Eigenschaft der **BLAUEN** Infrastruktur, v. a. im Rahmen einer planungsorientierten Betrachtung des Themas, ist die Bereitstellung von dezentralen Puffer- und Speicherräumen, wie Rückhaltebecken, straßenbegleitenden Tiefbeeten oder Versickerungsmulden zum Rückhalt des Oberflächenwassers bei Starkregenereignissen, die nicht zuletzt auch zu einer optischen Aufwertung des Stadtbildes beitragen können.

Regengärten stellen bepflanzte Vertiefungen im Gelände dar, in die Regenwasser von den Dächern und Oberflächen durch entsprechende Absenkungen eingebracht, gesammelt, gespeichert und gefiltert wird. Wasserdurchlässige Deckschichten nehmen Oberflächenwasser auf und erhöhen die Reaktionszeit während Starkregenereignissen. Rasengittersteine im Eingangs- oder Zufahrtbereich ermöglichen ein Versickern vor Ort. Sogenannte Regendiebe leiten das Niederschlagswasser aus den Abflussrohren direkt in den Garten. Hiermit wird dem Prinzip der „Schwammstadt“ Rechnung getragen – nahezu das gesamte Niederschlagsaufkommen wird aufgefangen, gespeichert, wiederverwertet und fließt nicht oberflächlich ab bzw. wird in die Kanalisation abgeleitet (Kotremba, 2021). Auf Grundlage des § 9 Abs. 1 Nr. 20 BauGB kann diese Entwicklung unterstützt bzw. festgesetzt werden, sodass z. B. Stellplätze mit wasserdurchlässigen Belägen (z. B. Rasengittersteinen) auszustatten sind. Ebenso kann festgesetzt werden, dass unbebaute Grundstücksflächen gärtnerisch anzulegen sind, was wiederum die Entstehung von Kies-/Schottergärten verhindert.

Bezogen auf die Ökosystemdienstleistung, vor allem im Bereich der **BLAUEN** Infrastruktur, sind es wie bereits angesprochen die Feuchtgebiete und die dort beheimatete Flora und Fauna, die in zahlreichen Studien untersucht werden. Bezogen auf den monetären Gewinn, der aus den Dienstleistungen eines Feuchtgebietes pro Hektar erzielt werden kann, liegt ebendiese Fläche auf Platz eins (Costanza et al., 1997). Die **BLAUE** Infrastruktur dieser Flächennutzung dient oftmals der Abwasserbehandlung bzw. -aufbereitung. Entscheidend für diese Flächen ist, dass Tiere und vor allem Pflanzen das Potenzial besitzen Stoffe aus dem verunreinigten Wasser aufzunehmen und zu verwerten. Ebenso wird hier der Abflussbeiwert signifikant verringert, was letztlich zu einer erhöhten Ablagerung von Partikeln hinein in den Boden führt. Bereits Ende der 1990er Jahre hat sich gezeigt, dass solche Flächen in der Lage sind, große Anteile von Stickstoff und Phosphor aus verunreinigten Abwässern herauszufiltern und aufzunehmen, was wiederum eine Verbesserung der Biodiversität dieser Flächen zur Folge hatte. Vor allem aber wurden die Kosten für die Abwasseraufbereitung immens reduziert.

4 FAZIT UND AUSBLICK

Eine zentrale Herausforderung für Kommunen ist die Finanzierung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Mittlerweile gibt es bereits Lösungsansätze wie Crowdfunding, Sponsoring oder Fördermittel, um Adaptionsmaßnahmen finanziell gezielt zu unterstützen. Hierfür müssen die vielfältigen

Ökosystemdienstleistungen der **BUNTEN** urbanen Infrastruktur in Werte überführt werden – Lebenszykluskostenrechnungen legen die Vorteile von langfristig angelegten Investitionen offen. Wird eine solche Kostenkalkulation adäquat berücksichtigt, so wird eine aktuell noch in die falsche Richtung weisende Entwicklung (u. a. ein begrenztes Budget, Unterhaltungskosten und Flächenkonkurrenz), hin zur Klimaanpassung mit ihren vielfältigen Synergieeffekten (bspw. für die Gesundheit, die Biodiversität oder auch für soziale Aspekte) gelenkt. Dafür sind allerdings der politische Wille und die Überführung in Verwaltungshandeln essentiell. Klimawandelmanagerinnen und Klimawandelmanager sollten in allen Kommunen zum „Verwaltungsinventar“ zählen, individuelle Leitbilder/ Leitstrategien müssen den Weg hin zu mehr Klimafreundlichkeit und Nachhaltigkeit vorgeben. Leitstrategien können entwickelt, in Beschlussfassungen integriert und von den Kommunen in Planungsinstrumente überführt werden. Flächennutzungs- und Bebauungspläne sind hierfür die entscheidenden Werkzeuge zur Umsetzung der Klimawandelanpassung (Kotremba, 2021).

Die Adaption an den Klimawandel ist neben dem Klimaschutz die größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts und sollte in allen Planungen oberste Priorität erhalten. Eine Anpassung muss jetzt erfolgen, denn Städte sind auf Dekaden ausgelegt. Die gegenwärtige Klimaentwicklung bedarf daher einer frühzeitigen, proaktiven Anpassung an potenzielle Klimawandelfolgen. Berücksichtigen wir heute und in naher Zukunft keine Anpassungen in kommunalen Planungen, werden wir dies zu einem späteren Zeitpunkt tun müssen – mit wesentlich höheren Kosten.

5 LITERATUR

- Barton, J. & J. Pretty (2010): What is the best dose of Nature and Green exercise for improving mental health? A Multi-Study Analysis. In: *Environmental Science & Technology*, 44 (10), pp. 3947-3955.
- Bolund, P. & S. Hunhammar (1999): Ecosystem services in urban areas. In: *Ecological Economics*, 29 (2), pp. 293-301.
- Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B.K., Graedel, T.E. & Schellnhuber, H. J. (2020): Buildings as a global carbon sink. In: *Nature Sustainability*, 3/2020, pp. 269–276.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Oneill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & M. van den Belt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. In: *Nature*, 387, pp. 253-260.
- DeCoensel, B., Vanwetswinkel, S. & D. Botteldooren (2011): Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise. In: *Journal of Acoust. Soc. Am.*, 129 (4), pp. 148-153.
- Grunewald, K. & O. Bastian (2013): *Ökosystemdienstleistungen – Konzept, Methoden, Fallbeispiele*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 332 S.
- Haase, D. (2015): Reflections about blue ecosystem services in cities. In: *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 5, pp. 77-83.
- Henninger, S. (2011): *Ökosystemkomplex Stadt*. In: Henninger, S. [Hrsg.]: *Stadtökologie. Bausteine des Ökosystems Stadt*. Schöningh Verlag Paderborn, pp. 11-33.
- Henninger, S. (2015): Kann innerstädtisches Grün die Luftqualität beeinträchtigen? In: *Neue Landschaft - Fachzeitschrift für Garten- und Landschaftsbau*, 2, pp. 31-35.
- Henninger, S. & S. Weber: *Stadtklima*. Schöningh Verlag Paderborn, 260 S.
- Hupfer, P. & W. Kuttler (2006): *Witterung und Klima*. Teubner Verlag Wiesbaden, 554 S.
- Kotremba, C. (2021): Klimaresiliente Städte – Wie können sie entstehen? Erfahrungen und Lösungsansätze aus dem Projekt Klimawandel Anpassungs COACH RLP. In: *Schriften des Arbeitskreises Landes- und Volkskunde*, Bd. 18, pp. 61-74.
- Löhmus, M. & J. Balbus (2015): Making green infrastructure healthier infrastructure. In: *Infection Ecology & Epidemiology*, 5.
- Nordh, H., Alalouch, C. & T. Hartig (2011): Assessing restorative components of small urban parks using conjoint methodology. In: *Urban Forest Urban Greening*, 10 (2), pp. 95-103.
- Rose, J.J. & P.A. Aspinall (2012): Adolescents' Daily Activities and the Restorative Niches that Support Them. In: *International Journal of Environmental Research of Public Health*, 9 (9), pp. 3227-3244.
- Völker, S., Baumeister, H., Classen, T., Hornberg, C. & T. Kistemann (2013): Evidence for the temperature-mitigation capacity of urban blue space – A health geographic perspective. In: *Erdkunde*, 67 (4), pp. 355-371.
- Völker, S. & T. Kistemann (2015): Developing the urban blue: Comparative health responses to blue and green urban spaces in Germany. In: *Health & Place*, 35, pp. 196-205.
- White, M., Smith, A., Humphreys, K., Pahl, S., Snelling, D. & M. Depledge (2010): Blue space: The importance of water for preference, affect and restorativeness ratings of natural and built scenes. In: *Journal of Environmental Psychology*, 30 (4), pp. 482-493.
- White, M., Pahl, S., Ashbullby, K., Herbert, S. & M. Depledge (2013): Feelings of restoration from recent nature visits. In: *Journal of Environmental Psychology*, 35, pp. 40-51.
- Yabes, R., Shetter, K. & J. Schneemann (1997): Urban waterways: changing historical uses and users in a southwestern desert city. In: *Landscape and Urban Planning*, 39 (2-3), pp. 167-185.