

Hermann Wollner

**Klimaresiliente integrale urbane
Gehölz- und Regenwasserwirtschaft
— kommunale Aufgabe für die Großstadt Berlin**

Herausgegeben von der Leipziger Ökonomischen Societät e.V., Leipzig

Postanschrift:

Leipziger Ökonomische Societät e.V.

z. Hd. Vorsitzender Dr. Klaus Reinsberg

Quedlinburger Str. 21

04157 Leipzig

Redaktion: Eberhard Schulze

Nachdruck, auch auszugsweise Veröffentlichung, nur mit
schriftlicher Genehmigung des Herausgebers

© 2019

Hermann Wollner

**Klimaresiliente integrale urbane
Gehölz- und Regenwasserwirtschaft
— kommunale Aufgabe für die Großstadt Berlin**

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Prolog - Problemstellung	3
2.	Aufgabenstellung und Gliederung	4
3.	Natürliche Zusammenhänge zwischen Mensch und Vegetation	5
4.	Natürliche Zusammenhänge zwischen Vegetation und Regen	10
5.	Urbane Flächenstruktur und Regenbehandlung	12
6.	Naturgemäße urbane Gehölz- und Regenwasser-Wirtschaft	14
7.	Ökonomische Betrachtung	18
8.	Ausblick	22
9.	Zusammenfassung - Thesen	23
10.	Literatur	24
11.	Erkenntnisvertiefende Tabellen	27

Unser Autor

Dr. agr. Hermann Wollner, geb. 1941, promovierte 1971 an der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Leipzig und graduierte 1978 als Außenwirtschaftsökonom in Berlin. Er war 30 Jahre im landwirtschaftlichen Anlagenexport in mehr als zwanzig Ländern auf 4 Kontinenten tätig. Sein Spezialgebiet war der internationale Technologietransfer und das Marketing für agrar- und umwelttechnische Innovationen. 1990 war er Mitbegründer des „Vereins für ökologischen Stadtumbau e. V.“ in Berlin-Marzahn. Seitdem ist er in verschiedenen Bürgerinitiativen und urbanen Diskussionsforen zu ökologischen Fragen, speziell der Siedlungswasserwirtschaft, engagiert. Im Jahre 2018 verfasste er für eine Berliner landeseigene Wohnungsbaugesellschaft das Gutachten »Bewirtschaftung des Regenwassers von Gebäuden des Gewerbegebietes Altes Stadtgut Hellersdorf«, welches bereits auf den nachfolgend dargestellten Grundüberlegungen basierte.

Kontakt: ehewol@arcor.de

In Dankbarkeit gewidmet meinem Lehrer, Agrarökonom Professor Dr. Gerhard Winkler

1 Prolog (Problemstellung)

Städter haben eine eigentümliche Sicht auf die sie umgebende Vegetation; speziell auf das 'Straßenbegleitgrün', pardon: die Bäume. Sie nehmen sie als Staubfänger, Lärmbremse, Schattenspendler und - aus einem gewissen Abstand - als Augenweide wahr, nicht aber als das, was sie tatsächlich sind: Lebenspartner. Der Mensch atmet Sauerstoff ein und glaubt, der käme irgendwie vom Himmel. Dem ist nicht so. Der von uns Geschöpfen der Fauna eingeatmete Sauerstoff der Atmosphäre stammt nicht 'vom Himmel', sondern wurde seit Jahrmillionen und wird so noch heute Atom für Atom durch die irdische Flora erzeugt. Klimatologen sagen verkürzt, auch 'die Ozeane' wären an der Sauerstoff-Generierung beteiligt; tatsächlich ist es die in ihnen lebende Mikroflora. Vermutlich sagen sie dies, um den Baumfrevlern zu Lande ein ruhiges Gewissen zu verschaffen: die Ozeane sind quasi die Spiegelfläche des Himmels - deshalb sehen sie so schön blau aus -, unvorstellbar groß und Quelle des atmosphärischen Wassers, welches durch Sonnenkraft und Luftströmungen über den Globus verteilt wird. Damit haben wir die Handelnden und das zu Handelnde dieses Aufsatzes beisammen: der Mensch, die Vegetation, das Wasser und die Luft. Irgendwie sind sie miteinander verknüpft, aber wie?

Gegenwärtig wird insbesondere in den Metropolen Deutschlands viel über die Effekte des 'Klimas' geredet. Da die Wortführer keine Meteorologen oder Vegetationskundige sind, wird langfristige Klima- und kurzfristige Wetterbetrachtung durcheinandergeworfen und ein einziger Parameter, die Lufttemperatur, vordergründig und bedrohlich dargestellt. Bezüglich des atmosphärischen Wassers werden lokale Starkregenereignisse von kurzer Dauer in der Berichterstattung herausgestellt, während Perioden wochenlanger Trockenheit in großen Landstrichen - mit weit größeren Effekten auf die Vegetation - zu geringe Aufmerksamkeit erhalten.

In Technotopen aufgewachsene Menschen vermögen sich offenbar nur noch schwer daran zu erinnern, dass sie eigentlich Naturgeschöpfe und dem Geschehen der Natur unterworfen sind. Die Wortführer der Klimadebatte stellen sofort die Richter-Frage: »*Wer* hat DAS verbochen?«, anstatt aufgrund des beobachteten „*Was*“ eine in alle Richtungen ermittelnde Ursachenforschung zu verlangen, zu der mehrere naturwissenschaftliche Disziplinen beizutragen und die Juristen zu schweigen hätten. Um der Debatte zusätzliche Dramatik zu verleihen, werden 'Klima' und sein 'Wandel' sofort zu einem Kunstwort zusammengezogen: „Klimawandel“, dessen Folgen nach allen Regeln der Juristerei wie die „Lebenswandelfolgen“ eines Delinquenten abgefragt werden. Gleichzeitig gerieren sich die Wortführer der Klimadebatte als bürgerschaftliche Schutzstaffeln, die ihre Urteils- und Handlungsvollmacht aus dem Begriff „Klimaschutz“ ableiten („Klimaschande“ klingt doch zu sehr nach Vorverurteilung). Das Ziel der Schutzmaßnahmen wird ebenfalls mit einem Kompositum benannt: „Klimaresilienz“, worunter der Wunsch zu verstehen ist, dass sich speziell die urbane Vegetation gegenüber 'Klimawandelfolgen' *robust* verhalten möge (Umweltbundesamt 2017). Die medial geführte Diskussion ist sich keineswegs einig, welche 'Klimawandelfolgen' einfach eintreten und welche von ihnen anderen 'Wandeln' folgen, d.h. solchen, die von handelnden Menschen verursacht und somit auch von diesen abgewehrt werden könnten und müssten.

Die negativen Folgen inadäquater *Stadtentwicklung* auf das Wohlbefinden der Bürger Berlins wurden in der Studie »Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin – AFOK« (SenUVK Berlin 2016) ausführlich und sektoriell analysiert. Das ein Jahr später beschlossene „Berliner Energie- und Klimaschutzprogramm (BEK) 2030“ spricht der Resilienz oder dauerhaften Vitalität des „Stadtgrüns“ (Parks, Bauminseln und -alleen, Gehölze und Hecken in den Wohn- und Gewerbequartieren) Priorität beim Anpassen an ein erwartetes wärmeres und trockeneres Ambiente zu. Es erscheint daher dringend geboten, sich die natürlichen Elemente der „Stadtgrün“-Resilienz und deren Zusammenhänge qualitativ und quantitativ anzuschauen.

Nachfolgender Aufsatz stellt sich nicht nur die Aufgabe, die wesentlichen natürlichen, quasi agrohydro-logischen Zusammenhänge für eine integrale urbane Gehölz- und Regenwasser-**Wirtschaft** qualitativ, sondern vor allem **quantitativ** darzustellen. Mehr noch: Es geht dem Verfasser darum, bei der urbanen Bevölkerung die Erkenntnis zu befördern, dass sie derzeit auf Kosten der nicht-urbanen Bevölkerung „weit da draußen“, irgendwo in der Taiga, lebt. Es wird höchste Zeit, dass die urban zusammengeballte Bevölkerung ihren Beitrag zur 'Klimagerechtigkeit' leistet, indem sie ihren „Eigenleistungsanteil“ an der globalen Sauerstoffproduktion erbringt. Diese „andere Welt“ ist möglich, wenn wir die urbane Gehölzwirtschaft ernst nehmen.

2 Aufgabenstellung und Gliederung

Der Aufsatz konzentriert sich auf die **ökologische Hauptleistung** der Bäume für den Menschen, die **Sauerstoffversorgung**. Diese ist in verdichteten Wohnquartieren von zunehmender Bedeutung. Natürliche, quasi agro-hydrologische Zusammenhänge der „Stadtgrün“-Resilienz sind „von der Wurzel her“ anzugehen, d. h. es sind Zusammenhänge zwischen Regen, Biomasseproduktion und Sauerstoffabgabe des Laubes von Gehölzen qualitativ und vor allem quantitativ verständlich zu machen, um zu einer naturgemäßen urbanen Gehölz- und Regenwasser-**Wirtschaft** zu kommen. Didaktisch erscheint es notwendig, mit der Darstellung der Naturmäßigkeiten des Menschen und der urbanen Gehölzvegetation zu beginnen. Sodann ist ein Blick auf die derzeitige Situation und die politikseitig postulierte Strategie der Verdichtung der Menschen und der Verdrängung der Vegetation in der Großstadt zu werfen. Die Situation in der Metropole Berlin, in der der Verfasser lebt, möge als Beispiel dienen. Um diversen nicht-integrativen Handlungsstrategien, die derzeit von unterschiedlichen Akteuren vorgeschlagen werden, entgegenzutreten zu können, ist darzulegen, was natürlicherweise zu tun ist, um langzeitlich erstrebte „Resilienz“ technologisch zu gestalten. Weil auch die beste aller Lösungen finanziert werden muss, ist diese am Ende (lokal-)ökonomisch zu betrachten. Die Darstellung **wirtschaftlicher** Vorteile - und nicht nur der Kosten - liefert schließlich das stärkste Argument zur Einführung einer nachhaltigen integralen urbanen Gehölz- und Regenwasser-**Wirtschaft** in der als Beispiel gewählten Metropole Berlin.

Dieser Aufsatz möchte in gedrängter Kürze

- die natürlichen Zusammenhänge zwischen dem jahreszeitlich unterschiedlich verfügbaren Regen, der erzeug- und erhaltbaren Laub-Biomasse der Gehölzvegetation und deren jährlicher Sauerstoffabgabeleistung darstellen,
- einen kritischen Blick auf „verdichtete“ Stadtflächenstrukturierung werfen,
- wesentliche Vor- und Nachteile technologischer Lösungen der urbanen Regenwasserbehandlung vergleichen,
- ein integrales Konzept für eine naturgemäße urbane Gehölz- und Regenwasser-Wirtschaft vorstellen sowie
- eine monetäre Bewertung („Bonitierung“) der dem 'Klima' zugeschriebenen und mittels integrierter urbaner Gehölz- und Regenwasser-Wirtschaft vermeidbaren Schäden vorschlagen.

In diesem Aufsatz werden Detail-Erkenntnisse von Naturwissenschaftlern, Stadtplanern und Ökonomen zu Aspekten des Beziehungsgefüges Regen – Vegetation – Mensch zu einem ganzheitlichen Überblick zusammengeführt. Der Verfasser unterscheidet dabei scharf zwischen dem **Regen**, der unverschmutzt auf die Dächer der Gebäude niedergeht, und dem **Niederschlagswasser**, welches - mehr oder minder mit „Zusatzstoffen“ versehen - von Verkehrsflächen in Gullies der Abwasserkanalisation abläuft.

Wesentliche wasserwirtschaftliche Erkenntnisse gewann der Verfasser durch eigene sorgfältige, tageweise Analyse der langjährigen Regenfälle am Ostrand von Berlin. Nichterdegundene, hochtechnische Lösungen der Fassaden- und Dachbegrünung sowie nicht auf die Vegetation gerichtete Nutzungen von Regenwasser werden am Ende des Aufsatzes ökonomisch verglichen. Die Untersuchung der Aspekte Beschattung, Abkühlungswirkung, Staubbindung und Lärminderung durch die arbuste Vegetation (Strauchwerk, Gehölze) bleibt anderen Arbeiten vorbehalten. Das Schwergewicht der Ausführungen wird ausdrücklich auf quantitative Aussagen gelegt, denn nur auf dieser Basis kann letztlich ökonomisch entschieden werden, welche Bewirtschaftungsform die besseren Leistungen für die Gemeinschaft erbringt.

Das aktive ökologische Dienstleiste für die Gemeinschaft beginnt damit, das Regenwasser ein wenig „arbeiten“ zu lassen, bevor es an den Baumwurzeln vorbei im Boden versickert. Durch den rationellen Umgang mit den ökologischen Komponenten gelangen wir nicht nur zu einem ökonomisch sinnvollen System, sondern wir entwickeln ökologische *Lebensqualität*.

3 Natürliche Zusammenhänge zwischen Mensch und Vegetation

Weshalb interessieren uns urban zusammengeballte Menschen zunehmend die natürlichen Zusammenhänge zwischen dem jahreszeitlich unterschiedlich verfügbaren Regen, der erzeug- und erhaltbaren Laub-Biomasse der Gehölzvegetation und deren jährlicher Sauerstoffabgabeleistung? Weil wir auf den von Gehölzen über das Laub abgegebenen **Sauerstoff** als unverzichtbares „Lebensmittel“ angewiesen sind! Die Gehölze sind die Monopolproduzenten für atembaren Sauerstoff – auch das in Flaschen gelieferte technische Gas wurde der Atmosphäre und nichts anderem entnommen.

Jahrhunderte, wenn nicht gar Jahrtausende, scherte uns die Atmosphäre, welcher die Fauna, der Mensch und - zunehmend - dessen Verbrennungsvorrichtungen (Herdfeuer, Schmelzöfen und fossilenergetisch gespeiste Motoren) den Sauerstoff entnimmt, wenig. Die Atmosphäre mit Atemluft und „Spurengasen“ (letztere erst im 18./19. Jh. ermittelt) war etwas Riesiges und wir kleinen Luftatmer dagegen verschwindend wenig. Das änderte sich seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts drastisch. Sowohl dadurch, daß sich die Erdbevölkerung in der Lebenszeit meiner Generation verdreifachte; mehr aber noch dadurch, daß sich diese verdreifachte Menschheit nunmehr auch noch zu zwei Dritteln in urbanen Konglomeraten zusammenballt. Selbst wenn die zirkumglobale Winde weiterhin in der Lage sind, den atmosphärischen Sauerstoff über unseren Köpfen „auszugleichen“ - von irgendwoher muß er ursprünglich gekommen sein, von irgendwoher wird er nachgeliefert und auf irgendjemandes Kosten veratmen wir Sauerstoff nutzende Stadtlinge unser täglich O₂. Sämtliches O₂ dieses Globus ist zu einem großen Teil irgendwann den Spaltöffnungen des Laubes höherer Pflanzen entwichen (den Sauerstoff der ozeanbürtigen Flora betrachten wir in diesem Artikel nicht). Wenden wir uns also den Bäumen im freien Lande und in der dichten Stadt zu.

Als „Stadtbäume“ werden nachstehend Bäume und Gehölze definiert, die urbane Straßenzüge, öffentliche Gebäude, Wohnblöcke und Gewerbegebiete, Eisenbahnanlagen und KfZ-Parkplätze umrahmen sowie sich in größeren und (meist) kleineren Stadtparks und „Freiflächen“ befinden. Hinsichtlich der Artenzugehörigkeit stehen die in der Metropole Berlin dominierenden Laubgehölze Linde, Ahorn, Eiche, Esche, Kastanie, Robinie, Ulme, Buche, Erle und Pappel im Vordergrund der Betrachtung.

Dominanz bedeutet in diesem Zusammenhang nichts weiter als Häufigkeit des Vorkommens, über deren Ursachen wir uns keine Illusionen machen sollten: »Bisher erfolgten Pflanzungen zumeist anhand langjähriger Erfahrung von Gartenämtern oder anhand von Literatur und Pflanzlisten (z. B. der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz e.V.); sie orientieren sich weniger an den Leistungen des Baumes sondern an der gärtnerischen und ökologischen Eignung für städtische Pflanzungen, schreibt *Mo-*

ser (2018). In Klardeutsch fragen die Gartenamtsleiter: „Was ist pflegeleicht, trockenheitsverträglich und schädlingsresistent?“ Da wird dann ganz schnell ein Trockenrasen als „ökologisch wertvolles Biotop“ definiert, damit er ein Drittel oder mehr der zu bepflanzenden Freifläche einnehmen darf. So wie die Gartenamtsleiter ihre betriebswirtschaftlichen Prioritäten setzen, setzt die ökologische Wissenschaft, die ihnen - eigentlich - vorarbeiten sollte, ihre Forschungsprioritäten bislang in einer ganz anderen Ecke. Die ökologische Literatur ist voll von Angaben über Zwei-Faktoren-Zusammenhänge, beispielsweise die Photosyntheserate (häufig „CO₂-Aufnahme in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke/Lichtintensität bzw. von der Temperatur“), die Transpirationsrate (Wasserdampfabgabe in Abhängigkeit von der Temperatur) und Quoten für Kohlenstoffspeicherung, Beschattung, Abkühlungswirkung, Staubbindung und Lärminderung, auch Regenwasserzurückhaltung und -verdunstung. In der pflanzenphysiologischen Forschung überwiegt die Ermittlung von Ursachen und Folgen von „Belastungen“. Diese werden mit hohem apparativem Aufwand an wenigen Bäumen in wenigen Wochen des Jahres gemessen und mit hohem mathematischem Aufwand zu nichtssagenden Regressionskurven verformt. Wie kleinteilig aktuelle ökologische Forschungen betrieben werden, ist dieser Formulierung zu entnehmen: »Messungen (zur Ermittlung der **Nettophotosyntheserate**, der **Transpirationsrate** und der stomatären Leitfähigkeit) wurden an Blättern des zweiten und dritten Blattaustriebes in den Lichtkronen mit einem Porometer (HCM-1000, Fa. Walz, Effeltrich) vorgenommen. ... Diese physiologischen Messungen erfolgten [an **8 – 27** ausgewählten **Bäumen** der vier Arten Eiche, Platane, Linde und Ahorn] in den Vegetationsperioden der Jahre 2009 und 2010 [konkret an **92 Tagen** in den Monaten Juni – August]. ... Aus den Parametern Nettophotosyntheserate und Transpirationsrate wurde die **Effizienz der Wassernutzung** (*Water Use Efficiency*, **WUE**) berechnet (*Larcher* 2001).« (*Gillner und Roloff* 2014). Ob diese Erkenntnisse Wesentliches und längerfristige Vorausschau Ermöglichendes widerspiegeln, ist doch sehr zu bezweifeln.

Praktiker vermissen die empirische Ermittlung mehrfaktorieller Zusammenhänge und der *positiven* Wirkungen in der Fläche, in der Menge und in der Zeit, der sogenannten *Ökosystemleistungen*. Allen Aspekten voran sollte die vor-Ort-Ermittlung der jährlichen **Sauerstoffherzeugungleistung** in urbanen Straßenzügen, um (Wohn-) Gebäudeensembles mit „Abstandsgrün“, in Gewerbegebieten sowie in größeren und auch den vielen kleineren Stadtparks stehen. Die Abstinenz der heutigen urbanen ökologischen Wissenschaft, derartige räumlich und zeitlich ausgedehnten Untersuchungen vorzunehmen, steht in deutlichem Kontrast zu den seit langem ausgeführten flächigen, langzeitlichen und multifaktoriellen Untersuchungen des Biomassewachstums (oder auch dessen Beeinträchtigungen) forstlicher Kulturen durch die Forstwissenschaft.

Populäre Veröffentlichungen früherer Jahrzehnte zeigen, dass man sich im vorigen Jahrhundert offenbar noch dessen bewusst war, dass ökologische und physiologische Parameter in Zusammenhang zu setzen sind. Beispielsweise schrieb der Garten- und Landschaftsarchitekt Aloys *Bernatzky* 1966 (ohne die Quellen seiner Zahlen mitzuteilen): »Beispiel einer **80-jährigen**, alleinstehenden **Rotbuche**: In diesem Lebensalter ist der Baum 25 Meter hoch; seine Baumkrone mit einem Durchmesser von 15 Meter bedeckt eine Standfläche von 160 m². In ihren **1.800 m³ Rauminhalt** [Kronenvolumen] finden sich **800.000 Blätter** mit einer gesamten Blattoberfläche von 1.600 m², deren Zellwände zusammen eine Fläche von 160.000 m² ergeben. Pro Stunde [Photosynthesezeit = Sonnenscheindauer] verbraucht diese Buche 2,35 kg Kohlenstoffdioxid [entspricht etwa **19 kg CO₂ in 8 h Photosynthesezeit**], 0,96 kg Wasser und 25.435 Kilojoule Energie (die eingestrahlte Sonnenenergie ist etwa siebenmal größer); im gleichen Zeitraum stellt sie 1,6 kg Traubenzucker her und deckt mit **1,7 kg/h Sauerstoff** [entspricht etwa **14 kg Sauerstoff in 8 h Photosynthesezeit**] den **Verbrauch von zehn Menschen** [entspricht etwa **1,4 kg O₂/Person/d**].« Zwanzig Jahre später teilt der Pharmazeut und Botaniker Dr. *Wolfram Buff* 1986 (leider ebenfalls ohne mitzuteilen, welchen Untersuchungen die Kennzahlen entstammen) mit: »Eine etwa **100 Jahre alte Buche**, etwa 20 m hoch, hat etwa 12 Meter Kronendurchmesser [entspricht ca. **900 m³ Kronenvolumen**]. Mit ihren **600.000 Blättern** verzehnfacht sie die 120 m², die

die Krone überdeckt, auf etwa 1.200 m² Blattfläche. Durch die Lufträume des Schwammgewebes entsteht eine Zelloberfläche für den Gasaustausch von etwa 15.000 m² [?]. Dieser Baum verarbeitet *an einem Sonnentag* 9.400 Liter = **18 kg Kohlendioxid** [woraus sich nach *Bernatzky* rund **8 h Photosynthesezeit** ergeben]. Bei einem Gehalt von 0,03 % Kohlendioxid in der Luft strömen etwa 36.000 m³ Luft pro Tag durch diese Blätter mitsamt den enthaltenen Bakterien, Pilzsporen, Staub und anderen schädlichen Stoffen, die dabei größtenteils im Blatt hängen bleiben. Gleichzeitig wird Luft angefeuchtet, denn der Baum verbraucht und verdunstet an demselben Tag etwa 400 Liter Wasser [entspricht einem Wasserbedarf von ca. **3 l/m² Standfläche** pro Tag der Vegetationsperiode od. 70 m³ pro Baum im VHJ]. Durch die Photosynthese werden dabei **pro Tag** [in der Vegetationsperiode] **13 kg Sauerstoff** als „Abfallprodukt“ gebildet - der **Bedarf von etwa 10 Menschen** [woraus sich die Erzeugung von etwa **1,3 kg O₂/Person/d** ableiten läßt].«

Nach beiden Autoren (keine Mediziner) erreicht der menschliche Verbrauch an Sauerstoff 1,3 – 1,4 kg/Person/d. Populäre Darstellungen im Internet teilen mit: Die Dichte von Sauerstoff liegt bei ca. 1,43 kg/m³ oder 1,43 kg auf 1.000 Liter. Nur ein Drittel des vom **Menschen eingeatmeten** Sauerstoffs wird in Lunge/Blut *aufgenommen*. Täglich 1,3 – 1,4 kg Sauerstoff *aufzunehmen*, bedeutet also, **1.000 Liter O₂ aufnehmen** und das Dreifache an O₂ *einzuatmen* (3.000 Liter) bzw. (bei rund 20 % O₂-Gehalt in der Atemluft) das Fünffache an Luft (15.000 Liter/Tag oder 15 m³/d). Medizinische Quellen (u. a. *Hinghofer-Szalkay*) beziffern den Bedarf an Sauerstoff, den der menschliche Körper im Ruhezustand *verbraucht*, auf 400 – 500 l/d bzw. **0,7 kg/Person/d**. Bei normaler täglicher Bewegung sind es mit Sicherheit **1,4 kg/d - 2,8 kg/d** und mehr. Demnach beträgt der **Jahresbedarf** eines normal aktiven **Menschen** rund **500 kg/a O₂**. Die von *Bernatzky* und *Buff* angenommener Bedarfe sind demnach eher das Minimum als das Optimum der dem Menschen zur Verfügung zu stellenden Sauerstoffmenge. „*BUFFs* Minimum“ ist möglichst verbrauchsnahe zu erzeugen - selbst dann, wenn wir wissen, dass gnädige Winde Sauerstoff „in unerschöpflicher Menge“ durch die Atmosphäre transportieren.

Bernatzky und *Buff* sprechen von der Leistung eines freistehenden Baumes an einem sonnigen Sommertag, d. h. innerhalb der Vegetationsperiode, in einer eher *ruralen* Umgebung. Ihnen zufolge erzeugt ein ausgewachsener Baum (Kronenvolumen mindestens **1.000 m³**) in dieser Periode (13 kg/d x 182 d) \approx **2.400 kg/a O₂**. Damit würde ein solcher Laubbaum (»80- bis 100-jährige Rotbuche« mit über 100 m² Standfläche) **im Jahr** knapp **fünf erwachsene Menschen** (nicht aber ihre Autos, Haushalttiere, Generatoren & Motoren, etc.) mit Sauerstoff versorgen. Diese Leistung wird nur im *ruralen* Milieu erreicht. Nach der Jahrtausendwende durchgeführte Untersuchungen der *urbanen* Baumvegetation und ihres Stoffwechsels hatten nicht zum Ziel, Aussagen zum Beitrag einer Baumart oder eines Mix aus Bäumen diverser Arten und Altersgruppen zur jährlichen Sauerstoff-Versorgung der urbanen Bevölkerung zu treffen. Untersuchungen darüber, wie etwa die photosynthetische „hardware“ des Baumes, die Menge seiner Blätter, mit dessen Sauerstoffabgabe korrelieren, unterblieben. Frau Dr. *Reischl* (geb. *Moser*), TU München, hat die internationale Fachliteratur jahrelang umfassend recherchiert und bekennt: »nur in wenigen Studien (wurden) die Biomasse oder das Baumvolumen sowie die Blattfläche erfasst, ... Parametern (mit denen) Leistungen wie *Kohlenstoffspeicherung* und Abkühlungswirkung bestimmt werden (könnten).« Gemeinsam mit anderen Wissenschaftlern der TU München ermittelte sie Masseparameter wichtiger urbaner Baumarten in Abhängigkeit von deren Alter. Ein Vorzug der von *Duthweiler et al.* 2017 publizierten Untersuchung ist, dass Zahlen für mehrere urbane Baumarten in einer breiten Spanne von Altersklassen an durchschnittlich mehr als 50 Exemplaren empirisch ermittelt wurden. Nachstehend eine Zusammenfassung der aussagekräftigen Münchner Ergebnisse, ergänzt um begründete Abschätzungen zu Blattfläche und Sauerstoffabgabe:

Tab. 1: Kronenvolumina, Blattoberfläche und Sauerstoffabgabe von Winter-Linde, Platane, Robinie und Kastanie in drei Altersklassen (Basis: *Duthweiler et. al. 2017*)

<i>Altersklasse</i> <i>ME</i>	<i>Anzahl</i> (Stk.)	<i>Kronen-Ø</i> (m)	<i>Kronenvolumen</i> (m ³)	<i>Blattoberfläche</i> ¹⁾ (m ²)	<i>O₂-Abgabe</i> ²⁾ (kg/a)
Linde					
10 – 20 Jahre	49	6,6	43,6	50	100
30 – 40 Jahre	96	11,6	198,0	200	500
50 – 60 Jahre	62	15,9	390,6	400	1.000
Platane					
10 – 20 Jahre	63	10,0	136,3	150	350
30 – 40 Jahre	88	16,0	442,1	450	1.100
50 – 60 Jahre	34	20,8	859,2	850	2.150
Robinie					
10 – 20 Jahre	34	9,7	109,3	100	300
30 – 40 Jahre	96	14,3	295,8	300	750
50 – 60 Jahre	50	17,2	459,7	450	1.150
Kastanie					
10 – 20 Jahre	19	5,7	42,8	50	100
30 – 40 Jahre	36	9,8	163,8	150	400
50 – 60 Jahre	62	12,8	294,8	300	750
„mittlerer Stadtbaum“					
10 – 20 Jahre	41	8,5	93,0	100	250
30 – 40 Jahre	79	13,4	291,8	300	750
50 – 60 Jahre	52	16,1	455,3	450	1.150

¹⁾ Annahme H.W. (gerundet): 1 m² Blattoberfläche je m³ Kronenvolumen (angelehnt an *Bernatzky 1966* und *Buff 1986*)

²⁾ Annahme H.W. (gerundet): 2,5 kg/a O₂ je m³ Kronenvolumen (angelehnt an *Bernatzky 1966* und *Buff 1986*)

Das Areal der Blattoberfläche korreliert selbstverständlich mit der Anzahl der Blätter am Baum. Im ruralen Milieu der Baumveteranen, welches *Bernatzky* und *Buff* darstellen, soll dieser Betrag im Bereich von 600.000 – 800.000 Blättern liegen; eine Menge, die von den im Durchschnitt jüngeren und sich mit geringerer Standfläche und geringerem Wurzelraum bescheiden müssenden Stadtbäumen gewiss nicht erreicht wird. Ein botanikfremder Physiker, *Thomas Natzel*, schlug folgende Berechnung vor, um die Blattzahl eines älteren urbanen Spitzahorn (25 m hoch) abzuschätzen: „40 Blättern je Zweig x 10 Zweigen je Ast x 7 Ästen je Hauptast x 36 Hauptäste am Baum = 100.800 Blätter« (*Quelle: Thomas Natzel, blog: „Fermiprobleme“*). Die Referentin des Schweizer Instituts für Stadt- und Siedlungsökologie, Wildtierforschung, Naturschutz und Kommunikation (SWILD), *Gloor*, Zürich, teilt (ohne Quellenangabe) mit, dass eine 100-jährigen Stadteiche 150.000 Blätter habe. Der Geoökologe *Langner* gibt in seiner Dissertation für innerstädtischen Spitzahorn in Stuttgart gerade einmal 40.000 Blätter pro Baum an. *Wie* diese Beträge ermittelt wurden, teilen die Autoren leider nicht mit. Der Forstbotaniker *Kätzel* hat es bei einer über vierhundertjährigen Eiche der Schorfheide getan - Blatt für Blatt - und kam auf 343.170 Blätter bei einer Kronenmantelfläche von ca. 1.600 m² (*Kätzel 2016*). Eine (erstrebenswerte) Ermittlung der photosynthetischen Sauerstoffhervorbringung über die gesamte Vegetationsperiode hinweg dürfte weitaus mühsamer sein.

Die Berliner landeseigene STADT UND LAND (SuL) Wohnbauten-Gesellschaft mbH, die auf ihren Immobilien derzeit rund 45.000 Wohnungen und rund 15.000 Bäume bewirtschaftet, gab (2008) an, dass ihre „Wohnhof-Bäume“ (damals vermutlich durchschnittlich im Alter zwischen 20 und 40 Jahren) im Durchschnitt nur 250 m³ Kronenvolumen besäßen. Ihre Standfläche beträgt auch nicht 100 – 150 m², sondern nur 50 m², was einer Baumdichte von 200 Bäumen/ha entspräche. Die Ø-Haushaltsgröße Berlins zugrunde gelegt, kamen somit bei der SuL damals auf 81.000 Sauerstoffatmer 9.000.000 kg/a O₂ Erzeugung oder pro Kopf 111 kg/a O₂. Unterstellt, daß im Jahre 2018 die um zehn

Jahre älteren Bäume ein Laubvolumen von etwa **400 m³/Baum** erreicht haben (wie die Münchner Untersuchungen annehmen lassen) und 2,5 kg/a O₂ je m³ Kronenvolumen (an *Bernatzky* und *Buff* angelehnt) abgeben, so erbringen sie heute etwa 1.000 kg/a O₂ pro Baum; das sind beim Verhältnis von knapp 0,2 Bäumen/Bewohner **nur 200 kg/a O₂ pro Anwohner**. Ein durchschnittlicher Berliner „**Wohnhof-Baum**“ älteren Standards versorgt somit nicht 10 - wie *Buff* für die freie Natur annimmt - sondern allenfalls **2 Menschen** mit dem Lebensmittel Sauerstoff. Pro 1.000 Bewohner eines wohnlichen Quartiers müssten demnach mindestens 500 gut entwickelte Bäume im „Hof“ stehen. Erst dann wäre der „**oxygene Körperabdruck**“ *der Stadtmenschen* im Gleichgewicht mit dem wohnnahen Sauerstoffangebot der Stadtbäume.

Unter dem Vorwand einer sozialen Zwangslage werden derzeit in vielen Berliner Bezirken kleine Wohngebiete („Quartiere“) „verdichtet“, statt am Stadtrand ganze neue Viertel zu errichten - mindestens mit dem Lebensumfeldstandard, wie ihn bereits Gesundheitsfachleute der 1920er Jahre erdachten und kluge Architekten (TAUT u.a.) realisierten. Für derartige Neubauquartiere des „13. Stadtbezirks“ - gedacht ist an eine „Bürgerstadt Buch“ (www.buergerstadt.de) müssten nicht einmal Flächen der intensiven Landwirtschaft bebaut werden. Was „Mieterverdichtung“ für die urbane Flächennutzung bedeutet, ist beispielsweise einer Pressemitteilung der landeseigenen Wohnbauten-Gesellschaft, die GESOBAU AG vom 05. 06. 2019 zu entnehmen (vgl. auch Tab. 11.2 im Anhang): „Die GESOBAU errichtet bis zum Frühjahr 2020 (an 3 Standorten in Kaulsdorf und Hellersdorf) insgesamt 813 neue Wohnungen; insgesamt 17 Wohnhäuser mit einer Gesamtwohnfläche von 42.306 m².“ Mit diesen Angaben lässt sich Folgendes berechnen: $42.306 : 813 = \text{Ø } 52,04 \text{ m}^2$ Wohnungsfläche pro Wohnung; $813 : 17 = \text{Ø } 48$ Wohnungen pro Wohnblock; bei Sechsgeschossigkeit, wie in der Tangermünder Straße (vor den Augen des Verfassers), ergibt das 8 Wohnungen pro Etage und $8 \times 17 \times 52,04 = 7.077 \text{ m}^2$ wohnbebaute Grundfläche auf allen 3 Standorten; $813 \times 1,8$ (Ø Haushaltgröße in Berlin) = 1.460 Bewohner an allen 3 Standorten insgesamt. Das sind 1.460 neue Sauerstoffatmer im Bezirk; jedem stehen knapp 30 m² Wohnfläche, aber bedingt durch die Etagenauftürmung nur 5 m² Grundfläche zur Verfügung. Die Bebauungspläne der Bezirksämter schreiben den Bauherren keine Mensch-Baum-Relation als Wohnqualitätskriterium vor. Das ist ein deutlicher Mangel. Eine vorgegebene Grundflächenzahl (GRZ) von 0,3 unterstellt, bedeuten obige Angaben, dass der Bauherr für 5 m²/Pers. Grundfläche nur 16 m²/Pers. Gesamtfläche Baugrund aufwenden muß. Abzüglich notwendiger innerer Verkehrsflächen (mindestens 3 m²/Pers.) bleiben nur etwa **6 - 8 m²/Person Grünfläche** - ein Viertel oder Fünftel der Bestandsfläche, die ältere Anlagen, beispielsweise bei der STADT UND LAND GmbH, aufweisen. Das nennt man „Wohnflächenverdichtung“. Es geht dabei weniger um die Verdichtung der Menschen-Belegung im Haus, sondern um eine erhebliche Einschränkung des „Wohnumfeldgrüns“. Auf der verbleibenden Grünfläche haben ausgewachsene Bäume mit entsprechend großer Sauerstoffabgabe gar keinen Platz. Auf der wohnnahen Fläche wird vermutlich nur eine Eigenerzeugung von weniger als **100 kg/a O₂ pro Anwohner** erreicht. Je GESOBAU-Mieter entsteht somit ein Fremderzeugungsbedarf oder „**oxygener Körperabdruck**“, der **das Vierfache der wohnnahen Sauerstoffabgabe** überschreitet (vgl. Tab. 8 in Abschnitt 11). Zu dieser Entwicklung könnte man auch „**Einschränkung der Wohnqualität**“ sagen.

Durch die gewollte Verdichtung der Bevölkerung in allen Bezirken Berlins unter Inanspruchnahme von „Freiflächen“ als versiegelbare Fläche wird die **Relation wohnnahe Sauerstoffabgabe zu Sauerstoffbedarf** der Stadt (vgl. Abschnitt 5) nachhaltig verschlechtert, von Konsequenzen hinsichtlich Beschattung, Abkühlungswirkung, Staubbindung und Lärminderung ganz zu schweigen. Im folgenden Abschnitt dieses Artikels soll untersucht werden, welche Folgen die Schmälerung der Standfläche auf die Transpiration, den Wasserbedarf und die Wasserversorgung urbaner Bäume im Vergleich zu „freien Landbäumen“ hat.

4 Natürliche Zusammenhänge zwischen Vegetation und Regen

Die uns Menschen umgebende Natur, fälschlich „Umwelt“ statt „Mitwelt“ (Lesch 2019) benannt, weist in allen Breiten des Globus einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem saisonal und tagtäglich wechselnden Regenaufkommen sowie der Art und dem Aufwuchs der Vegetation auf. Dieser Zusammenhang wird nicht dadurch außer Kraft gesetzt, dass Menschen in großer Anzahl Häuser in die Landschaft setzen und sich den Blick auf die Natur verbauen. Auch die **urbane Flora** - betrachtet wird in diesem Artikel ausschließlich menschengemachtes 'Straßenbegleitgrün' (Straßenbäume mit Unterpflanzung), Wohnhofbegrünung, 'Wohnabstandsgrün' (Sträucher und Hecken) sowie mehrjährige Kübelpflanzen auf Plätzen - unterliegt den Jahreszeiten. In der eurasischen Waldzone dominieren ohne Zutun des Menschen (Rodungen und Stadtgrüngestaltungen) Bäume und Sträucher. Glücklicherweise, sollte man sagen, denn damit haben wir es in gewisser Weise in der Hand, die urbane Sauerstoffversorgung „aus eigenem Aufkommen“, also „nachhaltig“, zu bestreiten. Die unverdrossen Sauerstoff abgebenden Laubträger - Bäume genannt, wenn sie über 5 Meter wachsen, und Gehölze, wenn sie unter dieser Höhe bleiben - hängen bezüglich ihres Laub- und Holzwachstums von der atmosphärischen Wasserzufuhr ab, die ihren Metabolismus mit den Bodennährstoffen ermöglicht. Wenig Regen → wenig oder dürres Laub; viel Regen → viel und saftstrotzendes Laub. Stadtgärtner bemerken dies mit einem gewissen Missvergnügen, weil im Frühjahr alle Hecken auf einmal austreiben und allerorten die um ein Vielfaches vermehrte Laubmenge wegzuschneiden ist.

Im vorhergehenden Abschnitt wurde dargestellt, dass zwischen den Umfeldbedingungen der durch *Bernatzky* und *Buff* beschriebenen ausgewachsenen Bäumen in ruraler Umgebung („Landbäume“, LB) und jenen an urbanen Standorten („Stadtbäume“, SB) deutliche Unterschiede bestehen. Nachstehend einige Faustzahlen zu deren biologisch-ökologischen Parametern auf der Basis der recherchierten Literatur:

Tab. 2: Wachstumsbedingungen und -ergebnisse durchschnittlicher Land- und Stadtbäume

<i>Parameter</i>	<i>ME</i>	<i>Landbaum</i>	<i>Stadtbaum</i>	<i>SB rel.</i> ³⁾
Alter	Jahre	100	40	40 %
Standfläche	m ²	140	75	55 %
Wurzelraum	m ³	700	380	55 %
verfügbare Niederschlag ¹⁾	m ³ /a	80	45	55 %
Kronenvolumen	m ³	2.000	400	20 %
Blätter	TStk.	700	150	21 %
Blattoberfläche	m ²	1.000	500	50 %
CO ₂ -Aufnahme	kg/a	3.500	1.750	50 %
O ₂ -Abgabe	kg/a	2.500	1.250	50 %
mit O ₂ versorgbare Anwohner ²⁾	Pers.	5	2,5	50 %

¹⁾ Basis: 580 mm Jahresniederschlag

²⁾ Basis: 500 kg/Pers./a

³⁾ LB = 100 %

Während es in der agronomischen Forschung vollkommen üblich ist, Wachstum und Ertrag mit den Bodenbedingungen sowie mit erhaltenen Regen- oder Bewässerungsgaben zu korrelieren, tut sich die urban-ökologische Forschung in dieser Hinsicht schwer. Es ist außerordentlich mühsam, Literaturquellen zu finden, die eine Jahresbilanz der Vitalität urbaner Laubträger in Abhängigkeit von ihrer Wasserversorgung wiedergeben und diese Parameter mit anderen messbaren und langfristig gemessenen Größen ins Verhältnis setzen. Wissen darüber, bei welcher Wassergabe welches Gehölz in jeder seiner Vegetationsperioden in einem bis zu 100jährigen Leben eine gute Laubbildung aufweist, wird eher durch praktisches Handeln als aus Büchern und Fachzeitschriften gewonnen. So kommen die vielfältigen Ratgeber-Hinweise auf zusätzliche Wassergaben zustande, beispielsweise: »Bäume brauchen im Sommer **50 – 150 l/Stk./Woche**; in Frühjahr und Herbst die Hälfte davon« (www.gruenwert.at/wp-content/uploads/2015/01/Pflegehinweis.pdf) oder »Wir empfehlen bei Tempe-

raturen um 30 °C einmal **wöchentlich** für Jungbäume ca. **100 - 300 Liter Wasser** und für Altbäume ca. **300 – 500 Liter Wasser**« (www.oekoplant.com/baeume-richtig-giessen). Letzterer Empfehlung folgend, würde ein Jungbaum (mit weniger als 100 m³ Kronenvolumen auf einer Bodenfläche von etwa 20 m² stehend) in der Vegetationsperiode etwa 2.600 l, d. h. 130 l/m² Wasser zusätzlich zum erwarteten Regen erhalten. Ein Altbaum mit einer fünf- bis zehnmal so starken Krone erhielte das Dreifache davon, insg. 7.800 l, d. h. ca. **500 l/m²** als zusätzliche Gabe. In der Praxis hängt die Entscheidung, zusätzlich Wasser zu verabreichen, vom optischen Eindruck, den die Laubkrone hinsichtlich ihrer Vitalität macht, ab. Wegen hohem Arbeits- und Kostenaufwand unterbleibt die flächige Ermittlung zusätzlicher Parameter, insbesondere der Bodenfeuchte, durch Sensoren. Ganz zu schweigen davon, die Laubmasse jedes einzelnen Baumkrontyps abzuschätzen und das Ergebnis dem Bewässerungsplan zugrunde zu legen - so wie der Landwirt einen Fütterungsplan aufstellt. Aussagen über Wassergaben aus der Praxis entsprechen eher der Aufgabe der Erhaltungsbewässerung als der Erzielung optimaler ökologischer Leistungen, sei es Sauerstoffproduktion, Schatten- & Transpirationskühlung oder Feinstaubfilterung. Stadtgärtner teilten dem Verfasser mit, daß in der Berliner Praxis die Parks nicht wöchentlich, sondern etwa in dreiwöchigem Abstand gewässert werden. Den Straßenbäumen geht es schlechter. Jedes Jahr wird in den Medien mitleidheischend dazu aufgerufen, dass doch die Bürger, bitteschön, den Bäumen vor ihrer Haustür »eine Kanne Wasser« (Trinkwasser, versteht sich) »spenden« mögen.

Klar ist, dass ein Zuviel des Guten (ohne Beachtung der Speicher- und Versickerungskapazität des Bodens) zu vermeiden ist. Klar ist auch, dass die benötigte Wassermenge für einige hunderttausend Bäume nicht aus dem Trinkwasserleitungsnetz kommen sollte, sondern vor allem in der Periode der Vegetationsruhe aus extra-terrestrischen Quellen zu gewinnen ist. „Extra-terrestrisch“ ist wörtlich zu nehmen, denn es handelt sich im Folgenden immer um Regen, der während der Monate Oktober – März auf urbane Dächer niedergeht und in den Monaten April – September (IV – IX) häufig auch dann fehlt, wenn die Lufttemperatur nicht über 30 °C steigt. Mit welchen Daten ist im Raum Berlin/südliches Barnim zu rechnen? Dazu hat der Verfasser im Jahre 2018 die für den geografischen Raum „südlicher Barnimrand“ (identisch mit dem Berliner Bezirk Marzahn-Hellersdorf) die Daten von 6 Stationen mit Stundenwert-Messung des virtuellen „Climate Data Center“ des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES aus dem Dezennium 07/2008 – 06/2017 ausgewertet (ID 00420 Berlin-Marzahn, ID 00053 Ahrensfelde, ID 00433 Berlin-Tempelhof, ID 00427 Berlin-Schönefeld, ID 00400 Berlin-Buch und ID 04912 Strausberg). Für die Entwicklung der Vegetation ist das Wettergeschehen in den Monaten IV – IX besonders wichtig. Nur in den Monaten Juni – August waren 4 – 6 Starkregenereignisse (Mengen ≥ 35 l/m²/6 h) zu verzeichnen. Die um ein Vielfaches häufigeren Tage ohne Regen in der 182tägigen Periode April – September wurden tageskonkret summiert, d. h. wenn am 27. September in 4 Jahren innerhalb der beobachteten zehn Jahre kein Regen gefallen war, wurde diesem Tag die Zahl „4“ zugeordnet. Hatte es andererseits an jedem 20. Juni oder 16. August innerhalb der Dekade geregnet, bekamen diese Tage die Zahl „0“ zugeordnet. Die Monatssummen dieser Zahlen - sie liegen zwischen „0“ (Dezember) und „53“ (September) wurden durch die Anzahl der Tage pro Monat geteilt, wodurch sich die relative Trockenheit des Monats ergab. Für die Station Berlin-Marzahn kam für das Dezennium 01. 07. 2008 – 31. 06. 2017 folgende Reihe zustande:

Tab. 3: Verteilung trockener Tage (tT) im Raum Berlin/südl. Barnim auf die Monate des Jahres

<i>Monat</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	Σ
Kennzahl													
Anzahl tT	14	30	17	50	37	39	26	23	53	29	41	0	359
Anzahl Monatstage	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
tT rel. (%)	45	107	55	167	119	130	84	74	177	94	137	0	98

Basis: Daten des CDC des DWD (vgl. Tabelle 7 in Abschnitt 11)

Im Mittel des Dezenniums 07/08 – 06/17 gab es während der Vegetationsperiode (IV – IX) 111 **Trockentage** (siehe Tabelle 7, Durchschnitt Trockentage im Vegetationshalbjahr), das sind zwei Drittel aller Frühjahrs- und Sommertage. Im Berliner Raum gibt es fast 20mal mehr Trockentage als Starkregentage. Der **zusätzliche sommerliche Wasserbedarf** zur Erhaltung der Vitalität des urbanen Baumbestandes Berlins unter Witterungsbedingungen mit regelmäßig $\bar{\varnothing}$ 100 Trockentagen in der Vegetationsperiode April - September wird mit **300 l/m² Baumstandfläche** (= 22,5 m³/Baum) eingeschätzt - dem Doppelten des standörtlich durchschnittlich verfügbaren Regens in dieser Zeitspanne. Damit würde für die urbanen Gehölze eine **tägliche durchschnittliche Wasserversorgung von 3,3 l/m² Standfläche** (vgl. „*Buff's Optimum*“ in Abschnitt 3) erreicht. Dieser Betrag ist als moderat einzuschätzen. Untersuchungen über die optimale Wasserversorgung von Stadtbäumen unterschiedlicher Altersklassen und Standorte waren in der Literatur nicht zu finden. Das Aufnahmevermögen baumtragenden „Mutterbodens“ ist auf jeden Fall erheblich größer. Die ökologische wie kommunalwirtschaftliche Frage ist: wie groß ist der Zusatzwasserbedarf für das gesamte Stadtgebiet und wie geht die Metropole in Zeiten, in denen sich sommers eine immer deutlicher wahrnehmbare Hitzeglocke über Mensch und Flora aufbaut, mit der Ressource Regenwasser um? Diese Zusammenhänge werden im folgenden Abschnitt 5 betrachtet.

5 Urbane Flächenstruktur und Regenbehandlung

„Der **urbane Wasserhaushalt** als eine der *Grundgrößen des Stadtökosystems* umfasst alle Prozesse und Größen im Zusammenhang mit dem Transport und der Speicherung von Wasser im urbanen Ökosystem (Steinhardt und Volk 2002).“ formuliert *Haase* 2016, um sich dann aber vorzugsweise der Abführung des Regenwassers in natürliche Gewässer zu widmen. Eindrucksvoll sind ihre eigenen Untersuchungen über „Oberflächenabflußwerte“ und Überflutungsrisiken in Leipzig dargestellt, während einer aktiven Zuführung von Regenwasser zur urbanen Vegetation - eindeutig ein *stadtökologischer Prozeß* - außerhalb ihrer Betrachtung blieb.

Aus dem in Abschnitt 3 dieses Aufsatzes Dargestellten ergibt sich, dass die Verfügbarkeit von großen Laubbäumen in Wohnnähe (im 500-m-Umkreis um die Wohngebäude) Element einer systematischen urbanen menschenbezogenen **Umweltbewirtschaftung** und nicht eines abstrakten *Stadtökosystems* sein sollte. Zahlen zur Verteilung der Stadtbäume auf Wohnquartiere sowie über die baumbestandene Flächen aller Eigentumsformen in der Stadt sind verschiedenen amtlichen Katastern zu entnehmen (vgl. *Karsch* 2018); diese sind aber für Außenstehende nur hinter einer Bezahlschranke zu erreichen; auf diverse Kategorien und Fraktionen verteilte Zahlen müssen mühsam zusammengezählt werden. Nichtamtliche Ökologiebeflissene greifen für Übersichtsdarstellungen wie diese auf aggregierte Angaben in offiziellen Statistiken zurück. Laut Statistik der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen besitzt **Berlin** insgesamt **107 Mio m² öffentliches Grün** (ohne Forsten und Friedhöfe, einschließlich ca. **40 Mio m² 'Verkehrsbegleitgrün'**). Leider werden nur die Straßenbäume und nicht alle Bäume auf wohnnahen Grünflächen inventarisiert, sodass für eine grobe Bilanzierung der Anteil der „Baumfläche“ am öffentlichen Grün sowie an privater Wohngrundstücksfläche geschätzt werden muss. Nachstehend eine iterative Annäherung. Unter der Annahme, daß ein Viertel der „Verkehrsbegleitungsgrün“-Fläche mit Bäumen bestanden ist, ergibt sich für die rund **440.000 Straßenbäume** der Stadt (Zählung 2016) eine Fläche ca. **10 Mio m²**, woraus pro Straßenbaum eine durchschnittliche Standfläche von etwa **20 m²** abzuleiten ist. Diese Annahme bestätigt der Augenschein. Nehmen wir an, dass die öffentlichen Grünflächen in der gleichen Proportion wie die Wohnhöfe der SuL (vgl. Abschnitt 3) zwischen Gehölzen, Stauden und Rasen aufgeteilt sind, dann stünden $(107 - 40 = 67 \text{ Mio m}^2 \times \frac{1}{3} =)$ ca. **20 Mio m²** (2.000 ha) **für straßenferne „öffentliche“ Bäume** zur Verfügung. Ihre Standfläche kann etwas großzügiger als die der Straßenbäume geschätzt werden. Eine angenommene mittlere Baumdichte von 150 - 200 Bäumen/ha ergibt ca. **60 m²/Baum** und einen Bestand von knapp 330.000 Park- und Freiflächen-Bäumen. Die - nur teilweise baumbestandenen - **Grünflächen in**

Block- oder Linien-bebauten „Höfen“ (unterschiedlicher Eigentumsform) können, von der statistischen Wohn(grund)fläche der Stadt, insg. 23.333.000 m² (2014), sowie von der gesetzlich zulässigen, moderaten Grundflächenzahl (GRZ) von 0,4 ausgehend, auf annähernd **5 Mio m² privates Grün** geschätzt werden. Bei angenommener gleicher Baumdichte wie im öffentlichen Grün könnten in wohnnahen privaten „Höfen“ rund 80.000 Bäume stehen. Das „Berliner Baumpotential“ ergibt sich aus der Summe der Straßenbäume, der straßenfernen „öffentlichen“ Bäume und der eingehofteten „privaten“ Bäume (440.000 + 330.000 + 80.000 =) **850.000 Bäume**. Dieser stattlichen Zahl steht eine Standfläche von schätzungsweise (40 + 20 + 5 =) **65 Mio m²** zur Verfügung - mal dichter an Verkehr, Abgasen und schattenwerfenden Gebäuden, mal ferner. Aus der Kalkulation der Gesamtfläche ergibt sich für grobe ökonomische Überschlagsrechnungen eine mittlere Standfläche pro Baum von rund **75 m²**.

Bevor wir zur Wasserversorgung der Bäume aus urbanen Ressourcen kommen, noch ein Blick auf die Berliner „landeseigene“ Sauerstoffversorgung. 850.000 Bäume mit einem mittleren Kronenvolumen von 400 m³ und einer Sauerstoffleistung von durchschnittlich 1.250 kg/a erbringen pro Jahr 1.000.000.000 kg O₂. Diese Menge auf 3.748.000 Einwohner (2018) verteilt, ergibt pro Berliner eine Versorgung mit **270 kg O₂ pro Jahr**, das sind etwa 53 % des Bedarfs (nicht eingerechnet die Versorgung der Verbrennungsmaschinen und Haustiere). In Berlin reicht demnach der „landeseigene“ Sauerstoff nur knapp 195 Tage. Für mindestens 170 Tage muß Sauerstoff importiert werden, denn die Touristen wollen ja auch atmen. Man könnte es auch so formulieren: ***Der „oxygene Körperabdruck“ der Berliner beträgt bereits heute mehr als das Zweifache des wohnnahen Sauerstoffaufkommens*** (vgl. Tabelle 8 in Abschnitt 11). Tendenz steigend, denn in den vergangenen 5 Jahren stieg die Bevölkerungszahl um etwa 100.000 Personen, während die Fläche des öffentlichen Grüns um 10 Mio m² abnahm.

Jeder Berliner Stadtbaum mit einer überschlägig kalkulierten Standfläche von **75 m²** erhält auf natürlichem Wege (75 x 0,6 m³/a =) 45 m³ Wasser pro Jahr. Ihre Versorgung aus **Regen** erreicht knapp **40 Mio m³/a**. Landschaftsgärtner sagen, unter Verweis auf die meteorologischen Bedingungen künftiger Sommer (vgl. Abschnitt 4): »Das reicht nicht.« Eine flächendeckende Zusatzversorgung von mindestens 35 % muß in den kommenden Jahren organisiert werden. Woher kann die zusätzliche Menge von rund **14 Mio m³/a** kommen, wenn wir sie nicht dem Grundwasser entnehmen wollen? Dazu ist ein Blick auf die derzeit übliche „Siedlungswasserwirtschaft“ zu werfen. Die Chancen für eine **vegetationsorientierte urbane Wasserwirtschaft** liegen in der Abkoppelung der Dachentwässerung vom Kanalsystem der Klärwerke.

Seit der Erfindung der Gullies wird jegliches Wasser, das über dem Straßenniveau auf Pflaster platscht, „elegant“ unter die Erde, in die Kanalisation befördert. Aber nicht nur dieses „Niederschlagswasser“, welches alle sich auf der befestigten Oberfläche ablagernden Stoffe (überwiegend ist es nur Staub und Sand) mit sich führt, wird als „Abwasser“ unter die Erde gebracht, sondern auch das völlig juvenile Regenwasser, das die flachen oder geneigten Dächer der Gebäude erreicht. In Zeiten länger anhaltender Trockenheit mit Schadensfolge an der urbanen Vegetation muss dieses Verhalten kommunalwirtschaftlich als ***Verschwendung einer Ressource*** bezeichnet werden.

In diesem Abschnitt blicken wir auf's Ganze und auf die kollateralen Folgen der weiteren Befolgung des Prinzips »alles Abwasser gehört unter die Erde«. Im 19. Jahrhundert war dies ein Fortschritt, aber in der heutigen Zeit stellt es eine Fortschrittsbremse dar. Besonders nachteilig wirkt sich aus, daß nichtgebrauchtes Himmelswasser in der kommunalen innerstädtischen Kanalisation mit Niederschlags- und Abwasser vermischt wird. Gemauerte Kanäle sind für alle Zeiten dimensioniert; sie funktionieren nicht wie ein Darm, der sich ausdehnen und zusammenziehen kann. Solange sie nur die Fäkalien der Stadtbewohner transportieren, ist ihre Dimensionierung eine einfache mathematische Aufgabe. Sobald aber zu diesem unhygienischen und sauerstoffzehrenden Abwassermix noch der

nicht vorhersagbare Starkregen, eingefangen von einem Areal, welches sich über Quadratkilometer versiegelter Fläche erstreckt, kommt, wird die Anlage angemessen dimensionierter Kanäle, Zwischenspeicher und Regelsysteme zu einer unlösbaren Aufgabe. Die pragmatische Lösung der vergangenen Jahre hieß: »Bei Starkregen Schleusen zur Vorflut auf!« Damit wurde den Fischen in Spree und Havel ein Giftcocktail serviert, den Abertausende von ihnen mit dem Leben bezahlten. Diese Tonnen verendeter Fische jeglicher Altersstufe sind als ökonomischer Schaden für die Fischwirtschaft monetär ausdrückbar.

Die Einzugsfläche der Berliner Mischkanalisation (MK) umfasst **83,0 km²**, das sind 83.000.000 m², auf die rund **50 Mio m³/a Regen** niedergehen. 2015 gaben die BWB an, **42,6 Mio m³ „Mischwasser“** bearbeitet zu haben. Aus der Differenz ist zu erkennen, wie groß das siedlungswasserwirtschaftliche Problem ist. Die derzeit Berlin regierende Koalition aus SPD, LINKEN und GRÜNEN hatte den Handlungsbedarf bei Regierungsbeginn etwas undeutlich formuliert. Laut Koalitionsvereinbarung 2016 soll jährlich **1 %** der Einzugsfläche der MK „abgekoppelt“ werden, d.h. die dieser Flächengröße entsprechende **Regenabflussmenge** ist irgendwie irgendwo anders „anzukoppeln“. In absoluten Zahlen sind dieser kommunalwirtschaftlichen Aufgabenstellung zufolge jährlich **830.000 m² Fläche** oder **500.000 m³ Regen** „abzukoppeln“. Voilà, das ergäbe - rein rechnerisch - für jeden unserer durstigen Stadtbäume 0,6 m³ bzw. 600 l; dieses Quantum würden Landschaftsgärtner an 3 Wochenenden vergießen, wenn sie es denn „angekoppelt“ verfügbar hätten. Dem kommunalwirtschaftlichen Thema der Niederschlags„abkoppelung“ widmet sich die BERLINER REGENWASSERAGENTUR (www.regenwasseragentur.berlin), die dazu 2018 und 2019 zwei Fachdialoge veranstaltete, an denen der Verfasser teilnahm. Auf diesen Veranstaltungen stellten Landschaftsarchitekten Insellösungen vor. Eine integrale Konzeption, die das Regenwasserangebot mit dem Wasserbedarf der Stadtbäume Bezirk für Bezirk abgleicht und Handlungsalternativen quantitativ darstellt, fehlt bisher in Berlin. Fragestellungen zu erwarteten Schäden im Perspektivraum bis 2050 enthält die Studie der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klima »Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin – AFOK« (SenUVK Berlin 2016). In einem weiteren Dokument der SenUVK, betitelt »Charta für das Berliner Stadtgrün« („Impulspapier“ 2018), werden Möglichkeiten, künftiger Schäden am Stadtgrün abzuwenden, in allgemeinen Wendungen angedeutet. Stadtlandschaftsarchitekten und Stadtentwicklungsplaner können zwischen 3 Alternativen des Behandeln von Regenwasser wählen: a) die administrative Lösung „Entsorgen“, b) die kreative Lösung „Versickern“ und c) die naturgemäße Lösung „Bewirtschaften“.

Die technologische und kommunikative Aufgabe der naturgemäßen integralen urbanen Gehölz- und Regenwasser-Wirtschaft soll im folgenden Abschnitt 6 betrachtet werden.

6 Naturgemäße urbane Gehölz- und Regenwasser-Wirtschaft

Weder für das „Abkoppeln“ des Regenwassers von der Abwasserentsorgung noch für das „Ankoppeln“ an einen Stadtgrünversorgungskreislauf liegt bis dato ein kohärentes Handlungsprogramm des Berliner Senats vor. Durch beauftragte Ingenieurbüros wurde ein »**Handlungsprogramm 2030**“ zur „**Charta für das Berliner Stadtgrün**“ (Stand 14. 05. 2019)« verfasst, in dem der Bezug der Vegetation zum Regenwasser nur teilweise angedeutet ist:

- **Förderung der Resilienz des Stadtgrüns**
- Siedlungsgrünprogramm/Hofbegrünungsprogramm 2.0
- Mehrfachnutzung von **Flächen der Regenwasserbewirtschaftung**
- Freiflächengestaltungspläne als verbindliches Instrument im Baugenehmigungsverfahren
- **Bürgerbudget** für das Stadtgrün.

Als zukunftsfähige Lösungen werden sowohl im Dokument der Senatsverwaltung für Umwelt vom Mai 2019 als auch in der Dokumentation des „2. Fachdialogs Abkoppeln“ vom April 2019 betrachtet:

- „Quartiersgrün“ („kleine Plätze“ und „Höfe“) in verdichteten Stadtquartieren gestalten
- Fassaden und Dächern (mangels Freiflächen) begrünen
- Das *Versickerung von Regenwasser in Straßenrandrigolen* fördern.

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche Berlins (mittlerer Radius 30 km), die die metropolitane „Wärme- und Staubglocke“ bildet, umfaßt rund 500 Mio m². So viele zentrale Konzepte der Kühlung, Beschattung und Staubbindung mittels „Stadtgrün“ man schmieden mag, die Lösung der Resilienzaufgabe verlangt die **klein-räumige Betrachtung** des „Quartiersgrüns“. Hinsichtlich der Ressourceneffizienz und der klimatischen und hygienischen Effekte kommt der **Quartiersfreiflächen- und Wohnhofbegrünung** weitaus größere Bedeutung als der Dach- und Fassadenbegrünung zu, die von einigen Umwelttheoretikern favorisiert wird. Die potentielle **erdgebundene Begrünungsfläche** Berlins umfaßt **65 Mio m²**; auf dieser Fläche versickern oder verdunsten jährlich rund **40 Mio m³ Regen**. Demgegenüber stünden für die Dachbegrünung höchstens 23 Mio m² zur Verfügung (Steglich 2018); das sind nur 23 % aller Gebäude(grund)flächen oder ein Drittel der erdgebunden begrünbaren Fläche. Bezogen auf die gesamte Siedlungs- und Verkehrsfläche beträgt die maximal erreichbare Gründachfläche nur 4,6 %. Von den künftigen Betriebskosten und der miserablen klimatischen Effizienz der Dachbegrünung schweigen die Planer derartiger Anlagen. In der Fachliteratur lassen sich folgende Aussagen zu letzterem Aspekt finden: »Für Toronto wird *analysiert* [also angenommen], dass bei einem **Gründachanteil von 50%** der Wärmeinseleffekt um ein Grad Celsius reduziert werden kann (Banting et al. 2005). Eine Studie für New York zeigt bei einer **75%igen Begrünung aller verfügbaren Flachdächer** eine Reduktion der Mittagshitze um ca. 0,4 Grad Celsius auf, (Rosenzweig et al. 2006). ... Auf Basis der internationalen Studien nehmen wir an, dass [in deutschen Großstädten] der **Gründachanteil auf mindestens 50%** erhöht werden müßte, um eine **spürbare Wirkung auf das Stadtklima** zu erreichen. ... Bei langen Trockenperioden, in der grüne Dächer kein Wasser mehr gespeichert haben, geht die positive Wirkung auf das Stadtklima gegen Null.« (Tröltzsch 2012)

Der in der kommunalen Praxis vorherrschenden unterirdischen Regenabfuhrlösung und der von Architekten propagierten oberirdischen Regenverdunstungslösung über Dach und Fassade sei nun die ebenerdige Lösung für die nachhaltige Bewirtschaftung gehölzbetonter wohnnaher Freiflächen in großen Zügen gegenübergestellt.

Die technologische Grundidee der „**Regen-zu-Baum-Lösung**“ (RzB-Lösung) besteht im Auffangen sämtlicher Regenenerträge auf Gebäudedächern mindestens während der Vegetationsperiode (VHJ, April – September, 14. - 39. Kalenderwoche), der Zuleitung dieser Regenmengen über eine möglichst kurze Distanz zu unterirdischen Zwischenspeichern geringer Dimension, die zwischen den Wasser‘quellen‘ (den Dächern) und den Wasser‘senken‘ (den baumbestandene Vegetationsflächen in Wohngebäudenähe) installiert sind, sowie deren Entleerung nach Bedarf mittels flexibel installierter Schlauchleitungen und manueller Verabreichung an zugeordnete Bäume im Vegetationshalbjahr.

In der Planungsphase ist zu ermitteln, welche „Dachwasser“menge eine Gebäudegruppe im Quartier täglich und wöchentlich liefern kann und wie hoch der Versorgungsbedarf der Bäume im Umfeld (keiner davon weiter als 250 m von einer zentralen Zisterne entfernt) sein wird. Das Fassungsvermögen der Zisternen, die das Regenwasser aufzunehmen und für die Bewässerungsperiode zu speichern haben, sollte dem 5jährigen Wiederkehrintervall $h_N(6 \text{ h}, 5 \text{ a})$ und nicht etwa - wie Umwelttheoretiker fordern - dem 100jährigen Wiederkehrintervall $h_N(6 \text{ h}, 100 \text{ a})$ von Starkregen angemessen sein. Seltene Extremaufkommen ($\geq 35 \text{ mm/d}$), die einmal pro Jahrzehnt oder fünfmal pro Jahrhundert erwartet werden können - was empirisch zu ermitteln und nicht aus Handbüchern zu entnehmen wäre - sind durch Überläufe an den Behältern an der Fallrohrbasis an einen kiesgefüllten Versickerungsschacht im Boden abzugeben. Die den Regen aus den Dachrinnen aufnehmenden Fallrohre sind so auszugestalten, dass dessen etwas ausgeglicheneres Aufkommen in der Ruheperiode der Vegetation (VRZ,

Oktober – März, 40. – 13. Kalenderwoche) gänzlich in gebäudenahen Rigolen versickern kann, d. h. dem Grundwasser vor Ort zugeführt wird. Dem erwartbaren Starkregen im Sommer entsprechend, ist den Dachflächen eine höhere Zahl von Traufableitungen als nach traditionellen Ausstattungsstandards zuzuordnen. Die Standorte der unter der Erdoberfläche zu installierenden und regelmäßig zu kontrollierenden Zisternen sind so auszuwählen, dass sie für die „gehölzbetonte Quartiersgemeinschaft“ möglichst zentral liegen.

Ab Zisterne werden die ihnen zugeordneten Bäume mittels flexibel installierter Schlauchleitungen im VHH wöchentlich und nach Bedarf manuell versorgt. Selbstverständlich könnten alle diese Arbeitsschritte automatisiert werden. Angesichts der zunehmenden urbanen Bevölkerung, die nicht nur wohnen, sondern auch beschäftigt werden will, wäre eine „Automatisierung des letzten Meters“ à la gärtnerischer Tröpfchen-bewässerung arbeitsmarktpolitisch keine gute Entscheidung. Es ist nicht so, dass Menschen das Bewässern mit Schläuchen machen *müssen*, sondern dass sie es *sollen*. Die mit dieser Aufgabe betrauten Personen, zutreffend „**Regenranger**“ benannt, erkennen die Bedürfnisse *jedes einzelnen Baumes* - wie es ein guter Landwirt auch kann. Das gilt auch im 21. Jahrhundert. Der Verfasser vertritt dezidiert die Meinung, dass RzB-Projekte eine *soziale*, nachbarschaftliche **Komponente** haben *müssen*. In Berlins dichten Kiezen sollten etwa 500 ganz lokale und mieternahe RzB-Projekte entstehen, um das „Regenwasserabkopplungs- und Mischwasserkanalisationsüberlauf-Problem“ zu lösen. Diese 500 lokalen und mieternahen „**Regen-zu-Baum**“-Projekte verbessern die **Wohnumfeldqualität** nur dann dauerhaft, wenn in jedem von ihnen **1 – 2 Regenranger** arbeiten. Den Arbeitsaufwand der täglichen und wöchentlichen Kontrolle des Kleinparks und der Zisterne(n) bedenkend, sollte ein „**Kiez-Regenwasser-Gehölzgrün-Projekt**“ (KRGp), welches eine „gehölzbetonte Quartiersgemeinschaft“ darstellt, keinen größeren Radius als 250 Meter haben. Darin liegen etwa **20 ha Fläche**, wovon gemäß GRZ-Vorgabe hausumgebend und verteilt insgesamt 4 ha baumbestanden sein könnten. Diese prinzipielle Lösung ist lokal vielfältig abwandelbar. Der Bürgersinn wird darin gewiss sehr erfindungsreich sein.

Im Prozess des Übergangs von der administrativen *Entsorgungswasserwirtschaft* zur natur- und nachhaltigkeitsgemäßen Gehölz- und Regenwasserversorgungswirtschaft sind mehrere „stakeholder“ (neudeutsch für „wirtschaftliche und gesellschaftliche Interessengruppe“) anzusprechen:

- die Haus- und Grundstückseigentümer,
- die potentiellen Nutznießer eines klimaresilienten Wohnumfeldes,
- die Administration (Senats- und Bezirksebene) und die „Herrin des Wassers“, die BERLINER WASSERBETRIEBE,
- die Repräsentanten der Bürger in Abgeordnetenhaus und Bezirksverordneten-sammlungen sowie
- die Freiflächen kreativ gestaltenden Landschaftsbauunternehmen.

Jeder dieser „stakeholder“ hat andere Interessen, weswegen der 2016 politisch verkündete Übergangsprozess nicht so recht in Gang kommen will.

- Haus- und Grundstückseigentümer möchten in erster Linie Wohnfläche vermieten, und sehen es nicht als ihre Aufgabe an, Naturparadiese schaffen, die „nichts einbringen“.
- Mieter wollen ein schönes Wohnumfeld haben, aber fürchten höhere Betriebskosten.
- Administratoren verschanzten sich hinter der „Gesetzeslage“ (die Verordnungen und Normative einschließt, die unter anderen politischen Prämissen formuliert wurden), weil sie den notwendigen Überzeugungs- und Abstimmungsaufwand scheuen.
- Die BERLINER WASSERBETRIEBE wollen Brunnenwasser verkaufen und für die Entsorgung von Regenwasser eine Kanaleinleitungsgebühr kassieren.

- Die Repräsentanten der Bürger stecken im Hamsterrad von 1001 lokalen Detailentscheidungen, die es ihnen zeitlich unmöglich machen, mit Übersicht und Vorausblick das „Regen-zu-Baum-Problem“ anzugehen. Oft fehlt den Mitgliedern der Ausschüsse für Umwelt und Freiflächengestaltung elementares Fachwissen.
- Die Landschaftsarchitekten präsentieren vorzugsweise Projekte, die viele „Planungs-Leistungen“ beinhalten, an deren Umfang sich ihr Honorar bemisst.

Die administrative zentralistische Lösung „**Entsorgen**“, welche gigantische zentral anzulegende und unterirdisch zu bauende Zisternen erfordert, wird zunehmend teurer. Mangelnder ökologischer Weitblick und die Praxis, bei der Kalkulation von Projekten anstelle empirisch ermittelter Regendaten „Niederschlagsmodelle“ aus dem Katalog zu verwenden, welche Emphasis auf Starkregen legen und Trockenperioden vernachlässigen, veranlasst Landschaftsarchitekten dazu, ihren kommunal-„öffentlichen“ Auftraggebern nunmehr vorzugsweise die kreative Lösung „**Versickern**“ zu präsentieren. Dach- und Fassadenbegrünung ist nur eine hochgelagerte Form des Versickerns im Erdreich (Rigolen-Anlage). Garniert mit futuristischen Bildern wird sogar der „bosco verticale“ à la *Boeri* angepriesen. Je höher das Grün virtuell da droben wächst, desto beeindruckter sind Politiker und Journalisten. Installationskosten in Höhe von mehreren Tausend Euro pro Quadratmeter bringen viel höhere Honore ein als ein ebenerdiger laubiger und schattiger Nachbarschaftspark, der auch aus Obstbäumen bestehen könnte.

Die naturgemäße, ressourceneffiziente und klimaresiliente Lösung „**Bewirtschaften**“ skaliert eigentlich nur die jahrhundertealte Erfahrung der Parzellengärtner ins Größere. Sie erfordert weder gigantische Speicher noch aufwendige bauliche Appendixe, wie beispielsweise die „Roof Water Farm“ (RWF) von Prof. Dr.-Ing. Anja *Steglich*, TU Berlin, deren Pilotprojekt 2018 in einer Publikation vorgestellt wurde. Die Verdunstungskapazität eines ha Stadtbäume erreicht das Mehrfache von 1 ha Sedum-Gründach (ganz zu schweigen von Sauerstoffleistung, Kohlenstoff- und Feinstaubbindung, Schattenspende und Lärmbremse). Genügend alte Stadtbäume verwerten daher auch ein Mehrfaches an zugeführtem Wasser gegenüber Dachgärten. Der Nutzwert baumbegrünter Stadtflächen ist in wissenschaftlichen Arbeiten abgeschätzt worden - der Klima-Nutzwert von 0,02 % dachbegrünter Stadtfläche ist insignifikant.

Die technisch-ökologischen Vorteile der „Regen-zu-Grün-Lösung“ sind zusammengefasst:

- Die naturgemäße Lösung hat das Potential, das Dreifache des prognostizierten mittleren Tagesniederschlags der Vegetationsperiode in eine essentielle ökologische Leistung umzusetzen.
- Die naturgemäße Lösung ist in Berlin auf einer um das Dreifache größeren Stadtfläche umsetzbar, als es die Dachbegrünung wäre.
- Die naturgemäße Lösung ist eine kontinuierlich vielen Menschen Arbeit gebende Lösung, keine einmalige Demonstration technischer Möglichkeiten.
- Die naturgemäße Lösung betrifft das Wohnumfeld hunderttausender Stadtbewohner; die „Regen-zu-Grün-Lösung“ schwebt nicht über den Häuptern der Hausbewohner und ist täglich von jedermann zu genießen und zu beurteilen.
- Die naturgemäße Lösung erreicht im Vergleich zu technisch-baulichen Lösungen den **höchsten Stadtklimaverbesserungsnutzen** (vgl. Tab. 9 in Abschnitt 11). Hinzu kommt der sehr anschauliche „Stadtschönheitsverbesserungsnutzen“.

Viele der vorgetragenen Vorbehalte und Widerstände gegen eine „Regen-zu-Grün-Lösung“ haben erkennbar mit Ökonomie zu tun. Im folgenden Abschnitt wenden wir uns daher den ökonomischen Aspekten der naturmäßigen urbanen Gehölz- und Regenwasserbewirtschaftung zu.

7 Ökonomische Betrachtung

Auch naturgemäße *ökologische* Lösungen haben die Prüfung zu bestehen, ob sie *ökonomisch* gestaltbar sind. Hier sind Zahlen gefragt und nicht nur mächtig-gewaltiges verbales Flügelschlagen („Umweltgerechtigkeit“, „Ökosystemleistung“), wie dringend es doch „anders“ werden müsse. Die ökonomische Prüfung des Aufwandes für die urbane Gehölzkultur darf nicht nur deren Investitionskosten umfassen. Gerade wegen seiner ausgedehnten Langfristigkeit - die mehrere Legislaturperioden überschreiten wird, und somit an den Denkzeitraum der gegenwärtigen Berliner Landesregierung („1 % pro Jahr“ = 100 Jahre Umschlagszeit) anknüpft - sind sowohl die Betriebskosten als auch der Betriebsnutzen zu kalkulieren, um zu einer ganzheitlichen Bewertung zu kommen. Die härtesten Brocken der ökonomischen Betrachtung stellen diese Fragen dar: Werden die Richtigen für den Nutzen zahlen? Oder werden weiterhin die Falschen für den Schaden nicht-naturgemäßer stadtoökologischer Maßnahmen zur Kasse gebeten? In welchen Zeiträumen sind Stadtbäume schlagreif (technologisch gesehen), „umzutreiben“ oder „abzuschreiben“ (betriebswirtschaftlich betrachtet)?

Der investive Aufwand eines „Regen-zu-Baum“-Projektes hängt wesentlich von der Dimensionierung der Speicherzisterne ab. Wasserbautechniker dimensionieren ihre Bauten unter Zugrundelegung des sogenannten Bemessungsniederschlagswerts HQ, der mit dem meteorologischen Wiederkehrintervall HN korreliert. Das Ingenieurbüro OBERMEYER, München, arbeitet beispielsweise mit einem HQ 35, d.h. dem Wiederkehrintervall von HN_035A, welches bedeutet, dass das Starkregenereignis, an dem die Dimension der Zisterne ausgerichtet ist, sich innerhalb von 35 Jahren einmal ereignet. Die wirkliche Bedrohung unseres Areals auf der Barnimer Flur ist jedoch nicht der Starkregen, sondern es sind die in einer Vegetationsperiode regelmäßig mehrfach wiederkehrenden Trockenperioden. Dadurch, daß 3 oder 4 Kalendertage eines Monats mehrfach innerhalb der Vegetationsperiode (April – Oktober, 182 Tage) in einer Trockenperiode liegen, erreicht dieses Kriterium ein Wiederkehrintervall von HN_007A (7 a). Es tritt also ***14mal häufiger als der von Laien-ökologen beschworene „HQ 100“ für Starkregen*** ein. Die Forderung, wasserwirtschaftlichen Bauten den „HQ 100“ zugrunde zu legen, ist theoretisch zulässig. Sie durchzusetzen, würde allerdings die gebäudewirtschaftliche Praxis mit üppi- gen Kosten konfrontieren, die mit Sicherheit miethpreistreibend wären. Hier sollte also die Technik deeskaliert werden und eine kontinuierliche humane Vigilanz über den Füllungsstand der Zisterne verhindern, dass selbige überläuft.

Tab. 4: Kennzahlen des Ausstattungsaufwandes¹⁾ eines „Regen-zu-Baum“-Projektes

<i>Ausstattung</i>	<i>Menge je 1000 m² VF²⁾</i>	<i>Kosten je 1000 m² VF²⁾</i>	<i>Anteil an Ges.kosten</i>
Fallrohre	100 lfm	5.000 €	8,3 %
Versickerungsmulde (bei Fallrohren)	200 m ²	4.000 €	6,7 %
Zisterne	40 m ³	20.000 €	33,3 %
Rigole (bei Zisterne)	100 m ²	4.000 €	6,7 %
Verteilssystem	50 lfm	2.000 €	3,3 %
Diverses	•	2.500 €	4,2 %
Planungsaufwand	•	7.500 €	12,5 %
Einbauaufwand	•	15.000 €	25,0 %
Summe	•	60.000 €	100,0 %

¹⁾ Beträge orientiert an *Riechel* et al., KURAS 2017, u. Herstellerangaben; VF mit Altbaumbestand

²⁾ VF = bewässerte Vegetationsfläche, wobei zwischen genutzter Dachfläche (DF) und versorgter Vegetationsfläche eine Proportion von etwa 1 : 1 bestehen sollte

Bauliche und technische Ausstattungen einer „Regen-zu-Baum“-Anlage sind unterschiedlich lange nutzbar. Das Verteilssystem (Schläuche, Ventile) hält vermutlich nur 10 Jahre stand, während Zisternen es mindestens auf 40 Jahre bringen sollten. Aus der ausstattungs-konkreten Berechnung der AfA

ergibt sich eine mittlere Nutzungsdauer von etwa 27 Jahren. Nach den in Abschnitt 6 dargelegten Vorstellungen ist eine „Regen-zu-Baum“-Anlage keineswegs eine automatisierte & digitalisierte Veranstaltung. Das Herzstück einer nachhaltigen, klimaresilienten Gehölzföhrung ist vielmehr die im Vegetationshalbjahr (April – September) unverzichtbare landschaftsgärtnerische Arbeit langjährig engagierter Menschen. Die Vergütung der durchaus als „Regenranger“ zu bezeichnenden Personen ist an gemäß Tarif E6 TVöD des öffentlichen Dienstes zu gestalten und nimmt zu Recht den 1. Platz unter den Betriebskosten ein. Die Abschreibungskosten bleiben dennoch eine beträchtliche Position. Ein Vorzug der betreuten Regen- und Parkwirtschaft ist der mögliche Verzicht auf frühzeitige Nachpflanzung von Bäumen, die sonst leicht 1.000 €/a pro 1.000 m² erreichen kann. Die Nutzung des Regenwassers von den Dächern nahe stehender Gebäude spart den Einsatz von Brauchwasser aus dem Leitungsnetz der BERLINER WASSERBETRIEBE (BWB) in Trockenzeiten. Sie erspart dem Grundstückseigentümer auch die Zahlung der jährlichen Niederschlagswassereinleitungsabgabe (NWEA) gemäß § 15 b (1) ABE BWB, die derzeit etwas über 1,07 €/m³ beträgt und nach Realisierung des gegenwärtig laufenden Programms zum Bau zentraler Zisternen und sonstiger Schutzbauten gegen Starkregenfluten bestimmt kräftig steigen wird.

Tab. 5: Kennzahlen des jährlichen Betriebsaufwandes¹⁾ eines „Regen-zu-Baum“-Projektes

<i>Art des Aufwands</i>	<i>Menge je 1000 m² VF²⁾</i>	<i>Betrag je 1000 m² VF²⁾</i>	<i>Anteil an Ges.kosten</i>
Abschreibungskosten	•	2.500 €	35,7 %
Betriebsmaterial	•	1.000 €	14,3 %
Nachpflanzmaterial	2 Stk./a	1.000 €	—
BWB-Ergänzungswasser	300 m ³ /a	—	—
Arbeitsaufwand im VHJ	200 AKh/a	3.000 €	42,8 %
sonstige Aufwendungen	•	500 €	7,2 %
Summe	•	8.000 €	100,0 %

¹⁾ Beträge orientiert an *Riechel et al.*, KURAS, Berlin 2017

²⁾ VF = bewässerte Vegetationsfläche, wobei zwischen genutzter Dachfläche (DF) und versorgter Vegetationsfläche eine Proportion von etwa 1 : 1 bestehen sollte

Damit kommen wir zum kitzligsten Punkt der Debatte um die Gestaltung von „Regen-zu-Baum“-Anlagen: welchen Nutzen stiften sie über den Bereich ihres juristisch abgrenzbaren Territoriums hinaus der urbanen Gesellschaft? Die durchaus quantitativ abzuschätzenden ökologischen Leistungen eines grünen Quartiers betreffen die Sauerstoffabgabe (gekoppelt mit der Kohlenstoffdioxydaufnahme), die Luftfilterung (Beseitigung gasförmiger Abfallstoffe), den Hitzeschutz durch Schattenwurf und erhöhte Evapotranspiration (Klima'regulation im eigentlichen Sinne), die Lärmreduzierung und die sichere Drainage selbst stärkster Regenfälle. Wie aber sind derartige Leistungen in Geld auszudrücken? Und: deckelt die Einsparung des NWEA die Betriebskosten des Betreibers? Beim derzeitigen Tarif der BWB ergäbe der Wegfall der NWEA für den Grundstückseigentümer und -betreiber einen Erlös von nur etwas mehr als 1.000 € je 1.000 m² VF, dem achtfach höhere Kosten gegenüberstehen. Renditeorientierte Grundeigentümer, die ein Geschäft durchkalkulieren, bevor sie es abschließen, erkennen: „Ankoppeln“ kostet mehr als „Entsorgen“. Demzufolge unterbleibt von ihrer Seite die Initiative zur Veränderung der Situation nach den Vorstellungen der derzeit Berlin regierenden Koalition von SPD, LINKEN und GRÜNEN. Wenn also die Grundeigentümer anderen Sinnes werden sollen, dann ist über den Nutzen der naturgemäßen Regenwasserbewirtschaftung für die Stadtgesellschaft nachzudenken und die „Regen-zu-Baum“-Projekte sind nützlich zu machen, d. h. kostendeckend zu gestalten.

Die **negativen Folgen** nichtgrüner Stadtentwicklung werden in der Studie »Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin – AFOK« (F.A. Reusswig et al. für SenUVK Berlin 2016) beredt geschildert. Die Autoren der AFOK-Studie versuchten darüber hinaus unter Berufung auf Berechnungen des DEUTSCHEN INSTITUTS FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (DIW) eine **Schaden-Kosten-**

Abschätzung. Die zitierte Arbeit (Kemfert, DIW 2008) nennt allerdings eine aggregierte und über einen ziemlich langen Zeitraum *prognostizierte* Größe (S.148): „Gemäß einer nach Bundesländern differenzierenden Abschätzung hätte Berlin mit Klimaschäden in Höhe von insgesamt rd. **10 Mrd. €** bis zum Jahr **2050** zu rechnen.“ Die Autoren der AFOK-Studie gehen daraufhin in den Wunschmodus über: „Die *Herausforderung* für Berlin liegt also darin, aus den *zahlreichen möglichen Anpassungsmaßnahmen*, mit denen die nachteiligen Folgen des Klimawandels für die Stadt wirksam vermieden oder gemildert werden können, diejenigen auszuwählen, die einerseits die größten positiven Effekte versprechen und die andererseits für die Stadt und *ihre Einwohner* auch bezahlbar sind.“ Im Abschnitt »**Kosten und Nutzen der Anpassungsmaßnahme „Mehring von Stadtgrün“**« (S.153) visionieren F.A. Reusswig et al.: „Würden *alle (vorgenannten) Effekte* im Rahmen einer erweiterten Kosten-Nutzen-Analyse umfassend erfasst und monetarisiert, *ergäben sich* mit großer Wahrscheinlichkeit *Nutzenwerte* von mehreren hundert Millionen Euro pro Jahr, also ein Mehrfaches dessen, was in Berlin aktuell zur Anlage und Pflege von Grünflächen investiert wird.“ In der AFOK-Studie bleibt es beim Wunsch nach einer umfassenden Analyse. Zu beachten ist, dass das DIW die klimabedingten Schädwirkungen *für Wirtschaftssektoren*, wie Energie, Gesundheitswirtschaft und Gebäudewirtschaft für die gesamte Stadt aggregiert, während die vorliegende Arbeit den Nutzensbeitrag einer einzigen, allerdings wesentlichen Anpassungsmaßnahme *für die Stadtbewohner* darzustellen versucht. Die für den Zeitraum bis 2050 getroffene Schadensabschätzung der Wirtschaftswissenschaftler erfolgte mittels des Bewertungsmodells WIAGEM. Innerhalb dieser Periode wird vermutlich mit einem *exponentiellen Anstieg* gerechnet, dessen Triebkräfte und Jahresbeträge in der oben zitierten Publikation allerdings nicht mitgeteilt werden. Für das Mitteljahr der Periode, das Jahr **2030**, sei daher ein jährlicher Gesamtschaden von (10.000 : 40 =) **250 Mio €/a** angenommen. Welchen Verursachern wäre dieser erwartete Schaden zuzuordnen? Offenbar sind es mehrere wirtschaftlich agierende Personengruppen. Solange diese nicht identifiziert sind, haftet die Allgemeinheit der 3.748.000 Berlinerinnen und Berliner für den Schadensbetrag. Die Berliner Daseinsgemeinschaft, hier gleichbleibend angenommen, kann 2030 knapp **70 €/Pers.** Klimabelastungskosten erwarten. Das **Verhältnis Baum pro Einwohner** von ca. **0,23 : 1** (anders ausgedrückt: „*ein Baum versorgt 4,3 Menschen mit Sauerstoff*“), wie es 2018 besteht, als unverändert betrachtend und den Beitrag aller „Regen-zu-Baum“-Vorhaben für das kommunale Wohl auf nicht mehr als ein Drittel der vorgenannten 250 Mio €/a schätzend, ergäbe sich ein Brutto-Jahresnutzen des „Berliner Baumpotentials“ (**850.000 Bäume**, vgl. Abschnitt 5) von rund **100 €/Baum** oder **23 €/Einwohner**. Wenn die Menschenverdichtung (vgl. Abschnitt 3) der Stadt zunimmt, steht jedoch zu befürchten, dass sich zukünftig das **Verhältnis Baum pro Einwohner** verschlechtern wird. Werden weitere Verdichtungsprojekte so wie im Bezirk Marzahn-Hellersdorf ausgeführt (vgl. Tabelle 8 in Abschnitt 11), dann wird die statistische baumspezifische Leistungserwartung je Einwohner Berlins auf mehr als das Doppelte ansteigen. Ein Grund mehr, für die Vitalität der Bäume nachhaltig zu sorgen.

Andere Stadtökologen haben für andere Städte andere Kalkulationsmethoden vorgeschlagen. So monetarisierte z. B. Frau Dr. Soares (et al. 2011) die *positiven Effekte*, den *ökologischen Nutzen* der Straßenbäume von Lissabon. Die Hauptstadt Portugals zählte (2001/2006) 560.000 Einwohner, 85 Mio m² Stadtfläche, 27 Mio m² baumbestandene Fläche, 23 Baumarten und 41.200 Straßenbäume (überwiegend „mittelalt“). Das **Verhältnis Baum pro Einwohner** betrug damals in Lissabon **0,08 : 1**. Dieses Verhältnis kann auch so ausgedrückt werden: „ein Baum versorgt 12,5 Menschen mit Sauerstoff“. Gestützt auf das Computerprogramm STRATUM des USDA Forest Service, kalkulierte sie nach der von McPherson & Simpson 2002 entwickelten Formel:

$$B = E + AQ + CO_2 + H_2O + PV$$

Darin steht E für die Nettoenergieersparnis (hpts. Einsparung elektrischer Energie für den Betrieb von „air conditioners“), AQ für die Luftverbesserung (genauer: für die Vermeidung der Schäden durch

gasförmige Schadstoffe), CO₂ für die Kohlendioxydminderung in der Atmosphäre, H₂O für die Starkregenüberflutungsverminderung und PV für den Verkehrswertzuwachs der Grundstücke; B ist der Gesamtnutzen (brutto). *Soares'* Berechnung ergab einen ökologischen Gesamtnutzen der kommunalen Baumwirtschaft von 6,55 Mio US-\$ für die Lissaboner Einwohnerschaft. Sektorielle Nutzensbeiträge pro Straßenbaum, die *Soares* auf der Basis der Daten von einigen hundert ausgewählten Bäumen kalkulierte, betragen: Energieeinsparung 6,16 US-\$, Luftverbesserung 5,40 US-\$, Überflutungsvermeidung 47,85 US-\$, Kohlendioxydminderung 0,33 US-\$ und hypothetischer Verkehrswertzuwachs 144,70 US-\$. Der ökologische Bruttonutzen wurde mit 204,45 US-\$ beziffert. Abzüglich der kommunalen Betreuungskosten von 45,64 US-\$ ergibt sich nach *Soares* ein Nettonutzen von rund 160 US-\$ pro Baum und Jahr und ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 4,48 : 1 (wovon der hypothetische Verkehrswertzuwachs der baumnahen Grundstücke 70 % ausmacht !). Die Einbeziehung einer Verkehrswertsteigerungserwartung täuscht eine anstrengungslose Ökosystemleistung vor. Letztere ausgeschlossen, ergibt sich ein virtueller Nutzen von **60 US-\$/Baum** und ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 1,31 : 1. Bezieht man den Baumnutzen auf die Lissaboner Einwohnerschaft, so ergibt sich ein Betrag von knapp **12 €/Einwohner**. Angesichts der unterschiedlichen Pro-Kopf-Baumbestände in Berlin und Lissabon (3 : 1) kann das Lissaboner Ergebnis als vergleichbar betrachtet werden. Bei einem „Berliner Baumbestand“ würde Lissabon derzeit einen „Baumnutzen“ von 35 €/Einwohner erreichen. Im Gegensatz zum DIW-Ansatz beschreibt *Soares* tatsächliche Ökosystemleistungen. *Soares'* Studie enthält auch Angaben zu materiellen Leistungsgrößen: CO₂-Minderung 45 kg/Baum und Starkregenbindung 4,5 m³/Baum. *Soares* modelliert finanzielle Nutzensbeiträge einzelner Baumarten, aber äußert sich nicht dazu, ob etwa das **Verhältnis Baum pro Einwohner** verbessert werden sollte.

Die betriebswirtschaftliche und haushälterische Aufgabe besteht darin zu ermitteln, wie der Nutzen der Bäume für ein gesundes Stadtklima in der Zukunft durch Zahlungen bzw. Abgabenerhebungen „kassenfest“ - und „mietkostenneutral“ - zu gestalten wäre. Das Überdenken dieser Aufgabe erfordert einen Blick über einen weiten Zeithorizont und über eine ganz neue Art der Umverteilung gesellschaftlich akkumulierter Gelder, vulgo Haushalteinnahmen. In der Landwirtschaft steht die gesellschaftliche Bewertung und Belohnung ökologischer Leistungen schon seit längerem auf der Agenda von Bauern- und Landschaftspflegeverbänden. Die Stadtgesellschaft sollte hier Schritt halten. Der erste Gedanke ist, Betreiber dezentraler Regen-zu-Baum-Bewirtschaftungsanlagen nach bekanntem förderpolitischem Muster aus dem umweltpolitischen Haushalt der Stadt Berlin mit einem Bonus in Relation zur Biotopflächenwirksamkeit des Projekts zu belohnen. Bei einem Besatz von rund 1 Baum auf 75 m² gehölzbestandener Vegetationsfläche (gVF) erscheint die Festsetzung eines **Stadtklimaresilienzbonus** in Höhe von **10 €/m²/a gVF** angemessen. Auf maximal etwa **25 Mio m² straßenferne Bäume / Hofbegrünung** (vgl. Abschnitt 5) jährlich ausgereicht, würde der Landeshaushalt höchstens mit eben den **250 Mio €/a** belastet, die gemäß der DIW-Abschätzung perspektivisch als Klimaschaden zu vermeiden sind. Leidensbewusstsein und politische Mehrheiten dafür vorausgesetzt, ließe sich ein solcher Bonus in die bestehenden Berliner Förderschablonen von BEK 2030 und BENE einpassen. Ob der erforderliche Betrag für die jährlich zu „koppelnde“ Mindestfläche von **830.000 m²**, d. h. die Summe von **8,3 Mio €/a**, bereitgestellt werden kann, steht auf einem anderen Blatt. Als „Fördermittel“ ausgereicht, sollte diese Summe über viele Jahrzehnte ein fester Posten im umweltpolitischen Haushalt Berlins darstellen.

Es gibt noch eine andere Bonifizierungsmöglichkeit. Unterstellt, dass in einem durch ein Regen-zu-Baum-Maßnahmen aufzuwertendem Quartier auch Jungbäume zu pflanzen sind, deren „Haltung“ 60 - 100 Jahre andauern soll, könnte der o.g. Bonusbetrag auch als sehr langfristiger Kredit betrachtet und ausgereicht werden. Für Daseinsfürsorgeunterstützungen sollten keine Zinsen verlangt werden (kommunales Äquivalenzprinzip) - also auch nicht für diesen **Stadtklimaresilienzkredit**. Am Ende der sehr langen Kreditperiode soll die Kommune nur einen gleichen monetären Wert zurückerhalten, ohne prognostizierten Inflationsausgleich oder ähnliche finanzwirtschaftliche Instrumente, die zwischenge-

schalteten Bankern einfallen. Auf den begünstigten Arealen wären aus dem Verkauf gefällter Bäume Erlöse wie in einem Wirtschaftsunternehmen zu erwirtschaften. Um diese Option betriebswirtschaftlich zu bewerten, benötigen wir die Kenntnis einiger Richtzahlen.

Tab. 6: Kennzahlen des wirtschaftlichen Betriebs eines „Regen-zu-Baum“-Projektes

<i>Aufwand/Ertrag</i>	<i>ME</i>	<i>Betrag</i>	<i>Quelle</i>
Standfläche pro Baum	m ² /Stk.	75	„Regen-zu-Baum“ Projekt
Baumdicke	Stk./ha	133	„Regen-zu-Baum“ Projekt
Baumumtrieb (mittlere Dauer)	Jahre	80	„Regen-zu-Baum“ Projekt
mittlere Fällquote	% p.a.	1,7	„Regen-zu-Baum“ Projekt
Fällmenge	Stk./ha/a	2	„Regen-zu-Baum“ Projekt
Baummasse beim Fällen (Stamm 20 m hoch, 50 cm Ø)	fm/Stk.	4	Rast 2019 und Landwirt.com GmbH 2019
Erlös für Laubbaumholz (frisch)	€/fm	250	FBG Günzburg-Krumbach e.V. 2019
Verkaufsmenge	Stk./ha/a	2	„Regen-zu-Baum“ Projekt
Verkaufsmenge (Frischholz)	fm/ha/a	8	„Regen-zu-Baum“ Projekt
Verkaufserlös (Frischholz)	€/ha/a	2.000	„Regen-zu-Baum“ Projekt

Auch wenn man davon ausgehen kann, dass die Preise für baumaterialfähiges Frischholz in Zukunft steigen werden, deckt auch dieser Erlös den zu treibenden Betreuungsaufwand für ein dezentrales Regen-zu-Baum-Projekt nicht. Wenn wir nicht über zu hohe Preise industrieller Leistungen und zu geringe Erlöse für forstliche Produkte rasonieren wollen, müssen wir nach einer dritten Komponente in der urbanen Ökosystemrechnung suchen. Diese Komponente könnte in der Tat die (virtuelle) „Verkehrswert“-Verbesserung der begünstigten Immobilien sein. Bekanntlich werden Verkehrswerte nur dann realisiert, wenn ein Objekt auch in den Verkehr gebracht wird. Das sollte bei landeseigenen Immobilien eigentlich nicht der Fall sein. Somit ist der benötigte Betrag ein reiner Buchwert - wie die sogenannte Inflationsausgleichsrate oder die „interne Verzinsung“. Stadtökologen schlagen vor, dass mit zunehmendem Laubvolumen (äquivalent mit einer definierten Anzahl Bäume) pro Wohngebäude der *Umfeldwert* der Immobilie ansteigen sollte. Für Lissabon schlägt *Soares* einen Betrag vor, der das Doppelte der natürlichen *Ökosystemleistung* erreicht.

8 Ausblick

Gebrauchswert braucht Gebraucher und Wirtschaft braucht Wirte. Das urbane ökologische *System an sich* ist der natürliche Stoffwechsel; der Rest sind Zutaten des Menschen. Sind die Zutaten für ihn nützlich und tun sie ihm wohl, dann sind es *Leistungen*. Und Leistungen haben ihren Wert - sagt die Ökonomie. Besonders dann, wenn sie ausdrücklich als *Ökosystemdienstleistungen* bezeichnet werden. An den vielen, vielen Darstellungen von *Ökosystemleistungen* befremdet, dass die sichtbare Hand des Menschen, *seine Dienste*, durch eine einseitige Betrachtung und Wortwahl unsichtbar gemacht wird. Selten werden die Sachverhalte in größeren Zusammenhängen und in ihrem zeitlichen Verlauf dargestellt. Die Leistungen werden als konsumierbare Güter in vielen Details dargestellt, während ihrer - gewiss mühevollen - Hervorbringung nur pauschalierende Bemerkungen gewidmet werden.

Der vorgelegte Aufsatz will diese Lücke füllen und dazu anregen, die bewusste wohnnahe Erzeugung von Sauerstoff, die *urbane Gehölzkultur*, als eine Dienstleistung für die Kommune zu betrachten. Ein integrales Element derselben ist, dass Regenwasser „arbeiten“ kann und nicht an den Baumwurzeln vorbei nach unten passiv „versickern“ muß. Weil diese Aufgabe mehr als eine begründete Abschätzung erforderte, sei die ökologische Forschung dazu angeregt, diese Kenntnislücken zu füllen. Andererseits sei die Stadtpolitik dazu aufgefordert, kreative Kommunalwirtschaft jenseits von „Bremsen“ und „Deckeln“ zu betreiben. Wenn schon für das, was zu tun ist, ein technisches Bild bemüht werden soll, dann fände ich das der „kommunizierenden Röhren“ angemessen. Daß der Regen zu den urbanen

Bäumen kommt, ist im weitesten Sinne als eine Gesundheitsleistung für die Gemeinschaft zu betrachten. Sie ist auch aus dem Speichertopf der Gemeinschaft zu bezahlen.

Schlussendlich sei betont, dass die Erhöhung des „Eigenleistungsanteils“ der urbanen Gebalften an ihrer Sauerstoffversorgung ein angemessener Beitrag zur „Klimagerechtigkeit“ wäre. Naturbeobachtung - empirische Datenermittlung ökologischer Zusammenhänge - und erkenntnisadäquates Handeln der Menschen müssen eine Einheit bilden, um dem Wandel des Klimas und dessen voraussehbaren Folgen für das Wohlergehen der Menschen zu entsprechen.

9 Zusammenfassung (Thesen)

- **Verdichtung und Vertümmung urbaner Wohngebiet** unter dem Vorwand des sozialen Zwangs der Wohnraumschaffung missachtet die natürlichen Zusammenhänge humanen Daseins. Die Verringerung wohnnaher Grünflächen verringert die ökologischen **Leistungen der Gehölze** für die Anwohner: Sauerstoffproduktion, Luftfiltration und -befeuchtung, Beschattung, Regenwasserverwertung, Lärmreduzierung, Holz- und Biomasseerzeugung.
- Wenn jedem Bewohner nur etwa 7 m² wohnnahe Grünfläche zur Verfügung gestellt werden, müssen sich **zehn Wohnblockbewohner** die **Leistung eines Baumes** im Umfeld teilen. Der „**oxygene Körperabdruck**“ **urban verdichteter Menschen** beträgt das Vierfache der durchschnittlichen Sauerstoffabgabe eines Baumes im Umfeld.
- Nachhaltige **Wohnumfeld-Gestaltung** mit ausgeglichenem Sauerstoffaufkommen und -verbrauch erfordert, daß **75 %** eines urbanen Grundstücks unversiegelt bleiben und die wohnnahe Grünfläche mit **Bäumen bestanden** ist.
- Auf die Dächer der Gebäude niedergehendes **Regenwasser** enthält keinerlei Stoffe in solchen Mengen, die einer **Vegetation** schädlich wären. Regenabführung über eine **Kanalisation** ist unnötig und Regenversickerung in einem Kiesbett Verschwendung, denn damit werden keine Aquifere der Trinkwassergewinnung gefüllt.
- Das „Berliner Koppelproblem“ kann durch kleinräumige **Regen-zu-Baum-Projekte** (RzB- oder **Kiez-Regenwasser-Gehölzgrün-Projekte**) naturgemäß gelöst werden. Derartige Kleinprojekte (Quartiere von 10 – 30 ha) könnten 850.000 wohnnahen Bäumen in den **langen Trockenperioden** des Vegetationshalbjahrs (April – September) das nötige zusätzliche Wasser beschaffen. **Gehölze** in tiefem „Mutterboden“ fangen selbst **längere Starkregen** bis zum Dreißigfachen des Normalaufkommens auf, ohne dass Wasser über die Oberflächen des Grundstücks abfließen muß.
- Vitale **Bäume und Sträucher** am Erdboden geben Wohn- und Gewerbegebieten gesunde und attraktive Umfelder und hohe **Aufenthaltsqualität**. Durch Dachbegrünung ist das nicht zu erreichen. Extensive Flachdachbegrünung besteht aus trockenliebenden Pflanzen, die weder einen Beitrag zur O₂-Erzeugung und Feinstaubbindung leisten, noch Schatten spenden.
- Die Quantifizierung und Vergleichbarmachung des Gebrauchswerts der **Regen-zu-Baum-Lösung**, ihre **ökologische Leistung**, ihr Nutzen für die Stadtgesellschaft ist noch nicht über vorsichtig tastende Anfänge hinausgekommen. Weder Grundeigen-

tümer noch Hausbewohner kennen den *quantitativen Gesamtnutzen* von *Regen-zu-Baum*-Projekten.

- Die naturgemäße *Regen-zu-Baum*-Lösung erfordert nur etwa 80 % der Investitionssumme einer gleichgroßen Dachbegrünung und hat dieser gegenüber nur geringfügig höhere *Betriebskosten* (etwa 8 €/m² gehölzbestandene Vegetationsfläche je Jahr). Sie ermöglicht und erfordert die langfristige Betreuung durch 1 - 2 „Regenrangern“ je Quartier.
- Der Wegfall der Regenwassereinleitungsabgabe deckt weder bei kreativer Dachbegrünung, noch bei naturgemäßer *Regen-zu-Baum*-Lösung die Betriebskosten. Daher wird in Berlin weiterhin kanalentsorgt statt vegetationsangekoppelt.
- *Regen-zu-Baum*-Projekte sind als sehr langfristige *urbane Gehölzkultur* zu betrachten. Betreiber sollten daher einen *Stadtklimaresilienzbonus* erhalten. Der Bonus darf auch *Stadtklimaresilienzkredit* heißen und so gehandhabt werden.

10 Literatur

Amt für Statistik Berlin-Brandenburg:

www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2018/SB_A05-03-00_2017j01_BE.pdf,
www.statistik-berlin-brandenburg.de/publikationen/stat_berichte/2019/SB_A01-05-00_2018h02_BE.pdf.

Stefan Bartho: Der STADT-UND-LAND-Wald. STADT UND LAND Wohnbauten-GmbH, Berlin 2008.

Berliner Regenwasseragentur: Reden wir über Regen – Abkopplungspotenziale im Fokus, Fachdialog-Dokumentation, Berlin 2019.

Aloys Bernatzky: Klimawirkungen von Grünflächen und ihre Beziehungen zur Städteplanung. Anthos, Zeitschrift für Landschaftsarchitektur, 5 (1), Wabern (CH) 1966, S. 29–34.

Stefano Boeri Architetti: www.stefanoboeriarchitetti.net.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB): Weißbuch Stadtgrün, Berlin 2017.

Wolfram Buff: Bäume im Bild. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1986.

Clima Data Center des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES: Niederschlagsdaten der Stationen mit den Identifikationsnummern 00053 (Ahrensfelde), 00400 (Berlin-Buch), 00420 (Berlin-Marzahn), 00427 (Berlin-Schönefeld), 00433 (Berlin-Tempelhof) und 04912 (Strausberg) in den Dekaden 01/66 – 12/75, 01/80 – 12/89, 01/94 – 12/03 und 01/08 – 12/17 (Tages- und Monatssummen).

Swantje Duthweiler, Stephan Pauleit, Thomas Rötzer, Astrid Moser, Mohammad Rahman, Laura Stratopoulos und Teresa Zölch (TU München): Untersuchungen zur Trockenheitsverträglichkeit von Stadtbäumen. Jahrbuch der Baumpflege, 21. Jg., Braunschweig 2017, S. 137–154.

Jürgen Eppel et al.: Standortangepasste Bewässerung öffentlicher Grünflächen als Beitrag zur Klimamäßigung im urbanen Lebensraum. Endbericht zum Forschungsvorhaben KL/08/03 der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau LWG, Veitshöchheim 2012.

FBG Günzburg-Krumbach e.V.: www.fbg-guenzburg-krumbach.de/index.php/component/content/category/5-holzmarkt, Wettenhausen 2019.

- Sten Gillner, Andreas Roloff (TU Dresden): Eignungsempfehlungen für Stadtbäume unter den Bedingungen des Klimawandels, in: Wolfgang Wende (Hrsg.), Grundlagen für eine klimawandelangepasste Stadt- und Freiraumplanung, REGKLAM-Reihe, Heft 6, Berlin 2014, S. 77–89.
- Sandra Gloor (SWILD Zürich): Der ökologische Wert von Stadtbäumen für die Biodiversität, Vortrag Zürich 2015 (basierend auf gleichnamiger Studie, SWILD Zürich 2014).
- Dagmar Haase (Humboldt-Universität Berlin): Urbane Ökosysteme und ihre Leistungen, in: Jürgen Breuste et al., Stadtökosysteme - Funktion, Management und Entwicklung, Springer-Verlag Berlin 2016.
- Jörg Hennersdorf, Iris Lehmann (Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung Dresden): Grünausstattung von Städten und Regionen und klimatische Wirkungen von Stadtgrün, in: Wolfgang Wende (Hrsg.): Grundlagen für eine klimawandelangepasste Stadt- und Freiraumplanung, REGKLAM-Reihe, Heft 6, Berlin 2014, S. 21–41.
- Helmut Hinghofer-Szalkay: Praktische Physiologie, Kapitel „Atmung & Gasaustausch“ auf blog <http://physiologie.cc/VIII.7.htm>, Graz 2019.
- Birte Jessen: Zukunft bauen in Marzahn-Hellersdorf - GESOBAU feiert Richtfest für 813 neue generationengerechte Mietwohnungen. GESOBAU AG, Berlin, PM vom 05. 06. 2019.
- Ralf Kätzel, Frank Becker, Jens Schröder, Matthias Zander, Ludger Leinemann, Sonja Löffler: Vom genetischen und naturschutzfachlichen Wert der Alteichen der Schorfheide und über Wege zur Erhaltung ihrer genetischen Ressourcen, in: Mirko Liesebach (Hrsg.): Forstgenetik und Naturschutz, THÜNEN-Report 45, 2016.
- Manfred Karsch (Büro Landschaft planen + bauen Berlin GmbH): Analyse des Abkopplungspotentials von Dachflächen zur Entlastung der Kanalisation in Charlottenburg-Wilmersdorf, Berlin 2018.
- Claudia Kemfert: Kosten des Klimawandels ungleich verteilt: Wirtschaftsschwache Bundesländer trifft es am härtesten. DIW Wochenbericht 12–13/2008: 137-142.
- Landwirt.com GmbH: www.landwirt.com/Forum/495344/FM-pro-Baum.html, Graz 2019.
- Marcel Langner: Exponierter innerstädtischer Spitzahorn (*Acer platanoides*) - eine effiziente Senke für PM10? Universität Karlsruhe 2006 (Dissertation 2005).
- Harald Lesch (LMU München): Das Kapitalozän - Das Erdzeitalter des Geldes, Vortrag Ilmenau 2019.
- Astrid Moser, Thomas Rötzer, Stephan Pauleit und Hans Pretzsch (TU München): Structure and ecosystem services of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in urban environments. Urban Forestry & Urban Greening (UFUG), Heft 14 (2015), S. 1110–1121.
- Astrid Moser, Thomas Rötzer, Stephan Pauleit und Hans Pretzsch (TU München): Stadtbäume - Wachstum, Funktionen und Leistungen – Risiken und Forschungsperspektiven. Allg. F- u. J.-Ztg., 188. Jg., 5/6, Bad Orb 2018, S. 94–111.
- Thomas Natzel: Fermiprobleme - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht, aus einer anderen Perspektive betrachtet, blog <https://fermiprobleme.wordpress.com>, Berlin.
- OBBERMEYER Planen + Beraten GmbH: Städtebauliche Entwicklungsplanung Gut Hellersdorf - Regenwasserkonzept B-Plan 10-45. Potsdam 2018/19.
- Stephan Rast: www.forst-rast.de/pflrechner02.html, Drensteinfurt 2019.

- Mathias Riechel et al. (Kompetenzzentrum Wasser Berlin): **Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme** (<http://kuras-projekt.de/downloads/erzeugnisse-regenwasserbewirtschaftung>), Berlin 2017.
- Thomas Rötzer, Hans Pretzsch, Astrid Moser, Jens Dahlhausen, Stephan Pauleit (TU München): **Stadtbäume im Klimawandel - Wuchsverhalten, Umweltleistungen und Perspektiven**. Vortrag, München 2015.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klima: **öffentliche Grünfläche in Berlin**, www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/stadtgruen/gruenanlagen/de/daten_fakten/downloads/ausw_13.pdf.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klima: **Anpassung an die Folgen des Klimawandels in Berlin – AFOK**, Berlin 2016.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klima: **Berliner Energie - und Klimaschutzprogramm 2030 – Umsetzungskonzept für den Zeitraum bis 2021**, Berlin 2018.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klima: **Charta für das Berliner Stadtgrün**, Berlin 2018.
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klima: **Handlungsprogramm Berliner Stadtgrün 2030 zur Charta für das Berliner Stadtgrün**, Berlin 2019.
- Ana Luisa Soares et al. (Universität Lissabon): **Benefits and costs of street trees in Lisbon, Portugal**, in: *Urban Forestry & Urban Greening (UFUG)*, Heft 10 (2011), S.69-78.
- Anja Steglich (Projektleitung), Vivien Franck, Angela Million und Grit Bürgow (Instituts für Stadt- und Regionalplanung der Technischen Universität Berlin): **ROOF WATER-FARM - Urbanes Wasser für urbane Landwirtschaft**, Berlin 2018.
- Jenny Tröltzsch et al. (Ecologic Institut Berlin gGmbH): **Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel**. Publikation 10/2012 des Umweltbundesamtes Dessau-Roßlau.

11 Erkenntnisvertiefende Tabellen

Tab. 7: extreme Tagesniederschläge und Trockenperioden 1994 – 2017 (Station Berlin-Marzahn)

<i>Jahr</i> <i>ME</i>	<i>stärkster Regen des Jahres</i> (mm/d)	<i>KW mit Starkregentagen</i>	<i>KW mit Starkregenstunden</i>	<i>Längste Trockenperiode</i> (d)	<i>Trockentage im VHJ¹⁾</i> (d)	<i>Regenmenge im VHJ</i> (mm)	<i>Regenmenge im Jahr</i> (mm)
1994	34,3	15 – 40	•	24	116	355,1	686,0
1995	27,0	22 - 38	•	21	105	367,3	616,2
1996	20,4	18 – 30	•	•	106	339,5	489,8
1997	27,5	8 – 50	•	3 x 15	123	298,0	519,6
1998	44,4	22 – 44	•	14	96	360,0	698,5
1999	18,2	23 – 34	•	15	120	232,2	486,4
2000	21,4	10 – 37	•	16	111	293,9	595,6
2001	27,8	18 – 39	•	11	91	349,0	612,1
2002	61,2	15 – 40	•	31	121	335,1	663,9
2003	17,0	1 - 50	•	12	117	196,6	412,4
2004	•	•	•	•	•	•	•
2005	•	•	•	•	•	•	•
2006	•	•	•	•	•	•	•
2007	•	•	•	•	•	•	•
2008	21,9	3 – 44	35	25	116	262,8	612,6
2009	20,8	21 – 44	—	19	116	295,4	619,6
2010	35,2	29 – 39	—	16	114	358,4	641,6
2011	46,0	23 – 50	25	2 x 29	112	483,7	688,9
2012	32,6	26 – 34	26 - 34	14	103	374,5	606,2
2013	36,3	21 – 38	—	23	122	300,5	557,2
2014	22,2	21 – 30	28	14	100	343,1	501,7
2015	25,9	29 – 46	—	4 x 13	117	199,6	509,0
2016	18,5	24 – 50	—	•	122	215,6	459,6
2017	90,2	5 - 47	22 - 29	14	100	501,7	833,8
Mittel	32,4	18 - 41	27 - 30	24	111	323,1	590,5

¹⁾ Vegetationshalbjahr: April – September (182 Tage)

Quelle: CDC des DWD

Tab. 8: Bewohner- u. Gehölzdichte, Sauerstoffabgabe u. -defizit urbaner Bezirke u. Quartiere Berlins

<i>Quartier</i> <i>ME</i>	<i>Bewohnerdichte¹⁾</i> (Ew./m ²)	<i>verfügb. öffentliches Grün²⁾</i> (m ² /Ew.)	<i>kalkulierte Baumdichte³⁾</i> (Stk./Ew.)	<i>Sauerstoffabgabe⁴⁾</i> (kg/Ew./a)	<i>oxygener Körperabdruck⁵⁾</i> (kg/Ew./a)
Spandau	4,9	102,8	1,4	1.750	1.250
Marz.-Hellersd.	6,0	9,0	0,1	125	./ 375
Ch.burg-Wilmersdorf	10,3	48,1	0,6	750	250
F.hain-Kreuzberg	20,8	•	•	•	•
Berlin insg.	7,5	55,0	0,7	875	375

Quelle: Amt für Statistik Berlin Brandenburg 2017

BONAVA-Kiez	250	7,0	0,09	113	./ 387
GESOBAU-Kiez ⁶⁾	205	3,9	0,05	63	./ 437
RzB-Optimum ⁷⁾	100	30,0	0,4	500	± 0

¹⁾ Bewohnerdichte für Bezirke: bezogen auf „Siedlungsfläche“, Bewohnerdichte für Neubau-Quartiere in Marzahn-Hellersdorf: bezogen auf Wohngebäudegrundfläche

²⁾ für Bezirke: Parks und Forste; für Marzahn-Hellersdorfer Neubau-Quartiere: kalkulierte Baum- & Gehölzfläche

³⁾ Annahme: 75 m²/Baum; de facto

⁴⁾ Annahme 1.250 kg/Baum/a

⁵⁾ Differenz Sauerstoffbedarf/Ew./a (500 kg/Pers./a) ./ bezirkliche/quartierliche Sauerstoffabgabe/Ew./a

⁶⁾ vgl. Abschnitt 3

⁷⁾ vgl. Abschnitt 6

Quellen zu Quartierskalkulationen: BONAVA-Internet-Präsentation 2019; GESOBAU-Internet-Präsentation 2019

Tab. 9: Kennzahlen alternativer Möglichkeiten der Regenwasser- und Grünflächenbewirtschaftung

<i>Parameter</i>	<i>ME</i>	<i>naturngemäße Lösung</i>	<i>kreative Lösung</i>	<i>administrative Lösung</i>
nutzbare Fläche innerhalb der Berliner Siedlungsfläche	m ²	65.000.000	23.000.000	83.000.000
„abkoppelbare“ Regenmenge ¹⁾	m ³ /a	20.800.000	7.400.000	•
begünstigte Gehölze ²⁾	Stk.	920.000	•	•

Anteil vegetationstragender Fläche an der Grundstücksfläche	%	30	25	beliebig
spezifische Investitionskosten	€/m ²	25	80	40
spezifische Betriebskosten	€/m ² /a	8	6	2
bonusgestützter Erlös	€/m ² /a	10	2	2
bonusgestützte Amortisationszeit	Jahre	12,5	?	•

¹⁾ Frühjahrs- und Sommerniederschlag: 0,32 m³/m² (vgl. Tab. 11.1)

²⁾ Aufwand je Baum im VHI: 22,5 m³/Baum (vgl. Abschnitt 4)

Quellen:

- 1) naturngemäße Lösung: RzB-Modell, gefördert mit „Stadtklimaverbesserungsbonus“ (vgl. Abschnitt 7)
- 2) kreative Lösung: Dachbegrünung, gefördert mit der „Green Roof LAB Förderung“
- 3) administrative Lösung: Versickerung, Einsparung der Niederschlagswassereinleitungsabgabe (NWEA)