



Flächennutzungsmonitoring XII mit Beiträgen zum Monitoring von Ökosystemleistungen und SDGs

IÖR Schriften Band 78 · 2020

ISBN: 978-3-944101-78-1

Wenn sich das Blatt wendet – Anpassungsstrategien und mikroklimatische Auswirkungen im Siedlungsraum

Sascha Henninger

Henninger, S. (2020): Wenn sich das Blatt wendet – Anpassungsstrategien und mikroklimatische Auswirkungen im Siedlungsraum. In: Meinel, G.; Schumacher, U.; Behnisch, M.; Krüger, T. (Hrsg.): Flächennutzungsmonitoring XII mit Beiträgen zum Monitoring von Ökosystemleistungen und SDGs. Berlin: Rhombos, IÖR Schriften 78, S. 73-81.

DOI: <https://doi.org/10.26084/12dfns-p009>

Wenn sich das Blatt wendet – Anpassungsstrategien und mikroklimatische Auswirkungen im Siedlungsraum

Sascha Henninger

Zusammenfassung

Stadtklima ist ein wichtiger Bestandteil räumlicher Planung im Abwägungsprozess der Bauleitplanung und Umweltverträglichkeitsprüfungen. Die Stadtklimatologie identifiziert Problemfelder, sichert, entwickelt und stellt immissionsklimatisch relevante Flächennutzungsstrukturen wieder her, unter Berücksichtigung flächen-/objektbezogener Handlungsfelder. Hierbei bildet die Stadtklimatologie das Bindeglied zwischen den physikalischen Grundlagen/Prozessen des Stadtklimas und der Stadtplanung. Stadtklimaanalysen bzw. die daraus ableitbaren synthetischen Klimafunktions-/Planungshinweiskarten erlauben der Planung auf kommunaler Ebene wichtige klimatische Aspekte innerhalb ihres Handlungsrahmens aufzugreifen. Es entstehen unterschiedliche Handlungsfelder, die alle für sich eine bedeutende Wirkung auf den Raum nehmen können, jedoch nicht streng voneinander zu trennen sind, somit auch nicht getrennt voneinander betrachtet werden sollten.

Spannende Anwendungsbeispiele aus dem Forschungsbereich der „grünen Infrastruktur“ sind u. a. die Silberlinde (*Tilia tomentosa*) oder auch die biogenen flüchtigen Kohlenwasserstoffe (BVOCs). *Tilia tomentosa* hebt sich von anderen urbanen Bäumen durch ihre Fähigkeit ab, die Blätter bei hoher solarer Einstrahlung drehen zu können. BVOCs können bei hochsommerlichen Wetterlagen zu einer signifikanten Erhöhung der Konzentration des bodennahen Ozons beitragen.

Beide Ereignisse weisen ein enormes Handlungspotenzial sowohl aus lokalklimatischer, gesundheitlicher als auch planerischer Sicht auf.

Schlagnvorte: Stadtklima, Klimaanpassung, grüne Infrastruktur

1 Einführung

Viele Menschen sehen den urbanen Raum zunehmend als durchaus gesundheitlich belastend. Nicht zuletzt aufgrund einer Vielzahl negativer Einflüsse, wie z. B. Lärm und Lufthygiene, fehlt es vielfach an adäquaten Erholungsräumen und so ist das Verlangen nach einer entsprechenden „Ausstattung“ urbaner Rückzugsräume enorm und die „grüne Infrastruktur“ spielt in den Augen vieler eine ganz entscheidende Rolle (Bolund, Hunhammer 1999).

Dem demographischen Wandel und der in vielen deutschen Großstädten zu verzeichnenden Stadtflucht ist es gegenwärtig zu verdanken, dass verstärkt stadtklimatische Kenntnisse mit in die zukünftige Stadtplanung einfließen können. Das Phänomen der „Schrumpfenden Städte“ (engl. „*shrinking cities*“) offeriert eine große Zahl frei werdender Flächen, deren Raum stadtklimatologisch sinnvoll in die neu entstehende Nutzungsstruktur zu integrieren ist (Oswalt, Rieniets 2006; Henninger, Weber 2020). In diesem Zusammenhang sind unterschiedliche Handlungsfelder für die angewandte, planungsorientierte Stadtklimatologie hervorzuheben. Im urbanen Bereich bietet sich vor allem die Schaffung von Frei-, Grün-, aber auch Wasserflächen an. Innerstädtisches Grün umfasst alle Formen sowohl „grüner“ Freiräume als auch begrünte Gebäude. Hierzu zählen

- Parkanlagen, Kleingärten und Friedhöfe,
- Siedlungsgrün/Grünflächen an öffentlichen Gebäuden und private Gärten sowie Bauwerksgrün mit Fassaden- und Dachbegrünung,
- Spielplätze und Sportflächen,
- Straßenbegleitgrün,
- Brachflächen sowie
- Waldflächen, landwirtschaftliche Nutzflächen und weitere Freiräume, die zur Gliederung und Gestaltung des urbanen Raumes entwickelt, erhalten und gepflegt werden müssen.

Vergleichbar mit der „grauen Infrastruktur“ wird das urbane Grün auch als „grüne Infrastruktur“ bezeichnet. Denn wie von anderen bekannten Infrastrukturen gehen auch von solchen Flächen zahlreiche wirtschaftliche, soziale und vor allem ökologische Leistungen aus. Der Beitrag der Grünflächen innerhalb urbaner Räume ist von immenser Bedeutung, denn obwohl diese einen vergleichsweise kleinen Teil der gesamten städtischen Flächen ausmachen, offenbaren sie einen ganz eigenen Charakter im Vergleich zu den bebauten oder (teil)versiegelten Flächen. Oftmals sind die Interaktionen zwischen diesen unterschiedlichen Nutzungstypen erheblich (Henninger, Weber 2020).

2 Grüne Infrastruktur und Gesundheit

Wesentliche Merkmale urbaner Lebensqualität sind abhängig von der Gesundheit und dem Wohlbefinden der Bevölkerung. Entsprechend dieser Vorstellung lassen sich unterschiedliche Komponenten der Gesundheit definieren, für die letztendlich auch die „grüne Infrastruktur“ von Bedeutung ist und einen entsprechenden Beitrag leisten kann (Abraham et al. 2007; Heiland et al. 2014):

- **Ästhetische/symbolische Komponenten**
Die ästhetische Wirkung und/oder Symbolkraft eines Raumes trägt zu einem Wohlfühlen des Menschen bei. „Schöne Landschaften“ oder alte Solitäräume suggerieren eine „gesunde Natur“ oder die vergangene „glückliche Kindheit“ und leisten somit einen Beitrag zur Identifikation mit einem solchen Ort.
- **Soziale Komponente**
Urbanes Grün erhöht die Aufenthaltsqualität und fördert so das soziale Miteinander. Es leistet daher einen entsprechenden Beitrag zur Zugehörigkeit, Integration und Identifikation..
- **Psychische Komponente**
Diese Komponente der „grünen Infrastruktur“ beschreibt das psychische Wohlbefinden/die Entspannung und somit die geistige Belastbarkeit und Konzentrationsfähigkeit.
- **Physische Komponente**
Die physische Komponente beschreibt die Aspekte und Funktionen des körperlichen Wohlbefindens (Wirkung auf das Herz-Kreislauf-System, den Muskelapparat, das Nervensystem, die körperliche Leistungsfähigkeit und Ausdauer).

Diese vier Komponenten dürfen auf keinen Fall getrennt voneinander betrachtet werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen. Das Verständnis von Gesundheit ist immer personen-, kultur- und zeitgebunden. Genau dies ist der Grund dafür, dass oftmals die selbst eingeschätzte (gesundheitsbezogene) Lebensqualität als Mess- und Evaluationsgröße für die allgemeine Gesundheit angewendet wird, v. a. wenn es um die subjektive Empfindung und Wahrnehmung geht (Heiland et al. 2014).

Die gesundheitsrelevanten Funktionen der „grünen Infrastruktur“ wirken sich positiv auf die physische, zum Teil auch auf die psychische Komponente aus. Insbesondere im Kontext der Umweltprüfung und der Landschaftsplanung spielen diese Funktionen bereits seit vielen Jahren eine wichtige Rolle, ohne dass deren Gesundheitsrelevanz explizit Erwähnung findet. Mass et al. (2009) und Stigsdotter et al. (2010) konnten sowohl in den Niederlanden als auch in Dänemark mithilfe empirischer Erhebungen bei mehr als 260 000 Menschen nachweisen, dass der allgemeine Gesundheitszustand der Befragten, deren Wohnort sich in einem Radius von 1 km bis 3 km zur nächsten Grünfläche befand, durchweg positiv beeinflusst wurde. Vor allem für Ältere, Kinder und Menschen aus schwachen Einkommensgruppen waren diese Ergebnisse nachweisbar. Hierbei sind sowohl die Quantität als auch die qualitativen Merkmale der Grünflächen von besonderer Bedeutung für die Einschätzung des eigenen Gesundheitszustandes (Mass et al. 2009). Es müssen allerdings nicht immer nur große Grün- und Freiflächen sein, die sich positiv auf die Gesundheit auswirken. Bereits Grünelemente entlang von Straßen oder sogenannten Pocket Parks können eine signifikant positive Wirkung besitzen.

2.1 Wenn sich das Blatt wendet – Kühlung aus dem Bestand heraus

Ein spannendes Anwendungsbeispiel ist die Silberlinde (*Tilia tomentosa*). Diese hebt sich von anderen urbanen Bäumen durch ihre Fähigkeit ab, die Blätter bei hoher solarer Einstrahlung drehen zu können.

Innerstädtisches Grün innerhalb des vorhandenen Bestandes bietet sowohl aufgrund der Verschattung als auch der Verdunstungsleistung der Pflanzen ein lokalklimatisch positives, kühlendes Potenzial. Gegenwärtig stellt sich aus der Sicht der angewandten, planungsorientierten Stadtklimatologie die Frage, in welcher Form urbane Baumarten negative lokalklimatische Modifikationen zusätzlich abmildern können. Die Silberlinde ist für diese neue Betrachtungsweise der kühlenden Wirkung von Bäumen besonders geeignet, da v. a. die Blätter des Kronenbereiches junger Silberlinden in der Lage sind, sich selbstständig gegen eine intensive solare Einstrahlung zu schützen. *Tilia tomentosa* ist eine sogenannte blattwendende Baumart. Dies bedeutet, dass sie in der Lage ist, ihre dunkelgrüne, kurzwellige solare Strahlung absorbierende Blattoberseite abzuwenden und die helle, silberne, reflektierende Blattunterseite zur Sonne hin auszurichten (Abb. 1). Aufgrund der hierdurch hervorgerufenen Veränderung der Albedo kommt es zu einer Reduktion der Oberflächentemperatur am Kronendach und einer Verringerung der Lufttemperatur unterhalb des Kronen- bzw. innerhalb des Stammraumes. Zur Verifizierung dieser Aussage werden Analysen an Silberlinden unterschiedlichen Alters durchgeführt (0-10 Jahre, 11-25 Jahre, > 26 Jahre). Dabei zeigt sich, dass diese Veränderung des Albedoeffektes, v. a. bei jungen Silberlinden zu beobachten ist und dem Baum hilft, seinen Hitzestress abzubauen (Henninger 2017; Henninger, Weber 2020).

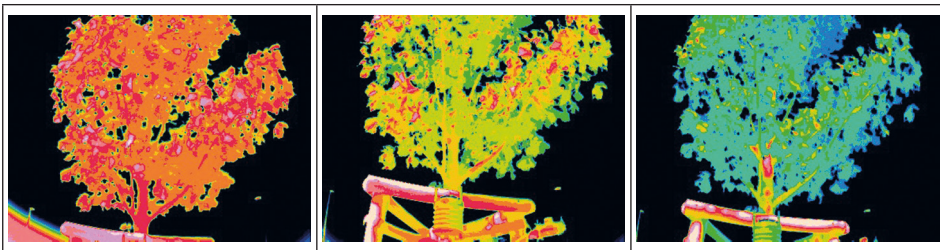


Abb. 1: Darstellung der Blattoberflächentemperatur vor der Drehung (links) bzw. nach der Drehung (rechts) der Blätter – hoch (rot), niedrig (blau) (Fotos: Henninger)

Zur Durchführung der in-situ Messungen werden hochaufgelöste Wärmebildvideokameras eingesetzt. Somit ist es möglich, die Hitzestresspunkte der Blattoberflächen zu lokalisieren und die Oberflächentemperatur zu definieren, die eine Drehung der Blätter hin zur silbrig-weißen Blattunterseite auslöst. Damit möglichst viele dieser Hitzestresspunkte des gesamten Blatträumens erfasst werden können, finden die Wärmebildaufnahmen an mehreren Standpunkten um den Baum statt. Zusätzliche mobile Messstationen erfassen weitere meteorologische Größen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, etc.) unterhalb

der Baumkrone/innerhalb des Stammraumes. Weitere Messungen werden in unmittelbarer Nähe des Baumes durchgeführt, um mögliche Auswirkungen auf die nähere Umgebung zu erfassen. Zusätzlich werden Fotos der Baumkrone, ebenfalls von verschiedenen Positionen ausgehend, erstellt, um nachvollziehen zu können, wie sich die Blätter der Silberlinde im Tagesverlauf verhalten. Anschließend wird die Meteorologie mit den Fotos und Wärmebildaufnahmen verknüpft, um die Modifikationen der *Tilia tomentosa* zeitlich erfassen zu können, die mit einer Blattdehnung in Verbindung stehen.

Entsprechende Ergebnisse an den unterschiedlich alten Silberlinden weisen darauf hin, dass es in Abhängigkeit des Alters des Baumes einen Oberflächentemperaturbereich zwischen 25 °C und 35 °C gibt, in dem die Blätter ihre silbrig-weiße Seite zur Sonne drehen, um auf die entstandenen bzw. den entstehenden Hitzestress im Kronenraum zu reagieren (Henninger, Leitte 2017). Um den genauen Temperaturbereich zu bestimmen, werden die Messungen in den Sommermonaten kontinuierlich fortgeführt und in eine computergestützte Simulation übertragen. Ziel ist es, künftig mittels Simulationen aufzuzeigen, wie blattwendende Baumarten ihre direkte Umgebung effektiver beeinflussen können (Henninger, Leitte 2017; Henninger 2017). Ebendiese Fähigkeit der Silberlinde könnte nun ein wichtiger Baustein für ein zukunftsfähiges, mikroklimatisch wirksames Stadtgrün sein, da durch die Einflüsse des Klimawandels davon auszugehen ist, dass es vermehrt zu Hitze- und Trockenperioden kommen wird.

2.2 Wenn das Blatt etwas abgibt – Baumarten und ihre lufthygienisch/gesundheitliche Wirkung

Dennoch birgt die „grüne Infrastruktur“ nicht nur Vorteile. Ein weiteres spannendes Anwendungsbeispiel, das in der Praxis nur wenig Beachtung findet, ist der Tatsache geschuldet, dass auch gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Pflanzen auftreten können. Diese oftmals als „biologische Noxe“ bezeichneten, durchaus schädlichen Nebenwirkungen des Grüns, können dem vielfach gesundheitsfördernden Aspekt der städtischen Grünflächen entgegenwirken. In erster Linie sind es diverse allergieauslösende oder -verstärkende Baumarten und Gräser. Meist sind es einzelne Neophyten (nichtheimische Pflanzen), die aufgrund der Globalisierung aus anderen Regionen eingeschleppt wurden bzw. eingewandert sind und in Folge der urbanen Überwärmung und/oder als Resultat des rezenten Klimawandels in Städten ihre ökologische Nische finden oder behaupten konnten (Henninger, Weber 2020).

Daher sollte innerhalb innerstädtischer Park- und Grünflächen gelten, dass sich nicht willkürlich jedes Grün zur Anpflanzung eignet. Einige Baumarten emittieren unterschiedliche Mengen an biogenen flüchtigen organischen Stoffen (engl. „*biogenic volatile organic compounds*“ – BVOCs). Diese sind in der Lage, als biogene Vorläufersubstanzen z. B. die Bildung von bodennahem Ozon herbeizuführen. Dementsprechend sollten

solche Arten weder als straßenbegleitendes Grün noch als Bestand in einem Park eingesetzt bzw. angepflanzt werden (Henninger 2013; Wagner 2014; Curtis et al. 2014).

Eine dieser Stoffgruppen sind die sog. Isoprenoide. Manche dieser organischen Substanzen dienen u. a. der Abwehr von Herbivoren und Pathogenen oder sie locken Bestäuber an. Zudem schützt z. B. das Isopren die Pflanze vor Hitze- bzw. oxidativem Stress (Monson, Fall 1989). Die Höhe der Emissionsrate biogener Kohlenwasserstoffe ist abhängig von den meteorologischen Bedingungen (Lufttemperatur, Strahlungsintensität bzw. Intensität der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR)) und wie diese letztendlich auf den Vegetationsbestand wirken (Henninger, Weber 2020). Demnach begünstigen autochthone Wetterlagen, gekennzeichnet durch eine hohe Strahlungsintensität und damit einhergehend hohen Lufttemperaturen, die Bildung von Isopren an den Pflanzenblättern. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass genau an den Tagen, an denen ohnehin mit erhöhten Ozonkonzentrationen zu rechnen ist, das biogene Isopren zusätzlich zu einer weiteren Produktion des bodennahen Ozons beiträgt, sogar innerhalb potenzieller urbaner Rückzugs- und Erholungsräume (Henninger 2015).

Zu den einschlägigen Isopren emittierenden Arten zählen vor allem die Laubbäume (z. B. Eiche (*Quercus*), Pappel (*Populus*), Platane (*Platanus*), Robinie (*Robinia*), Weide (*Salix*)). Nadelbäume, wie z. B. die Gemeine Fichte (*Picea abies*), spielen lediglich eine untergeordnete Rolle (Henninger, Weber 2020). Problematisch ist, dass viele der oben genannten Baumarten als charakteristische Stadtvegetation anzusehen sind. Somit sind meist einige wenige Arten für die Gesamtheit der Isoprenemissionen verantwortlich. Gegenwärtig kann festgehalten werden, dass große Mengen an biogenem Isopren im urbanen Raum trotz einer vergleichsweise eher geringen Vegetationsdichte freigesetzt werden. Dies liegt darin begründet, dass innerstädtische Grünflächen oftmals eine Artenzusammensetzung aufweisen, die nicht zwingend der potenziell natürlichen Vegetation des Standortes entspricht (Wagner 2014). Ein weit verbreitetes Beispiel ist die Isopren emittierende Baumart der ahornblättrigen Platane (*Platanus acerifolia*). Sie zählt ursprünglich nicht zu den heimischen Baumarten (Henninger 2015). Dennoch wird sie aufgrund ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber Luftverschmutzung sowie einer gewissen Unempfindlichkeit gegenüber verdichtetem Boden vielfach als Straßenbaum sowie in Parkanlagen angepflanzt (Wagner 2014).

Die gesundheitlichen Nebenwirkungen des Ozons auf den menschlichen Organismus sind unterschiedlich (Henninger 2014a). In Tabelle 1 sind einige Folgewirkungen aufgelistet und zeigen deutlich, weshalb die durch diverse Pflanzenarten geförderte Ozonproduktion innerhalb von urbanen Grünflächen ein sensibles Thema darstellt (Henninger 2013). Vor allem für die warme Jahreszeit kann nachgewiesen werden, dass es einen offensichtlichen Zusammenhang zwischen Standorten mit einer hohen bodennahen Ozonkonzentration und dem Auftreten von Atemwegserkrankungen gibt, v. a. innerhalb urbaner Park- und Erholungsflächen. Hierbei spielt die Tatsache eine Rolle, dass

luftgetragene Allergene (z. B. Blütenpollen) durch die Wirkung des Ozons an Aggressivität gewinnen und mitunter bei bereits vorbelasteten Menschen (Allergiker, Asthmatiker u. a.) zu unerwartet heftigen Reaktionen führen.

Tab. 1: Wirkung des bodennahen Ozons auf den Menschen (Quelle: verändert nach Henninger 2013)

| | Mögliche Wirkung auf den menschlichen Organismus |
|----------------------------------|---|
| Substanz: Ozon (O ₃) | <ul style="list-style-type: none"> - Vordringen in die unteren Atemwege - Reizung der Atemwege, Husten, Kopfschmerz, Atembeschwerden, Tränenreiz - Reduzierung der körperlichen Leistungsfähigkeit - Zunahme der Häufigkeit von Asthmaanfällen - Steigerung der allergischen Reaktionsbereitschaft = Empfindliche Reaktionen bei etwa 10-20 % der Bevölkerung |
| Risikogruppen: | Personen mit Freiluftarbeitsplätzen, Sportler, Asthmatiker, Kleinkinder und Säuglinge |

3 Fazit/Ausblick

Aus Sicht der planungsorientierten Stadtklimatologie ist eines der gegenwärtigen bzw. zukunftsnahe Ziele die Identifikation flächen- und objektbezogener Handlungsfelder innerhalb der Siedlungsräume. Dies wiederum stärkt die wissenschaftliche Teildisziplin der Stadtklimatologie bzw. Stadtökologie und deren Erkenntnisse, um diese u. a. in zukünftige Planungsprozesse einfließen zu lassen.

Sollten nun z. B. blattwendende Baumarten verifizierbare lokalklimatische Auswirkungen auf ihre nähere Umgebung aufweisen, besteht die Möglichkeit, diese Erkenntnisse aufzuarbeiten und in urbanen Entwicklungskonzepten bzw. landschaftsplanerischen Maßnahmen aufzugreifen. Dabei wäre es hilfreich, das gewonnene Wissen der Untersuchungen in verschiedene Ebenen der Raumplanung (z. B. Landschafts- oder Bauleitpläne) einfließen zu lassen. Denn das Wissen und die Kenntnis bezüglich des lokalen Klimas sowie deren Funktionszusammenhänge stellen wichtige Aspekte der Umweltvorsorge und Stadtentwicklung dar, was wiederum am Beispiel der baumartenspezifischen biogenen Kohlenwasserstoffe dargelegt werden kann.

Im Rahmen dessen ist das Baugesetzbuch durch eine Reihe zulässiger Festsetzungen in den Bebauungsplänen ein hilfreicher „Hebel“, um unterschiedliche Möglichkeiten einer klimagerechten bzw. klimaangepassten Stadtplanung umzusetzen. Vor allem nach der 2011 erfolgten Novellierung des § 1a Absatzes 5 werden die Belange des Klimas zu einem Gegenstand der Umweltprüfung. Ein städtebaulicher Rahmenplan kann entworfen werden, um entsprechend den Anforderungen an die Planung gerecht zu werden. Dieses informelle Planungsinstrument ist zwar nicht rechtsverbindlich, kann der Stadt/Gemeinde aber bei der Offenlegung diverser städtebaulicher Ziele (z. B. bezogen auf ein

Stadtquartier) dienen. Vor allem der § 9 Abs. 1 BauGB kann aus städtebaulichen Gründen Festsetzung vorgeben, die z. B. Grünflächen/Parkanlagen (§ 9 (1) Nr. 15 BauGB) oder das gezielte Pflanzen von Bäumen/Sträuchern (§ 9 (1) Nr. 25 BauGB) vorsehen.

Welche Bedeutung Isopren zukünftig in der urbanen Stadtatmosphäre spielen wird, ist davon abhängig, wie sich die anthropogenen, v. a. aber die biogenen Emissionen entwickeln. Daher könnte die Wahl der Baumarten für innerurbane Grünflächen im Hinblick auf die Entwicklung der Isoprenemission ganz entscheidend werden. Diesem Umstand ist auch geschuldet, dass vermutlich die Erfolge des technischen Fortschritts (z. B. Steigerung der Elektromobilität im urbanen Raum), mit einer Reduzierung der anthropogenen Kohlenwasserstoffe einhergehen, jedoch die witterungsbedingte Steigerung reaktiver biogener flüchtiger Kohlenwasserstoffe nur eine geringe Minderung der bodennahen Ozonkonzentration mit sich bringen wird.

4 Literatur

- Abraham, A.; Sommerhalder, K.; Bolliger-Salzmann, H.; Abel, T. (2007): Landschaft und Gesundheit. Das Potential einer Verbindung zweier Konzepte. Universität Bern.
http://www.sl-fp.ch/getdatei.php?datei_id=817 (Zugriff: Oktober 2018).
- Bolund, P.; Hunhammar, S. (1999): Ecosystem services in urban areas. In: *Ecological Economics*, 29 (2): 293-301.
- Curtis, A. J.; Helmig, D.; Baroch, C.; Daly, R.; Davis, S. (2014): Biogenic volatile organic compound emissions from nine tree species used in an urban tree-planting program. *Atmospheric Environment*, 95: 634-643.
- Heiland, S.; Rittel, K.; Hokema, D.; Schuppe, G.; Nowak, D.; Wanka, E.; Bredow, L.; Wilke, T. (2014): Grün Natürlich Gesund. Die Potenziale multifunktionaler städtischer Grünräume. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Henninger, S. (2013): Notwendiger Wandel im Umgang mit innerstädtischen Grünflächen? In: Junkernheinrich, M., Ziegler, K. (Hrsg.): Räume im Wandel – Empirie und Politik: 73-92.
- Henninger, S. (2014a): The Impact of Biogenic Isoprene in Dependence on Meteorological Conditions within Urban Green. In: Rauch, S.; Morrison, G.; Norra, S.; Schleicher, N. (Hrsg.): Urban Environment – Proceedings of the 11th Urban Environment Symposium, Springer Verlag: 153-162.
- Henninger, S. (2014b): Urban green and health. In: Pfaffenbach, C.; Schneider, C. (Hrsg.): Global Demographic and Climate Challenges in the City – An interdisciplinary assessment of impacts, needs and strategies. Aachener Geographische Arbeiten, Heft 50: 115-130.
- Henninger, S. (2015): Kann innerstädtisches Grün die Luftqualität beeinträchtigen? In: Neue Landschaft – Fachzeitschrift für Garten- und Landschaftsbau, Heft 2: 31-35.

- Henninger, S. (2017): Differenzierte Betrachtung innerurbanen Grüns. In: Leser, H.; Löffler, J. (Hrsg.): *Landschaftsökologie*, 5. Auflage, UTB – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 311-318.
- Henninger, S.; Leitte, A.: Applied and Planning-Oriented Urban Climatology at the University of Kaiserslautern. In: Leal, W. (Hrsg.): *Climate Change Research at Universities – Addressing the Mitigation and Adaption Challenges*: 389-400.
- Henninger, S.; Weber, S. (2020): *Stadtklima*. Schöningh Verlag Paderborn.
- Maas, J.; van Dillen, S. M. E.; Verhei, R. A.; Groenewegen, P. P. (2009): Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. In: *Health and Place*, 15 (2): 586-595.
- Monson, R.K.; Fall, R. (1989): Isoprene Emission from Aspen Leaves. Influence of Environment and Relation to Photosynthesis and Photorespiration. In: *Plant Physiology*, 90: 267-274.
- Oswalt, P.; Rieniets, T. (2006): *Atlas of shrinking cities*. Ostfildern: Hatje Cantz.
- Stigsdotter, U. K.; Ekholm, O.; Schipperijn, J.; Toftager, M.; Kamper-Jorgensen, F.; Randsdrup, T. B. (2010): Health promoting outdoor environments – associations between green space, and health, health-related quality of life and stress based on a Danish national representative survey. In: *Scandinavian Journal of Public Health*, 38 (4): 411-417.
- Wagner, P. (2014): Analyse von biogenem und anthropogenem Isopren und seiner Bedeutung als Ozonvorläufersubstanz in der Stadtatmosphäre. In: *Essener Ökologische Schriften*, Band 34, Westarp-Verlag, Hohenwarsleben.