

5. VERÄNDERUNGEN STÄDTISCHER ÖKOSYSTEME

In diesem Teil des Buches werden unterschiedliche Aspekte des Ökosystems Stadt beleuchtet. Da Städte in den vergangenen Jahrzehnten weltweit mehr geworden und gewachsen sind und auch weiter wachsen werden, wird das Ökosystem Stadt immer bedeutender. In Städten finden wir nicht nur andere Temperatur-, Wind-, Niederschlags- und Luftfeuchtigkeitswerte als im Umland, sondern oft auch erhöhte Spurengaskonzentrationen. Ihre Deposition kann empfindliche Arten behindern und andere, wie nitrophile (mehr Stickstoffdünger benötigende) oder wärmeliebende fördern. Dies betrifft nicht nur die Vegetationsformationen auf dem Land, sondern auch die Gewässer. Wie die Pflanzen auf das Stadtklima reagieren, wird in Kap. 5.1 behandelt. Kap. 5.2 geht auf fremde Arten in der Stadt ein. Am Beispiel des Stadt Frankfurt werden im Kap. 5.3 die Veränderungen von Flora und Fauna der letzten zwei Jahrhunderte beschrieben. Veränderungen in städtischen Gewässern beschreibt Kap. 5.4. Mit der Zunahme der Bevölkerung und durch den Klimawandel wird das Wasser in Städten knapp (Kap. 5.5). Das Phänomen Landflucht und die Entstehung von Megastädten steht in Kap. 5.6 im Mittelpunkt.

5.1 Pflanzenreaktionen auf das Stadtklima

KATHARINA SCHMIDT & HANS-HELMUT POPPENDIECK

Die Umweltbedingungen für Pflanzen in Städten sind vor allem durch erhöhte Temperaturen (städtische Wärmeinsel), einem hohem Versiegelungsgrad, hohem Störungsgrad und hoher Dynamik geprägt. Das Stadtklima wirkt sich auf die Phänologie vieler Arten aus, die in Städten z.B. früher blühen als im Umland, außerdem werden wärmeliebende Arten häufig gefördert. Eine weitere Reaktion sind Arealverschiebungen, z.B. des Schilfrohrs und immergrüner Gehölze. Evolutionäre Prozesse können in urbanen Räumen beschleunigt werden. Urbane Floren können sich in Richtung erhöhter Anteile wärmeliebender Neophyten verschieben. Die spontane Stadtflora kann gut auf Veränderungen reagieren und sich anpassen, sie wird aber zurückgedrängt, daher muss gepflanzte Stadtvegetation wohl durchdacht sein. Einflüsse auf die Vegetation durch den Klimawandel sind von denen der Urbanisierung oftmals schwer zu trennen.

Plant reactions to the urban climate: Environmental conditions for plants in urban areas are characterised by higher temperatures (urban heat island), high degrees of soil sealing, disturbance as well as by a highly dynamic environment. Urban climate affects the phenology of several plant species and often favours thermophilic species. Furthermore, plant species' ranges can shift as a reaction to urban climate. In urban areas evolutionary processes can be accelerated and urban floras harbour more and more thermophilic non-native species. The spontaneously occurring flora is able to adapt to changes, but it is threatened by human activities. Therefore, planted vegetation has to be thoroughly planned. Effects on vegetation by climate change and urbanisation are often difficult to distinguish.

Der Kompass-Lattich *Lactuca serriola* auf einem innerstädtischen Standort in Hamburg (eine wärmeliebende Pflanze) Foto: H. H. Poppendieck.



Das Stadtklima ist gegenüber dem Umland durch die erhöhte Temperatur gekennzeichnet. Der Temperaturgradient der städtischen Wärmeinsel wird vielfach als Modell herangezogen, um die Folgen der für die Zukunft prognostizierten Klimaerwärmung abzuschätzen (*space-for-time substitution*). Die einzelne Pflanze, beispielsweise der Straßenbaum, reagiert auf die stadtklimatischen Witterungsereignisse unter anderem durch Verschiebung der phänologischen Phasen, teilweise durch Wachstumsförderung, aber auch durch Trockenstress. Populationen wildlebender Pflanzen reagieren durch Arealverschiebungen, aber auch die genetische Variation phänotypischer und physiologischer Merkmale ist nachgewiesen worden. Die städtische Flora ist gekennzeichnet durch einen hohen Anteil an wärmeliebenden Arten, darunter überproportional viele Neophyten mit speziellen Anpassungen an warmtrockene Standorte. Es ist jedoch vielfach schwierig, bei der Interpretation der städtischen Pflanzenvorkommen eindeutig zwischen den Einflüssen des Klimas und der Urbanisierung zu unterscheiden (GREGOR et al. 2012).

Die städtische Wärmeinsel

Das Verhalten von Tier- und Pflanzenarten und deren Populationen in der Stadt ist aufschlussreich, weil sie in ihrem Lebenslauf physikalische Größen wie Temperatur, Niederschlagsmenge und Luftfeuchte »integrieren« und nicht auf Mittelwerte sondern vielmehr reale Ereignisse wie die Schwankungen der Witterung reagieren (REICHOLF 2007). Das Areal der städtischen Wärmeinsel ist korreliert mit dem Versiegelungsgrad und der Geschosshöhe der städtischen Bebauung. Den Kern bildet die innere eu-urbane bzw. meta-hemerober (naturfremde) Zone, die durch einen hohen Versiegelungsgrad und hohe Bauwerke gekennzeichnet ist und nahezu vegetationsfreie Industrieanlagen mit einschließt. Hier wirken stadttypische Umweltbedingungen wie beispielsweise hohe Temperaturen am stärksten auf die Vegetation ein, deren Flächenanteil allerdings gerade in diesem Bereich sehr gering ist und in vielen Städten (Hamburg, Lübeck, Berlin) durch innere Verdichtung weiter abnimmt. In der anschließenden suburbanen Zone mit offener Bebauung und hohem Grünanteil ist der städtische Einfluss einschließlich der Temperaturerhöhung deutlich weniger ausgeprägt, aber dennoch spürbar. Auch außerhalb dieses Bereiches beginnen sich in der landwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaft urbane Inseln mit urbanem Kleinklima zu entwickeln (»Intercity«, BRANDES 2010), etwa in größeren Industrieansiedlungen oder Logistikzentren auf der grünen Wiese.

Städtische Ökosysteme und ihre Umweltbedingungen für Pflanzen

Umweltbedingungen: Die Umweltbedingungen für Pflanzen in Städten sind stark durch den menschlichen

Einfluss geprägt. Die im Vergleich zum ländlichen Umland sehr hohen Bevölkerungsdichten führen zu stark versiegelten Böden und einem hohen Grad an Störung, Verkehr, erhöhter Luft- und Bodenverschmutzung sowie einem hohen Stickstoffeintrag und einer schlechten Wasserverfügbarkeit (MCKINNEY 2002). Temperatur und Niederschlag unterscheiden sich stark von denen ländlicher Räume (Städtische Wärmeinsel, s.o.). Bauvorhaben, Garten- und Landschaftsbau und Freizeit- und Erholungsaktivitäten üben hohen Druck auf die Vegetation aus (REBELE 1994). Lokal kommen Einflüsse wie Tritt, Mahd und Hundeauslauf hinzu. Städtische Böden sind sehr heterogen und eher trocken, daher ist Wasser für die Vegetation in der Regel nur sehr kurzzeitig verfügbar. Auch das Vorkommen von Bestäubern und Fraßfeinden hat einen Effekt auf das Pflanzenwachstum und -vorkommen in Städten, wobei in hochverdichteten Bereichen naturgemäß weniger Insekten vorkommen als in grünen suburbanen Gebieten. Die genannten Umweltbedingungen nehmen entlang eines Stadt-Land-Gradienten in ihrer Intensität ab, dabei nimmt der Anteil naturnaher und natürlicher Lebensräume mit abnehmender Urbanisierung zu.

Vier Arten der Natur: Die städtische Natur setzt sich aus verschiedenen »Naturen« zusammen, die sich kleinräumig abwechseln. Die Natur in Städten kann nach Kowariks Konzept der »vier Naturen« (KOWARIK 1992) in vier Gruppen nach ihren Ursprüngen eingeordnet werden. »Natur der ersten Art« sind Relikte ursprünglicher Natur, die vom Menschen unbeeinflusst waren, heute jedoch auch stark modifiziert sind, z.B. Wälder, Moore und Gewässer. »Natur der zweiten Art« sind Relikte ruraler Kulturlandschaften, die durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt sind, z.B. Grünland, Feldmarken, gärtnerische Flächen oder Knickrelikte. »Natur der dritten Art« ist die gärtnerisch gestaltete und gepflegte Stadtnatur, z.B. Parks, Gärten oder Gründächer. »Natur der vierten Art« umfasst die spontane urbane Natur, die sich z.B. auf urban-industriellen Flächen wie Brachflächen, Verkehrsflächen und industriellen Flächen ansiedelt. In diesem Artikel werden primär die beiden letzten, für den innerstädtischen Bereich prägenden Typen berücksichtigt.

Störung, Dynamik und Kleinteiligkeit: Neben der hohen kleinskaligen Struktur- und Lebensraumvielfalt ist die regelmäßige anthropogene Störung ein wichtiger Faktor, der urbane Gebiete zu sehr dynamischen Lebensräumen macht. Auch die starke Variabilität dieser Lebensräume und der unterschiedliche Grad an anthropogener Störung sind Faktoren, die die Lebensraumvielfalt und damit die Artenvielfalt begünstigen (PYSEK 1993, ZERBE et al. 2003).

Artenreichtum: Die pflanzliche Artenvielfalt nimmt mit zunehmender Stadtgröße und Anzahl Einwohner zu (PYŠEK 1993). Dieser Artenreichtum ist in der Regel höher als in den umliegenden ländlichen Gebieten. Neben der bereits genannten Vielfalt an Lebensräumen wurden Städte oft in Gebieten mit hoher geologischer Vielfalt gegründet, die sich auch positiv auf den pflanzlichen Artenreichtum auswirkt (KÜHN et al. 2004). Auch neu eingewanderte Arten (Neophyten) tragen zur hohen städtischen Artenvielfalt bei: Städte sind Handels- und Verkehrszentren, in denen neue Arten häufig als erstes auftreten. Viele Arten haben z.B. als Samen in transportierter Wolle oder im Ballastwasser von Schiffen entfernt liegende Städte erreichen können. Innerhalb von Städten ist der Pflanzenartenreichtum häufig in suburbanen Bereichen am höchsten (MCKINNEY 2008). Innerstädtische Gebiete weisen einen hohen Versiegelungsgrad und eine hohe Bebauungsdichte auf, so dass generell weniger Platz für grüne Flächen bleibt. In äußeren Stadtgebieten nehmen (eher monotone) Landwirtschaftsflächen oder auch Wälder bzw. andere großflächige Lebensräume häufig bereits viel Raum ein. Daher gibt es weniger Lebensraumdiversität und dementsprechend auch weniger Pflanzenartenvielfalt.

Auswirkungen von Vegetation auf das Stadtklima: Stadtklima und Vegetation bedingen sich natürlich auch gegenseitig. Im Sommer kann Vegetation einen positiven Effekt auf das Stadtklima haben und dazu beitragen, Temperaturen zu senken, da sie eine geringere Wärmespeicherkapazität als Gebäude und versiegelte Flächen hat, auch Verdunstung (Evapotranspiration) trägt zur Kühlung bei (OKE 1982, LINDBERG & GRIMMOND 2011). Vor allem Stadtbäume können lokal durch Beschattung und Verdunstung dazu beitragen, dass es sich auch an Hitzetagen in Städten aushalten lässt. Aber auch krautige Vegetation oder Rasenflächen kühlen das Stadtklima merklich ab und können gegenüber der Bebauung eine ausgleichende Wirkung haben. Dieser Kühlungseffekt kann sich vor allem in Hinblick auf den Klimawandel positiv für die menschliche Bevölkerung in Städten auswirken, die dadurch weniger stark von Hitzewellen betroffen sein kann.

Reaktionen der Pflanzen auf das Stadtklima

Hier muss unterschieden werden zwischen der spontanen Vegetation und der gepflanzten Vegetation (z.B. Straßenbäume), bei der Ausbreitung, Etablierung und Auswahl des Standortes durch menschliche Aktivitäten erfolgt.

Verhalten der einzelnen Pflanze

Das städtische Klima ist in der Regel wärmer als das im ländlichen Umland, zudem gibt es weniger Frosttage.

Dadurch ist die Vegetationsperiode, also die Zeit, in der Pflanzenwachstum, Blüte und Fruchtentwicklung erfolgen kann, länger als im Umland. In Städten blühen Pflanzen demnach in der Regel früher (ROETZER et al. 2000). In ihrer Studie betrachteten ROETZER et al. den Blühbeginn der Arten Schneeglöckchen (*Galanthus nivalis*), Forsythie (*Forsythia* sp.), Vogelkirsche (*Prunus avium*) und Apfel (*Malus domestica*) in zehn verschiedenen europäischen Großstädten und ihrem Umland über mehr als 30 Jahre und stellten für alle Arten in allen Städten (mit einer Ausnahme) einen früheren Blühbeginn im urbanen Raum fest. Die längere Vegetationsperiode kann sich positiv auf Wuchs, Fortpflanzung und Samenproduktion auswirken, da eine vergleichsweise längere Zeit dafür zur Verfügung steht. Das Stadtklima kann sich auch positiv auf nicht-heimische Arten, die eine niedrigere Frosttoleranz als heimische Arten haben, auswirken. Diese Arten können sich häufig in Städten eher etablieren als im ländlichen Raum.

Das wärmere Stadtklima kann zudem auch die Interaktion zwischen Pflanzen und ihren Bestäubern beeinflussen und sich je nach physiologischer Toleranz auf die Phänologie von Pflanzen und Bestäuber auswirken. Verschiebungen in der Phänologie von Pflanzenarten in Städten hin zu einem früheren Blühzeitpunkt können verschiedene Auswirkungen haben (JOCHNER & MENZEL 2015). Viele Pflanzenarten sind für ihre Bestäubung auf Insekten angewiesen, diese wiederum sind wichtige Nahrung für Vögel. Wenn sich Blühzeitpunkte verschieben und sich die verschiedenen Artengruppen in ihrer Aktivität zeitlich nicht mehr überlappen, z.B. vor dem Hinblick einer Verschärfung der Situation durch den Klimawandel, kann das Auswirkungen auf das gesamte Ökosystem und Nahrungsnetz haben. Gerade spezialisierte Pflanzenarten können möglicherweise schlechter oder gar nicht mehr bestäubt werden und demnach auch nur weniger oder sogar gar keine Samen bilden. Städte bieten gute Studienbedingungen für diese Zusammenhänge (HARRISON & WINFREE 2015).

Phänologische Studien sind Langzeitexperimente, in Hamburg wird bereits seit 1945 der Beginn der Forsythienblüte an der Lombardsbrücke für den Deutschen Wetterdienst beobachtet (DWD 2019) und schon 1955 wurde im Hamburger Abendblatt aufgerufen, im Rahmen einer »Citizen Science«-Aktion den Blühbeginn der Forsythie in ganz Hamburg zu melden (FRANZEN 1955).

Die phänologischen Abläufe zum Ende der Vegetationsperiode im Herbst sind weniger gut bekannt als die des Frühjahrs, was vor allem methodische Gründe hat. Fruchtreife und Blattfall ziehen sich über längere Zeiträume hin und sind daher schwieriger zu erfassen als Knospenaufbruch oder Blühbeginn, die viel exakter

getaktet sind. Das ist insofern bedauerlich, da der Zeitpunkt des Blattfalls und des Fruchtens sowie die Menge und Qualität der Früchte für den Fortpflanzungserfolg und für die Konkurrenzkraft der Arten entscheidend sind. GALLINAT et al. (2015) machen Vorschläge für zukünftige Forschungsvorhaben auf diesem Gebiet.

Auch Ökosystemfunktionen, die dem Menschen nutzen, können durch Veränderungen in der Phänologie beeinträchtigt werden, z.B. bei der Lebensmittelproduktion in Städten durch Frostschäden bei früheren Blühzeiten oder durch Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit durch einen früher beginnenden und länger andauernden Pollenflug.

Charakteristische Merkmale für Arten, die gut mit den urbanen Bedingungen klar kommen, sind Windbestäubung, Zoochorie sowie mesomorphe, skleromorphe oder sukkulente Blättern und ein ein- oder zweijähriger Lebenszyklus (KNAPP et al. 2008). Gerade die Blattmerkmale weisen auf eine gute Anpassung an trockene und warme Lebensräume hin.

**Stadtbäume –
Beispiel für gepflanzte Vegetation in der Stadt**

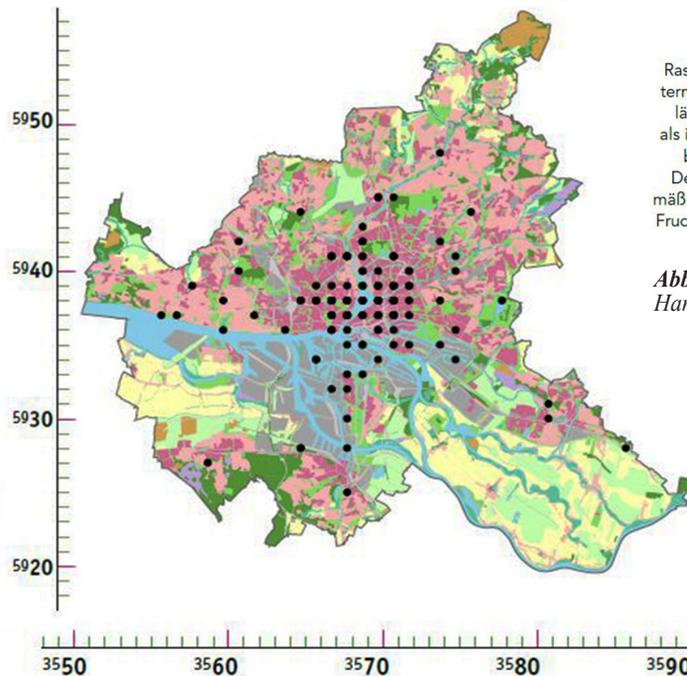
Erhöhte Temperatur, CO₂-Konzentration und Stickstoffeinträge fördern im Allgemeinen das Wachstum der Bäume, wie PRETZSCH et al. (2017) in einem weltweiten Vergleich feststellten. Dies gilt jedoch nicht für urbane Bedingungen in gemäßigten Breiten. Insbesondere Straßenbäume stehen hier in Innenstädten durch Bodenverdichtung, Trockenheit und mangelndem Wur-

zelraum unter starkem Stress, was zu Wachstumsproblemen und verstärktem Schädlingsbefall führen kann. Da sich im Zuge des Klimawandels der Stress erhöhen dürfte, wurde mit Hilfe einer »KlimaArtenMatrix« für Deutschland eine Liste besonderer widerstandsfähiger »Klimabäume« für innerstädtische Standorte vorgelegt (SCHÖNFELD 2018). Besonderes Augenmerk muss aber auf den Schutz von Altbäumen gelegt werden, da Neuanpflanzungen ihre Ausmaße nicht mehr erreichen werden (DICKHAUT & ESCHENBACH 2019).

Stadtklima und städtische Pflanzenareale

Die städtischen Areale wärmeliebender Gefäßpflanzen zeigen vielfach eine hohe Korrelation mit dem Areal der städtischen Wärmeinsel. Das kann im Zusammenhang mit ihren biologischen Eigenschaften interpretiert werden. Beispielsweise fördert das frostarme Innenstadtklima den Götterbaum *Ailanthus altissima* (Abb. 5.1-1) der nur über eine geringe Frosttoleranz verfügt (KOWARIK & SÄUMEL 2007). Signifikant ist auch das verstärkte Vorkommen von an aride Verhältnisse angepassten neophytischen C4-Pflanzen innerhalb der städtischen Wärmeinsel, unter denen sich viele Gräser (z.B. Hühnerhirse) und Fuchsschwanzgewächse befinden (z.B. Melden und Amaranth-Arten) (TAMIS et al. 2005).

Schilfrohr (*Phragmites australis*) - Seit 2014 hat sich in Hamburg das Schilfrohr *Phragmites australis* zunehmend in Pflasterfugen am Rande innerstädtischer Straßenzüge angesiedelt (POPPENDIECK 2016). Die neuen und auf den ersten Blick trockenen Stand-

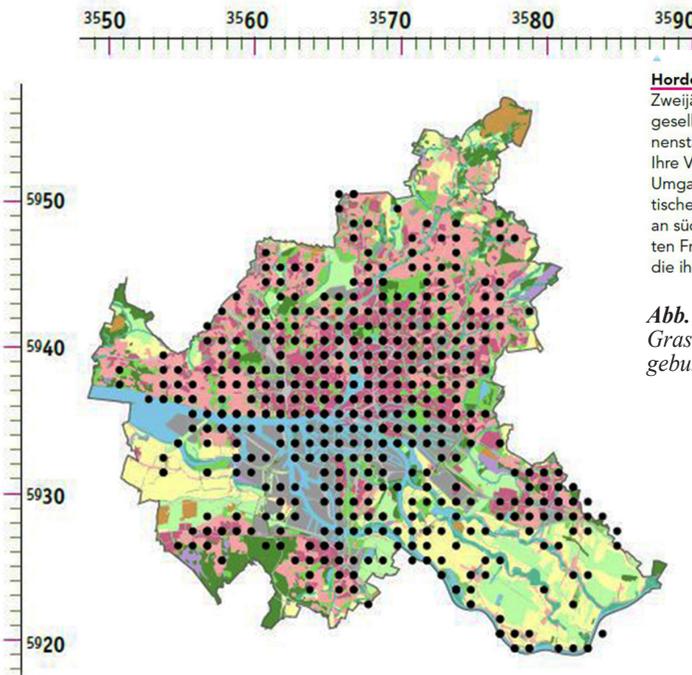


Ailanthus altissima Götterbaum E *
 Raschwüchsiger zweihäusiger Laubbaum mit Fiederblättern und energischer vegetativer Vermehrung durch Ausläufer. Der typische Stadtbaum ist in Hamburg seltener als in Städten mit kontinental getöntem Klima. Erste Einbürgerungen auf Trümmerflächen der Nachkriegszeit. Der Jungwuchs der aktuellen Verjüngungen wird regelmäßig entfernt und gelangt meist nicht bis zur Blüh- oder Fruchtreife. Die spontanen Vorkommen sind im Wesentlichen auf die städtische Wärmeinsel beschränkt.

Abb. 5.1-1: Verbreitung des Götterbaum in Hamburg und Umgebung.

orte unterscheiden sich krass von Schilfvorkommen in Feuchtgebieten. Da nahezu gleichzeitig an vielen unterschiedlichen Stellen juvenile Pflanzen vorgefunden wurden, kann eine Ausbreitung durch Verschleppung von Rhizomen ausgeschlossen werden. Es wird vermutet, dass das Schilf sich hier in den Jahren 2011 und 2012 mit extrem hohen Temperaturen im Mai generativ (über Früchte) angesiedelt hat. Die Keimung des Schilfs wird durch niedrige Temperaturen behindert und durch starke Unterschiede zwischen Tag- und Nachttemperatur gefördert. Pflasterfugen sind extrem lichtreiche und konkurrenzarme Standorte mit extrem hohen Maximaltemperaturen, starker Nachtabsenkung und geringer Verdunstungsrate. Unter ihnen kann versickertes Wasser lange gespeichert und über die oft moosbewachsenen Fugen pflanzenverfügbar gemacht werden. In Jahren mit einem extrem warmen Frühjahr können Pflasterfugen daher gute Keimungsbedingungen für Schilfrüchte bieten. In diesem Zusammenhang ist interessant, dass der aus Europa eingeführte Genotyp des Schilfs *Phragmites australis* in Nordamerika als invasiver Neophyt gilt, für dessen Ausbreitung dort Straßenränder eine wichtige Rolle spielen (Literatur siehe POPPENDIECK 2016). Der Befund, dass sich eine Feuchtgebietsart ausgerechnet in warmen Frühjahren auf innerstädtische Standorte ausbreitet, erscheint paradox, macht aber deutlich, welche komplexe Wirkungsketten bei der Auswirkung der globalen Erwärmung auf das Pflanzenleben in der Stadt zu erwarten sind.

Lorbeerkirsche (*Prunus laurocerasus*) und andere immergrüne Gehölze - Laurophyllisierung bezeichnet die Ausbreitung immergrüner Gehölze in laubwerfende Wälder. Es wurde zuerst in den 1980er Jahren für die insubrischen Wälder auf der Südflanke der Alpen beschrieben und bald als Folge der globalen Erwärmung gedeutet (WALTHER 2001). Auch die Verschiebung der nördlichen Verbreitungsgrenze der Stechpalme *Ilex aquifolium* in Südkandinavien (WALTHER et al. 2005) oder die Zunahme der Vitalität des Efeus *Hedera helix* in den Wäldern um Göttingen (DIERSCHKE 2005) ist in diesem Sinne gedeutet worden. Ein Beispiel für die Laurophyllisierung im Stadtklima bietet die seit 2002 stark zunehmende Verwilderung der Lorbeerkirsche *Prunus laurocerasus* im Ballungsraum des Ruhrgebiets, wo sie als zweihäufigste klimasensitive Gehölzart angesehen wird (HETZEL 2014). Ihre Zunahme wird hier auf die verlängerte Vegetationsperiode, die milderen Winter mit ausbleibenden Winterschäden und die höheren Sommertemperaturen und deren Wirkung auf Keimung, Frucht- und Blütenbildung zurückgeführt. In Hamburg wird seit einigen Jahren ein starkes Vordringen der Lorbeerkirsche und heimischer Immergrüner (Stechpalme, Efeu, Eibe) in stadtnahe Wälder beobachtet (BERTRAM, mdl.). Stadtspezifisch ist hier, im Ruhrgebiet und auch in Berlin (SEIDLING 2001), dass im Gegensatz zu ländlichen Gebieten in den Gärten zahlreiche immergrüne Gehölze als Samenspender zur Verfügung stehen.



***Hordeum murinum* Mäuse-Gerste I ***

Zweijähriges Wärme liebendes Gras in ruderalen Rasengesellschaften. Kaum eine Pflanze charakterisiert die Innenstädte besser als die »Sommerblonde Mäuse-Gerste«. Ihre Vorkommen sind jedoch sowohl auf den spezifischen Umgang der Städter mit dem Wegrandgrün wie auf klimatische Faktoren zurückzuführen (Hard 1998). Auch häufig an südexponierten Elbdeichen, wohin die lang begranneten Früchte durch Schafe verschleppt werden und die Art die ihr zusagenden warmen, besonnten Standorte findet.

Abb. 5.1-2: Verbreitung des wärmeliebenden Grases, Mäuse-Gersten in Hamburg und Umgebung.

Mäusegerste (*Hordeum murinum*) - Die Mäuse-Gerste (Abb. 5.1-2) ist ein einjähriges wärmeliebendes Gras und gilt als Wärmezeiger (FLORAWEB 2019). In Deutschland liegt der Schwerpunkt der Verbreitung in den Ballungsräumen und im mitteldeutschen Trocken- gebiet. Im kühlen Nordwestdeutschland ist die Art auf größere Orte beschränkt, zum kontinentalen Osten und Süden hin lockert sich die Bindung an die Stadt. In vielen Städten koinzidiert ihr Verbreitungsschwerpunkt mit der städtischen Wärmeinsel. Dafür muss jedoch nicht vorrangig das Stadtklima verantwortlich sein, denn Städte bieten nach Substrat, Kleinklima sowie Art und Grad der Störung seit langem günstige Standorte für die Art (HARD 1998). Bei anderen »wärmeliebenden Stadtpflanzen« wie *Buddleia davidii* oder *Ailanthus altissima* dürfte die Sache ähnlich liegen. Wieder anders stellt sich die Situation auf der lokalen Ebene in einem Stadtteil dar (SCHLEGEL 2012). Die Mäuse-Gerste ist hier vor allem gebunden an die Biotypen Blockrandbebauung und Verkehrsflächen, zeigt dabei aber eine deutliche Präferenz für in Ost-West-Richtung verlaufende Straßen mit warmer Südexposition.

Verhalten der Pflanzenart, Evolution

Städte können eine wichtige Funktion für die heutige Evolution haben, denn Urbanisierung kann phänotypische Änderungen bei Arten bewirken und diese sogar beschleunigen. ALBERTI et al. (2017) zeigten in einer Metaanalyse, dass phänotypische Änderungsraten in urbanen Systemen schneller sind als in natürlichen oder nicht städtischen Systemen.

In einer Studie im Gewächshaus mit urbanen und ruralen Populationen von *Crepis sancta* fanden LAMBRECHT et al. (2016) heraus, dass die urbanen Pflanzen größer waren und später blühten und auch verblühten. Sie hatten außerdem eine höhere photosynthetische Kapazität und Wassernutzungseffizienz sowie höhere Stickstoffkonzentrationen in den Blättern als rurale Pflanzen, die unter denselben Bedingungen angezogen wurden. Diese Unterschiede konnten demnach nicht nur auf Akklimatisierung zurückgeführt werden sondern vielmehr auf eine physiologische Anpassung an das Stadtklima.

Für die in Südafrika heimische Art *Senecio inaequidens* (Schmalblättriges Greiskraut) konnten für Hamburger Populationen experimentell Hinweise gefunden werden, dass die Pflanzenart sich schnell an lokale Umweltveränderungen anpassen kann, damit wird auch eine erhöhte Anpassungsfähigkeit an durch den Klimawandel veränderte Umweltbedingungen angenommen. Individuen aus Populationen, die aus innerstädtischen Gebieten stammen, verteidigten sich mit einer anderen Strategie gegen Herbivoren als Pflanzen aus Populationen aus

weniger urbanisierten Gebieten. Individuen der urbanen Population, die unter einem geringen Herbivorendruck stehen, wiesen einen geringeren konstitutiven Schutz durch sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe zur Abwehr auf. Außerdem war die Keimungsrate bei allen Populationen bei erhöhten Temperaturen höher, was auch auf eine gute Anpassungsfähigkeit an das Stadtklima und den Klimawandel deutet (STEINKE 2011, SCHMIDT 2014).

Verhalten der Flora

Urbanisierung filtert die Flora eines Gebiets in Richtung thermophiler Pflanzenarten, die gleichzeitig toleranter gegenüber Trockenheit sowie lichtliebender sind als Floren anderer Gebiete (WILLIAMS et al. 2015). Für die niederländische Flora stellten TAMIS et al. (2005) eine Zunahme an wärmeliebenden Arten in urbanen Gebieten in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts fest. Dieser Anstieg wurde neben der Urbanisierung auch auf steigende Temperaturen durch den Klimawandel zurückgeführt. Urbanisierung reduzierte in der Brüsseler Flora seit den 1940er Jahren den Anteil heimischer Arten, während der Anteil Neophyten zunahm, dies wurde u.a. auch mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht (GODEFROID 2001). Auch in einer Frankfurter Studie wurden Veränderungen in der Flora seit 1800 – die Zunahme von kurzlebigen Neophyten trockener und offener Habitate sowie C4-Neophyten - auf ein wärmeres Klima zurückgeführt (GREGOR et al. 2012). CELESTI-GRAPOW & BLASI (1998) nehmen hingegen an, dass der Effekt einer städtischen Wärmeinsel im mediterranen Gebiet eine viel geringere Rolle spielt als im kontinentalen und zentralen Europa, da sich entsprechende Hinweise für urbane italienische Floren nicht finden ließen.

Florendaten lassen sich auch als stellvertretende Daten für die städtische Wärmeinsel nutzen, die Wärmeinsel lässt sich bereits in der Verbreitung einiger Pflanzenarten in Hamburg wiedererkennen (s.o.). BECHTEL & SCHMIDT (2011) nutzten dazu die Verbreitung von Ellenbergischen Temperaturzeigerwerten der Hamburger Flora. Diese geben auf einer Skala von 1 bis 9 an, ob eine Pflanzenart ein Kälte- (1) oder ein Wärmezeiger (9) ist (ELLENBERG et al. 1992). Unter der Annahme, dass die Artenzusammensetzung eines Gebietes die klimatischen Bedingungen eines Zeitraumes reflektiert, wurden diese Werte den in der Stadt Hamburg vorkommenden Arten zugeordnet (1 km²-Raster) und für jede Rasterzelle gemittelt. Die mittleren Zeigerwerte spiegelten deutlich das räumliche Muster der städtischen Wärmeinsel wieder und waren hoch mit Messwerten korreliert. Somit bewies sich der Datensatz geeignet als Proxy für Temperaturdaten und konnte stellvertretend für eine kleinskalige Darstellung der Wärmeinsel genutzt werden (BECHTEL & SCHMIDT 2011).

Fazit

Bereits jetzt zeichnen sich innerstädtische Lebensräume gegenüber dem Umland durch erhöhte Temperaturen und höhere Trockenheit aus. Durch den globalen Klimawandel dürfte sich dieses Phänomen noch verstärken. Damit die gepflanzte Vegetation (Straßenbäume, Parks, Gründächer usw.) die gewünschten Ökosystemdienstleistungen weiterhin erbringen kann, werden neue Pflanzstrategien erforderlich sein. Die spontane Stadtvegetation reagiert typischerweise flexibel und robust auf Veränderungen und Störungen, ihr Anteil geht aber in den heutigen mitteleuropäischen Metropolen stetig zurück. Grundsätzlich sollten Vorhersagen über die im Zuge des Klimawandels zu erwartenden Reaktionen der städtischen Flora und Vegetation mit Vorsicht formuliert werden, da sich die Effekte des Klimawandels oft nicht eindeutig von denen der Urbanisierung trennen lassen.

Literatur

- ALBERTI M., C. CORREA, J. M. MARZLUFF et al. (2017): Global urban signatures of phenotypic change in animal and plant populations. *PNAS* 114(34): 8951-8956.
- BECHTEL B. & K. J. SCHMIDT (2011): Floristic mapping data as a proxy for the mean urban heat island. *Climate Research*, 49(1): 45-58.
- BRANDES D. (2010): Langzeitbeobachtungen der Ruderal- und Adventivflora von Niedersachsen. http://www.flora-deutschlands.de/Dateien/Dateien_2010/tagung_2010/Langzeitbeobachtungen.pdf Brandes.
- CELESTI-GRAPÓW L. & C. BLASI (1998): A comparison of the urban flora of different phytoclimatic regions in Italy. *Global Ecology and Biogeography* 7(5):367-378.
- DICKHAUT W. & A. ESCHENBACH (Hrsg.) (2019): Entwicklungskonzept Stadtbäume – Anpassungsstrategien an sich verändernde urbane und klimatische Rahmenbedingungen. Hafencity Universität.
- DIERSCHKE (2005): Laurophyllisation – auch eine Erscheinung im nördlichen Mitteleuropa? Zur aktuellen Ausbreitung von *Hedera helix* in sommergrünen Laubwäldern. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 17, S. 151-168.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2019): Forsythien-Kalender für den Standort "Hamburger Lombardsbrücke". <https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaeuberwachung/phaenologie/produkte/langereihen/langereihen.html> (abgerufen 15.10.2019).
- ELLENBERG H., R. DÜLL, W. WIRTH, W. WERNER & D. PAULISSEN (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa, 2nd edn. Erich Goltze KG, Göttingen.
- FRANZEN E. (1955): Der Beginn der Forsythienblüte in Hamburg 1955. Ein Beitrag zur Phänologie der Großstadt. *Meteorologische Rundschau* 8(7/8):113-115.
- GALLINAT A. S., R. B. PRIMACK & D. L. WAGNER (2015): Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends in Ecology & Evolution* 30:169-176.
- GODEFROID S (2001): Temporal analysis of the Brussels flora as indicator for changing environmental quality. *Landscape and Urban Planning* 52(4):203-224.
- GREGOR T., D. BOENSEL, I. STARKE-OTTICH & G. ZIZKA (2012): Drivers of floristic change in large cities - A case study of Frankfurt/Main (Germany). *Landscape and Urban Planning* 104(2):230-237.
- HARD G. (1998): Ruderalvegetation. Notizbuch 49 der Kasseler Schule, 394 S. Kassel.
- HARRISON T. & R. WINFREE (2015): Urban drivers of plant-pollinator interactions. *Functional Ecology* 29, 879-888.
- HETZEL I. (2014): *Prunus laurocerasus* – Lorbeerkirsche, Kirschlorbeer (Rosaceae), Giftpflanze des Jahres 2013. - *Jahrb. Bochumer Bot. Ver.* 5: 255-262.
- JOCHNER S. & A. MENZEL (2015): Urban phenological studies - Past, present, future. *Environmental Pollution* 203: 250-261.
- KNAPP S., I. KUEHN, R. WITTIG et al. (2008): Urbanization causes shifts in species' trait state frequencies. *Preslia* 80(4):375-388.
- KOWARIK I. (1992): Das Besondere der städtischen Flora und Vegetation. In: *Deutscher Rat für Landespflege. Natur in der Stadt - Der Beitrag der Landespflege zur Stadtentwicklung. Gutachtliche Stellungnahme und Ergebnisse eines Kolloquiums des Deutschen Rats für Landespflege.* Vol 61, pp 33-47.
- KOWARIK I. & I. SÄUMEL (2007): Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 8(4):207-237.
- KÜHN I., R. BRANDL & S. KLOTZ (2004): The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research*, 6: 749-764.
- LAMBRECHT S. C., S. MAHIEU & P.-Ö. CHEPTOU (2016): Natural selection on plant physiological traits in an urban environment. *Acta Oecologica* 77: 67-74.
- LINDBERG F. & C. S. B. GRIMMOND (2011): Nature of vegetation and building morphology characteristics across a city: Influence on shadow patterns and mean radiant temperatures in London. *Urban Ecosystems* 14(4):617-634.
- MCKINNEY M. L. (2002): Urbanization, biodiversity, and conservation. *BioScience* 52(10):883-890.
- MCKINNEY M. L. (2008): Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems* 11:161-1769.
- OKE T. R. (1982): The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 108:1-24.
- POPPENDIECK H.-H. (2016): Bemerkenswerte spontane Vorkommen von Schilf (*Phragmites australis*) in Pflasterfugen an innerstädtischen Straßen in Hamburg. - *Berichte des Botanischen Vereins zu Hamburg* 30: 91-96.
- PRETZSCH H., P. BIBER, E. UHL, J. DAHLHAUSEN et al. (2017): Climate change accelerates growth of urban trees in metropolises worldwide. *Scientific Reports* 7, Article 15403.
- PYSEK P. (1993): Factors affecting the diversity of flora and vegetation in Central-European settlements. *Vegetatio* 106(1): 89-100.
- REBELE F. (1994): Urban ecology and special features of urban ecosystems. *Global Ecology and Biogeography Letters* 4(6):173-187.
- REICHHOLF J. H. (2007): Stadtnatur. Eine neue Heimat für Tiere und Pflanzen. 318 S. Oekom, München.
- ROETZER T., M. WITTENZELLER, H. HAECKEL & J. NEKOVAR (2000): Phenology in central Europe - differences and trends of spring phenophases in urban and rural areas. *International Journal Biometeorology* 44(2):60-66.
- SCHLEGEL D. (2012): Ruderalvegetation: Kartierung und Analyse des Vorkommens von *Hordeum murinum* L. in unterschiedlichen Wohnquartieren Hamburgs. Bachelorarbeit Studiengang Lehramt an Gymnasien, Fach Biologie. 28 S. plus Anhang.
- SCHMIDT K. (2014): Plants in urban environments in relation to global change drivers at different scales. PhD Thesis, Universität Hamburg, Hamburg.
- SCHÖNFELD P. (2018): Klimabäume: welche Arten sind zukunftsträchtig? Stadt + Grün Pro Baum 03/2018. <https://stadtdingruen.de/portale/archiv/ausgabe/pb-2018-03.html?L=0&cHash=6a2fbdcc9790688a5453ed95284de7c2b>.
- SEIDLING W. (2001): *Taxus baccata* und *Ilex aquifolium* – zwei „Atlantiker“ in Berliner Wäldern. - *Verh. Bot. Ver. Berlin Brandenburg* 134: 31-59.
- STEINKE J. (2011): Pflanzliche Abwehrmechanismen in einem sich erwärmenden Klima: Quantitative Untersuchung der Pyrrolizidinalkaloide in *Senecio inaequidens* DC. und ihrer Induktivität entlang eines urban-ruralen Gradienten. Bachelorarbeit, Universität Hamburg.
- TAMIS W. L., M. VAN T ZELDFE, R. VAN DER MEIJDEN & D. E. HAES HA (2005): Changes in vascular plant biodiversity in the Netherlands in the 20th century explained by their climatic and other environmental characteristics. *Climatic Change* 72(1-2):37-56.
- WALTHER G. R. (2001): Climatic forcing on the dispersal of exotic species. *Phytocoenologia* 30: S. 409-430.
- WALTHER G. R., S. BERGER & M. T. SYKES (2005): An ecological "footprint" of climate change. *Proc. R. Soc. B* 272: 1427-1432. London.
- WILLIAMS N. S. G., A. K. HAHS & P. A. VESK (2015): Urbanisation, plant traits and the composition of urban floras. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 78: 78-86.
- ZERBE S., U. MAURER, S. SCHMITZ & H. SUKOPP (2003): Biodiversity in Berlin and its potential for nature conservation. *Landscape and Urban Planning* 62(3):139-148.

Kontakt:

Dr. Katharina Schmidt
k-jr-schmidt@gmx.net
Dr. Hans-Helmut Poppendieck
hans-helmut.poppendieck@web.de

SCHMIDT K. & H.-H. POPPENDIECK (2019): Pflanzenreaktionen auf das Stadtklima. In: LOZÁN J. L. S.-W. BRECKLE, H. GRASSL, W. KUTTLER & A. MATZARAKIS (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Städte*. pp. 159-165. Online: www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de. DOI: 10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.23.