

Das Grünvolumen als Umweltindikator und Steuerungsinstrument für die Hamburger Stadtplanung in Zeiten des Klimawandels

Zur Umsetzung von Vorgaben des Naturschutzrechts wurde der Begriff **Grünvolumen** erstmals 1984 in Hamburg als Planungsrichtwert und Bemessungsgrundlage für Maßnahmen der Landschafts- und Bauleitplanung in die Fachdiskussion eingebracht¹. In Anlehnung an die im Baurecht üblichen Maßzahlen der baulichen Nutzung, wie etwa die Baumassenzahl (BMZ)², wurde zur Quantifizierung und zur kartografischen Darstellung des Grünvolumens die **Grünvolumenzahl (GVZ)** vorgeschlagen. Sie gibt das durchschnittliche Grünvolumen (m³) pro Fläche (m²) an und kann Werte zwischen 0 m und ca. 30 m annehmen. Bei Rasen, Kräutern und Sträuchern entspricht die Grünvolumenzahl der **Vegetationshöhe**; bei Bäumen wird der Wert über das Volumen der Baumkronen (als Zylinder, Kugel oder Kegel) berechnet.

Die kartografische Darstellung des Grünvolumens als Umweltindikator kann für die fachgerechte Steuerung der Stadtentwicklung genutzt und mittels Umweltmonitoring ständig automatisch aktualisiert werden³.

Das Grünvolumen hat besonders in der Stadt eine große **Bedeutung für den Naturhaushalt und die Lebensqualität der Stadtbewohner**. Beispiele dafür sind⁴:

- Kleinklimaverbesserung durch Regulierung der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur (Anlagen 1 - 2),
- Atemluftverbesserung durch Sauerstoffproduktion und Ausfiltern von Luftschadstoffen (Anlage 3),
- Windschutz,
- Schallschutz,

¹ Schulze, H.D.; Pohl, W. & Großmann, M. (1984): [Grünvolumenzahl \(GVZ\) und Bodenfunktionszahl \(BFZ\) in der Landschafts- und Bauleitplanung](#). - Schriftenreihe der Behörde für Bezirksangelegenheiten, Naturschutz und Umweltgestaltung, Heft 9: 147 S.; Hamburg 1984.

² Architektur Lexikon: [BMZ – Baumassenzahl](#). - Internetseite

³ Tervooren, S. & Frick, A. (2010): [Bodenversiegelung, Grünvolumen, Biotopwertigkeit - Praktische Erfahrungen des Umweltmonitorings in Potsdam](#). 53 Vortragsfolien.

⁴ Umweltbehörde Hamburg (Hrsg.) (1987): [Grünvolumen und Bodenfunktionszahl](#). Broschüre, 27 S.; Text: Arbeitsgemeinschaft Großmann, Pohl, Schulze.

- Produktion von Biomasse als Basis der Nahrungskette und der Biotopvielfalt (Anlage 4),
- Erhöhung der Artenvielfalt von Tieren durch Schaffung von Nist- und Nahrungsplätzen,
- Verbesserung des psychosozialen Umfeldes und damit des Wohlbefindens der Menschen.

In den letzten Jahren hat das Grünvolumen als Umweltindikator⁵ und als Steuerungsinstrument für die Stadtplanung⁶ aus zwei Gründen verstärkte Beachtung und Anwendung gefunden.

- Erstens stehen durch Fortschritte der **Fernerkundung** – mit höchstauflösenden, multispektralen Satellitenbildern, Luftbildern und Laserscanneraufnahmen - seit einiger Zeit Verfahren zur flächenhaften, zeit- und kostengünstigen Erfassung des Grünvolumens zur Verfügung⁷ (Anlage 5).
- Zweitens ist das große **Potenzial des Grünvolumens für die Klimaanpassung** - zum Abpuffern extremer Hitze- und Starkregen-Ereignisse in der Stadt - allgemein erkannt und empirisch belegt worden⁸ (Anlage 6).

In vielen Städten wird das Grünvolumen daher inzwischen in regelmäßigen Abständen mit Methoden des Umweltmonitorings erfasst und in Klimaschutzkonzepten berücksichtigt, so etwa in Potsdam⁹, Dresden¹⁰, Berlin¹¹, Manchester¹² und New York¹³.

In **Hamburg**, der Urheberstadt des Grünvolumenbegriffs, gibt es bisher keine Aktivitäten zur Erfassung und stadtplanerischen Nutzung des Grünvolumens, obgleich alle Daten dazu für ganz Hamburg seit vielen Jahren zur Verfügung stehen¹⁴:

⁵ Meinel, G., Hecht, R. & Socher, W. (2006): [Städtisches Grünvolumen – neuer Basisindikator für die Stadtökologie? Bestimmungsmethodik und Ergebnisbewertung](#). In: Schrenk, W. (Hrsg.): 11th international conference on urban planning and regional development in the information society, Wien; S. 685–694.

⁶ Lipp, T. & Tervooren, S. (2017): Indikatoren zur Beobachtung des Landschaftswandels im urbanen Raum auf Basis der Landschaftsplanung am Beispiel Potsdams. – In: Wende, W. & Walz, U. (Hrsg.): [Die räumliche Wirkung der Landschaftsplanung - Evaluation, Indikatoren und Trends](#). - Wiesbaden.

⁷ Hecht, R. (2006): [Entwicklung einer Methode zur Erfassung des städtischen Grünvolumens auf Basis von Laserscannerdaten laubfreier Befliegungszeitpunkte](#). - Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie, Diplomarbeit, 2006.

Bochow, Mathias (2009): [Automatisierungspotenzial von Stadtbiotopkartierungen durch Methoden der Fernerkundung](#). – Dissertation Universität Osnabrück; 197 S.

⁸ Burkart, K.; Meier, F.; Schneider, A.; Breitner, S.; Canário, P.; Alcoforado, M.J.; Scherer, D. & Endlicher, W. (2016): [Modification of heat-related mortality in an elderly urban population by vegetation \(urban green\) and proximity to water \(urban blue\): evidence from Lisbon, Portugal](#). – Environmental Health Perspectives, 124: 927–934.

Gill, S.E. (2006): [Climate Change and Urban Greenspace](#). – Diss. Univ. Manchester, 435 S.

⁹ Tervooren, S. (2015): [Potenziale von Grünvolumen und Entsiegelung zur Klimaanpassung am Beispiel der Landeshauptstadt Potsdam](#). - AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 1-2015: 258-367.

¹⁰ Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden: [Städtisches Grünvolumen Dresden - Grünvolumen und klimatische Wirkräume als Elemente der Richtwertbildung mit gesamtstädtischer Bedeutung](#). – Internetseite. REGKLAM – Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden: [Ermittlung des temperaturwirksamen Grünvolumens in Siedlungsbereichen](#). Maßnahmenblatt 1.2.1. – Internetseite.

¹¹ Berlin, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (Hrsg.) (2014): [Umweltatlas Berlin, 06.10. Gebäude- und Vegetationshöhen](#), Ausgabe 2014; mit [Karte](#). - (2016): [Berlin im Klimawandel. Klimafolgenmonitoring des Landes Berlin. Sachstandsbericht 2016](#). - (2017): [Umweltatlas](#); 05.09 [Grünvolumen](#); mit [Begleittexten](#) und [Karte](#).

¹² Gill, S. E.; Handley, J. F.; Ennos, A. R. & Pauleit, S. (2007): [Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure](#). - Built Environment, 33 (1): 115-133.

¹³ Rosenthal, J. K.; Crauderueff, R. & Carter, M. (2008): [Urban Heat Island Mitigation Can Improve New York City's Environment: Research on the Impacts of Mitigation Strategies](#). - Sustainable South Bronx Working Paper; 55 S.

- Digitale Höhendaten von **Laserscannervermessungen** (Airborne Laserscanning) aus den Jahren 2001 und 2010 liegen in Hamburg mit einer Auflösung von etwa 1-2 Punkten bzw. 15-30 Punkten pro m² und einer Höhengenaugigkeit von bis zu ± 7 cm vor (Anlage 7).
- Hinzu kommen flächendeckend **Digitale RGB (Rot Grün Blau)-Luftbilder** mit einer Auflösung von bestenfalls 10 cm, die sich mit Hilfe des "Semi-Global Matching"-Verfahrens¹⁵ dreidimensional auswerten lassen (Anlage 8).

Aus dem Datenmaterial werden das **Digitale Oberflächenmodell (DOM)** der Erdoberfläche samt Vegetation und Gebäuden sowie das **Digitale Geländemodell (DGM)** der natürlichen Erdoberfläche in Hamburg gewonnen. Durch Subtraktion des DGM vom DOM erhält man das **normierte Digitale Oberflächenmodell (nDOM)**, aus dem sich die Vegetationshöhe und - nach einer Vegetationsklassifizierung - die Grünvolumenzahlen ermitteln lassen¹⁶.

Anhand des vorliegenden Datenmaterials sind daher präzise Aussagen über die **Entwicklung des Grünvolumens in Hamburg** während der letzten 18 Jahre möglich.

Es scheint an der Zeit, dass die Stadt Hamburg sich ihrer ehemaligen Vorreiterrolle besinnt und das Grünvolumen als Planungsinstrument konsequent einsetzt, um insbesondere eine **angemessene Grünversorgung überverdichteter Stadtteile** sicherzustellen, wie dies im geltenden Landschaftsprogramm vorgesehen ist (Anlage 9). In Anlehnung an die Richtwerte des Landschaftsprogramms für die Planung von Grün- und Freiflächen in Hamburg¹⁷ könnten Orientierungswerte für die **Mindestversorgung von Siedlungsflächen mit Grünvolumen** definiert werden, um - auch angesichts der zunehmenden Klimaerwärmung - eine hinreichende Grünversorgung der zum Beispiel von sommerlichen "Hitzeinseln"¹⁸ betroffenen Stadtbewohner zu gewährleisten (Anlagen 10 - 11).

¹⁴ Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (2013): [Photogrammetrie im Dienste der Hamburger Vermessung](#). – LGV aktuell, Sonderheft 2013. - (2016): [Informationen und Produkte: 3D und Fernerkundung](#). Kotte, J.; Sturm, K.; Wormans, L. & Quauck, A. (2017): [Archivierungsmodell Geobasisdaten](#). – Hrsg. Hamburger Behörde für Kultur und Medien, Staatsarchiv. 103 S.

¹⁵ Hirschmüller, H. (2008): [Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information](#). – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 30 (2): 328-341.
Elias, B. (2012): [3D-Geobasisinformationen](#) [der niedersächsischen Landesvermessung]. - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement – zfv, 137 (5): 278-285.

¹⁶ Klauser, A. (2009): [Automatisierte Ableitung einer topographischen Bodenbedeckungskarte im subalpinen Bereich](#). – Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung & Institut für Geoinformation und Kartographie der Technischen Universität Wien.

¹⁷ [Richtwerte für die Planung von Grün- und Freiflächen in Hamburg](#). – Auszug aus: Landschaftsprogramm einschließlich Artenschutzprogramm der Freien und Hansestadt Hamburg. Gemeinsamer Erläuterungsbericht, Juli 1997, Anhang.

¹⁸ United States Environmental Protection Agency (EPA): [Using Trees and Vegetation to Reduce Heat Islands](#). – Internetseite. O'Malley, C.; Piroozfarb, P.A.E.; Farr, E.R.P. & Gates, J. (2014): [An investigation into minimizing urban heat island \(UHI\) effects: A UK perspective](#). - Energy Procedia 62: 72-80.
Taylor, R.; Heris, M. & Troy, A. (2016): [How Urban Tree Canopy Regulates Microclimate and Urban Heat Islands: A Study from Denver and Baltimore](#). University of Colorado Denver, Forest Service Webinar, January 13, 2016. – 34 Vortragsfolien.

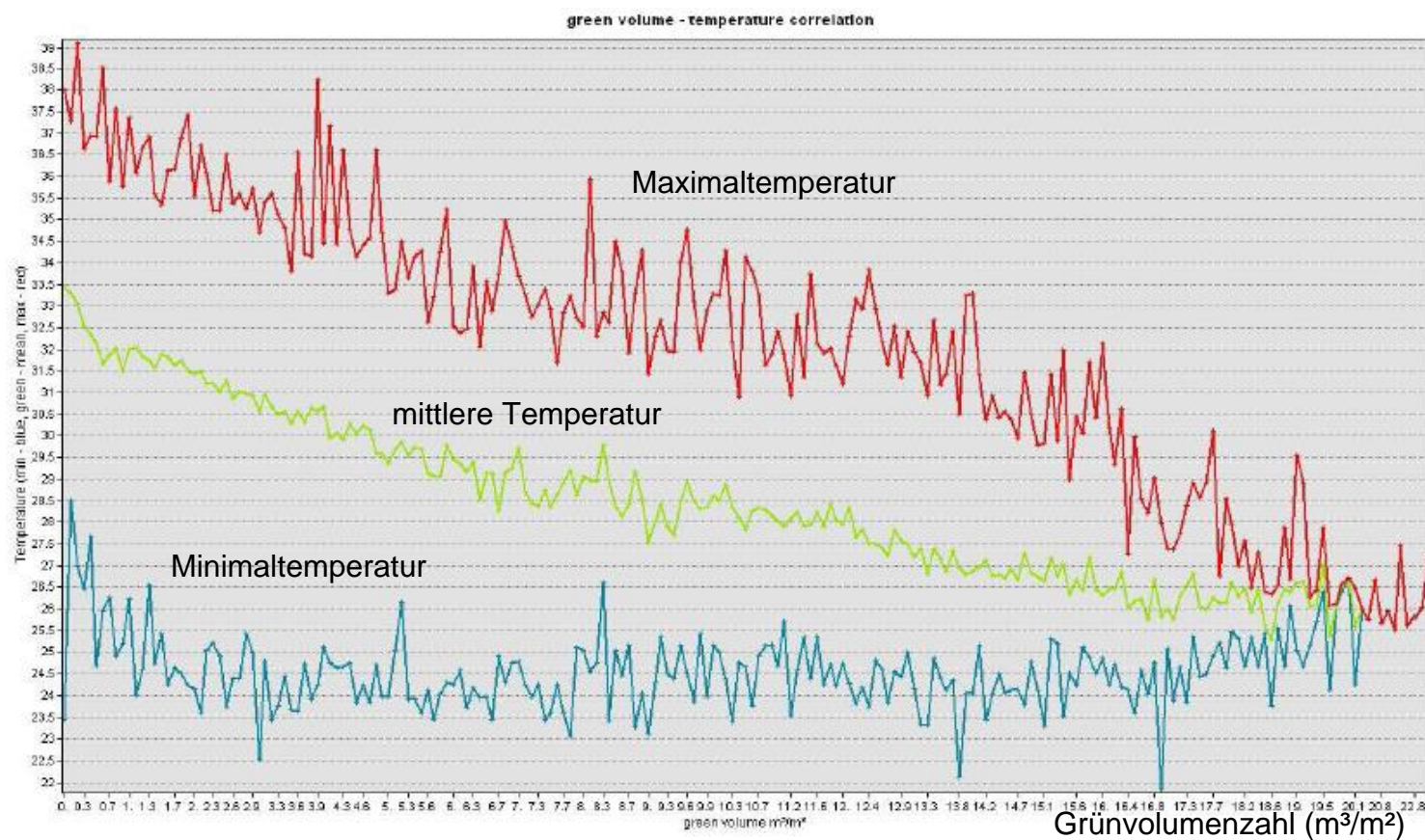
Grünvolumen von entscheidender Bedeutung für Stadtklima

Klima-Modellrechnungen für den Großraum Manchester in Nordwest-England ergaben:

- Die maximale Oberflächentemperatur - heute 31,2 °C - wird bei gleichbleibendem Grünvolumen bis zum Jahre 2080 voraussichtlich um 4,3 °C ansteigen.
- Durch Erhöhung des Grünvolumens um gut 10 % könnte der Temperaturanstieg vermieden werden.
- Bei Verringerung des Grünvolumens um 10 % würde die maximale Oberflächentemperatur um 8,2 °C auf dann fast 40 °C ansteigen.

Kühlungseffekt des Grünvolumens

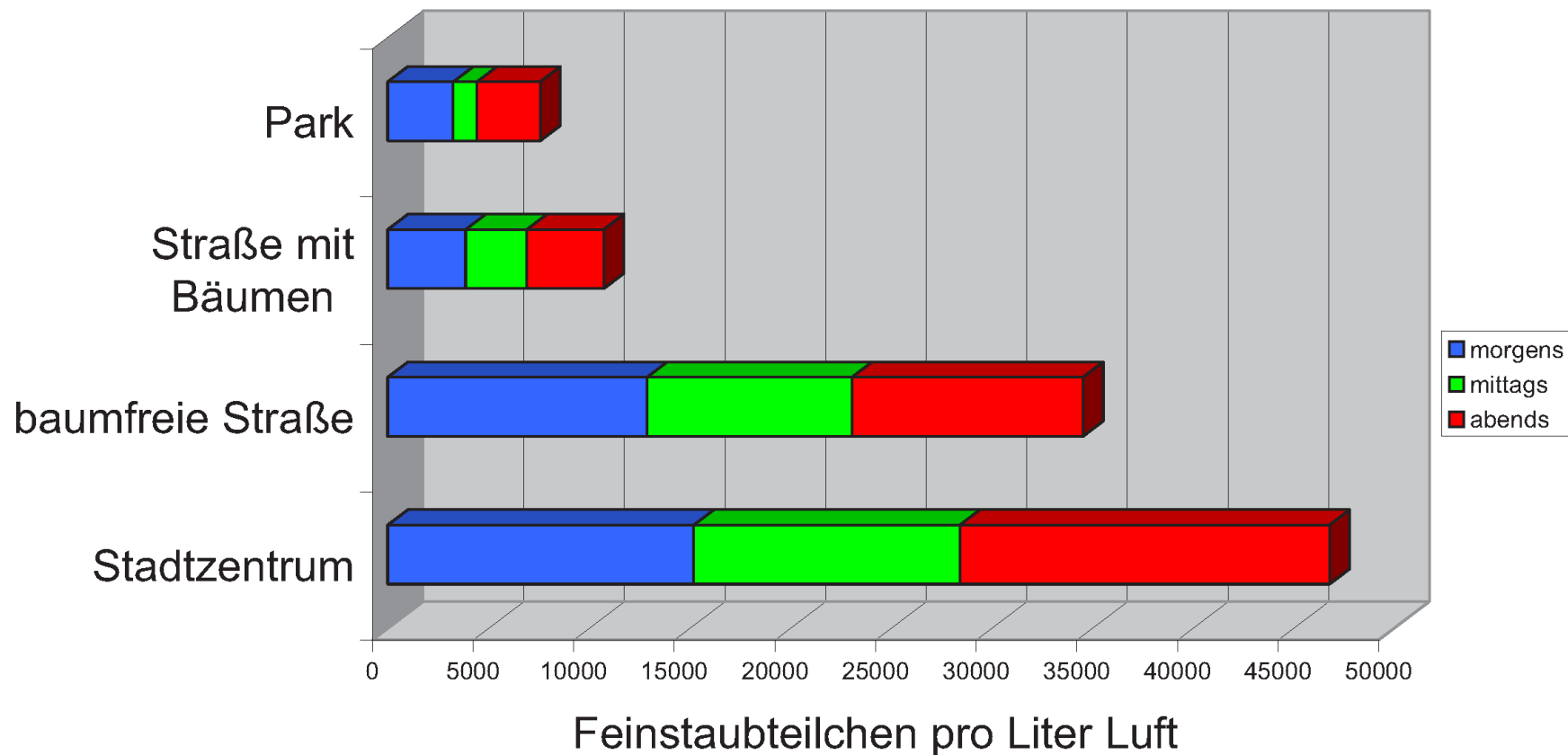
am Beispiel von Potsdam



"1m³/m² zusätzliches Grünvolumen führt zu einer Reduktion von etwa 0,3°C"

Quelle: [Tervooren 2014](#)

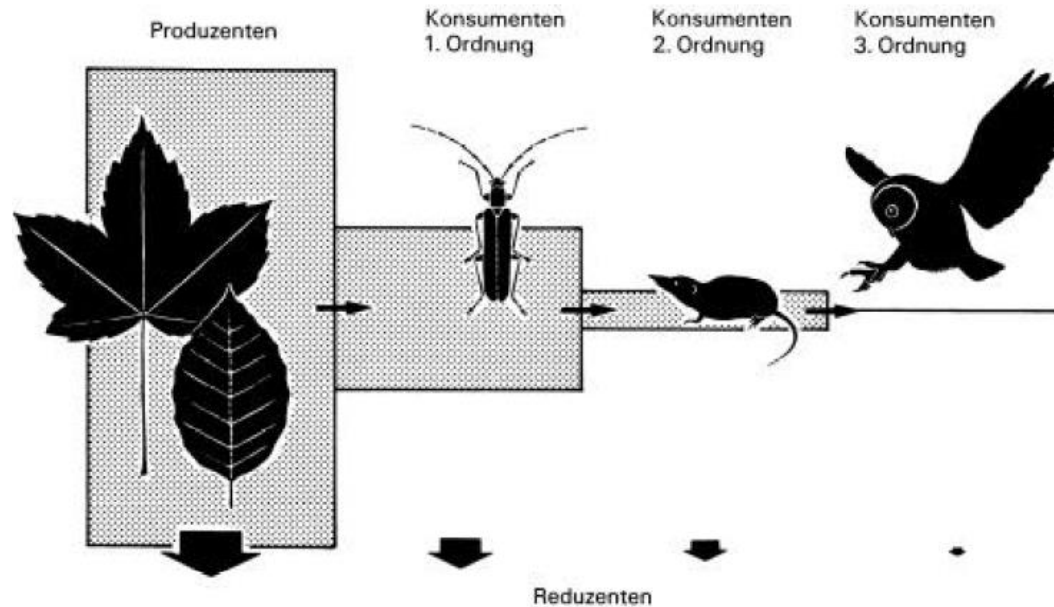
Feinstaub-Filterung durch Stadtvegetation



Untersuchung in Frankfurt, nach BERNATZKY, A.: Baum und Mensch.- Frankfurt, 1973

Bedeutung des Grünvolumens für die Tierwelt

Eine Nahrungskette im Wald



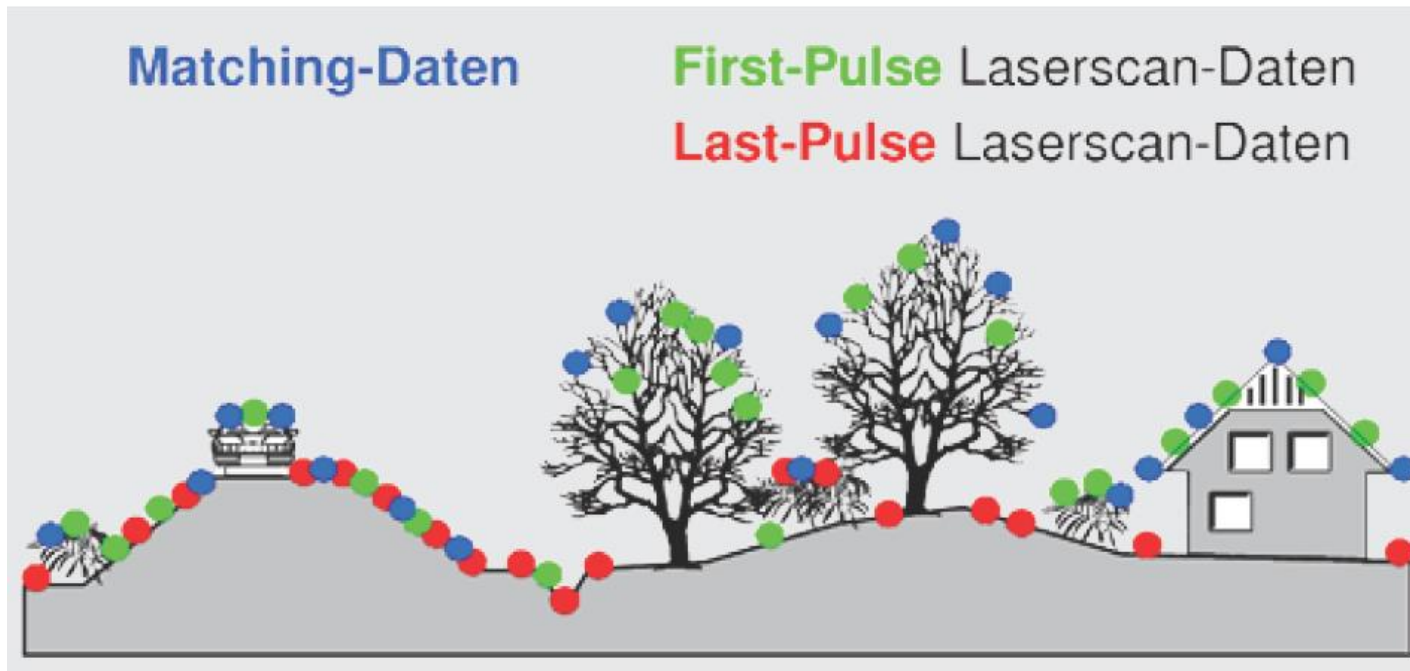
Die Biomasse der Individuen der Nahrungskette nimmt von Glied zu Glied um mindestens 90 Prozent ab. Die Biomasse der Tiere ist nur etwa 1/1000 der Biomasse der Pflanzen.

Quelle: [Nahrungskette im Wald](#) von Michele Notari, TECFA, Universität Genf

Automatische Ermittlung des Grünvolumens durch Airborne Laserscanning und durch Luftbilder mit Hilfe von Semi-Global Matching

Bei der Erzeugung von Laserscan-Daten werden mindestens zwei verschiedene Impulse aufgezeichnet, der sogenannte **First-Pulse** (erste Reflexion) und der **Last-Pulse** (letzte Reflexion) des Lasersignals. Mit Hilfe der First-Pulse-Daten wird das digitale Oberflächenmodell (DOM) berechnet, während die Last-Pulse-Daten zur Ableitung des digitalen Geländemodells (DGM) herangezogen werden.

Durch den Einsatz des [Semi-Global Matching](#) Ansatzes in der Photogrammetrie können inzwischen Oberflächendaten auch direkt aus Orientierten Luftbildern mittels vollautomatischer Prozessierung erzeugt werden.



Quelle: [Elias, B. \(2012\): 3D-Geobasisinformationen](#)

Neue Bedeutung des Grünvolumens für die Klimaanpassung

"Der 1984 durch die Planungsgemeinschaft Großmann, Schulze, Pohl entwickelte Kennwert der Grünvolumenzahl erlebt zurzeit in der wissenschaftlichen Forschung in Hinblick auf die Bedeutung des Stadtgrüns im Klimawandel eine Renaissance. Durch Fernerkundungsmethoden lässt sich das Grünvolumen heutzutage mit verhältnismäßig geringem Aufwand erfassen."

Quelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Hrsg., 2017:
[Handlungsziele für Stadtgrün und deren empirische Evidenz](#); S. 41

Digitale Höhendaten zur automatischen Ermittlung des Grünvolumens liegen in Hamburg seit 2001 vor

Seit Mitte des Jahres 2001 liegen für die Fläche der Freien und Hansestadt Hamburg (ohne das Gebiet des hamburgischen Wattenmeeres) digitale Höhendaten aus einer flugzeuggestützten 3D-Vermessung mittels eines Laserscanners (Airborne Laserscanning) vor. Die Punktdichte dieser Erfassung lag bei etwa 1 – 2 Punkten je Quadratmeter. Das waren rund 900 Millionen Punkte [für ganz Hamburg].

Im Frühjahr 2010 wurde ein neuer Datensatz erzeugt und die Punktdichte und Genauigkeit der Ausgangsdaten durch die Verwendung eines hubschraubergestützten Laserscanners deutlich erhöht. Die mittlere Punktdichte liegt jetzt bei etwa 15 – 30 Punkten je Quadratmeter, das sind über 20 Milliarden Punkte für ganz Hamburg. ...

Die Genauigkeit eines einzelnen Messpunktes liegt in eindeutig definierten Bereichen, wie z. B. auf Straßenflächen, bei ca. ± 7 cm. In Bereichen von Vegetation, insbesondere auf Flächen in Wald- und Strauchgebieten, ist die Genauigkeit geringer.

Zusammengefasst bilden diese Punkte das Digitale Oberflächenmodell (DOM). Es repräsentiert die Höhen der Geländeoberfläche mit all ihren darauf befindlichen Objekten, also auch der Vegetation, den Bauwerken und sonstigen Objekten.

Aus den Boden- und Gewässerpunkten wird das Digitale Geländemodell (DGM) abgeleitet. ...

Aus dem Datenbestand lassen sich weitere Informationen wie zum Beispiel Höhenlinien und Profile ableiten oder auch Volumina und Neigungen berechnen. Durch die Integration von anderen Geobasis- und Fachdaten (Vektor- und Rasterdaten) können weitere Dienstleistungen ..., zum Beispiel für die Bereiche ... Forst- und Landwirtschaft, ... Ökologie, Umweltschutz, ...erbracht werden. [Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung 2016](#)

Hochauflösende, in Hamburg jährlich aktualisierte Luftbilder erlauben die automatische Ermittlung des Grünvolumens mit Hilfe des Semiglobal-Matching-Verfahrens

Der Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung lässt vom gesamten Stadtgebiet ... regelmäßig farbige Luftbilder anfertigen. Sie liegen als sogenannte Orthophotos in digitaler Form und unterschiedlicher Auflösung vor.

Orthophotos sind geometrisch entzerrte Aufnahmen, die das Aussehen eines Luftbildes mit den geometrischen Eigenschaften einer Karte vereinen. ... Für höchste Ansprüche an die Erkennbarkeit von Details bieten wir die Daten in unterschiedlicher Bodenauflösung an [Digitale Orthophotos von Hamburg mit 40 cm, 20 cm und 10 cm Auflösung]. ...

Für ganz Hamburg wird zurzeit jährlich eine Frühjahrsbefliegung durchgeführt. In unregelmäßigen Abständen werden die Daten durch eine Sommerbefliegung mit Belaubung ergänzt.

[Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung 2016](#)

Softwaregestützt können aus dem hochaufgelösten RGB (Rot-Grün-Blau)-Luftbildmaterial, welches mit einer ausreichenden Farbtiefe vorliegt, digitale, dreidimensionale Punktwolken erzeugt werden. Das sogenannte [Matching-Verfahren](#) ordnet dabei jedem im Luftbild vorhandenen Grauwert automatisiert eine Höhe über Normal-Null zu und erzeugt im Ergebnis eine 3D-Punktwolke. Dieses Verfahren ... soll in Zukunft ... aktuelle Oberflächendaten zur Fortführung des Digitalen Geländemodells (DGM) und des 3D-Stadtmodells liefern.

[Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung 2013](#)

Grünvolumen als Steuerungsinstrument des Hamburger Landschaftsprogramms

Auf der Karte des Landschaftsprogramms sind insbesondere die eng bebauten Stadtteile des "Milieus" **Verdichteter Stadtraum** (z.T. auch **Etagenwohnungen**) sowie die **Hauptverkehrsstraßen** mit einer Signatur als **Entwicklungsbereich Naturhaushalt** gekennzeichnet.

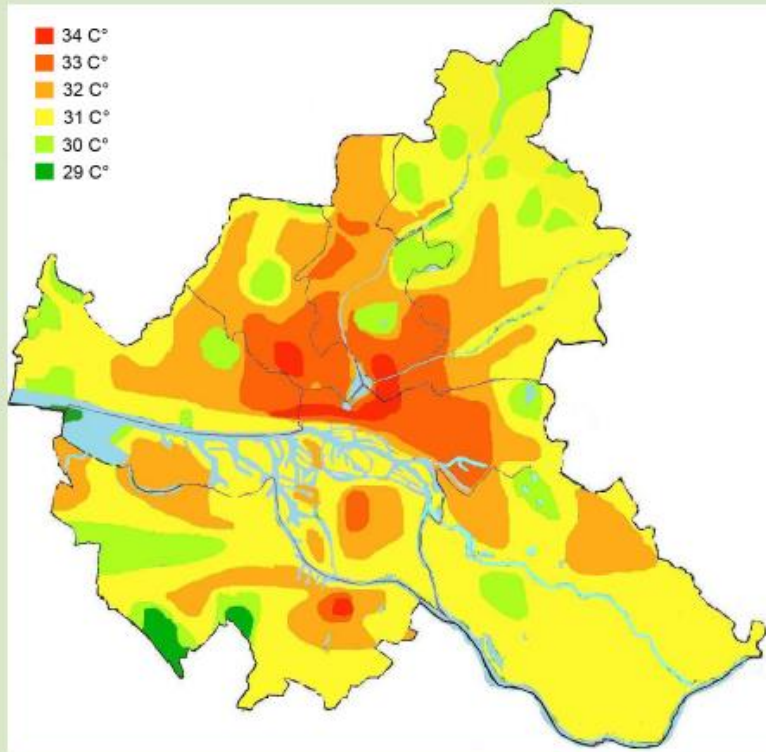
Für sie gilt unter anderem das **Entwicklungsziel**:

Erhöhung des Grünvolumens im Rahmen grünplanerischer Maßnahmen, Erhöhung der Vegetationsmasse zur Bindung und Filterung von Stäuben in vorhandenen Grünflächen und in halböffentlichen wohnungsnahen Freiflächen.

Quelle: [Karte](#) und [Erläuterungsbericht](#) des Hamburger Landschaftsprogramms

Hitzeinseln in überverdichteten, "entgrüntem" Stadtteilen Hamburgs

Hitzekarte Hamburg



(nach einer Abbildung im Hamburger Abendblatt vom 9.7.2010)

Grünkarte Hamburg



(nach einer Karte der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, 2009)

Quelle: Poster [Die Entgrünung Hamburgs](#) der Projektgruppe Stadtnatur Hamburg 2012

Auswirkungen sommerlicher Urbaner Hitze-Inseln (UHI) auf die Vegetation in Hamburg, abgeleitet aus der Temperaturzahl der Zeigerwerte nach Ellenberg (EIT)

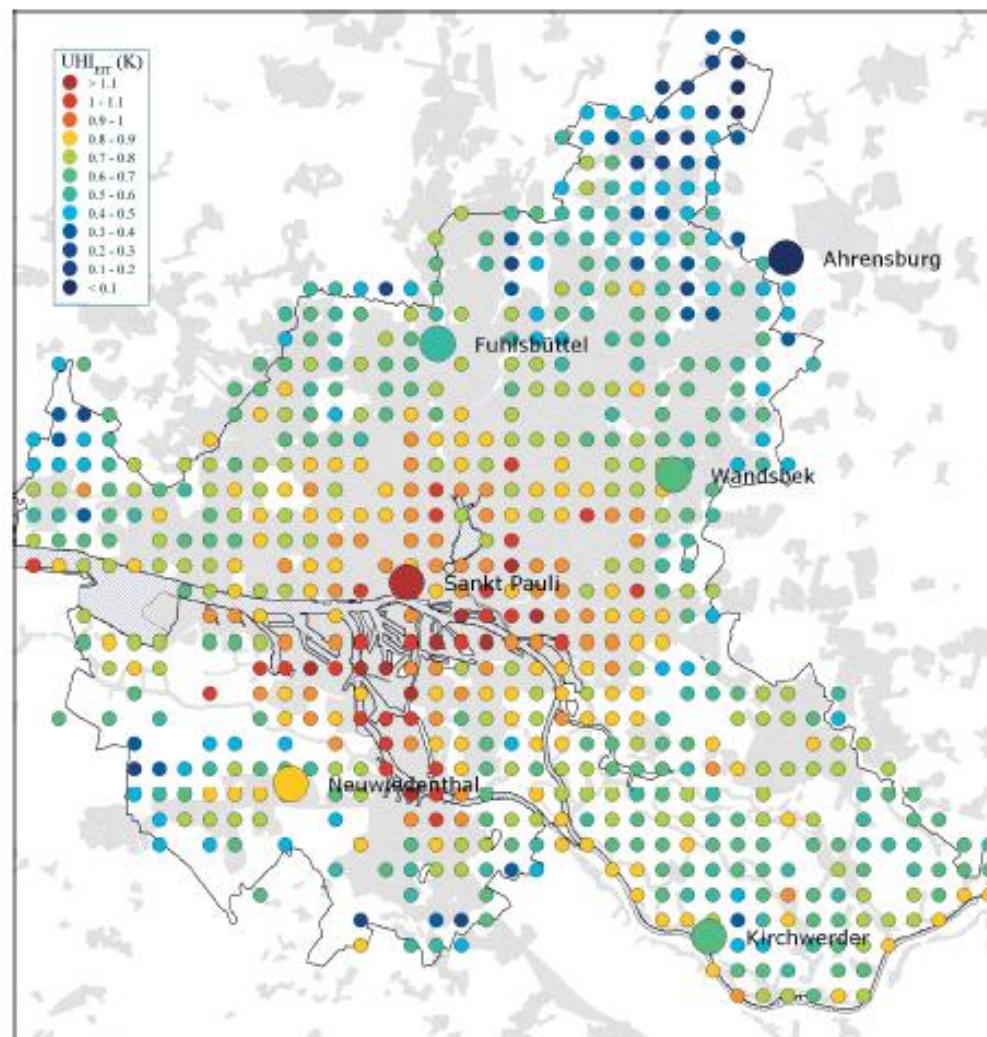


Fig. 4. Mean heat island intensity for Hamburg, Germany, derived from mean Ellenberg indicator values for temperature (UHI_{EIT}). Large circles: values measured by Schlünzen et al. (2010); small circles: predicted values on a km² raster

Quelle: [Bechtel & Schmidt \(2011\)](#)