Bäume
und Pflanzen

lassen Städte atmen
Schwerpunkt – Feinstaub

Stiftung DIE GRÜNE STADT

IMPRESSUM

Diese Broschüre wurde zusammengestellt durch das Forum DIE GRÜNE STADT in Zusammenarbeit mit dem Geographischen Institut der Universität Köln (Dr. Manfred Thönnessen), dem Regionalverband Ruhr, Abt. Stadtklimatologie / Luftqualität (Dr. Wolfgang Beckröge) und der GALK (Dr. Joachim Bauer). Grundlage war eine Veröffentlichung der Plant Publicity Holland (PPH) und der Niederländischen Vereinigung von Landschaftsgärtnern (VHG) 2007.

TEXTE:
Peter Menke *(Stiftung DIE GRÜNE STADT)*
www.die-gruene-stadt.de

Dr. Manfred Thönnessen
(Geographisches Institut der Universität Köln)
www.uni-koeln.de

Dr. Wolfgang Beckröge
(Abt. Klima und Lufthygiene im Regionalverband Ruhr, Essen)
www.rvr-online.de

Dr. Joachim Bauer
(Stadt Köln, Leiter AK Stadtbäume GALK)
www.galk.de

Helmuth Schwarz
(Bund deutscher Baumschulen e.V. (BdB), Pinneberg)
www.bund-deutscher-baumschulen.de

Wolfgang Groß
(Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e.V. (BGL), Bad-Honnef)
www.galabau.de

Dr. Ir. J.A. Hiemstra
(Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO))
www.wurl.nl

Ir. E. Schoenmaker-van der Bijl
(Bureau Ecologie en Landbouw Wageningen)
www.belw.nl

Drs. A.E.G. Tonneijk
(Triple E, Economy-Ecology-Experience)
www.tripleee.nl

FOTOGRAFIE:
Gemeinde Amersfoort, Plant Publicity Holland, S. Heiijenga, M.Hoffmann, H. Keijzers, M. Thönnessen, Tuin en Landschap, BGL, Stiftung DIE GRÜNE STADT

REDAKTION:
NED.WORK Agentur und Verlag GmbH

DRUCK:
Siebengebirgs-Druck GmbH & Co. KG

Nachdruck Nov. 2013

klimaneutral
natureOffice.com | DE-289-811326
gedruckt

Einleitung

In der Europäischen Union gilt seit dem 1. Januar 2005 ein Grenzwert von 40 Mikrogramm Feinstaub (<10µm = PM_{10}) pro Kubikmeter Luft. Kommt es – bezogen auf den Tagesmittelwert – an mehr als 35 Tagen im Jahr zu Überschreitungen von 50 Mikrogramm Feinstaub pro Kubikmeter Luft, so muss die betroffene Kommune Schritte zur Senkung der Feinstaubbelastung unternehmen. Dafür müssen Aktionspläne ausgearbeitet werden, die konkrete Maßnahmen vorgeben. Die meisten Instrumente greifen an den Immisionsquellen an – je weniger Schadstoffe emittiert werden, umso niedriger ist die Gesamtbelastung – wie z.B. Fahrverbote zu bestimmten Zeiten oder für bestimmte Fahrzeugkategorien. Mit anderen Verfahren soll der Feinstaub nachträglich entfernt werden. Hierzu gehören z.B. das Abwaschen der Fahrbahnflächen und der gezielte Einsatz von Pflanzen als Feinstaubfilter. Aus verschiedenen Untersuchungen stehen Informationen über die Wirkung von Grünflächen und Pflanzen auf die Luftqualität und die Lebensqualität in unseren Städten zur Verfügung. Diese Broschüre gibt einen Überblick über den Stand des Wissens und Anregungen für die Anwendung in der Praxis. Die Informationen bieten interessierten Bürgern sowie Stadtplanern und den Verantwortlichen in Verwaltung und Politik Argumente für mehr Grün in der Stadt. So kann die positive Wirkung von Pflanzen auch bei der Verbesserung der Luftqualität im städtischen Bereich genutzt werden.

Die Feinstaub-Richtlinien der EU sind zwar zuletzt im Dezember 2007 gelockert worden, dennoch greifen ab Januar 2008 verschärfte lokale Regelungen zum Autoverkehr in vielen europäischen Städten, in

Deutschland z.B. in Köln, Hannover und Berlin[1]. Neben Fahrverboten, Auflagen für neue Filter bei Fahrzeugen und Heizungssystemen, die die Belastung der Stadtluft an der Quelle senken sollen, sind auch Konzepte in der Debatte, um Feinstäube und andere Schadstoffe nachträglich aus der Luft zu filtern. Pflanzen haben hierbei eine herausragende Bedeutung, zumal sie neben dem ökologischen bzw. gesundheitlichen Effekt weitere positive Wirkungen in unseren Städten entfalten. Aus verschiedenen Untersuchungen und langjährigen Beobachtungen der GALK[2] haben sich eine Reihe von Pflanzen bewährt, die eine hohe Toleranz gegenüber den Standortbedingungen in der Stadt haben – dies ist eine wichtige Voraussetzung für die weitergehenden Erwartungen an Pflanzen zur Verbesserung der Lebensqualität in Städten.

Diese Broschüre beschreibt grundlegende Aspekte, die bei der Planung und Pflege von Bäumen und Sträuchern zur Verbesserung der Luftqualität in Städten beachtet werden sollten. Daneben wurden möglichst viele konkrete Angaben über die Funktionalität verschiedener Baumarten aufgenommen, die eine direkte Umsetzung in die Praxis ermöglichen. Teile des Textes sind schon in früheren Berichten in den Niederlanden und in Deutschland erschienen. Die Autoren danken allen, die zur Informationssammlung und Entstehung dieser Broschüre beigetragen haben.

---

[1] Ab 1. März 2008 auch in Mannheim, Ludwigsburg, Leonberg, Stuttgart, Tübingen, Schwäbisch-Gmünd.
Weitere süddeutsche Städte, z.B. Karlsruhe, Pforzheim, Heidelberg planen die Einrichtung von Umweltzonen zum 1. Januar 2010.

[2] GALK = Ständige Konferenz der Gartenamtsleiter beim Deutschen Städtetag.

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG 5

1 GRÜNER IST BESSER 9

2 LUFTQUALITÄT UND GESUNDHEIT 11
- 2.1 Gesundheitsbelastung 11
- 2.2 Städtische Luftqualität 11
- 2.3 Luftqualitätsnormen 12
- 2.4 Feinstaub 13

3 BEPFLANZUNG ALS LUFTFILTER 15
- 3.1 Aufnahme gasförmiger Verunreinigungen 16
- 3.2 Entfernen von Feinstaub 17

4 BÄUME UND LUFTSTRÖMUNGEN 20
- 4.1 Klimawirksamkeit von Grünflächen 20
- 4.2 Bäume als Windschutz 20
- 4.3 Luftreinigung durch Pflanzungen 21
- 4.4 Alternative Grünstrukturen 23

5 PRAKTISCHE EMPFEHLUNG 25
- 5.1 Allgemein 25
- 5.2 In der Stadt 26
- 5.3 In der Nähe einer Emissionsquelle 26
- 5.4 Einfluss auf das Lokalklima 27

6 EFFEKTIVITÄT VON BÄUMEN UND PFLANZEN FÜR DIE VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT 28
- 6.1 Feinstaub (PM_{10}) 28
- 6.2 Stickoxide 28
- 6.3 Ozon 29

7 DIE GRÜNE UND SCHÖNE STADT ERFORDERT INTEGRALE PLANUNG 32

8 ZUSAMMENFASSUNG 34

LITERATURLISTE 37

Malus 'Adams'

1 Grüner ist besser

Das Vorhandensein von Grün in unserer direkten Umgebung ist für viele so selbstverständlich, dass sie kaum realisieren, welchen Wert es eigentlich hat. Dabei ist Grün viel mehr als nur Dekoration: Ohne Grün wäre die Erde unbewohnbar. Auch in einer Stadtlandschaft ist Grün unentbehrlich für eine gute Lebensqualität. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die positiven Effekte von Bäumen und anderen Formen von Grün in der Stadt.

Pflanzen, vor allem Bäume haben einen starken positiven Einfluss auf die Qualität der Luft, die uns umgibt. Wie alle Vegetation verbrauchen sie Kohlendioxid und erzeugen Sauerstoff - darüber hinaus aber wirken Bäume und Sträucher in vielfältiger Weise positiv auf das Stadtklima. Sie sorgen für Schattierung und verringern das Aufheizen von versiegelten Flächen, sie sorgen für Wasserspeicherung und kontrollierte Verdunstung. Auf diese Weise steigt nicht nur die Luftfeuchtigkeit, sondern auch das Wohlbefinden der Menschen. Bäume verringern außerdem die Windgeschwindigkeit, filtern Stäube und Feinstäube und sogar gasförmige Schadstoffe aus der Stadtluft.

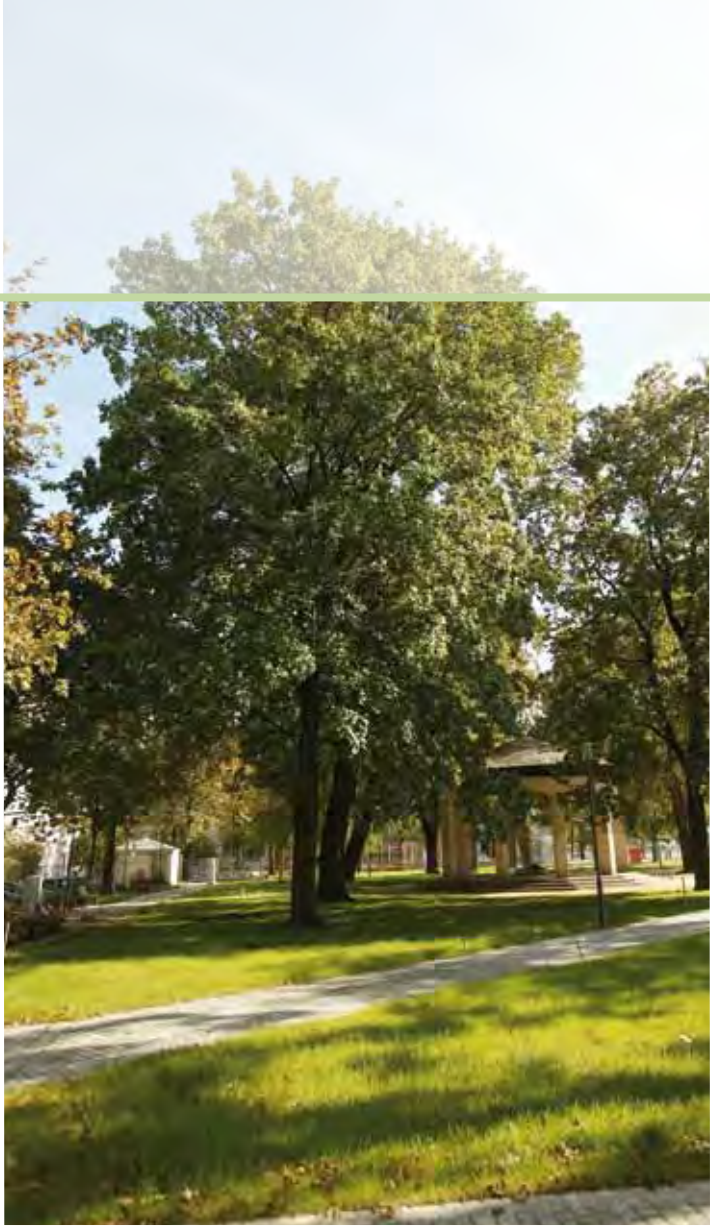
Das Vorhandensein von Grün hat darüber hinaus einen positiven Einfluss auf die körperliche und geistige Gesundheit von Menschen und schafft Raum für Entspannung und Bewegung. Dies ist gerade vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklungen in Deutschland von Bedeutung: Wenn wir tatsächlich bis 2020 alle fußläufig eine Grünfläche erreichen wollen[3], gilt es jetzt, die Weichen für mehr Grün in der Städteplanung zu stellen.

Es fällt auf, dass Immobilienanzeigen in den meisten Fällen mit der Nähe zu öffentlichen Grünflächen werben. Zunehmend positionieren sich ganze Städte und Regionen mit ihren Grünanlagen bzw. dem Erholungs- und Freizeitwert einer „Grünen Stadt“. Bei guten Lebensbedingungen denken wir an ökonomisch florierende Städte, die attraktiv

Tab. 1
Übersicht über die positiven Effekte von Bäumen und anderen Formen von Grün auf das Klima in der Stadt

LUFTQUALITÄT	Filterung von Staub und gasförmigen Luftverunreinigungen
MIKROKLIMA	Begrenzung von Temperaturextremen (Schatten und Windschatten) Befeuchten der Luft: kühler und angenehmer
WASSERMANAGEMENT	Wasserspeicherung und Reduktion von Abwasserspitzen bei hohem Niederschlag
ENERGIEEINSPARUNG	Reduzierung Wärmeverluste (Windschatten) und Kühlungsbedarf
IMMOBILIENWERT	Höher in der Nähe von Grün
KÖRPERLICHE GESUNDHEIT	Möglichkeiten für Entspannung und Bewegung
SEELISCHE GESUNDHEIT	Wohlbefinden, Identifikation, Heimat, Zu- & Zusammengehörigkeit
BIODIVERSITÄT	Lebensraum für viele Lebewesen
TREIBHAUSEFFEKT	Fixierung von CO_2
LANDSCHAFT	Abstimmung von Verkehr und Industrie
ÄSTHETIK	Verschönerung von Straßen, Wohnvierteln und öffentlichen Anlagen

[3] Das Bundeskabinett hat am 7. November 2007 die nationale Strategie zur biologischen Vielfalt beschlossen. “Die nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt ist eine Verpflichtung für uns alle: die jetzige und auch zukünftige Bundesregierungen, die Länderregierungen und Kommunen, aber auch Wirtschaft und Gesellschaft. Denn nur gemeinsam wird es uns gelingen, dass auch zukünftige Generationen sich über den Reichtum der Natur freuen und ihn nutzen können”, sagte der Bundesumweltminister. Die Strategie enthält einen Katalog von rund 330 konkreten Zielen und rund 430 Maßnahmen in den verschiedensten Bereichen des Naturschutzes, der nachhaltigen Naturnutzung und der Entwicklungszusammenarbeit.



sind für Bürger und Besucher sowie für Investoren, an vitale Städte mit guten sozialen Strukturen und an Städte, die gesund, sauber, schön und sicher sind. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die Anwesenheit von ausreichend Grün und eine abwechslungsreiche Natur im direkten Arbeits- und Lebensumfeld der Menschen.

Pflanzungen im städtischen Bereich bewirken durch Filterleistung und Veränderung der Luftströmung auch eine Verringerung der Schadstoffbelastung der Luft. Die in der Forschung ermittelten Leistungen verschiedener Pflanzen und Pflanzsysteme zur Staubfilterung sind sehr unterschiedlich. Zur Zeit sind eine Reihe neuer Forschungsprojekte in verschiedenen europäischen Ländern in Arbeit: Ziel ist es, durch bestimmte Vegetationsformen bei Berücksichtigung der Toleranz der Pflanzenarten das Filterungspotential zu erhöhen. In allen Untersuchungen zeigt sich, dass eine gezielte Pflanzung eine positive Wirkung auf die Luftqualität hat, aber auch eine starke Abhängigkeit der Ergebnisse von den jeweiligen Standortbedingungen. Deshalb sollte neben technischen und administrativen Maßnahmen auch eine standortgerechte und individuelle Grünplanung ein Bestandteil bei der Lösung der Feinstaubproblematik sein.

Durch die fortschreitende Verstädterung nimmt der relative Anteil von Grünflächen an der Stadtfläche ab. Diese relative Verringerung bedeutet bei gleichzeitig weiterer Steigerung des Schadstoffausstoßes eine geringere Filterkapazität und damit höhere Gefährdung der Gesundheit. Als Gegenmaßnahme kann hier eine Erweiterung bestehender Grünflächen sowie die sachgerechte Pflege grüner Areale helfen. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass vielerorts auch in den Grünflächen- und Gartenämtern der Kommunen Mittel für Neuanlage und Pflege von Grünflächen gestrichen werden. Der Pflegezustand vieler öffentlicher Grünflächen lässt inzwischen zu wünschen übrig. Da der Standort Stadt auch für Bäume und Sträucher ein Extremstandort ist, ist eine sorgfältige Auswahl und sachgerechte Pflege des öffentlichen Grüns von besonderer Bedeutung: Nur gesunde und vitale Pflanzen können ihre Wohlfahrtswirkung in vollem Maße entfalten und nur eine kompetente Grünplanung kann sicherstellen, dass die richtige Pflanze am richtigen Ort steht.

2 Luftqualität und Gesundheit

2.1 Gesundheitsbelastung

Die Luft enthält eine ganze Skala von gasförmigen und auch festen Bestandteilen. Manche davon sind schädlich für unsere Gesundheit, andere nicht. Die für die Volksgesundheit schädlichsten Komponenten in Mitteleuropa sind Feinstaub und Ozon.
Der EU-Umweltkommisar Stavros Dimas verweist auf Zahlen der Weltgesundheitsorganisation. In Deutschland gehen danach etwa 70.000 Todesfälle auf die Belastung mit Feinstaub zurück. Besonders problematisch ist die Situation für Menschen, die in hoch belasteten Lagen der Städte wohnen und so ständig hohen Konzentrationen von Luftschadstoffen ausgesetzt sind. 2007 hatte ein Münchner Bürger und Anwohner des vielbefahrenen Mittleren Rings (Landshuter Strasse) einen bundesweit beachteten Musterprozess gewonnen – Bürger können seither Aktivitäten ihrer Stadt/Kommune zur Einhaltung der Feinstaub-Grenzwerte einklagen[4].

Feinstaub wird in verschiedenen Fraktionen gemessen, durch die Feinstaubrichtlinie werden derzeit Teilchen mit einem Durchmesser kleiner 10 µm (0,01 mm = PM_{10}) fokussiert. PM_{10} umfasst viele giftige Verbindungen wie Schwermetalle und organische Stoffe und ist besonders schädlich für die Gesundheit, weil die feinen Stäube direkt lungengängig sind, d.h. ungehindert in das Lungengewebe und damit zum Teil sogar in den Blutkreislauf eindringen können. Feinstäube der Kategorie PM_{10} kommen vor allem aus Autoabgasen, aber auch vom Abrieb der Autoreifen und Bremsen.

Außer Feinstaub enthalten Autoabgase noch andere schädliche Bestandteile in hohen Konzentrationen wie Stickoxide (Summe von Stickstoffmonoxiden und Stickstoffdioxiden) und flüchtige organische Stoffe. Bei Verbrennungsprozessen werden durch die hohen Temperaturen Stickstoff und Sauerstoff aus der Luft in Stickstoffmonoxid (NO) und verschiedene Stickstoffdioxide (NO_2) oxidiert. Daneben werden bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe auch immer flüchtige organische Stoffe freigesetzt. Aus NO_x und weiteren flüchtigen organischen Stoffen (FOS) aus den Abgasen bildet sich unter Einwirkung von Sonnenlicht Ozon. Hohe Ozonkonzentrationen entstehen vor allem im Sommer (Sommersmog) und verursachen ebenso wie Feinstaub Gesundheitsschäden.

2.2 Städtische Luftqualität

Wer an einer verkehrsreichen Straße wohnt, hat ein doppelt so hohes Risiko, an Herz- und Gefäßerkrankungen oder Atemwegserkrankungen zu sterben[5].
Der Straßenverkehr stellt eine bedeutende Quelle für Grob- und Feinstaub dar: Etwa 25 Prozent des Schweb-

[4] Bundesverwaltungsgerichts-Urteil vom 25. September 2007 (BverwG 7 C 36.07). Das Bundesverwaltungsgericht in Leipzig hat mit seinem Grundsatzurteil Städte und Gemeinden indirekt aufgefordert, die Bewohner stark befahrener Straßen auch dann vor dem Krebserreger Feinstaub zu schützen, wenn keine landesweite Aktionspläne zur Luftreinhaltung vorliegen. Konkrete Maßnahmen nannten die Leipziger Richter jedoch nicht.

[5] Personen, die an stark befahrenen Straßen wohnen, leiden öfter an einer Verkalkung der Herzkranzgefäße, wodurch das Risiko für einen Herzinfarkt und einen Schlaganfall ansteigt. Das fanden Wissenschaftler der Universitäten Duisburg-Essen und Düsseldorf bei einer Analyse der Heinz Nixdorf Recall Studie heraus, die im August 2007 in der renommierten amerikanischen Fachzeitschrift "Circulation" (American Heart Association), veröffentlicht wurde. "Das wichtigste Ergebnis unserer Studie ist, dass Menschen, die nahe an einer vielbefahrenen Straße wohnen, eine stärkere Arteriosklerose der Herzkranzgefäße - die Blutgefäße, die das Herz versorgen - aufweisen als solche, die weiter entfernt wohnen," sagt Dr. Barbara Hoffmann vom Institut für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie der Universität Duisburg-Essen. Verglichen mit Studienteilnehmern, die mehr als 200 m entfernt von einer Autobahn oder Bundesstraße wohnen, ist die Chance, eine starke Verkalkung zu haben, um 63% höher für diejenigen, die innerhalb 50 m wohnen und um 34% höher für diejenigen, die innerhalb 51-100 m wohnen. Die Hauptursache für innerstädtische Unterschiede in der Feinstaubkonzentration ist der Verkehr. Die Studie wurde durchgeführt im Rahmen der Heinz Nixdorf Recall Studie, die seit 2000 in enger Kooperation mit den drei beteiligten Städten Mülheim, Essen und Bochum neue Risikofaktoren für Herz-Kreislauferkrankungen untersucht. (http://www.recall-studie.uni-essen.de)

staubs der PM_{10}-Fraktion entstammt dem Straßenverkehr; bei Partikeln in der 0,1 µm-Größenordnung sind es sogar 50 Prozent. Autoabgase werden auf Fußgängerniveau ausgestoßen und das ist besonders in den dicht bebauten und intensiv belebten Innenstädten ein drängendes Problem. Vor allem Dieselfahrzeuge produzieren viel Feinstaub. Dieser Feinstaub steht in letzter Zeit im Mittelpunkt des Interesses. Tabelle 2 gibt eine kurze Übersicht über Luftverunreinigungen durch den Straßenverkehr und deren Schädlichkeit für unsere Gesundheit.

Zusätzlich zu den Veränderungen der Luftzusammensetzung infolge der Belastung mit Luftschadstoffen wirkt sich die tendenziell höhere Lufttemperatur und niedrigere Luftfeuchtigkeit der Stadtluft sowie ein lokal verändertes Windfeld negativ aus. Durch den hohen Versiegelungsgrad (Straßen, Plätze, Bebauung) in den Städten heizt sich die Luft mehr auf. Der größte Teil der Niederschläge wird über die Kanalisation abgeführt, steht also nicht mehr für die Verdunstung zur Verfügung.

2.3 Luftqualitätsnormen

In den vergangenen Jahren hat sich die Luftqualität stark verbessert. Die Belastung der Bürger durch Luftverschmutzungen wurde durch erfolgreiche Maßnahmen wie die Rauchgasentschwefelung und das Ende des Verkaufs verbleiter Kraftstoffe stark reduziert. Dennoch verursachen Luftverschmutzungen, vor allem im Bereich der Stoffgruppen Stickoxyde und photochemischer Smog sowie im Bereich der Feinstäube immer noch erhebliche Gesundheitsschäden. Eine weitere Verbesserung der Luftqualität ist notwendig. In Europa wurden mit der Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über "Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft"[6] Grenzwerte für Feinstaub festgelegt. Am 9. Oktober 2007 stimmte der Umweltausschuss in Brüssel in zweiter Lesung für eine Veränderung der Feinstaubrichtlinie.

Die Mitgliedsstaaten haben nun eine Fristverlängerung um fünf Jahre für die Einführung strikterer Grenzwerte –

Tab. 2
Luftverschmutzung durch Straßenverkehr und die daraus entstehende Gesundheitsgefährdung

VERUNREINIGUNG	BEZEICHNUNG	GESUNDHEITSSCHADEN
Feinstaub	PM_{10}	a) Stoffbedingte chemische Gesundheitsbelastungen b) Gewebeentzündungen der Lunge c) Gesteigerte Blutgerinnung, Infarktrisiko d) Herzrhythmusstörungen Feinstäube verursachen Gesundheitsschäden und senken die Lebenserwartung.
Stickoxide	$NO + NO_2$	Stickoxide sind giftig, minimieren die Sauerstoffaufnahme des Blutes und sind gasförmig, Krebs erregend
Flüchtige organische Stoffe	VOS	Aus NO_x und FOS bildet sich unter Einwirkung von Sonnenlicht Ozon (O3). Erhöhte Ozonkonzentrationen in den Sommermonaten verursachen Gesundheitsschäden und senken die Lebenserwartung.

[6] Richtlinie wurde in deutsches Recht umgesetzt mit der Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) vom 11. September 2002

dies gilt für alle Feinstaubkategorien. Gleichzeitig wurden jedoch die Grenzwerte für die Partikel $PM_{2,5}$ und PM_{10} verschärft.

Normen für Luftqualität haben zum Ziel, das Gesundheitsrisiko für Menschen auf ein Minimum zu beschränken. Als erste Maßnahme wurden in den Kommunen Messungen an den verkehrsreichsten Orten im Stadtgebiet eingefordert, um Grunddaten für die lokale Bewertung der Feinstaubmengen und -qualität zu erhalten. Für Feinstaub der Korngröße PM_{10} gelten 50 µg/m^3 (Mikrogramm Feinstaub pro Kubikmeter Luft) im Tagesmittel als 24-Stunden-Grenzwert, der an maximal 35 Tagen pro Jahr überschritten werden darf. Der Jahresmittelwert soll nicht über 40 µg/m^3 liegen. Wenn der Grenzwert überschritten wird, muss die zuständige Verwaltung einen Aktionsplan aufstellen, der Maßnahmen zur wirksamen Minderung der Feinstaubbelastung enthält. Die Maßnahmen betreffen – neben weiteren Verursachern – häufig den Kfz-Verkehr und reichen von Fahrverboten zu bestimmten Zeiten bzw. für bestimmte Fahrzeuge, bis hin zur Ausweisung von Umweltzonen, in denen nur Kfz zugelassen sind, deren Emissionen vorgegebenen Standards entsprechen. Auch die Bepflanzung der Mittelstreifen und Straßenränder – so baulich machbar – sowie Fassaden- und Dachbegrünung sind wirksame Maßnahmen zur Verminderung der Feinstaubbelastung in Innenstädten. Begrenzte Wirkung bietet die Intensivierung der Straßenreinigung, denn der abgeschwemmte Feinstaub kann nicht mehr aufgewirbelt werden. Oft wird jedoch vergessen, dass Normen nicht als Schadensschwellen für Gesundheit zu verstehen sind. Das Einhalten der Normen bedeutet noch nicht, dass die Bürger durch die Verschmutzung nicht belastet werden. Vor allem für Feinstaub muss angenommen werden, dass auch geringste Belastungen gesundheitsschädlich sind. Jede Reduzierung der Feinstaubmenge in der Luft verringert also das Gesundheitsrisiko. Die größte Wirkung liegt sicherlich in der Verringerung der auftretenden Feinstäube an der Quelle – d.h. in der Einschränkung des Verkehrs bzw. in verbesserten Verbrennungs- und Filtertechnologien bei Fahrzeugen, in der Industrie und auch beim so genannten privaten Wohnungsbrand (Heizungsanlagen). Darüber hinaus sind jedoch weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität und des Stadtklimas notwendig.

[7] PM 2,5 = Partikeldurchmesser unter 2,5 µm (0,0025 mm)

2.4 Feinstaub

Überall in Mitteleuropa, auch in Deutschland, kennt man das Problem der Belastung der Atemluft mit Feinstäuben. Feinstäube entstammen aus zwei Quellen: Sie sind entweder natürlichen Ursprungs oder sie sind vom Menschen verursacht. Partikel natürlicher Herkunft werden u. a. vom Erdreich aufgewirbelt oder z. B. durch Vulkanausbrüche oft über weite Strecken transportiert. Dazu gehören auch Partikel aus den Meeren, Pollen, Pilzsporen, Bakterien, Wüstenstaub sowie mikroskopisch kleine Tier- und Pflanzenreste.

Die vom Menschen verursachten Partikel stammen im wesentlichen aus der Verbrennung fossiler Energieträger und aus industriellen Hochtemperaturprozessen. Folgende Werte beschreiben die Größenordnung der anthropogenen Emissionen in Deutschland: Industrie (0,095 Tg/Jahr), Personen- und Lastkraftwagen (0,035 Tg/Jahr), Privathaushalte und Kleinverbraucher (0,033 Tg/Jahr)[8].

[8] Tg = Teragramm => 1 Tg = 1 Million Tonnen, d.h. Staubemission aus Industrie in Deutschland: etwa 95.000 Tonnen pro Jahr

Nicht zuletzt werden auch Partikel durch Abrieb von Bremsen, Autoreifen und Straßenbelag aber auch durch industrielle Abriebprozesse freigesetzt. All diese gilt es zu reduzieren. Untersuchungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) haben ergeben, dass gerade Feinstaub ein hohes Risiko für Gesundheit, Lebensqualität und Lebenserwartung bedeutet. Jährlich sterben laut WHO und EU in Deutschland bis zu 70.000 Menschen vorzeitig an Herz/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen, die durch Feinstaub hervorgerufen werden. Eine Konzentration unterhalb derer diese Schadstoffe als gesundheitlich unbedenklich werden, ist bislang nicht bekannt. Sicher ist lediglich eins: Je höher die Belastung, desto mehr Erkrankungen treten auf.

PM_{10} dringt in die Atemwege und die Lungen ein. Jedoch nicht alle Bestandteile sind schädlich. Die Gesamtmenge an Feinstaub ebenso wie der Anteil darin enthaltener schädlicher Stoffe steigen jedoch mit zunehmendem Verkehr bzw. der Nähe zu anderen Emittenten. Die Feinstaubbelastung und die Gesundheitsgefährdung hängen darum stark vom Aufenthaltsort ab.

Um an spezifischen Stellen gezielte Maßnahmen zur Verringerung der Schadstoffkonzentration durchführen zu können, ist eine gute Kenntnis der Feinstaub-Quellen notwendig. Man unterscheidet lokal in die so genannte „Hintergrundbelastung“ der Luft, die regional und großräumig auftritt und die beeinflussbare, für Vermeidungsstrategien relevante, lokale Belastung. Im Großraum Berlin beispielsweise besteht eine hohe, jedoch nicht veränderbare und glücklicherweise gesundheitlich unbedenkliche Hintergrundbelastung durch Feinstäube, die aus dem Umland der Stadt hereinwehen. Ähnlich zu beurteilen sind Feinstäube, die in trockenen Sommern von landwirtschaftlichen Flächen ausgehen und u.U. auch in Stadtrandgebieten zu zeitlich befristet extrem hohen Belastungen der Luftqualität führen.

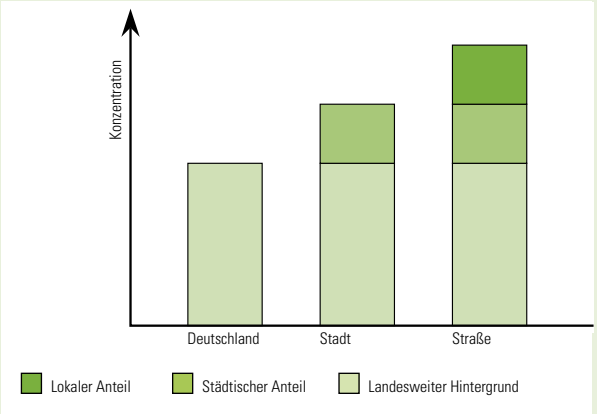


Abb. 1
Zusammensetzung der PM_{10} Konzentration in der Stadt (geändert nach Oosterbaan et al., 2006)

Abbildung 1 gibt schematisch die PM_{10}-Konzentrationsniveaus für verschiedene Situationen wieder. Die landesweite Hintergrundbelastung sorgt dafür, dass überall in Deutschland – nicht nur in den Städten - eine bestimmte Menge Feinstaub in der Luft vorhanden ist. Innerstädtisch kommt zu diesem landesweiten Hintergrund eine weitere Menge Feinstaub hinzu. Die durchschnittliche Konzentration in der Stadt ist in der Regel höher als der landesweite Hintergrund.
Vor allem starker Verkehr in engen Straßen oder auf verkehrsreichen Straßen und Plätzen führt lokal zu hohen Spitzenkonzentrationen. Diese Stellen mit sehr hohen Schadstoffniveaus befinden sich in den Städten und werden auch Hot-Spots genannt. Hier werden die Normen für die Feinstaubkonzentrationen in der Luft oft überschritten.

3 Bepflanzung als Luftfilter

Alle Pflanzen filtern Staub und gasförmige Verunreinigungen aus der Luft. Einige Pflanzen bzw. Pflanzsysteme sind dabei jedoch effizienter als andere. So ist die Deposition von Staub aus der Atmosphäre auf einem Wald 2- bis 16-mal größer als auf niedriger Vegetation. Bäume haben mit ihrer Krone eine große, diffuse Oberfläche und sind damit ein Hindernis für den Wind. Durch die Veränderung der Luftströmung selbst kann sogar eine verringerte lokale Schadstoffbelastung auftreten, wenn es gelingt, belastete Luft und unbelastete Luft zu vermischen. Eine Bepflanzung kann aber auch negativ wirken, wenn sie den Luftaustausch behindert: Als „Tunneleffekt“ bezeichnet man beispielsweise die Tatsache, dass in einer dicht geschlossenen Allee entlang einer vielbefahrenen Straße die Schadstoffkonzentration unter Umständen deutlich höher sein kann als in der Umgebungsluft. Die pauschale Forderung nach mehr Grün in der Stadt ist also nicht immer zielführend. Fachwissen und Kompetenz in der Auswahl und auch die Anordnung der richtigen Pflanzen ermöglicht positive Einflussnahme auf das städtische Klima und die Luftqualität. Neue Untersuchungen in Antwerpen haben gezeigt, dass bei Vorhandensein vieler Bäume in der Stadt die Spitzenkonzentrationen von Ozon um 8 Prozent niedriger sind als ohne Bäume.[9]

Auf welche Weise Bäume die Luftqualität beeinflussen, ist inzwischen aus verschiedenen Untersuchungen bekannt. Langjährige Forschungen am Geographischen Institut der Universität Köln verweisen auf zwei wichtige Vorgänge:

1. Direkte Effekte: Blattoberflächen können Stäube entweder im Verlauf der Vegetationsperiode anreichern oder durch selbstreinigende Oberflächenstrukturen vermeiden. Wahrscheinlich führt die Selbstreinigung durch Zusammenballung zu Grobstäuben ebenfalls zur Abscheidung von Feinstäuben. Zudem können Blätter gasförmige Luftverunreinigungen binden.
2. Indirekte Effekte: Pflanzenbestände verändern die Luftströmung. Dies beeinflußt die lokale Konzentration, Verteilung und Abscheidung von Stäuben und Luftschadstoffen und ermöglicht – bei angemessener Planung, Ausführung und Pflege – eine deutliche Minimierung der Belastungssituation.

Diese Vorgänge treten bei verschiedenen Pflanzen mehr oder weniger stark auf. Genauere Kenntnis der Leistungsfähigkeit von einzelnen Pflanzenarten kann man also nutzen, um den Bestand an Grünflächen im Hinblick auf deren Filterleistung zu bewerten bzw. um für Neu- und Nachpflanzungen den besonderen Anforderungen des Standorts Rechnung zu tragen.

[9] Mehr über das Projekt Benefits of Urban Green Space unter www.vito.be/bugs

[10] Quelle: Dr. Ir. J.A. Hiemstra, (Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)), Ir. E. Schoenmaker - van der Bijl (Bureau Ecologie en Landbouw Wageningen), Drs. A.E.G. Tonneijck (Triple E, Economy - Ecology - Experience)

Tab. 3
Aufnahme verschiedener Arten Luftschadstoffe durch Blätter[10]

SCHADSTOFFE	MECHANISMUS	GEEIGNETE BLATTMERKMALE
Ozon, Stickoxide	Absorption	Flache und breite Blätter von Laubbäumen.
Flüchtige organische Stoffe (PCB's, Dioxine, Furane)	Absorption	Dicke und fettige Wachsschicht (Cuticula) auf dem Blatt, vor allem bei Nadelbäumen.
Feinstaub (PM_{10})	Impaktion	Spitze Form wie Nadeln von Nadelbäumen. Raue, behaarte und klebrige Blätter von Laubbäumen.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Mechanismen, mit denen die Blätter effektiv Schadstoffe aus der Luft entfernen. Obwohl die Mechanismen variieren können, ist der Effekt in allen Fällen ein verringerter Schadstoffgehalt in der Luft. Dabei gilt für alle Bestandteile: Je größer das Angebot an Verschmutzung, umso mehr nimmt der Baum auf oder legt er fest. In der Nähe einer Verschmutzungsquelle, wo die Konzentrationen hoch sind, nimmt ein Baum also mehr Schadstoffe auf als in größerem Abstand – jedoch leiden die Bäume selbst auch unter den Schadstoffen, was besondere Sorgfalt in der Auswahl der Bäume und auch in deren Pflege erfordert.

3.1 Aufnahme gasförmiger Verunreinigungen

Pflanzen können gasförmige Bestandteile sowohl über die Spaltöffnungen (Absorption) aufnehmen als auch auf der Cuticula anlagern (Adsorption). Die Cuticula ist die äußerste Schicht des Blattes, die aus einer fettigen Substanz besteht und die die Pflanze unter anderem vor Austrocknung schützt. Spaltöffnungen sind schließbare Öffnungen im Blatt, durch welche ein kontinuierlicher Gasaustausch zwischen Blatt und Umgebung stattfindet.

Stickoxide und Ozon werden hauptsächlich über die Spaltöffnungen ins Blatt aufgenommen. Jedes Blatt besitzt ein großes Netzwerk von inneren Hohlräumen, die über die Spaltöffnungen mit der Außenluft in Verbindung stehen (siehe Abb. 2). Aus diesen Hohlräumen wird Kohlendioxid in die Blattzellen aufgenommen und werden Sauerstoff und Wasser an die Außenluft abgegeben. Die Hohlräume vergrößern die Blattoberfläche und damit die Kapazität für den Gasaustausch enorm. Bei einer ausgewachsenen Buche zum Beispiel ist diese

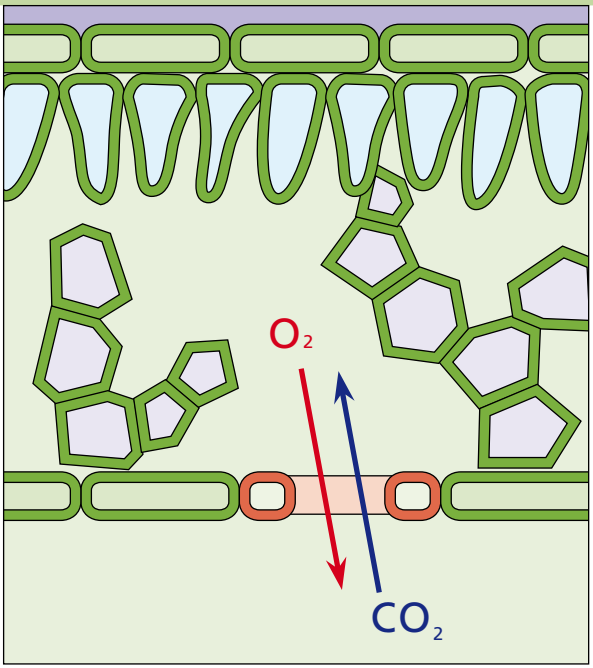


Abb. 2
Schematische Darstellung des Gasaustausches über die Spaltöffnungen an der Blattunterseite: Kohlendioxid (CO_2) wird aufgenommen und Sauerstoff (O_2) wird abgegeben. Die Cuticula auf der Blattoberseite ist in Blau dargestellt.

innere Oberfläche circa 15.000 m² groß. Dies entspricht der Oberfläche von zwei Fußballplätzen. Jüngere Untersuchungen in Dresden[11] zeigen, dass auch die Fassaden- und Dachbegrünung erheblich zur Luftfilterung beitragen. Bei Efeu (Hedera helix ´Woerneri`) beispielsweise entsprechen einen Quadratmeter Pflanzenfläche (vertikal) einer Gesamtoberfläche von acht Quadratmetern.

[11] Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden

Um ausreichend Kohlendioxid aufnehmen zu können, müssen große Mengen Luft durch das Blatt strömen. Dabei kommen auch andere Bestandteile der Luft in Kontakt mit dem Inneren des Blattes. Stickoxide und Ozon sind gut löslich und absorbierte Mengen können im Blatt gut verarbeitet werden. In der Regel sind die Spaltöffnungen tagsüber offen und nachts geschlossen. Die Filterung gasförmiger Verunreinigung aus der Luft ist tagsüber deshalb auch größer als nachts.

Für viele flüchtige organische Stoffe wie PCB, Dioxine und Furane bildet die Cuticula die wichtigste Aufnahmeroute. Diese Stoffe sind oft nicht in Wasser, aber sehr wohl in den fettigen Substanzen der Cuticula löslich. Die Aufnahme über die Cuticula hat den Vorteil, dass sie auch während der Nacht weiterläuft, wenn die Spaltöffnungen geschlossen sind, und sogar in den Wintermonaten, selbst wenn die dann noch grünen Pflanzen wenig aktiv sind. Nach der Aufnahme in die Cuticula werden die flüchtigen organischen Stoffe nach und nach an das Blattinnere abgegeben. Blätter mit einer dicken Cuticula, die viele fettige Bestandteile enthält, sind sehr geeignet für die Entfernung dieser organischen Schadstoffe. Zu nennen sind hier z.B. verschiedene Nadelgehölze (siehe auch Tab. 8 Kap. 6).

3.2 Entfernen von Feinstaub

Feinstaub fällt oder weht mit dem Wind auf das Blatt (Impaktion). Wenn die Feinstaubteilchen direkt mit dem Blatt in Kontakt kommen, werden sie elektrostatisch angezogen. Blattunebenheiten, Blatthaare und die Oberflächenstruktur der vor Verdunstung schützenden Wachsschicht haben großen Einfluß auf die Staubabscheidung. Auch der Grad der Feuchtigkeit und der “Klebrigkeit” des Blattes sowie die Dichte der Baumkrone sind bedeutsam.

Feinstaub anreichernde Blattoberflächen sind von Blättern zu unterscheiden, die durch mehr oder weniger ausgeprägte Selbstreinigungseigenschaften (Lotuseffekt) die Anlagerung von stäuben vermeiden. Inwieweit auch diese Blattoberflächen für die Abscheidung von Feinstäuben relevant sind, ist Gegenstand aktueller Forschungen. Feste Staubteilchen gelangen zumeist nicht in das Innere des Blattes und werden deshalb auch nicht verarbeitet, wie es für gasförmige Stoffe der Fall ist. Die Teilchen bleiben auf der äußeren Oberfläche des Baumes zurück. Diese Filterwirkung leisten Bäume und Pflanzen, indem sie dem Windstrom einen Widerstand entgegensetzen. Im Laufe des Jahres enthalten die Blätter immer mehr Staubteilchen (Abb. 3).

Ein Teil des abgefangenen Staubs bleibt fest auf dem Blatt haften. Ein anderer Teil löst sich wieder vom Blatt durch starken Wind oder wird mit dem Regenwasser vom Blatt abgespült. Auf dem Boden angekommen, kann der Feinstaub mit dem Wasser in die Kanalisierung weggespült werden oder sich an den Boden binden, wo er für längere Zeit gespeichert wird. Manche Verbindungen, die an die Staubteilchen gebunden sind, werden im Boden von Mikroorganismen verarbeitet und damit unschädlich.

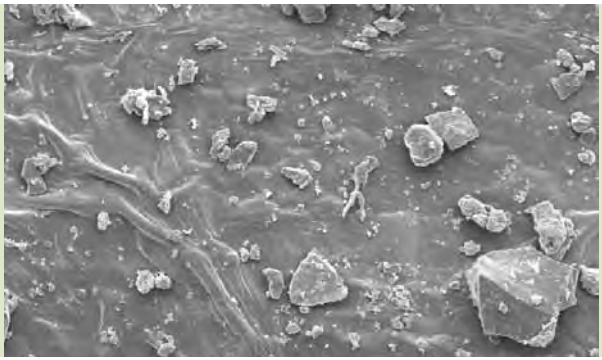
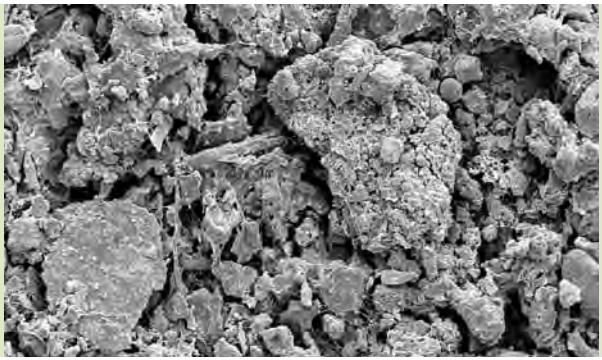



Abb. 3
Staubbelastung ungereinigter Blattoberseiten von Wildem Wein im Juni (links) und im Oktober (rechts) (Thönnessen, 2005)

Pinus parviflora

4 Bäume und Luftströmungen

4.1 Klimawirksamkeit von Grünflächen

Grünflächen – das gilt für öffentliche Parks ebenso wie für private Gärten – haben Einfluss auf die Stadtklimatologie. Zum Beispiel dämpfen Grünflächen den Tagesgang der Lufttemperatur und die Windgeschwindigkeit. Darüber hinaus zeigen sich lokale Abkühlungseffekte durch Schattenzonen und erhöhte Verdunstungsraten. Dieser Oaseneffekt tritt jedoch nur in direkter Nähe zu Grünflächen bzw. Pflanzen auf. Größere Stadtparks erweisen sich aber auch überörtlich als Kaltluftproduzenten – zu empfehlen ist es, von solchen Grünflächen aus möglichst ungehinderte Kaltluftströme in die Bebauung zuzulassen. Die Bedeutung der Anzahl von Grünflächen in Städten ergibt sich auch aus einem „Verdünnungseffekt“ – Grünflächen produzieren keine schädlichen Emissionen, sorgen vielmehr für Frisch- und Kaltluftzufuhr in die mit Schadstoffen stärker belastete Umgebung und sorgen durch trockene und nasse Deposition (Filterwirkung) für die Bindung von Luftschadstoffen. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass auch größere Grünflächen keine Fernwirkung haben – die positive Wirkung reicht zwar immerhin 200 Meter weit, jedoch sollte eine gute Vernetzung von Grünflächen angestrebt werden.

4.2 Bäume als Windschutz

Seit jeher werden Bäume und Hecken als Windschutz gepflanzt. Verringerung der Windgeschwindigkeit und Veränderungen der Luftturbulenz haben großen Einfluss auf die Effektivität, mit der Bäume Verschmutzungen aus der Luft entfernen. Daneben führen diese Veränderungen des lokalen Windklimas, weil sie die Vermischung der Verunreinigung mit der Umgebungsluft beeinflussen, auch direkt zu Veränderungen der Konzentrationen von Luftschadstoffen in der Umgebung der Bepflanzung.

In einem Waldstück kann es nahezu windstill sein, während außerhalb starker Wind weht. Der Wald bildet eine sehr wirksame Barriere für den Wind. In Abhängigkeit von der Höhe der Pflanzen wirkt der Windschutz schon auf der Luv-Seite (in Windrichtung vor dem Hindernis) durch eine Verringerung der Windgeschwindigkeit und die Umleitung des Luftstromes. Ein Waldrand funktioniert darum genau wie eine dichte Windschutzpflanzung. In Abbildung 4 sind die Windverhältnisse rund um einen Wald schematisch dargestellt. In kurzem Abstand von der Leeseite (vom Wind abgewandte Seite) des Wal-

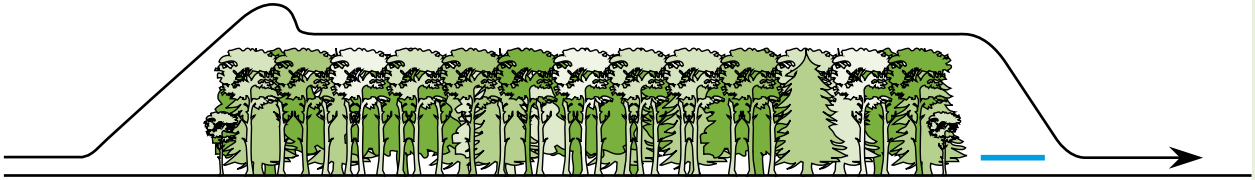


Abb. 4
Luftströmung über einem Wald. Der Wind weht von links. Kurz hinter dem Wald ist die Windgeschwindigkeit wieder normal. Die Größe des geschützten Gebiets mit verringerter Windgeschwindigkeit ist farblich markiert.

des ist die Windgeschwindigkeit jedoch schon wieder normal. Das effektiv geschützte Gebiet mit verringerter Windgeschwindigkeit ist relativ klein. Dasselbe Phänomen tritt bei einem grünen Windschutzstreifen auf, der sehr dicht ist. Auch hier wird die Luft in der Umgebung des Hindernisses auf kurzer Strecke gebremst bzw. nach oben umgeleitet, fällt jedoch hinter dem Hindernis wieder nach unten.

Anders ist es bei einer (halb)offenen Baumreihe. Eine Baumreihe die abwechslungsreich bepflanzt ist, verschiedene Höhen aufweist und die teilweise durchlässig ist, bietet weitaus bessere Luftfilterungsmöglichkeiten als eine dichte Windschutzpflanzung. Auch bei einer offenen Grünstruktur nimmt die Windgeschwindigkeit ab, jedoch weniger als bei einer geschlossenen Grünstruktur. Der Abstand hinter einer offenen Baumreihe bis dorthin, wo die Windgeschwindigkeit wieder normal wird, ist jedoch viel größer als hinter einem Wald oder hinter einer geschlossenen Windschutzpflanzung. Mit anderen Worten: Das geschützte Gebiet hinter einer offenen Grünstruktur mit verringerter Windgeschwindigkeit ist relativ groß. Als Faustregel gilt, dass das geschützte Gebiet hinter einer offenen Baumreihe 15- bis 20-mal so lang ist wie die Höhe der Bäume in der Reihe. Die Schadstoffkonzentration in diesem geschützten Gebiet ist verringert. Dieses Prinzip lässt sich nutzen für den Schutz von Wohngebieten in der Nähe von vielbefahrenen Straßen. Positiver Nebeneffekt ist die Lärmschutzwirkung einer solchen Bepflanzung.

4.3 Luftreinigung durch Pflanzung

Bäume am Rand einer Windschutzpflanzung sind effektiver bei der Aufnahme von Luftverunreinigungen als solche, die tiefer in einer Bepflanzung stehen. Durch die Schutzwirkung des Waldrandes kommen die meisten Bäume im Wald nicht in Berührung mit der verschmutzten Luft. Einzelstehende Bäume sind aus diesem Grund viel effektiver als die abgeschirmten Bäume in einem Wald.[12]

[12] Natürlich nehmen Wälder sehr wohl viele Verunreinigungen aus der Luft auf. Wälder tragen vor allem dazu bei, die landesweite Hintergrundbelastung zu verringern.

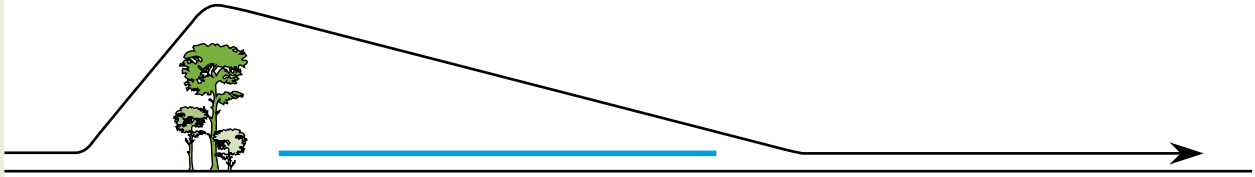


Abb. 5
Luftströmung rings um eine mehr oder weniger offene Baumreihe: Der Wind kommt von links. Die Größe des geschützten Gebiets mit verringerter Windgeschwindigkeit ist farblich markiert. Das geschützte Gebiet ist 15- bis 20-mal so lang wie die Höhe der Baumreihe.

Der Kontakt zwischen Schadstoffen und Blättern ist essentiell für eine effektive Luftfilterung durch Bäume. Bei "porösen" Grünelementen nehmen viel mehr Blätter am Reinigungsprozess teil als bei undurchlässigen Elementen. Denn auch die Blätter im Innern der Baumkrone kommen dann in Kontakt mit der verschmutzten Luft und können diese filtern. Die Porosität von Grünstrukturen beeinflusst also das Zusammenspiel zwischen Strömungsumlenkung und Filterung. Untersuchungen von Wesseling (2004)[13] zeigen, dass in Windrichtung hinter der Vegetation mit zunehmender Porosität die Konzentration der Staubpartikel verschiedener Fraktionen sinkt. Bei dichten Beständen dagegen zeigt sich eine Ansammlung von Staubpartikeln an der Lee-Seite, also eine nur geringe Filterleistung. Die Porosität ist ein vielgenutztes Maß, um die Luftmenge, die durch das Blattwerk strömt, abschätzen zu können.

Ab einer Porosität von 50-70 Prozent lässt sich ein Filterungseffekt feststellen, jedoch ist dann die Strömungsumlenkung verringert. Untersuchungen in den Niederlanden zeigen, dass der Windbrechungseffekt von laubabwerfenden Bäumen im Winter nur etwa 20 Prozent niedriger ist als im Sommer. Wenngleich das Filterungs- bzw. Staubfangvermögen immergrüner bzw. wintergrüner Pflanzen höher liegt, zeigt sich doch auch bei den laubabwerfenden Gehölzen im Winter eine Beeinflussung des Strömungsfeldes, die andere Depositionsarten ermöglicht.[14]

[13] Wesseling, J. P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G., van Dijk, C.J. (2004): TNO-Rapport R2004/383, Wirkung von Grünstrukturen auf die Konzentration von NO_2 und PM10 in der Außenluft.

[14] Swaagstra, A.H. und de Kluiver, P.P. (2006) "Integrales technisches Grün", TASPO-Magazin 3/2006

Nicht immer führen also Bäume zu niedrigeren Schadstoffkonzentrationen am Standort. Bei aufgeasteten Bäumen mit dichten Kronen, beispielsweise den klassischen Alleen in Städten, geht ein großer Teil der verschmutzten Luft unter der Krone durch und wird nicht gereinigt (Unterströmung). Wohlbemerkt ist dies genau die Zone, in der sich Menschen aufhalten. Wo möglich, sollten unter solchen Bäumen zusätzlich Sträucher angepflanzt werden, die mit ihren Blättern Verunreinigung aus der Luft entfernen, da wo die Stämme der aufgeasteten Bäume dies nicht oder kaum tun. Um den so genannten „Tunneleffekt" zu vermeiden, sollten jedoch auch in einer solchen Allee immer wieder Lücken für den Luftaustausch frei gelassen werden. Bäume direkt neben der Straße filtern zwar, aber sie vermindern auch die Windgeschwindigkeit. Der Nettoeffekt der Konzentrationserhöhung durch Verminderung der Windgeschwindigkeit und Konzentrationssenkung durch die Filterung, kann also negativ sein. Für PM_{10} ist dies der Fall, wenn die Porosität der Bepflanzung kleiner ist als 40 Prozent. Der "Tunneleffekt" kann minimiert werden durch eine Bepflanzung mit ausreichender Porosität. Dies kann durch die Wahl der richtigen Baumarten mit entsprechend offenen Kronen, aber auch durch gezielte Schnitt- und Pflegemaßnahmen erreicht werden.
Der "Tunneleffekt" tritt nur innerhalb von 100 bis 150 Meter von der Straße auf, wo die Autoabgase noch nicht vollständig mit der Umgebungsluft vermischt sind. Für die meisten Grünflächen in unseren Städten ist der Tunneleffekt nicht gegeben, die Filterwirkung von Bäumen führt also in aller Regel zu einer Senkung der Schadstoffkonzentration. Schätzungsweise fangen Grünelemente bei durchschnittlichen Wetterbedingungen maximal 15-20 Prozent vom Feinstaub (PM10) ab. Die Stickoxidkonzentration kann durch eine Grünstruktur mit der richtigen Porosität maximal um 10 Prozent vermindert werden (Wesseling et al., 2004).

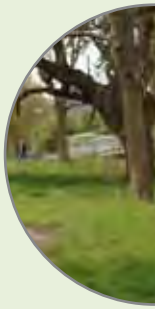
4.4 Alternative Grünstrukturen

Vor allem in schmalen Straßenzügen, die an sich schon einen Tunneleffekt fördern, ist oft kein Platz vorhanden, um Bäume zu pflanzen. In solchen Situationen kann die Fassadenbegrünung mit Kletter- oder Schlingpflanzen eine Lösung bieten. Diese Pflanzungen haben kaum Auswirkung auf die Windgeschwindigkeit, aber sie filtern Verunreinigungen aus der Luft. Eine interessante Alternative, die seit Herbst 2007 in mehreren Ruhrgebietsstädten untersucht wird, ist auch die Bepflanzung der Mittel- und Randstreifen mit Heckenelementen aus Kletterpflanzen. Eine weitere Möglichkeit, vor allem für hochverdichtete Innenstädte, liegt in der Dachbegrünung, die sowohl in ihrer Leistung zur Luftreinigung und Stadtklimatologie, wie zum Wassermanagement und nicht zuletzt zur Steigerung der Lebensqualität immer noch unterschätzt wird.

Es besteht hohes Interesse für die Anpflanzung von Efeu (Hedera helix) an kahlen Straßenfassaden, um Feinstaub abzufangen. Efeu bietet pro Quadratmeter Fassade drei bis acht Quadratmeter Blattfläche und kann bis sechs Gramm Feinstaub heraus filtern (Dunnett und Kingsbury, 2004). Darüber hinaus ist diese Pflanze auch noch immergrün, so dass sie das ganze Jahr über als Filter funktioniert. Diese Eigenschaft ist vor allem für das Entfernen von Feinstaub wichtig. Gegenüber kahlen Steinflächen bietet die Fassadenbegrünung aber nicht nur eine gewaltige Vergrößerung der Filteroberfläche, sondern sie verbessert außerdem das Erscheinungsbild einer Stadt beträchtlich. In Monaco, wo die Bevölkerungsdichte dreimal so hoch ist wie in den großen Städten Deutschlands, werden seit 2005 auch die Fassaden genutzt, um mehr Grün in die Stadt zu bringen – vor allem entlang der Straßen.

Tab. 4
Wichtige strukturelle Aspekte von Bepflanzungen

BREITE	Bei einer breiten Bepflanzung (zum Beispiel einem Wald) befindet sich auf der Lee-Seite kein geschütztes Gebiet mit verringerter Windgeschwindigkeit. Bei einer schmaleren Bepflanzung wie einer Baumreihe ist dies der Fall. Der Umfang des geschützten Gebiets ist von der Höhe der Bepflanzung abhängig.
HÖHE	Die Reduktion der Windgeschwindigkeit hinter einer Baumreihe ist messbar bis zu einem Abstand vom 20fachen ihrer Höhe. In diesem Gebiet sind auch die Schadstoffkonzentrationen geringer. Hier handelt es sich um einen lokalen Schutz gegen die Luftverschmutzung.
POROSITÄT	Für eine lokale Schutzwirkung in der Nähe einer Verschmutzungsquelle (verkehrsreiche Straße) muss die Porosität mehr als 40 Prozent betragen. Dies ist nötig für eine optimale Reinigung der verschmutzten Luft und zur Verhinderung des Tunneleffekts. Bei geringeren Porositäten besteht das Risiko, dass durch die Anwesenheit von Bäumen, trotz der Filterung, die lokalen Konzentrationen zunehmen.
RAND	Randeffekte erhöhen die Turbulenz und verstärken die Filterwirkung von Grün. Schaffen Sie darum soviel wie möglich scharfe Übergänge.
MENGE	Grün reduziert Luftschadstoffe. Es ist jedoch auf eine gewisse Porosität zu achten, damit die belastete Luft in den Pflanzenbestand eindringen kann. Durch Reihenelemte, die in Abständen von 150-200 Metern wiederholt gepflanzt werden, wird die lokale Schutzwirkung optimiert.
ARTEN	Benutzen Sie vorzugsweise einheimische Baumarten mit Blatteigenschaften, die eine effektive Aufnahme von einer oder mehreren Schadstoffarten ermöglichen. Benutzen Sie eine Mischung von Pflanzenarten, um möglichst viele unterschiedliche Luftschadstoffe auszufiltern.
TYP	Jegliches Grün filtert Schmutzstoffe aus der Luft. Dies gilt auch für Fassaden- und Dachbegrünung. Wo für Bäume kein Platz ist, sind Fassaden- und Dachgrün reizvolle Alternativen.



Picea pungens

5 Praktische Empfehlung

5.1 Allgemein

In diesem Kapitel werden Empfehlungen zusammengefasst, worauf man bei der Anpflanzung und Pflege von Bäumen achten sollte, vor allem mit dem Ziel, Feinstaub und gasförmige Luftschadstoffe zu filtern.

Alle Bäume, Sträucher, Waldstücke, Windschutzpflanzungen und Hecken verbessern durch ihre Filterwirkung die Luftqualität nachweislich. Jedoch nicht alle Arten haben dabei die gleiche Wirkung und sicher nicht für jede Schadstoffkomponente. Um den ganzen Cocktail von Luftschadstoffen zu erfassen, ist eine gute Mischung von verschiedenen Bäumen und Sträuchern nötig.
Gase wie Stickoxide und Ozon werden vor allem durch Laubbäume mit breiten und glatten Blättern gut aufgenommen. Für organische Bestandteile bildet die Wachsschicht auf dem Blatt (Cuticula) die wichtigste Aufnahmeroute. Blätter mit einer dicken Cuticula, wie die Nadeln von Nadelbäumen, sind dafür am besten geeignet. Laubbäume mit rauen, behaarten und klebrigen Blättern sind gut für das Abfangen von Staubteilchen. Diese Teilchen bleiben dann auf dem Blatt liegen und werden überwiegend durch den Regen ins Erdreich abgespült. Die Anpflanzung von immergrünen Arten ist zu empfehlen, weil diese auch in den Wintermonaten Feinstaub aus der Luft filtern. Für Ozon ist dies weniger bedeutsam, weil die (zu) hohen Konzentrationen hiervon vor allem in den Sommermonaten (Sommersmog) problematisch sind.

Für die Wahl der richtigen Baumarten muss natürlich auf weitere Eigenschaften geachtet werden als nur deren Wirkung auf Feinstaub und Sommersmog. Eine zusätzliche Erwägung kann zum Beispiel sein, dass Erle und Birke bei Menschen Allergien verursachen können. Auch Früchte oder fallendes Laub können in manchen Situationen soviel Belästigung und Aufwand verursachen, dass dies bei der Artenwahl eine wichtige Rolle spielt. Ein anderer wichtiger Aspekt ist die Empfindlichkeit der Bäume selbst für die Luftverschmutzung. Darin bestehen große Unterschiede, je nach Art der Luftverschmutzung.

Eine wichtige Vorraussetzung für die Effektivität von Bäumen in der Stadt ist, dass der Standort für die gewählten Baumarten geeignet ist, und dass der verfügbare Platz (ober- und unterirdisch) auch über einen längeren Zeitraum ausreichend ist für eine gesunde Entwicklung der Bäume. Die endgültige Ausgestaltung eines Grünplans ist deshalb immer Maßarbeit, wofür spezialisiertes Fachwissen benötigt wird über Bäume, ihre Wachstumseigenschaften und ihre Ansprüche an den Standort. Entsprechende Kenntnisse und Erfahrungen hierzu werden unter anderem in der Arbeitsgruppe Stadtbäume der Ständigen Konferenz der Gartenamtsleiter beim Deutschen Städtetag (GALK) aufgebaut[15].
Die regelmäßig aktualisierte „Straßenbaumliste“ enthält konkrete Empfehlungen für bewährte Arten und Sorten von Bäumen. Zahlreiche Regelwerke und Empfehlungen zur fachgerechten Baumpflanzung und Baumpflege werden von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, FLL (www.fll.de) herausgegeben. Seit einigen Jahren sind in vielen Ländern weitergehende Untersuchungen und Forschungsprojekte in Arbeit. Im Fokus stehen Kenntnisse über die Stadtklimatologie und den Effekt von Bäumen und Grünstrukturen auf Luftströme. Ein Beispiel eines hierauf basierten Systems ist das “Integraal Technisch Groen” Entwurfsystem oder das ES-System (www.es-consulting.nl).

[15] vgl. Hierzu www.galk.de, dort “Arbeitskreis Stadtbäume”, dort u.a. Straßenbaumlisten mit Erfahrungswerten aus zahlreichen Städten und Informationen über Schadorganismen an Stadtbäumen. In den Niederlanden laufen Untersuchungen zum Gebrauchswert von Straßenbäumen in dem Projekt “Gebruikswaarde Oderzoek Laanbomen”. www.straatbomen.nl

Um die Auswirkungen verschiedener Pflanzungsarten und -konstellationen auf das Mikroklima und die Schadstoffausbreitung zu analysieren bietet sich die computergestützte Simulation an. Das in Deutschland entwickelte Mikroklimamodell ENVI-met ist im Internet unter www.envi-met.com frei verfügbar.

5.2 In der Stadt

Alle Bäume (und andere Vegetation) entfernen Schmutzstoffe aus der Luft und sind wirksam für die lokale und regionale Verbesserung der Luftqualität. Regionaler Schutz richtet sich vor allem darauf, in großem Umfang Verunreinigungen zur Verbesserung der allgemeinen Luftqualität aus der Luft zu filtern. Dies nennen wir den "Massenfilter". Auf städtischem Niveau können die folgenden allgemeinen Empfehlungen dazu beitragen, die effektive grüne Oberfläche in Stand zu halten und zu vergrößern.

Tab. 5
Empfehlungen für den wirksamen Einsatz von Grün in der Stadt

	Erhöhen Sie die Anzahl Bäume, um die Filterkapazität zu vergrößern.
	Gesunde, gut wachsende Bäume haben den größten Effekt; sorgen Sie darum für gute Wachstumsbedingungen.
	Sorgen Sie dafür, dass Bäume erwachsen werden können.
	Nutzen Sie Bäume, die an die städtische Umgebung angepasst sind und die wenig Pflege benötigen.
	Sorgen Sie für genügend Vielfalt, um möglichst viele Schadstoffe effizient heraus zu filtern.
	Pflanzen Sie auch Nadelbäume (vorzugsweise immergrüne) für eine effektive Aufnahme von Feinstaub während des ganzen Jahres
	Verwenden Sie für die Aufnahme von Feinstaub möglichst Laubbäume mit rauen und behaarten Blättern.
	Pflanzen Sie Laubbäume mit flachen, breiten Blättern für die effektive Aufnahme von Stickoxid und Ozon.
	Vermeiden Sie Arten, die empfindlich auf Luftverschmutzung reagieren.

5.3 In der Nähe einer Emissionsquelle

In der Nähe einer Emissionsquelle, z.B. einer verkehrsreichen Straße, kann Grün helfen, die Schadstoffkonzentration an Ort und Stelle zu senken (lokale Schutzwirkung). Zu beachten ist, dass die zu erwartende Absenkung der Konzentration nur lokal ist und überwiegend an der Leeseite der Bepflanzung auftritt. Die Schutzwirkung kann verstärkt werden, wenn in einigem Abstand eine zweite Baumreihe angepflanzt wird.

Tab. 6
Empfehlungen für Pflanzungen in der Nähe einer Emissionsquelle

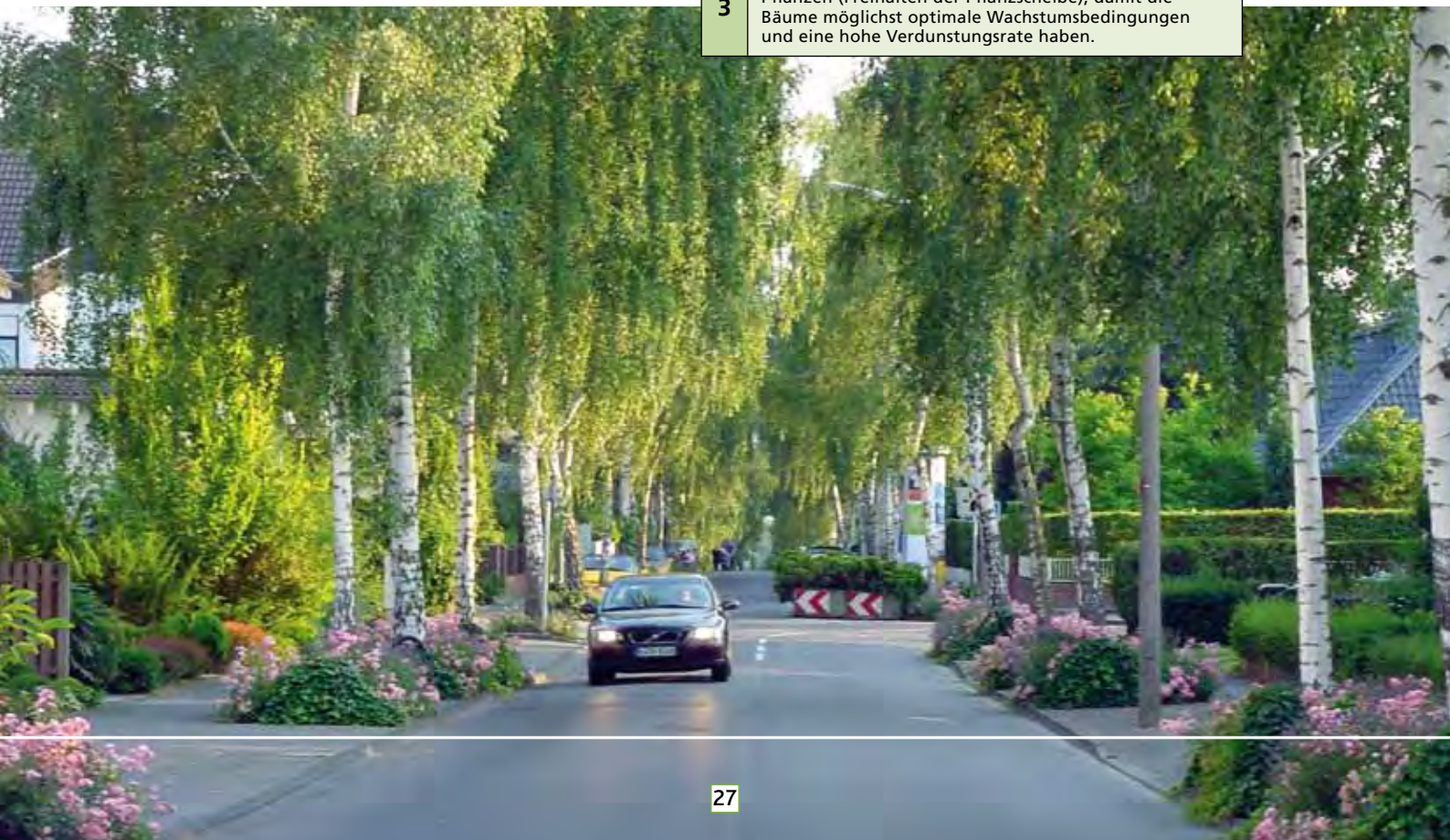
1	Sorgen Sie dafür, dass die Baumkrone verschmutzte Luft durchlassen kann (> 50 Prozent Porosität), sei es durch die richtige Artenwahl oder durch gezielte Pflege.
2	Verhindern Sie, dass Bäume den Luftstrom in der Nähe der Quelle zu sehr behindern (sogenannter 'grüner Tunneleffekt').
3	Kombinieren Sie aufgeastete Bäume mit einer Unterbepflanzung von krautigen Pflanzen und Sträuchern, um auf verschiedenen Höhen effektive Blattmasse zu haben.
4	Stark verzweigte Bäume beeinflussen die Luftzirkulation und damit auch die Schadstoffkonzentration, auch wenn kein Laub mehr am Baum ist.
5	Pflanzen Sie, wenn möglich, Bäume in Reihen, die senkrecht zur Strömungsrichtung der belasteten Luft stehen und wiederholen Sie diese Reihen in der Umgebung.
6	Sorgen Sie für eine unbehinderte seitliche Umströmung der Bepflanzung.
7	Setzen Sie Bäume nicht nur in der Nähe der Emissionsquelle ein, sondern auch bei empfindlichen Objekten wie Schulen, Krankenhäusern und Altersheimen.

5.4 Einfluss auf das Lokalklima

Bäume beeinflussen das lokale Klima. Bei Bäumen ist vor allem der Beschattungseffekt nützlich, aber auch die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit aufgrund der Verdunstung durch die Blätter.

Tab. 7 Beschattung

1	Pflanzen Sie großkronige Bäume, um versiegelte Flächen und parkende Autos zu beschatten und so ein zusätzliches Aufheizen der Stadtluft zu vermeiden.
2	Nutzen Sie alternative Grünstrukturen wie Fassadengrün, Pergolen und Dachgrün, wenn für Bäume kein Platz ist, oder wenn die Luftzirkulation zu sehr eingeschränkt ist.
3	Sorgen Sie für ausreichenden Wurzelraum der Pflanzen (Freihalten der Pflanzscheibe), damit die Bäume möglichst optimale Wachstumsbedingungen und eine hohe Verdunstungsrate haben.



6 Effektivität von Bäumen und Pflan

Um die Luftqualität strukturell zu verbessern sind qualitativ gute Grünstrukturen nötig. Alle Pflanzen tragen zu einer Verbesserung der Luftqualität bei. Die eine Pflanzenart ist dafür jedoch besser geeignet als die andere, und die Effektivität der Pflanzenarten ist bei verschiedenen Luftschadstoffen unterschiedlich. Die Filterung von gasförmigen Luftschadstoffen und Feinstaub wird hauptsächlich durch die Blätter bewirkt. Unterschiede in der Blattanatomie und in der Blattmenge bestimmen in großem Maße die Unterschiede der Effektivität einzelner Pflanzenarten. Über die exakte Luftreinigungskapazität verschiedener Baum- und Straucharten fehlt jedoch noch viel Information.
In Tab. 8 (S. 30 f.) wird deshalb eine Schätzung der Effektivität gegeben, die auf den Eigenschaften der Blätter basiert[16]. Es geht dabei um relative Unterschiede in der Effektivität zwischen den Arten. Weil manche Pflanzen durch den Ausstoß von flüchtigen organischen Verbindungen die Ozonbildung stimulieren können, ist in der letzten Spalte die darüber bekannte Information zusammengefasst. Neben dieser Liste sollten auch weitere Empfehlungslisten berücksichtigt werden, so z.B. die Straßenbaumliste der GALK.

6.1 Feinstaub (PM_{10})

In Bezug auf Feinstaub wurde die Effektivität verschiedener Pflanzenarten auf Basis folgender Grundsätze geschätzt:

1. Nadelbäume sind effektiver im Filtern von Feinstaub als Laubbäume.
2. Innerhalb der Kategorie Laubbäume sind Bäume mit rauen und behaarten Blättern effektiver als solche mit glatten und flachen Blättern.
3. Immergrüne Arten entfernen mehr Feinstaub als sommergrüne Arten.
4. Arten mit einer großen Blattoberfläche fangen mehr Feinstaub ab als Arten mit einer kleinen Blattoberfläche. In diesem Sinn sind Bäume also effektiver als Sträucher.

Die Wertung der Effektivität ist in der Tab. 8 wiedergegeben in einer Skala von 1 (am wenigsten effektiv) bis 3 (am effektivsten).

6.2 Stickoxide

In Bezug auf Stickoxide wurde die Effektivität verschiedener Pflanzenarten auf Basis folgender Grundsätze geschätzt:

1. Laubbäume sind effektiver in der Absorption von Stickoxiden als Nadelbäume.
2. Innerhalb der Kategorie Laubbäume sind Bäume mit glatten und flachen Blättern effektiver als solche mit rauen und behaarten Blättern.
3. Arten mit einer großen Blattoberfläche absorbieren mehr Stickoxide als Arten mit einer kleinen Blattoberfläche. In diesem Sinn sind Bäume also effektiver als Sträucher.

Die Wertung der Effektivität ist in der Tabelle wiedergegeben in einer Skala von 1 (am wenigsten effektiv) bis 3 (am effektivsten).

Stickoxide können schädlich sein für Pflanzen. Wenn Bäume und Sträucher angepflanzt werden, um die Stickoxidkonzentrationen zu senken, muss die Empfindlichkeit für diesen Schadstoff berücksichtigt werden. Auch diese Empfindlichkeit variiert zwischen den Arten. Arten, von denen auf Grund japanischer Untersuchungen (Takahashi et al., 2005) bekannt ist, dass sie in einer Umgebung hoher Konzentration von Stickoxiden angepflanzt werden können, sind mit einem (+) angegeben.

[16] Quelle: Dr. Ir.J.A. Hiemstra, Ir. E. Schoenmaker-van der Bijl, Drs. A.E.G. Tonneijck (2007)

zen für die Verbesserung der Luftqualität

6.3 Ozon

Der Effekt von Bäumen auf die Konzentration von Ozon ist sehr komplex. Ozon wird gebildet aus Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen bei höheren Temperaturen und unter Einfluss von Sonnenlicht. Baumarten können darum auf vielerlei Arten die Ozonkonzentration beeinflussen:

1. Als Folge der Beschattung und Wasserverdunstung durch das Laub senken Pflanzen die Lufttemperatur und reduzieren damit die Ozonbildung im Vergleich zu einer Situation ohne Pflanzen.
2. Bäume und Sträucher absorbieren Stickoxide (Spalte 3 in Tab. 8) mehr oder weniger stark. Je mehr Stickoxide aufgenommen werden, desto weniger Ozon kann gebildet werden.
3. Bäume und Sträucher absorbieren selbst Ozon mehr oder weniger stark.
4. Bäume emittieren selbst flüchtige organische Stoffe in unterschiedlichen Mengen (Spalte 5 in Tab. 8). Diese organischen Stoffe tragen zur Bildung von Ozon bei. Je mehr von dieser Art Verbindungen emittiert werden, desto mehr kann die Ozonproduktion stimuliert werden.

In Spalte 4 wird die Effektivität von Bäumen und Sträuchern, um Ozon zu absorbieren, geschätzt. Hinsichtlich Effektivität läuft die Absorption von Ozon parallel mit der von Stickoxiden, weil die Aufnahmeprozesse vergleichbar sind. Die Wertung der Effektivität wird dann auch wiedergegeben in einer Skala von 1 (am wenigsten effektiv) bis 3 (am effektivsten). In Klammern ist auf Basis einer englischen Untersuchung (Donovan et al., 2005) angegeben, welche Arten die Ozonkonzentration in der Stadt effektiv senken (+) oder erhöhen (-) können.

Arten, die relativ viel flüchtige organische Stoffe emittieren (Spalte 5 von Tab. 8) können einen Anstieg des Ozonniveaus verursachen. Obwohl diese Arten auch Ozon absorbieren, ist der Nettoeffekt negativ. Wenn eine Senkung der Ozonkonzentrationen gewünscht wird, sollte man eine Anpflanzung dieser Arten im großen Umfang vermeiden.

Tab. 8 Schätzung der Effektivität der wichtigsten Pflanzenarten um die Konzentrationen von Feinstaub, Stickoxiden und Ozon in der Luft zu senken[17]

BÄUME UND STRÄUCHER	FEINSTAUB PM10	STICKOXIDE $NO+NO_2$			OZON O_3		EMISSION VON FLÜCHTIGEN ORGANISCHEN STOFFEN ③ ④
STRÄUCHER							
Amelanchier lamarckii	■	■			■		●
Berberis xfrikartii *	■■	■■			■■		■■
Chaenomeles	■	■■			■■		
Corylus colurna	■■	■■			■■	+	●
Euonymus (sommergrün)	■	■■■	+	❶	■■■		●
Euonymus (immergrün)	■■	■■■	+	❶	■■■		●
Hedera	■■	■			■		●
Ilex x meserveae	■■	■■			■■	+	●
Lonicera (sommergrün)	■	■			■		●
Lonicera (immergrün)	■■	■					
Mahonia	■■	■■			■■		■■■
Potentilla fruticosa	■■	■■			■■		■
Rosa	■■	■■			■■		■
Spiraea	■	■■			■■		■
KLETTERPFLANZEN							
Clematis	■	■			■		●
Fallopia	■	■■■			■■■		●
Hedera	■■■	■			■		●
Lonicera	■	■■			■■		●
Parthenocissus	■	■■			■■		●
Pyracantha	■■	■■■			■■■		●
Rosa	■■	■■			■■		■
Wisteria	■	■■			■■		●
NADELBÄUME							
Ginkgo biloba *	■	■■■			■■■		■
Metasequoia glyptostroboides	■■■	■			■		■
Pinus nigra	■■■	■			■	+	■
Pinus sylvestris *	■■■	■			■		■
Taxus	■■■	■			■		■
HECKEN							
Carpinus betulus	■■	■■■			■■■		■
Fagus	■■	■■■			■■■		●
Ligustrum	■■	■■■			■■■		●

SPALTE PFLANZENARTEN

* genannte Eigenschaften gelten auch für die Cultivare der aufgeführten Arten.

SPALTE FEINSTAUB (ABFANGEN), STICKOXIDE (ABSORPTION) UND OZON (ABSORPTION)

■ : am wenigsten effektiv ■■■ : am effektivsten

SPALTE STICKOXIDE

\+ Sorten, die viele Stickoxide absorbieren und dafür nicht empfindlich sind (auf der Basis von Japanischen Untersuchungen)

SPALTE OZON

\+ Sorten, die die Ozonkonzentration in der Stadt effektiv senken (auf der Basis von englischen Untersuchungen)

– Sorten, die die Ozonkonzentration in der Stadt erhöhen (auf der Basis von englischen Untersuchungen)

BÄUME UND STRÄUCHER	FEINSTAUB PM10	STICKOXIDE $NO+NO_2$		OZON O_3		EMISSION VON FLÜCHTIGEN ORGANISCHEN STOFFEN ③④
LAUBBÄUME						
Acer platanoides *	■	■■■		■■■	+ ❷	•
Acer pseudoplatanus *	■	■■■		■■■	+	•
Aesculus	■■	■■■		■■■		•
Ailanthus altissima	■	■■■		■■■		■
Alnus cordata	■	■■■		■■■	+	•
Alnus glutinosa *	■	■■■		■■■	+	•
Alnus x spaethii	■■	■■■		■■■	+	•
Betula ermanii *	■■	■■■		■■■	+	■
Betula nigra	■■	■■■		■■■	+	■
Betula pendula	■■	■■■		■■■	+	■
Betula utilis *	■■	■■■		■■■	+	■
Carpinus betulus *	■■	■■■		■■■		■
Crataegus x persimilis *	■	■■■		■■■	+	•
Fagus sylvatica *	■■	■■■		■■■		•
Fraxinus angustifolia *	■	■■■		■■■		•
Fraxinus excelsior *	■	■■■		■■■	+	•
Fraxinus ornus *	■	■■■		■■■		•
Fraxinus pennsylvanica	■■	■■■		■■■		•
Gleditsia triacanthos *	■■	■■■		■■■		•
Koelreuteria paniculata	■	■■		■■		■■■
Liquidambar styraciflua	■■	■■■		■■■		■■■
Liriodendron tulipifera	■	■■■		■■■		•
Magnolia kobus	■	■■	+	■■		■
Malus *	■■	■■■		■■■	+	•
Parrotia persica	■■	■		■		
Platanus x hispanica *	■■	■■■		■■■		■■■
Populus *	■■	■■■	+	■■■	−	■■■
Prunus *	■■	■■■	+	■■■	+	•
Pyrus calleryana *	■	■■■		■■■		•
Quercus palustris	■■	■■■	+	■■■	−	■■■
Quercus robur *	■	■■■	+	■■■	−	■■■
Salix alba *	■■	■■■	+	■■■	−	■■■
Sophora japonica	■■	■■■		■■■		•
Sorbus	■■	■■■		■■■	+	■
Tilia cordata *	■■	■■■		■■■		■
Tilia europaea *	■	■■■		■■■	+	■
Ulmus *	■■	■■■		■■■	+	■

SPALTE EMISSION VON FLÜCHTIGEN ORGANISCHEN STOFFEN

■ : geringe Emission ■■■ : hohe Emission

• die Emission von flüchtigen organischen Stoffen ist bei diesen Sorten nicht messbar.

❶ *Takahashi und andere, 2005*
❷ *Donovan und andere, 2005*
❸ *Stewart und Hewitt, 2002*
❹ *Nowak und andere, 2002*

[17] Quelle. Dr. Ir.J.A. Hiemstra, Ir. E. Schoenmaker-van der Bijl, Drs. A.E.G. Tonneijck (2007)

7 Die grüne und schöne Stadt

Tilia x europaea

erfordert integrale Planung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde erörtert, dass Grün verwendet werden kann, um die Luftqualität im städtischen Bereich zu verbessern. Grün in einem Stadtviertel ist also nicht nur schön, sondern auch funktionell wirksam. Daneben hat es auch ökonomische Wirkungen: Grün in der näheren Umgebung steigert den Marktwert von Immobilien und hat einen positiven Einfluss auf die Lebensqualität, die Sicherheit und auf das Wohlbefinden der Bürger. Immobiliengesellschaften und Investoren werben für Wohn- und Gewerbeparks mit Hinweis auf die Nähe zu Grünanlagen. Mehr und mehr erkennen auch Kommunen den Wert von Grünflächen für den Tourismus und die lokale Wirtschaft – Städte positionieren sich auf ihren Websites und in Broschüren als „Grüne Stadt".

Um all diese Funktionen dauerhaft erfüllen zu können, sind qualitativ gute Grünstrukturen nötig, die schon in der frühen Planungsphase auch funktionell bewertet werden müssen. Dieser Gedanke bildet den Kern des Konzepts der Grünen Stadt. Der Ausgangspunkt der Grünen Stadt ist, dass eine grüne Infrastruktur für Städte, insbesondere für Wohnviertel, von Anfang an bei der Neuanlage oder Neustrukturierung einen Mehrwert darstellt. Dies bedeutet, dass Grün technisch und finanziell ein integraler Bestandteil des Projektplans ist. Schon zu Beginn der Planentwicklung ist das Grün ebenso wichtig wie die so genannten roten (Gebäude), grauen (Wege/Plätze) und blauen Funktionen (Wasser). Bei der Übergabe des Wohnviertels – zum Erstbezug - ist das Grün dann sinnvoller Weise nicht nur vorhanden, sondern das gewünschte "Grünbild" ist bereits sichtbar. Die Grünpflege ist garantiert.

Bei der Artenwahl wird von dem Prinzip "der richtige Baum am richtigen Ort" ausgegangen, wobei es sinnvoll ist, von den auf diesem Gebiet vorhandenen Kenntnissen Gebrauch zu machen. Mit dem Ziel einer Verbesserung der Luftqualität in unseren Städten ist eine gute Artenwahl sehr zu empfehlen. Wahlmöglichkeiten gibt es genug. Mit der richtigen Mischung von Pflanzenarten und Grünstrukturen kann ein wesentlicher Beitrag zur Minderung der Schadstoffbelastung und damit zur Verbesserung der Gesundheit und Lebensqualität geleistet werden. Ganz nebenbei führt die abwechslungsreiche Bepflanzung im Rahmen einer solchen integrierten Vorgehensweise zur Erhaltung bzw. zum Aufbau einer großen Artenvielfalt. In Kapitel 6 dieser Broschüre wird für die wichtigsten Arten im gängigen Sortiment angegeben, was sie zur Verbesserung der Luftqualität beitragen können. Damit ist dieses Kapitel ein praktischer Wegweiser für die richtige Wahl der Bepflanzung. Unsere Städte werden dadurch vielfältiger und grüner und auch noch schöner!

Zusammenfassung

Die Luftqualität in unseren Städten steht seit geraumer Zeit in der öffentlichen Diskussion. Diese Broschüre erörtert die Möglichkeiten, unsere Städte grüner und zugleich sauberer zu machen. Bäume und andere Formen von Grün im städtischen Bereich bewirken durch Filterleistung und Veränderung der Luftströmung auch eine Verringerung der Schadstoffbelastung der Luft. Die Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen zu den Leistungen einzelner Pflanzenarten und verschiedener Pflanzsysteme[18] sind sehr unterschiedlich und zumindest für $PM_{2,5}$ geringer als vermutet, aber sicher ist, dass Pflanzen als Feinstaubfilter wirken. Die Angaben für Straßenbaumbepflanzungen liegen zwischen 1-20 Prozent Filterungsleistung für Feinstäube PM_{10}. Nach heutigem Stand des Wissens lassen sich mit standortangepassten Bepflanzungskonzepten durchaus relevanteFeinstaubmengen aus der Luft abscheiden. Neben diesen funktionalen Aspekten wirkt Grün in der Stadt positiv auf die Lebensqualität und das Wohlbefinden der Bürger, auf Tourismus und lokale Wirtschaft.

Die schlechte Luftqualität in den Städten wird unter anderem durch das hohe Verkehrsaufkommen verursacht[19]. Die Konzentrationen von Feinstäuben und Stickoxiden überschreiten an verkehrsreichen Stellen, den so genannten „hot spots“, die Luftqualitätsnormen. Auch die Ozonkonzentrationen sind häufig zu hoch. Dieser Luftschadstoff wird unter Einfluss von Sonnenlicht aus Stickoxiden und anderen Stoffen, die hauptsächlich in Autoabgasen vorkommen, gebildet.

Pflanzen und Pflanzenbestände haben stadtklimatologische und lufthygienische Auswirkungen. Vor allem Gehölz- und Baumbestände können Verunreinigungen aus der Luft filtern und so die Konzentration verschiedener Schadstoffe senken. Gasförmige Verunreinigungen wie Stickoxide und Ozon werden z.T. effizient über die Spaltöffnungen aufgenommen. In Bezug auf staubförmige Verunreinigungen lohnt es, die Filtereigenschaften der Blattoberflächen und die Wirkungen ganzer Pflanzenbestände differenziert zu betrachten. Je nach Beschaffenheit der Blattoberfläche werden Stäube im Verlauf der Vegetationsperiode entweder angereichert (z.B. Wilder Wein) oder aber sie werden immer wieder vom Regen abgewaschen (z.B. Platanen). Neben diesen positiven Filterwirkungen können Pflanzenbestände zu gewollten oder ungewollten Schadstoffanreicherungen führen und bedingen so hohe Aufmerksamkeit bei Planung, Anlage und Pflege.[20]

Bäume und Hecken werden seit jeher als Windschutzmaßnahme angepflanzt. Die so erreichte Verringerung der Windgeschwindigkeit und die Veränderungen des Windfeldes können zu einer Verbesserung der Luftqualität im windabgewandten Bereich des Pflanzenbestandes führen. Straßenbegleitende Heckenstrukturen können somit sinnvolle Immissionsschutzmaßnahmen darstellen. Andererseits können eng stehende, dichtkronige Alleen in Stadtstraßen auch zu einer Schadstoffanreicherung führen, da sie den belasteten Straßenraum durch einen „Tunneleffekt“ von der Frischluftzufuhr abschneiden. Hier können alternative Grünstrukturen wie Dach- und Fassadenbegrünung oder auch niedrige Hecken zwischen Fahrbahn und Bürgersteig wirksame Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität darstellen. Jede Situation verlangt somit ihre eigene kreative Lösung.

Die grüne und saubere Stadt erfordert eine integrale Planung. Der Auswahl der Pflanzen kommt eine besondere Bedeutung zu, wenn es darum geht, die Luftqualität strukturell zu verbessern. Bei der Artenwahl wird von dem Prinzip “das richtige Grün am richtigen Ort” ausgegangen. Stadtluft enthält eine Vielzahl unterschiedlicher Schadstoffe. Mit der richtigen Auswahl von Pflanzenarten einerseits und deren Anordnung bzw. Zusammenstellung und kontinuierlicher Pflege andererseits kann die Luftqualität und das innerstädtische Klima deutlich verbessert werden. Ein zusätzlicher Nutzen bei einer integrierten Städteplanung ist die Erhaltung bzw. Entwicklung einer großen Artenvielfalt im direkten Lebensumfeld der Menschen. Unsere Städte werden dadurch vielfältiger, grüner und schöner.

[18] Z.B. Alleen, Hecken, größere bepflanzte Freiflächen, Fassaden- und Dachbegrünung, Hügelbepflanzungen etc.

[19] Der Anteil an den weltweiten Treibhausgasemissionen, der durch den Verkehr verursacht wird, liegt inzwischen bei mehr als einem Fünftel und hat sich seit Beginn der Industrialisierungt nahezu verdoppelt.

[20] Pflanzungen können z.B. infolge des sogenannten “Tunneleffektes” zu einer Erhöhung der Schadstoffkonzentration im bodennahen Bereich führen. Durch Veränderungen des Windfeldes können Depositionsflächen geschaffen werden, die zu lokal höhere Schadstoffbelastungen zur Folge haben – um an anderer Stelle die Luftqualität zu verbessern. Außerdem geben Pflanzen, vor allem in der Vegetationsperiode, organische Verbingen ab, die aufgrund ihrer geringen Teilchengröße als Feinstäube gemessen werden: Pollen, Sporen, Abrieb von Pflanzenteilen, Wachse, Terpene, Isoprene u.a..

WEITERE INFORMATIONEN UND ANSPRECHPARTNER FINDEN SIE IM INTERNET:

Forum DIE GRÜNE STADT
www.die-gruene-stadt.de

De Groene Stad (NL)
www.degroenestad.nl

The Green City (UK)
www.thegreencity.co.uk

Ständige Konferenz der Gartenamtsleiter (GALK)
www.galk.de/stadtbaeume

Regionalverband Ruhrgebiet (RVR)
www.rvr-online.de

Bund deutscher Baumschulen (BdB) e.V.
www.bund-deutscher-baumschulen.de

Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e.V. (BGL)
www.galabau.de

Simulationsprogramm Grün und Mikroklima:
www.envi-met.com

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL)
www.fll.de

Plant Publicity Holland
www.pph.nl

The Green Roof Centre, Sheffield
www.thegreenroofcentre.co.uk

Trees for Cities
www.treesforcities.org

Untersuchungen zum Gebrauchswert von Straßenbäumen
www.straatbomen.nl

Benefits of Urban Green Space
www.vito.be/bugs

Literaturliste

Bruse, M., 2007. Particle filtering capacity of urban vegetation: A microscale numerical approach., in Endlicher et al.: Tagungsband zum Workshop über den wiss. Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential [..] von Pflanzen, Berlin 1. Juni 2007 (=Berliner Geographische Arbeiten 109), p. 61-70

Bruse. M., 2003: Stadtgrün und Stadtklima – Wie sich Grünflächen auf das Mikroklima in Städten auswirken. LÖBF-Mitteilungen, 1/2003, 66-70, 5p

Donovan, R.G., Stewart, H.E., Owen, S.M., Mackenzie, A.R., Hewitt, C.N., 2005. Development and application of an urban tree air quality score for photochemical pollution episodes using the Birmingham, United Kingdom, area as a case study. Environmental Science and Technology 39, 6730-6738.

Dunnett, N., Kingsbury, N., 2004. Planting green roofs and living walls. Timber Press, Portland, Oregon, VS.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) e.V.:
- Empfehlungen für Baumpflanzungen Teil 1/Teil 2 (2005)
- Gütebestimmungen für Baumschulpflanzen (2004)
- ZTV-Baumpflege (2006)
- Leitfaden für Gehölzpflanzungen (1999)

Houben, B., Jongbloed, F., Kroon, T., Prins, M., Terhürne, R., 2006. Bos als fijnstoffilter. Een literatuurstudie, Rapport van Geldersch Landschap en Geldersche Kasteelen, Arnhem.

Hoek, G., Brunekreef, B., Goldbohm, S., Fischer, P., Van den Brandt, P.A., 2002. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. The Lancet 360, 1203-1209.

Kappis, C., Gorbachevskaya, O., Valbuena, R., Schreiter, H., Endlicher, W., Langner, M. 2007. Studie zum wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Feinstaubfilterungspotential (qualitativ und quantitativ) von Pflanzen, Forschungsprojekt Nr. 06HS021 (gefördert durch das BMVEL), Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität Berlin (IASP)

Körner, Stefan, 2007. Feinstaubfilterungspotential von Pflanzen. Anmerkungen zu einem Workshop an der Humboldt Universität zu Berlin, In: Neue Landschaft 10/2007, S. 39 - 43

MNP, 2005. Milieubalans 2005. Milieu- en Natuurplanbureau , Bilthoven, Nederland.

Novem, 2003. Energetische stedenbouw In: NEO: Nieuw EnergieOnderzoek in Praktijk, 2NEO-03.03, Novem, pag. 17-22

Nowak, D.J., 1995. Trees pollute? A “TREE” explains it all, Proceedings of the 7th National Urban Forest Conference, American Forests, Washington, DC, p. 28-30

Nowak, D.J., Crane, D.E., Stevens, J.C., Ibarra, M., 2002. Brooklyn’s urban forest, Gen. Tech. Rep. NE-290. Newton Square, PA. U.S. Department of Agriculture, Forest service, Northeastern Research station, 107 p.

Oosterbaan, A., Tonneijck, A.E.G., de Vries, E.A., 2006. Kleine landschapselementen als invangers van fijn stof en ammoniak. Rapport Alterra 1419, Wageningen, Nederland.

Stewart, H., Hewitt, C.N., 2002. Lancaster University (www.es.lancs.ac.uk/people/cnh)

Takahashi, M., Higaki, A., Nohno, M., Kamada, M., Okamura, Y., Matsui, K., Kitani, S., Morikawa, H., 2005. Differential assimilation of nitrogen dioxide by 70 taxa of roadside trees at an urban pollution level, Chemosphere, 2005, vol. 61, 633-639

Thönnessen, M., 2006. Feinstaub und Vegetation. Die EU-Feinstaubverordnung als Impuls für mehr Grün in den Städten. TASPO-Magazin 6/3 p. 8-11

Thönnessen M., Hellack, B., 2005. Staubfilterung durch Gehölzblätter. Anreicherung und Vermeidung von Stäuben bei Wildem Wein und Platane. Stadt und Grün 54/12 p. 10-15

Wesseling, J.P., Duyzer, J., Tonneijck, A.E.G., van Dijk, C.J., 2004. Effecten van groenelementen op NO2 en PM10-concentraties in de buitenlucht, TNO-Raport R 2004/383, Sept. 2004.

DIE GRÜNE STADT

www.die-gruene-stadt.de