



TECHNISCHE HOCHSCHULE  
OSTWESTFALEN-LIPPE  
UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES  
AND ARTS

Bauwerksbegrünung als Maßnahme zur Gesundheitsförderung – Bindung von Luftschadstoffen durch wandgebundene Fassadenbegrünungen

**Kilian van Lier**

21. November 2019 | 11. BuGG – Fassadenbegrünungssymposium | Düsseldorf

# Vortragsgliederung

- **Vorstellung des Promotionsvorhabens**
- **Wodurch entstehen Luftbelastungen?**
- **Globale Luftbelastung**
- **Feinstaub und Stickstoffdioxid – Definition und Grenzwerte**
- **Wirkungen von Luftschadstoffen auf die Gesundheit**
- **Bindung von Partikeln durch Pflanzen**
- **Effektivität von Pflanzen zur Adsorption**
- **Moose als Feinstaubfilter**
- **Warum Fassadenbegrünungen?**
- **Modellsimulationen und Planungsszenarien**
- **Ziel der Forschung**
- **Fazit und Ausblick**

# Vorstellung des Promotionsvorhabens

# Vorstellung des Promotionsvorhabens

## **Promotionsbetreuung:**

### **Prof. Dr.-Ing. Jörg Dettmar**

Technische Universität Darmstadt  
Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung  
Fachbereich Architektur  
El-Lissitzky-Str. 1  
64287 Darmstadt

### **Prof. Dr.-Ing. Nicole Pfoser**

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen  
Fakultät Landschaftsarchitektur, Umwelt- und Stadtplanung  
Studiengang Landschaftsarchitektur, Fachgebiet  
Objektplanung  
Schelmenwasen 4-8  
72622 Nürtingen

# Vorstellung des Promotionsvorhabens – Problemstellung

- Im Jahr 2019 wird die Luftverschmutzung von der WHO als das größte Umweltrisiko für die Gesundheit angesehen.
- Wegen der Luftverschmutzung sterben laut WHO jährlich etwa 8 Millionen Menschen.
- 2050 werden ca. 68 % der Menschen in Städten leben.
- Insbesondere in den urbanen Räumen sind die Luftbelastungen zum Teil sehr hoch.

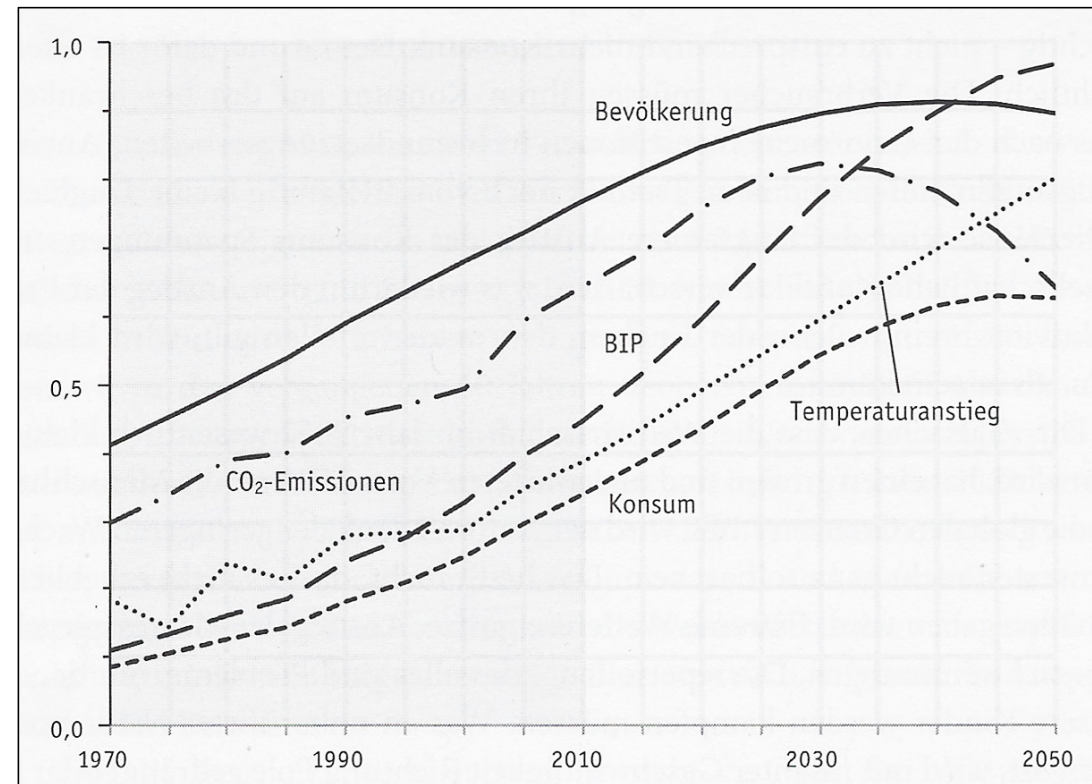


Abb. 1: Globale Entwicklungsprognosen.

# Vorstellung des Promotionsvorhabens – Lösungsansatz

- Um platzsparend viele positive Effekte auf das Stadtumfeld auszulösen, ist die Gebäudebegrünung ein gutes Mittel.
- Pflanzen können Luftschadstoffe binden, die Wirkung ist allerdings aufgrund verschiedener Messergebnisse umstritten.
- Bisherige Untersuchungen an Kletterpflanzen haben eine Abscheidung zwischen 4% und 35% ergeben.
- Viele Faktoren der Einflussnahme, die eine Messung beeinträchtigen.



Abb. 2: Wandgebundene Fassadenbegrünung der Firma Vertiko GmbH.

# 1 | Luftbelastungen

# Wodurch entstehen Luftbelastungen?

- Einteilung nach Entstehungsart, **natürlich** (Emissionen aus Vulkanen, Erosion, Waldfeuer, etc.) und **anthropogen** (Straßenverkehr oder Industrie).
- Einteilung nach **primär** und **sekundär** gebildeten Luftschadstoffen.
- Einteilung nach **gasförmig**, **flüssigen** oder **festen** Partikeleigenschaften.

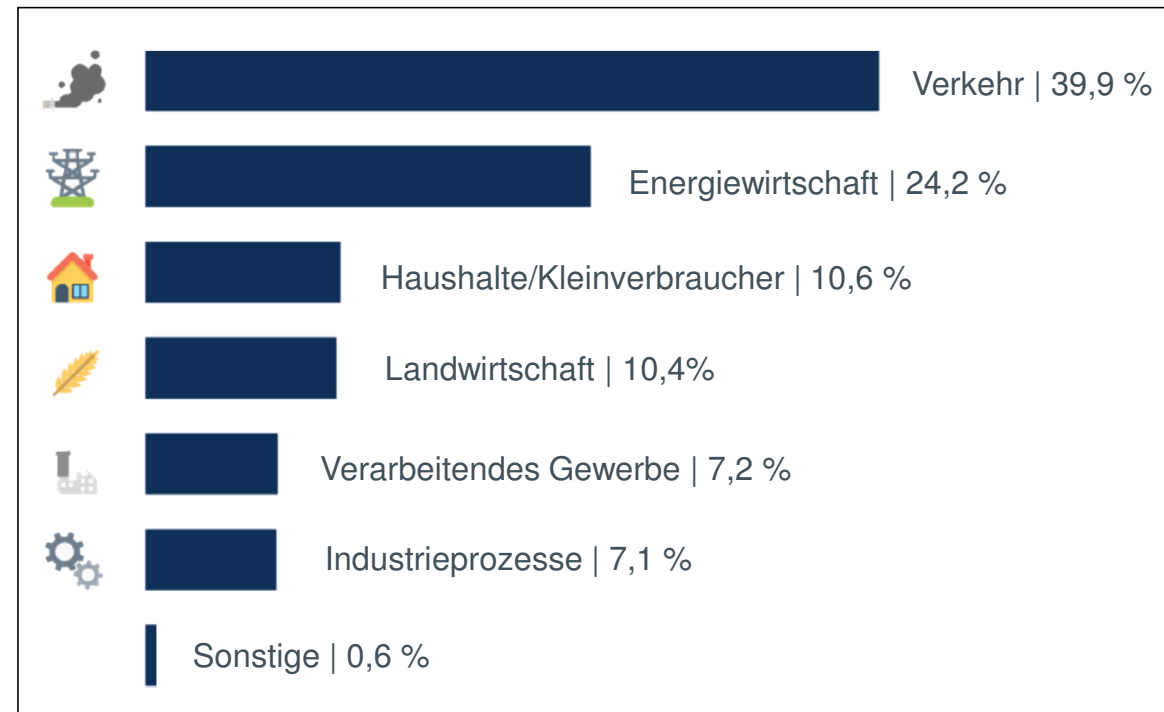


Abb. 3: Stickoxid-Emissionen nach Quelle in Deutschland im Jahr 2016.



# Globale Luftbelastung

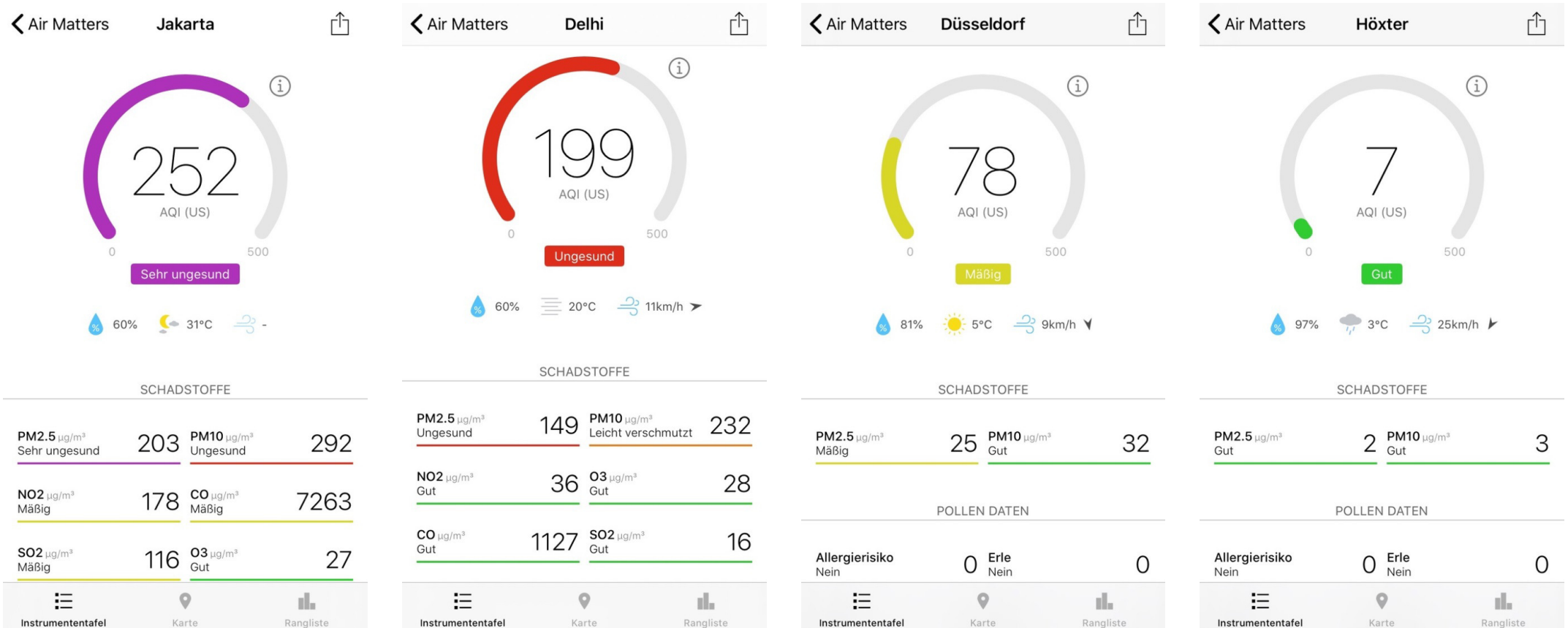


Abb. 4: Screenshots der App „Air Matters“ für ausgewählter Städte (19.11.19 – 20:00 Uhr).

# Feinstaub – Definition und Grenzwerte

Unterschieden werden nach der 39. BImSchV in:

- PM10 mit einem maximalen Durchmesser von 10  $\mu\text{m}$
- PM2.5 mit einem maximalen Durchmesser von 2,5  $\mu\text{m}$
- ultrafeine Partikel, die kleiner als 0,1  $\mu\text{m}$  sind.
  
- In den Innenstädten kann der Staubanteil bis zu 50 % aus Straßenverkehr entstammen.
- Klimatische Faktoren haben einen erheblichen Einfluss auf den Feinstaubgehalt.
- Grenzwert: 40  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  Luft im Jahresmittel  
Tagesmittelwert 50  $\mu\text{g} / \text{m}^3$  an max. 35 Tagen → Handlungsbedarf der Kommunen.

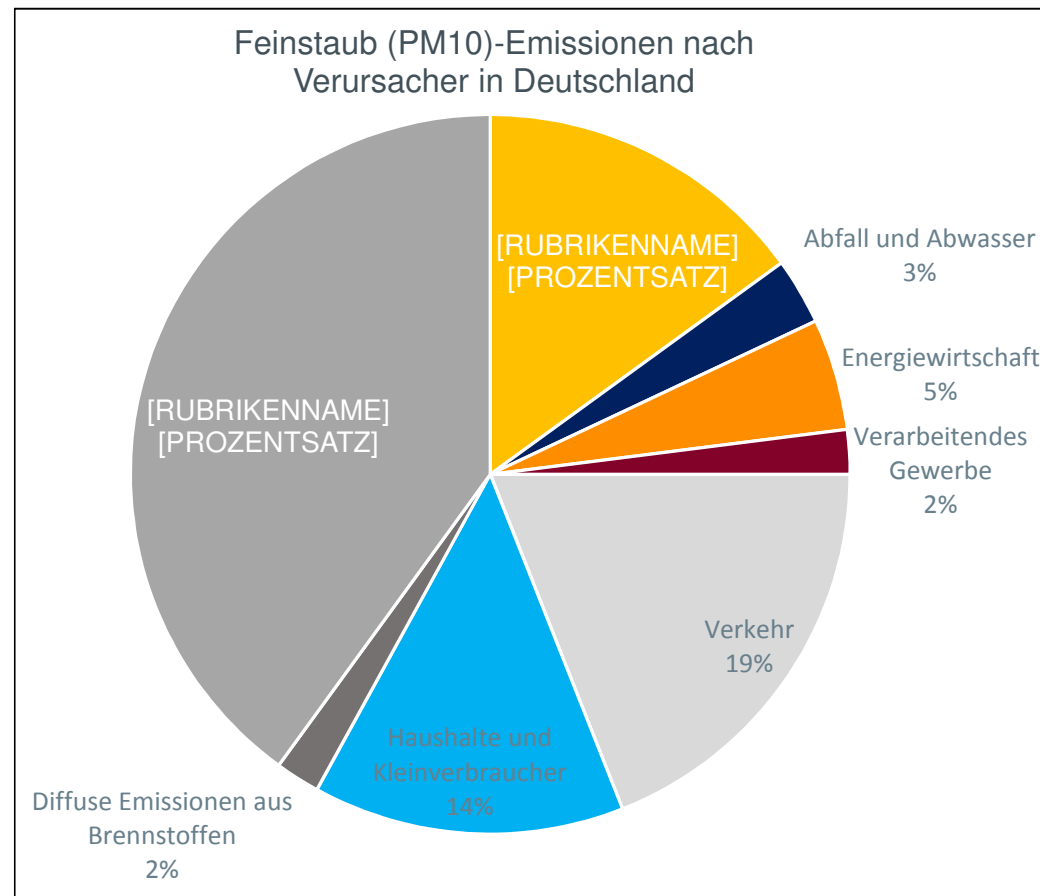


Abb. 5: Feinstaub (PM 10)–Emissionen nach Verursacher in Deutschland.

# Stickstoffoxid – Definition und Grenzwerte

- Stickstoffoxid = Sammelbegriff für verschiedene Gasförmige Verbindungen, u.a. NO und NO<sub>2</sub>.
- 67% der direkten Stickstoffdioxid-Emissionen durch den Verkehr entstammen Diesel-PKW's.
- An 27 % der Messstationen wurden 2015 eine Überschreitung festgestellt.
- Alle Überschreitungen traten an **verkehrsnahen Stationen** auf.
- Grenzwert NO<sub>2</sub>: 40 µg / m<sup>3</sup> Luft im Jahresmittel;  
Stundenmittelwert von 200 µg / m<sup>3</sup> an max. 18 Tagen
- Zum Schutz der Vegetation wird ein kritischer Wert von 30 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> als Jahresmittelwert verwendet; allerdings wurde gleichzeitig auch festgestellt, dass ausgewählte Pflanzen durch erhöhte NO-Konzentrationen ein verbessertes Wachstum aufweisen.

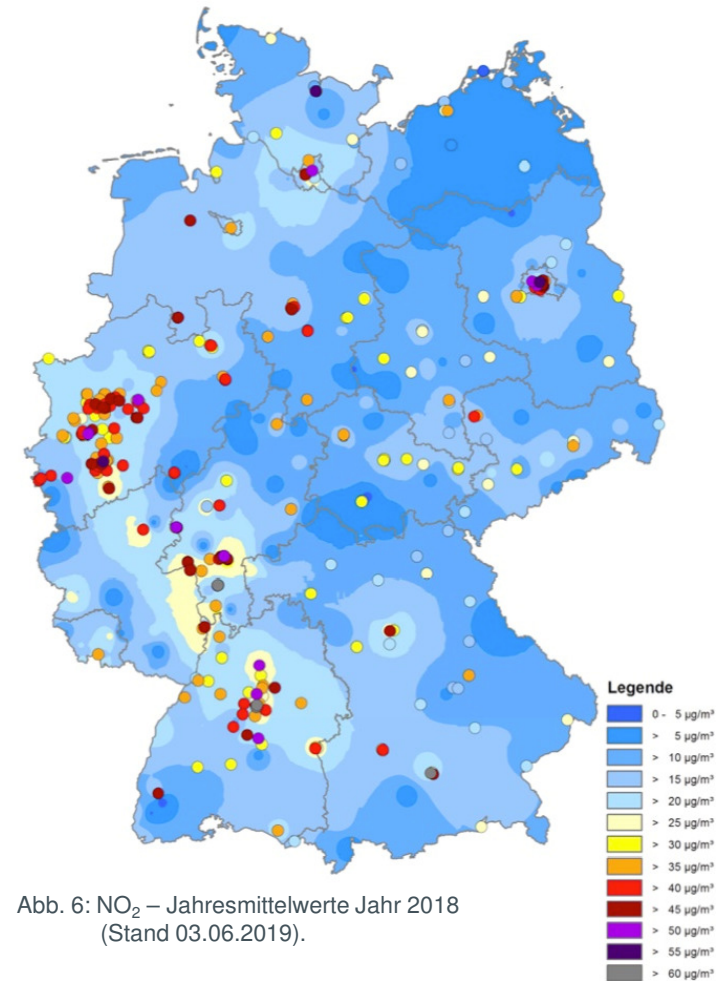


Abb. 6: NO<sub>2</sub> – Jahresmittelwerte Jahr 2018 (Stand 03.06.2019).

# Wirkung von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit

- Die negativen gesundheitlichen Wirkungen setzen nicht erst oberhalb bestehender Grenzwerte ein.
- Dabei gelten Partikel, die einen kleineren aerodynamischen Durchmesser als 2,5 Mikrometer besitzen als schädlicher für den Menschen, im Gegensatz zu größeren Partikeln.
- Insbesondere ultrafeine Partikel können über die Lungenbläschen bis in den Blutstrom gelangen.
- 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.

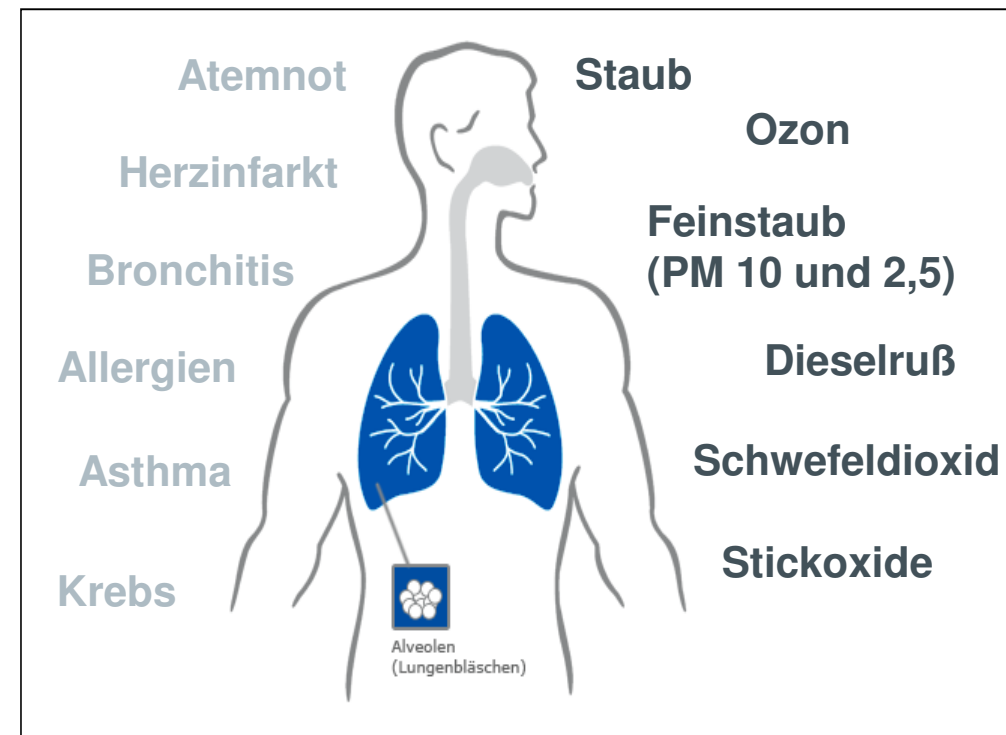


Abb. 7: Wirkung von Luftschadstoffen auf den menschlichen Organismus.

## 2 | Bindung von Luftschadstoffen durch Pflanzen

# Bindung von Partikeln durch Pflanzen

- Lückenhafte Ergebnisse im Bereich der Abscheidung auf Pflanzen.
- Die Filterwirksamkeit von Pflanzen setzt sich aus zwei Komponenten, der aktiven und passiven Filterwirkung zusammen:
  - Direkte Effekte: Abscheidung und Aufnahme von Luftschadstoffen.
  - Indirekte Effekte: Pflanzenbestände verändern die Luftströmung.
- Fassadenbegrünung haben eine vielfach größere Blattoberfläche im Verhältnis zu der vertikalen Pflanzfläche.
- Wesentliche Vorgänge zur Abscheidung von Partikeln auf Blättern sind (nach Langer, 2006):
  - Impaktion (Trägheitsabscheidung)
  - Sedimentation
  - Diffusion und elektrostatische Anziehung (spielen jedoch nur bei sehr viel kleineren Partikeln ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ) eine Rolle).

# Eigenschaften von Pflanzen zur Adsorption

Faktoren für eine gute Partikelbindung können sein:

- Blattunebenheiten
  - Blatthaare
  - Oberflächenstruktur Wachsschicht
  - Grad der Feuchtigkeit und „Klebrigkeit“
- Unterscheidung zwischen Feinstaub anreichernden Blattoberflächen (Staubakkumulierer) und Blattoberflächen mit mehr weniger ausgeprägten Selbstreinigungseigenschaften („Staubvermeider“ oder „Lotuseffekt“), nach Thönnessen (2002,2006).

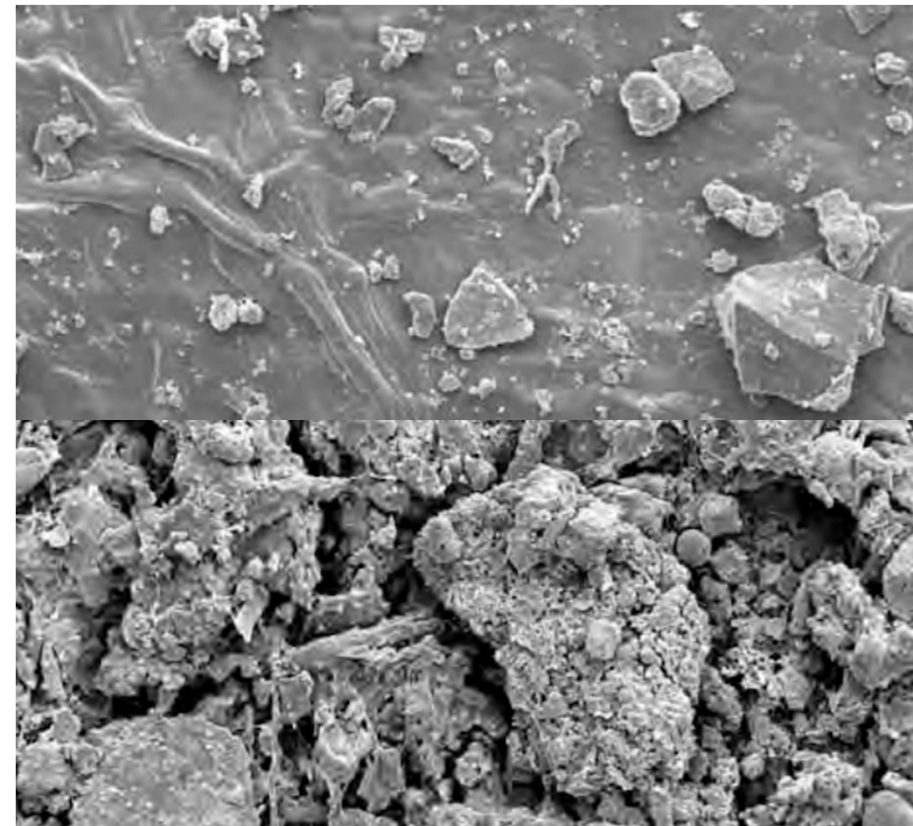


Abb. 8: Staubbelastung ungereinigter Blattoberseiten vom Wilden Wein im Juni (oben) und im Oktober (unten).

# Äußere Einflussfaktoren der Abscheidung

Für die Abscheidung von Feinstaub auf Pflanzen können folgende Faktoren genannt werden:

- Meteorologische Bedingungen (Wind, Niederschlag, Luftfeuchte, Temperatur)
- Eigenschaften des Staubs (Größe der Partikeln, chemische Zusammensetzung)
- Pflanzenart und -wuchs (Permeabilität, Porosität/ Dichte, Wuchshöhe, Blattgröße)
- Blattbeschaffenheit (Oberfläche, Rauigkeit, Steifigkeit)
- Anordnung der Pflanzen (Entfernung zur Quelle und anderen Objekten/Pflanzen)



# Effektivität von Pflanzen bei der Partikelbindung

- Generell können alle Pflanzen Staub und gasförmige Verunreinigungen aus der Luft abscheiden, wobei einige Pflanzen effektiver sind als andere.
- *V. rhytidophyllum* ca. 8-fach erhöhter Staubauftrag im Vergleich mit *C. vitalba*.
- Für den Größenbereich von Partikeln zwischen 10 und 20  $\mu\text{m}$  liegt die Wahrscheinlichkeit der Abscheidung zwischen 10 und 35 %, für Partikeln mit einer Größe zwischen 0,5 und 3,5  $\mu\text{m}$  nur in einem Bereich von 1 bis 5 % (Tiwary, 2005).
- Begrünte Dächer haben eine um 10 bis 20 Prozent stärkere Filterwirkung aufgewiesen als unbegrünte bzw. mit Schotter bedeckte Dächer. (Gorbachevskaya, 2013).



Abb. 9: Clematis vitalba – weitgehend unbehaartes Blatt.



Abb. 10: Viburnum rhytidophyllum – stark behaartes Blatt.

# Moose als Feinstaubfilter

- Moose können durch verschiedene Mechanismen Feinstaub binden.
- Ein Moospolster von einem Quadratmeter Größe hat Millionen kleinste Blättchen.
- Bis zu 30-fache Oberflächenvergrößerung im Vergleich zur Unterlage.
- Nährstoffe werden durch Kationenaustausch von den Moosen aufgenommen und in pflanzliche Biomasse umgewandelt (Frahm 2007).
- Moose sind wechselfeucht.
- Moosen werden viele Potenziale in Bezug auf die Feinstaubbindung zugesprochen (13-22 Gramm / m<sup>2</sup> / Tag (Frahm)); Ergebnisse sind allerdings umstritten.
- 



Abb. 7: Wirkung von Luftschadstoffen auf den menschlichen Organismus.

# Warum Fassadenbegrünungen?

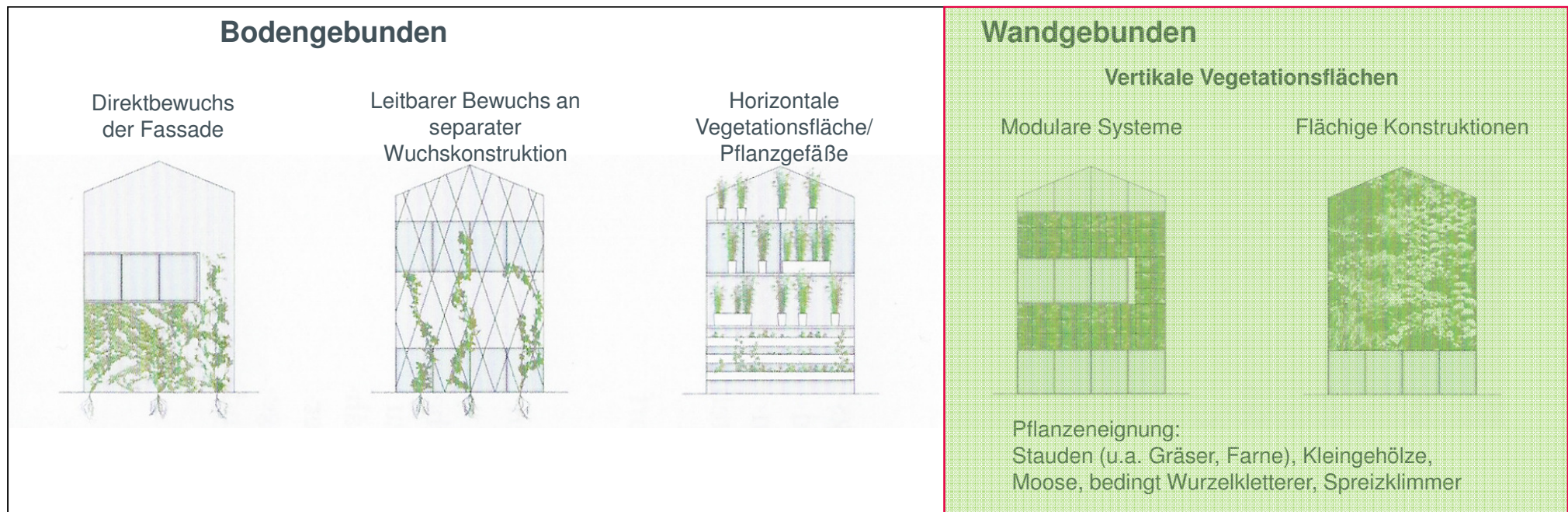


Abb. 11: Konstruktionsunterschiede Fassadenbegrünung.

**Bestandteil der Forschungen in diesem Promotionsvorhaben.**

- Systeme bieten viel Potential für die Bindung von Luftschadstoffen, da sie im innerstädtischen Bereich den größten Konzentrationen ausgesetzt sein können.
- Systeme können direkt in Höhe der Emissionen und im Gefährdungsbereich angebracht werden.

# Modellsimulation und Planungsszenarien

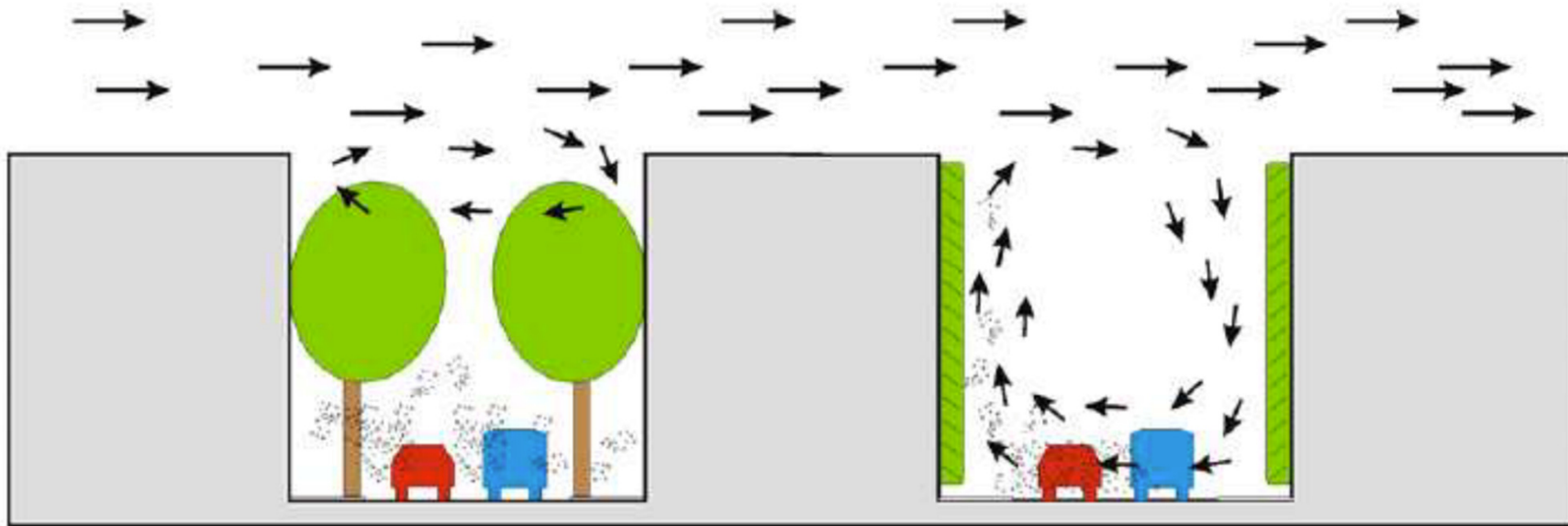


Abb. 12: Verschiedene Austauschszenarien von Luftmassen bei unterschiedlichen Bepflanzungen. Links: dichtkronige Allee, rechts: Fassadenbegrünung.

- Schätzungsweise filtern 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).

## Ziel der Forschung

- Für einen großflächigen Ausbau der Bauwerksbegrünung ist es notwendig, belastbare und nachvollziehbare Argumente für die Verwendung der unterschiedlichen Begrünungsformen zu liefern.
- Bei der Realisierung von Wohn- und Lebensräumen in der Stadt kann die Integration wandgebundener Fassadenbegrünungen eine Vielzahl positiver Effekte auf das städtebauliche Umfeld auslösen, unter anderem auch die Reduktion von Luftschadstoffen.
- Untersuchung verschiedener wandgebundener Fassadenbegrünungssysteme hinsichtlich der Feinstaub- und Stickoxidbindung mit Labor- und Praxisversuchen.
- Verwendung unterschiedlicher Fassadenbegrünungssysteme, u.a. modulare und flächige Begrünungen.
- Differenzierung zwischen einschichtigen und mehrschichtigen Begrünungen.
- Modellrechnungen – Auswirkungen auf das Stadtumfeld.
- Auswertung aller genannten Ergebnisse und Kriterien zur Herausstellung des Potenzials einer wandgebundenen Fassadenbegrünung in Bezug auf die Gesundheitsförderung und Luftverbesserung im urbanen Raum.

## Fazit und Ausblick

- Die Luftverschmutzung stellt eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar.
- Es bedarf weiterer Untersuchungen um den tatsächlichen Mehrwert von Pflanzen zur Luftreinhaltung festzustellen, sowohl auf quantitativer, als auch auf qualitativer Ebene.
- Für stichhaltige Ergebnisse muss das Fachwissen disziplinübergreifend kombiniert werden (Bauwerksbegrünung – Verfahrenstechnik – Filtertechnik).
- Nächster Schritt in diesem Vorhaben:
  - Kooperationen zur Nutzung geeigneter Messtechnik bilden.
  - Geeignete Begrünungen finden, die einer entsprechenden Belastung von Luftschadstoffen ausgesetzt sind (Langzeitstudie).
  - Wandgebundene Systeme und verschiedene, geeignete Pflanzen im Labor hinsichtlich der positiven Eigenschaften zur Bindung von Luftschadstoffen testen. (Bestäubungs- und Beregnungskammern)
- Die Bauwerksbegrünung kann weltweit zu einem der bedeutendsten Instrumente der Stadtentwicklung werden, insbesondere in den zukünftigen „megacities“.



TECHNISCHE HOCHSCHULE  
OSTWESTFALEN-LIPPE  
UNIVERSITY OF  
APPLIED SCIENCES  
AND ARTS

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

# Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Globale Entwicklungsprognosen (nach Randers, Jorgen. 2052. Eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre. 2014, S. 274).
- Abb. 2: Wandgebundene Fassadenbegrünung der Firma Vertiko GmbH (First Advisory Group, Vaduz, Vertiko GmbH).
- Abb. 3: Stickoxid-Emissionen nach Quelle in Deutschland im Jahr 2016 (aus statista, online im Internet: <https://de.statista.com/infografik/15705/stickoxid-emissionen-in-deutschland/>, Stand: 19.11.2019, 21:00 Uhr).
- Abb. 4: Screenshots der App „Air Matters“ für ausgewählter Städte (19.11.19 – 20:00 Uhr) (aus der App „Air matters“, Screenshots vom 19.11.2019).
- Abb. 5: Feinstaub (PM 10)–Emissionen nach Verursacher in Deutschland (Quelle: Umweltbundesamt, Eigene Darstellung).
- Abb. 6: NO<sub>2</sub> – Jahresmittelwerte Jahr 2018 (Stand 03.06.2019) (aus Umweltbundesamt, online im Internet: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/no2\\_2018.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/dokumente/no2_2018.pdf), Stand: 19.11.2019, 21:00 Uhr).
- Abb. 7: Wirkung von Luftschadstoffen auf den menschlichen Organismus (online im Internet: <http://www.saubereluft.org/de/infoportal/schmutz-in-unserer-luft/gesundheit/>, Stand : 19.11.2019, 21:00 Uhr)
- Abb. 8: Staubbelastung ungereinigter Blattoberseiten vom Wilden Wein im Juni (oben) und im Oktober (unten) (Die Grüne Stadt. 2013, S.18, aus Thönnessen 2005).
- Abb. 9: Clematis vitalba – weitgehend unbehaartes Blatt (online im Internet: <https://unkraeuter.info/clematis-vitalba-gemeine-waldrebe/>, Stand: 19.11.2019, 21:00 Uhr).
- Abb. 10: Viburnum rhytidophyllum – stark behaartes Blatt (online im Internet: <https://futureforests.ie/products/viburnum-rhytidophyllum>, Stand: 19.11.2019, 21:00 Uhr).
- Abb. 11: Konstruktionsunterschiede Fassadenbegrünung (nach Pfoser, Nicole. Vertikale Begrünung. 2018, S. 164).
- Abb. 12: Verschiedene Austauschszenarien von Luftmassen bei unterschiedlichen Bepflanzungen. Links: dichtkronige Allee, rechts: Fassadenbegrünung (Flohr, Sabine 2010, aus Bruse 2003).