

# Analyse zur Feinstaubbindung der Bauwerksbegrünungen beim Bauvorhaben DHL-Paketzentrum Weichering

AUFTRAGGEBER

Deutsche Post DHL  
Real Estate Deutschland GmbH  
Fritz-Erler-Str. 5  
53113 Bonn

VERFASSEN



Kilian van Lier  
Vertiko GmbH  
Gewerbestraße 3  
79256 Buchenbach-Himmelreich  
[www.vertiko.de](http://www.vertiko.de)

*Stand: 02. Mai 2023*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Feinstaubbindung von Pflanzen</b> .....	<b>4</b>
Feinstaubbindung von Blütenpflanzen .....	4
Feinstaubbindung von Moosen.....	5
Potential zur Feinstaubbindung vertikaler Bauwerksbegrünungen .....	6
Potential zur Feinstaubbindung von Dachbegrünungen.....	9
<b>3. Verkehrsaufkommen und Bauwerksbegrünungen am Paketzentrum Weichering</b> .....	<b>11</b>
Erwartete Verkehrszahlen des Paketzentrums Weichering .....	11
Durch Verkehr erwartete Feinstaubemissionen am Paketzentrum Weichering.....	11
Vergleich Verkehrssituation Bundesstraße 16 .....	14
Geplante vertikale Bauwerksbegrünungen (Lärmschutzwände und Fassaden).....	16
Geplante Dachbegrünungen .....	16
Theoretisch mögliche Feinstaubbindung der Bauwerksbegrünungen.....	17
<b>4. Abschätzung der Entwicklung des Feinstaubaufkommens</b> .....	<b>18</b>
Simulierte Windsituation unter Berücksichtigung der geplanten Bebauung .....	18
Gesamtbetrachtung der Feinstaubthematik am Paketzentrum Weichering .....	22
<b>5. Quellenverzeichnis</b> .....	<b>24</b>
<b>6. Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>26</b>
<b>7. Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>27</b>



# 1. Einleitung

Durch die Baumaßnahme DHL Paketzentrum Weichering wird ein höheres Verkehrsaufkommen am Standort erwartet. Damit einher geht die Fragestellung, welchen Einfluss das erhöhte Verkehrsaufkommen und die damit verbundenen Luftverunreinigungen auf die umliegenden Siedlungsstrukturen hat.

Als Luftverunreinigungen werden gemäß dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) alle Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft bezeichnet, beispielsweise durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe und Geruchsstoffe (WHO, 2019). Erhöhte Konzentrationen an Luftschadstoffen treten zum Beispiel bei hohem Verkehrsaufkommen und bei der vermehrten Nutzung von Kleinf Feuerungsanlagen in den Wintermonaten auf (VDI, 2016).

Die Vertiko GmbH wurde durch die Deutsche Post AG damit beauftragt, das auftretende Verkehrsaufkommen, die damit einhergehenden Feinstaubemissionen, sowie den Einfluss der geplanten Bauwerksbegrünungen zu analysieren. Hierzu wird eine Literaturrecherche zur theoretischen Feinstaubbindung durch Pflanzen aufgeführt. Anschließend werden die zu erwartenden Feinstaubemissionen am Paketzentrum Weichering analysiert und ein Vergleich zu den Feinstaubemissionen an der B16 erstellt. Mithilfe einer Annäherung zur theoretischen Feinstaubbindung durch Pflanzen, kann im Anschluss das Potential der geplanten Bauwerksbegrünungen aufgezeigt werden. Kapitel 4 beinhaltet eine Windsimulation, mit der die geographische Lage beurteilt werden kann. In der Gesamtbetrachtung werden abschließend alle Erkenntnisse zusammengetragen.

Vorab kann festgehalten werden, dass eine Gefährdung der umliegenden Siedlungsstrukturen durch die zusätzlich auftretenden Feinstaubemissionen am Paketzentrum, nicht zu erwarten ist. Durch die exponierte Lage zwischen den Gehölzstrukturen, der Bebauungsstruktur, sowie der vorherrschenden Windrichtung aus Westen, tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit kein zusätzlicher Eintrag von Luftschadstoffen in die Siedlungsstrukturen auf.



## 2. Feinstaubbindung von Pflanzen

### Feinstaubbindung von Blütenpflanzen

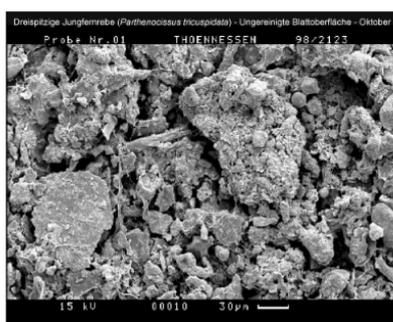
In der Wissenschaft sind die Ergebnisse zur Bindung von Luftschadstoffen durch Pflanzen sehr unterschiedlich. Jedoch lassen die verfügbaren Daten eine Einschätzung zur Abscheidung von Feinstaub auf Pflanzen zu. Die Filterwirksamkeit von Pflanzen setzt sich aus zwei Komponenten, der aktiven und passiven Filterwirkung zusammen. Allgemein wird hier zwischen den direkten und indirekten Effekten unterschieden (nach Wentzel 1968):

Bei den direkten Effekten wird von einer Abscheidung von Stäuben auf den Blattoberflächen gesprochen. Dabei können Pflanzen aufgrund ihrer Oberfläche die Stäube entweder im Verlauf der Vegetationsperiode anreichern oder durch selbstreinigende Oberflächenstrukturen vermeiden. Fachlich teilt Thönnessen (2006) Pflanzen der Mikrorauigkeiten ihrer Blätter betreffend in Akkumulierer und Selbstreiniger ein.

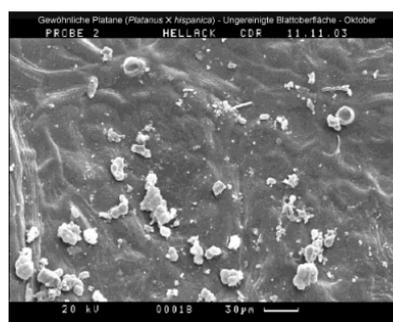
Die Blätter von Akkumulierern besitzen günstige Eigenschaften für die Partikelhaftung: eine raue Oberfläche und eine gute Benetzbarkeit. Ein Teil der Partikel bleibt auf der Blattoberfläche über die Vegetationsperiode hinweg trotz Niederschlägen haften. Auf Blättern des fassadenbegründenden Wilden Weins (*Parthenocissus tricuspidata*) wies Thönnessen (2006) im Verlauf der Vegetationsperiode eine zunehmende Staubauflage nach. An stark befahrenen Innenstadtstraßen waren im Herbst die Zellen der Blattoberflächen nicht mehr zu erkennen. Auf den Blättern des Selbstreinigers Platane (*Platanus x hispanica*) hingegen fanden Thönnessen & Hellack (2005) nur eine geringe Staubauflage, deren Zunahme im Verlauf der Vegetationsperiode nicht erkennbar war. Dies wird mit dem sogenannten Lotoseffekt erklärt.

Bei den indirekten Effekten wird davon ausgegangen, dass Pflanzen die Luftströmung verändern. Dies beeinflusst die lokale Konzentration, die Verteilung und Abscheidung von Luftschadstoffen. Bei angemessener Planung, Ausführung und Pflege, können Belastungssituationen so beeinflusst und minimiert werden.

Für die Abscheidung von Partikeln auf Blättern wurden als wesentliche Vorgänge Diffusion, Trägheitsabscheidung und Sedimentation identifiziert. Diffusion oder die Abscheidung durch elektrostatische Anziehung spielen jedoch nur bei sehr viel kleineren Partikeln ( $< 0,1 \mu\text{m}$ ) eine Rolle (Langer, 2006).



*Parthenocissus tricuspidata*



*Platanus x hispanica*

Abb. 01: Oberflächenaufnahmen der ungereinigten Blätter von *Parthenocissus tricuspidata* und *Platanus x hispanica* im Herbst.

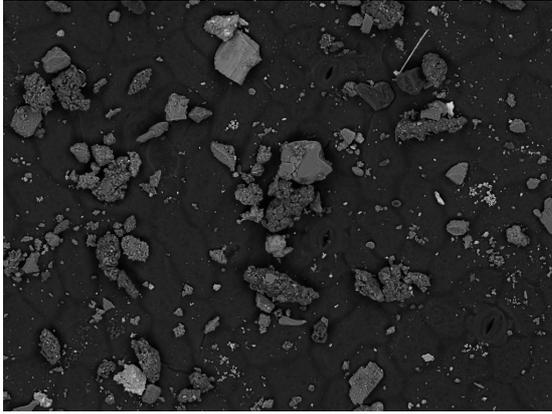


Abb. 02: Aufnahme Rasterelektronenmikroskop: Anhaftung von Staubpartikeln an einer *Bergenia* im Citytunnel Darmstadt.

## Feinstaubbindung von Moosen

Laboruntersuchungen von Moosen an der Universität Bonn zeigten, dass Moose durch verschiedene Mechanismen Feinstaub binden können (Frahm & Sabovljevic ,2007).

So sind Moose zwar klein, haben aber durch ihre dicht stehenden Blättchen und oberflächenvergrößernden Strukturen eine große biologisch aktive Oberfläche. Ein Moospolster von einem Quadratmeter Größe hat Millionen kleinste Blättchen. Und damit eine im Verhältnis etwa dreißig Mal vergrößerte Oberfläche.

Im Gegensatz zu Blütenpflanzen haben Moose keine Wurzeln. Wasser und Nährstoffe nehmen sie direkt über die Blattoberfläche auf. Deshalb haben sie eine sehr viel dünnere wasserabstoßende Wachsschicht (Cuticula) auf den Blättern, oder sie fehlt sogar ganz. Kommen Feinstaubpartikel in Kontakt mit den Moosen, haften sie an den Blättern.

Moose brauchen – wie alle anderen Pflanzen auch – Nährstoffe zum Wachsen, etwa den Stickstoff aus dem Ammoniumnitrat. Dieser wird durch Kationenaustausch von den Moosen aufgenommen und in pflanzliche Biomasse umgewandelt. Zudem können Bakterien, die auf den Moosen leben, organische Substanzen aus Ruß und Reifenabrieb zersetzen.

Weitere Bestandteile aus unlöslichen, anorganischen Stäuben sedimentieren in den Moosrasen.

Eine weitere Besonderheit der Moose ist, dass sie wechselfeucht (poikilohydrisch) sind. Wenn sie austrocknen, fallen sie in eine Art scheinbaren Zustand, der aber schlagartig vorbei ist, wenn sie wieder befeuchtet werden. Allerdings können Sie in diesem Zustand keine Stoffe aufnehmen.

Schätzungen haben ergeben, dass ein Quadratmeter Moosfläche täglich Feinstaubmengen von 13 bis zu 22 Gramm aufnehmen kann (Frahm, 2007).

Weitere Forschungen bestätigen die Wirksamkeit von Moosen zur Reduzierung von Feinstaubbelastungen im innerstädtischen Bereich.

## Potential zur Feinstaubbindung vertikaler Bauwerksbegrünungen

Eine Methode, um platzsparend viele positive Effekte auf das Stadtumfeld auszulösen, ist die Bauwerksbegrünung. Der Einsatz von Begrünungen an Bauwerken kann die Umgebungstemperatur senken, die Lärmbelastung verringern, die Luftfeuchtigkeit erhöhen und die Luftbelastung reduzieren (Pfoser, 2016).

Insbesondere in engen Straßenquerschnitten mit anliegenden Fußgänger- und Radwegen, sowie an Lärmschutzwänden und Orten mit hohen Emissionen, kann die Bauwerksbegrünung eine Möglichkeit zur Verbesserung der Luftqualität im urbanen Raum sein.

Bei der vertikalen Bauwerksbegrünung spielt die Leistung von Kletterpflanzen eine entscheidende Rolle.

Konkrete Filterungsleistungen von Kletterpflanzen liegen nur vereinzelt vor, z. B. 4 % bis 8,4 % des Gesamtstaubs in der Vegetationsperiode, dementsprechend 1,8-3,6 % im Jahr beim Efeu, davon 71 % Partikel  $<15 \mu\text{m}$  und nur 10 %  $<5 \mu\text{m}$  (Bartfelder & Köhler, 1987). Bei weiteren Erfassungen von bodengebundenen Vertikalbegrünungen wurde ein Bindungsvolumen von Feinstäuben im Bereich zwischen 4-6  $\text{g}/\text{m}^2$  für Kletterpflanzen festgestellt (*Parthenocissus tricuspidata* und *Hedera helix* 'Woerner'). Der Beitrag der Vertikalbegrünung zur Feinstaubbindung wird unabhängig von dem totalen prozentualen Bindungsvolumen als relevant eingeschätzt (Bartfelder & Köhler, 1987; Thönnessen, 2002), da Vertikalbegrünungen durch die vergrößerten Oberflächenstrukturen zur Lenkung des Luftstroms beitragen können.

Zur optimalen Mächtigkeit der Vertikalbegrünung für die bessere Staubfilterung gibt es keine eindeutigen Empfehlungen. Jedoch geht aus verschiedenen Untersuchungen hervor, dass sich Staubpartikel vermehrt auf den hinteren als auf den vorderen Blättern absetzen. Aus diesem Grund sollte eine Vertikalbegrünung zur effektiven Feinstaubbindung aus mindestens zwei Schichten, bzw. Strukturen bestehen. Durch die vergrößerte Pflanzenoberfläche können lungengängige Feinstäube in der Luft ab- und adsorbiert werden (Pfoser, 2016).

Neben dem Aufbau der Begrünung gibt es weitere Faktoren, wie die Adsorption, die einen Einfluss auf das Bindungsvermögen von Feinstaub durch Pflanzen haben. Unter Adsorption versteht man im Allgemeinen die Anlagerung von Gasen oder gelösten Stoffen an der Oberfläche eines festen Stoffes.

Durch die vergrößerte Oberfläche ist die Struktur des Blattes für eine Bindung von Stäuben entscheidend. So haben Blattunebenheiten, Blatthaare, der Grad der Oberflächenfeuchtigkeit und die sogenannte Klebrigkeit des Blattes sowie die Dichte der Pflanzen und Blätter untereinander einen Einfluss.

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 der Pflanzen zurück. Sie filtern, indem sie dem Windstrom einen Widerstand entgegensetzen. Im Laufe des Jahres enthalten die Blätter immer mehr Staubteilchen. Wie auf Abb. 01 bei einer Nahaufnahme des Wilden Weins (*Parthenocissus tricuspidata*) zu erkennen ist.

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 Kanalisation 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.



Anpflanzungen wirken als Staubfilter besonders dann, wenn sie senkrecht zur Hauptwindrichtung liegen. Die im Luftstrom enthaltenen Partikel sedimentieren passiv durch den windberuhigten Kronenraum in das Innere des Waldes hinein (Hennebo, 1955). Das gleiche Prinzip gilt auch für windberuhigte Räume in Bodennähe, z.B. für Straßenbegleitgrün in Städten.

Für eine effektive Staubfilterung durch Vegetation an dieser Stelle wird neben einer geeigneten Gehölzwahl auch die Pflanzung einer Kraut- und Strauchschicht empfohlen. (Pfanz & Flohr, 2007)

Diese bodennahen Schichten aus Gräsern und Kräutern reduzieren die Windgeschwindigkeiten und schaffen dadurch windberuhigte Bereiche. Im Allgemeinen haben die meteorologischen Bedingungen, allem voran der Wind einen erheblichen Einfluss auf die Wirksamkeit von Pflanzen zur Partikelbindung. Aus diesem Grund wird die Windsituation im vierten Kapitel gesondert betrachtet.

Die Vegetationsschicht kann zudem als Impaktionsoberfläche dienen, auf die aufgewirbelte Partikel treffen und somit aus der Atmosphäre gefiltert werden können. Eine Impaktion erfolgt dann, wenn Partikel oder Tröpfchen den Richtungsänderungen des Luftstromes (60 L/min) nicht folgen können, sondern sich aufgrund ihrer Trägheit und der einwirkenden Zentrifugalkräfte gradlinig fortbewegen.



Abb. 03: Aufbau begrünte Wand im Citytunnel Darmstadt/ IoT Messgerät zur Ermittlung der Feinstaub- und Stickoxidkonzentration.

Bei eigenen Untersuchungen im Citytunnel Darmstadt wurden Vergleichsmessungen zwischen begrünten und unbegrünten Flächen durchgeführt. Gegenstand der Untersuchung war eine 4 x 16 Meter große wandgebundene Begrünung mit unterschiedlichen Bauweisen und Begrünungsstrukturen der Vertiko GmbH. Mit dem Pilotprojekt sollte unter anderem die Vegetationsentwicklung an dem extremen Standort begleitet werden. Insbesondere die *Racomitrium*-dominierten Moosmatten, verschiedene Purpurglöckchen- und Bergenien-Arten überzeugten unter den extremen Bedingungen im Tunnel durch ein ausgeprägtes Wuchsverhalten. Darüber hinaus sollte festgestellt werden, welchen Beitrag die Begrünung zur Luftreinhaltung im Tunnel leisten kann. Aus diesem Grund wurden aktive Messverfahren mit IoT-Messgeräten,

sowie passive Messverfahren mit Passivsammlern durchgeführt. Die Untersuchung von Staubproben mittels elektronenmikroskopischer Einzelpartikelanalyse hat wertvolle Hinweise auf deren Herkunft gegeben. So konnten im Citytunnel überdurchschnittlich hohe Konzentrationen metallischer Partikel, erzeugt durch Bremsabrieb sowie Reifenabrieb festgestellt werden. Gleichzeitig wurden durch die vergrößerten Oberflächenstrukturen der eingesetzten Pflanzen eine Vielzahl an Grobstäuben gebunden. Teilweise wurden Unterschiede von begrünten zu unbegrünten Flächen von bis zu 25 % gemessen.

Zusammenfassend können für die Abscheidung von Partikeln auf vertikale Bauwerksbegrünungen 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)
- Blattbeschaffenheit (Oberfläche, Rauigkeit, Steifigkeit)
- Anordnung der Pflanzen (Entfernung zur Quelle und anderen Objekten/Pflanzen)

Von der bestehenden Literatur ausgehend, ist das Feinstaub-Bindungsvermögen von Fassadenbegrünungen sehr unterschiedlich beziffert. Ausgehend von den zuvor aufgezeigten Daten ergeben sich daher folgende Annäherungswerte:

- $6,0 \text{ g/m}^2 \text{ im Jahr} \rightarrow 0,0164 \text{ g/m}^2 \text{ am Tag} = 16,438 \text{ mg/m}^2 \text{ am Tag}$

## Potential zur Feinstaubbindung von Dachbegrünungen

Die ermittelten Feinstaubaufnahmen von grünen Dächern unterscheiden sich oft bei verschiedenen Autoren um mehrere Größenordnungen. Nach Nowak et al. (2006) besitzen Dachbegrünungen eine ähnliche Fähigkeit, Feinstaub aufzunehmen, wie Straßenbäume. Modellierungen von Johnson (nach Rowe 2011) zeigen, dass ein Quadratmeter eines nicht geschnittenen Rasens als Dachbegrünung in der Lage ist, 2 kg Feinstaub aus der Luft zu entfernen, wobei der Zeitraum nicht angegeben wurde. Rowe (2011) gibt die Partikelmasse, die von einem Quadratmeter eines begrünten Daches pro Jahr aufgenommen wird, mit 100 g an. Die Partikelaufnahme von 19 m<sup>2</sup> extensiver Dachbegrünung soll nach Yang et al. (2008) der eines mittelgroßen Straßenbaumes entsprechen. Folgt man den Angaben von Langner (2006) zu der Filterungsleistung eines Baumes, wären damit pro Quadratmeter einer Dachbegrünung nur ca. 20 g Feinstaub pro Vegetationsperiode aufgenommen.

Wie man an diesen Ergebnissen sehen kann, sind die Ergebnisse in Bezug auf die Bindung von Luftschadstoffen durch Pflanzen auch im Bereich der Dachbegrünung sehr unterschiedlich. Auch hier lassen die unterschiedlichen Ergebnisse auf veränderte Parameter der Einflussnahme schließen. Neben den Praxisversuchen gab es auch Theorieversuche, die einen Einfluss unterschiedlicher Vegetationsträger auf die Feinstaubkonzentration in einer kontrollierten Umgebung unter Laborbedingungen untersucht haben. Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Pflanzenmatten quantitativ mehr Feinstaub aus der Luft binden als die Prüfvarianten Schotter und Geotextilmatte. Dieses trifft insbesondere zu, wenn Wind die Partikel wieder aufwirbelt und sie nicht durch die Oberflächenstrukturen der Pflanzen gebunden werden. Unter Realbedingungen kann es neben einer Bindung an die Oberfläche auch noch eine Kompaktierung geben, die ein späteres Aufwirbeln erschwert. Die Voraussetzungen für eine Kompaktierung sind an trockenen und weniger rauen Flächen geringer als an Pflanzenoberflächen.

Oberfläche	Feinstaubaufnahme pro Jahr	
	PM <sub>10</sub>	davon PM <sub>2,5</sub> (70-90% PM <sub>10</sub> )
Sedum-Matte	1,4-9,8 kg	1,0-8,8 kg
Schotter	1,1-7,3 kg	0,8-6,6 kg

Tab. 01: Feinstaubaufnahme der Dachoberfläche (1000 m<sup>2</sup>): extensive Dachbegrünung mit Sedum und Schotterdach.

Ein Vergleich zwischen den Pflanzenmatten zeigt, dass die Sedum-Arten, insbesondere die kleineren Partikelfraktionen (0,3 µm) besser binden als die Moosarten. Dieses Ergebnis stimmt mit der Schlussfolgerung von Schreiter (2010) überein, dass *S. album*-Pflanzen nach der von Thñnnessen (2006) vorgenommenen Klassifikation zu den Feinstaubakkumulatoren gehören. Spolek (2008) berechnet, dass begrünte Flachdächer im Stadtzentrum von Manchester 2,3 % der PM<sub>10</sub>-Fraktion in dem Gebiet filtern könnten. Yang et al. (2008) kommen für Chicago sogar auf 14% Reduzierung der PM<sub>10</sub>-Fraktion durch extensive Gründächer im Stadtzentrum. Durch die Auswahl geeigneter Pflanzen ließe sich dieses noch deutlich steigern (Currie und Bass 2008). Aus diesem Grunde empfehlen auch Berndtsson et al. (2009) den gezielten Einsatz extensiver Dachbegrünungen in der Nähe von PM<sub>10</sub>-Emittenten. Trotz relativer Anfangskosten erscheinen begrünte Dächer eine sinnvolle Ergänzung zu dem Bestreben Feinstaubkonzentrationen mit Pflanzen zu reduzieren (Yang et al. 2008; Rowe 2011), Vgl. Gorbachevskaya et. al. 2013.



Bei den extensiv ausgeführten Gründächern handelt es sich vorwiegend um Sedum-Vegetationen, die trotz ihres immergrünen Erscheinungsbildes aufgrund Ihrer niedrigen Oberflächenstruktur nur bedingt als Feinstaubfilter fungieren. Betrachtet man die Witterungseinflüsse, so wäre eine mit diversen Pflanzstrukturen ausgestattete Dachbegrünung mit unterschiedlichen Pflanzhöhen besser zur Bindung von Stäuben geeignet. Die Versuche von Reznik und Schmidt (2008) belegen ebenfalls, dass zur effektiven Feinstaubdeposition zunächst eine gewisse Größe der Pflanze und Blattoberfläche zur Verfügung stehen muss.

Verschiedene Versuche haben auch gezeigt, dass Niederschläge keine nennenswerte Wirkung hinsichtlich der Blattrreinigung haben (Gorbachevskaya & Schreiter, 2010). Selbst mit Reinigung der Blattoberfläche im Ultraschallbad konnten insbesondere die feinen Partikel unter  $2,5 \mu\text{m}$  nicht von der Oberfläche getrennt werden.

Die aufgeführten Ergebnisse und Untersuchungen zeigen, dass Pflanzen die gesundheitsschädlichen, lungengängigen Staubfraktionen über lange Zeiträume binden können. Entscheidend ist eine an die meteorologischen Bedingungen angepasste Begrünung, um einen jeweiligen Zweck zu erzielen. Dies gilt für sämtliche Formen der Bauwerksbegrünung, sowohl Dach-, als auch Fassadenbegrünung. Um eine effiziente Bindung von Stäuben mit Pflanzen zu erzielen, sind daher die lokalen Windverhältnisse zu beachten.

Von der bestehenden Literatur ausgehend, ist das Feinstaub-Bindungsvermögen von Dachbegrünungen sehr unterschiedlich beziffert. Ausgehend von Tabelle 01 ergeben sich daher folgende Annäherungswerte:

- Mittelwert  $6.300 \text{ g}/1000 \text{ m}^2$  bei einem Sedum-Dach / Jahr
- $6,3 \text{ g}/\text{m}^2$  im Jahr  $\rightarrow 0,0173 \text{ g}/\text{m}^2$  am Tag =  $17,260 \text{ mg}/\text{m}^2$  am Tag

Jede Form der Begrünung am Gebäude hat einen positiven Einfluss auf die Umgebung. Während der Dachbegrünung Eigenschaften zur Retention von Wasser zugesprochen wird, kann die Fassadenbegrünung durch Ihren Einsatz direkt am Ort des Entstehens von unterschiedlichen Staubfraktionen einen Mehrwert zur Bindung dieser Stoffe leisten. Vor allem die Oberflächenvergrößerung und unterschiedlichen Wuchshöhen sorgen bei der Bauwerksbegrünung für einen natürlichen Luftfilterungseffekt.



### 3. Verkehrsaufkommen und Bauwerksbegrünungen am Paketzentrum Weichering

Um die zuvor benannten theoretischen Grundlagen auf das Bauvorhaben Paketzentrum Weichering zu übertragen, müssen zunächst die erwarteten Verkehrszahlen, die damit verbundenen Staubemissionen und geplanten Bauwerksbegrünungen betrachtet werden. Anschließend kann mithilfe der simulierten Windanalyse eine Gesamtbetrachtung der Feinstaubthematik erfolgen.

#### Erwartete Verkehrszahlen des Paketzentrums Weichering

Die im folgenden genannten Verkehrszahlen zeigen den maximal zu erwartenden Verkehr auf. Dabei handelt es sich um Starkverkehr, der zwischen KW 44 und KW 02 zu erwarten ist. Im Zeitraum KW 03 bis KW 43 ist mit einem deutlich geringeren Verkehrsaufkommen zu rechnen. Die erwarteten Rangieraufträge finden ausschließlich auf dem Gelände des DHL Paketzentrums statt.

Erwartete Fahrten	LKW	PKW	GESAMT
Einfahrten je Tag	1.295	383	1.678
Ausfahrten je Tag	1.295	383	1.678
<b>GESAMT</b>	<b>2.590</b>	<b>766</b>	<b>3.356</b>
<i>Zusätzliche Rangieraufträge</i>	1.684	0	1.684

Tab. 02: Erwartete Verkehrszahlen des Paketzentrums Weichering.

Bei der Betrachtung der Fahrstrecken auf dem Gelände des Logistikzentrums kann von einer durchschnittlichen Fahrstrecke von 1.500 Metern pro Ein- und Ausfahrt ausgegangen werden. Bei den zusätzlichen Rangieraufträgen wird eine durchschnittliche Strecke von 150 Metern erwartet.

Werden die oben für den Starkverkehr dargestellten Ein- und Ausfahrten betrachtet, beträgt die zurückgelegte Gesamtstrecke 1.942,5 km für LKW und 574,5 km für PKW, sowie eine Strecke von 252,6 km für die zusätzlichen Rangieraufträge.

#### Durch Verkehr erwartete Feinstaubemissionen am Paketzentrum Weichering

Die durch schwere Nutzfahrzeuge wie LKW erzeugten Emissionen sind seit 1995 durch bessere Motoren, Abgastechnik und bessere Kraftstoffqualität gesunken. Zudem sind Partikelfilter in der Lage, mehr als 90 Prozent des Rußes auszufiltern und zu verbrennen – darunter viele Feinstpartikel, die im Verdacht stehen Krebs zu verursachen.

Seit der Einführung der Euro VI Norm, konnten die Schwefeldioxid-Emissionen um mehr als 99% im Vergleich zum Ausgangsniveau gesenkt werden, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 32,6% (Vergleichszeitraum 1995-2020). Allerdings ist die Verkehrsleistung von 279,7 Milliarden Tonnen-



kilometern auf 468 Milliarden Tonnenkilometern um rund 74 % gestiegen. Gerade in den vergangenen beiden Jahren ist durch die steigende Nachfrage im Versandgeschäft und den Ausbau von Logistikzentren ein starker Wachstumstrend zu erkennen (Umweltbundesamt, 2022).

Luftschadstoff-Emissionen werden durch den Verkehr, verschiedene Industrieprozesse, die Energieerzeugung, die Landwirtschaft und einigen weiteren Aktivitäten verursacht. Staubbelastungen bestehen aus einem komplexen Gemisch fester und flüssiger Partikel und werden abhängig von deren Größe in unterschiedliche Fraktionen eingeteilt. Unterschieden werden PM10 (PM, particulate matter) mit einem maximalen Durchmesser von 10 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ), PM2,5 und ultrafeine Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 0,1  $\mu\text{m}$ . Die Gruppe PM 2,5 und kleiner sind lungengängig und wirken sich negativ auf die Gesundheit aus (Umweltbundesamt, 2022).

Betrachtet man die unten dargestellte Grafik, so sind etwa 19% des freigesetzten Feinstaubes (PM10) auf den Verkehr zurückzuführen. Auch wenn die durch Verbrennungsprozesse verursachten Feinstäube stark zurückgegangen sind, entstehen weiterhin nicht unerhebliche Emissionen durch den Abrieb von Reifen und Bremsen.

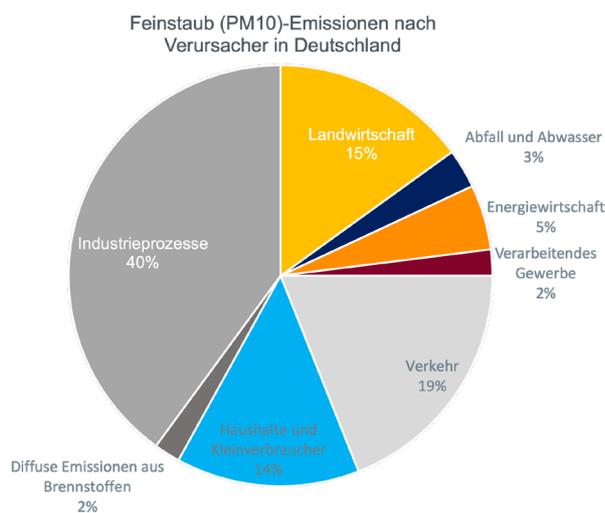


Abb. 04: Feinstaub (PM10) – Emissionen nach Verursacher in Deutschland.

Reifenabrieb bildet durch seine Zusammensetzung den größten Emittenten, was den Eintrag von Mikroplastik in die Umwelt betrifft. (Fraunhofer, 2018). Es gibt unterschiedliche Ansätze zur Berechnung des freigesetzten Reifenabriebs. Relevante Faktoren sind die Fahrzeugkategorie, der Straßentyp, das Wetter, das Klima, die Reifentypen und die Beläge. Betrachtet man diese Kategorien, so ergeben sich insgesamt 384 verschiedene Klassen zur Freisetzung des Reifenabriebs.

Fahrzeugkategorie	Einheit	Urbane Gebiete	Ländliche Gebiete	Autobahnen	Anteil an PM <sub>10</sub>	Anteil an Grobpartikeln
Personenkraftwagen	[mg/km]	132	85	104	5 %	95 %
Motorräder		60	39	47		
Mopeds		13	9	10		
Lieferwagen		159	102	125		
Lastwagen		850	546	668		
Traktoren		658	423	517		
Busse		415	267	326		

Tab.03: Reifenabriebsbedingte Emissionsfaktoren.

Werden ausschließlich die Fahrzeugkategorien und Straßentypen betrachtet und alle anderen Faktoren gemittelt, können für einen LKW etwa 850 mg und für einen PKW etwa 132 mg reifenbedingte Emissionen je gefahrenen Kilometer festgehalten werden. Aufgrund der zu erwartenden Geschwindigkeiten und der Rangieraufträge, wird eine Kategorisierung in die urbanen Gebiete vorgenommen. In der Literatur schwanken die reifenabriebsbedingten Emissionen stark, was auf die unterschiedlichen Klassen, das Fahrverhalten, etc. zurückzuführen ist. Daher sind die ermittelten Werte zu den Emissionen am Standort Weichering nur als Annäherungen und Schätzwerte zu verstehen.

Unterschieden wird bei den Angaben nach dem Anteil an PM<sub>10</sub> mit 5 %, sowie dem Anteil an Grobpartikeln mit 95 %.

Mithilfe der oben ermittelten Fahrstrecken pro Tag und den reifenabriebsbedingten Emissionen lassen sich Schätzwerte für die zu erwartenden Feinstaubemissionen auf dem Gelände des Paketzentrums Weichering ermitteln. Daraus ergeben sich die folgenden Annäherungswerte, differenziert nach einer Ein- und Ausfahrt, den erwarteten Ein- und Ausfahrten je Tag, sowie eine Hochrechnung bezogen auf ein Kalenderjahr. Die Werte beinhalten ausschließlich die durch Reifenabrieb erzeugten Emissionen, da durch diese Gruppe, die mit Abstand höchsten Emissionen zu erwarten sind. Zudem handelt es sich bei den Emissionsberechnungen um Spitzenwerte, die nur bei Starkverkehr in der Weihnachtszeit zwischen KW 44 und KW 02 im neuen Jahr auftreten.

Erwartete Emissionen (Ein- und Ausfahrt)	LKW (850mg/km)	Rangieraufträge LKW (850mg/km) <i>(durchschnittliche Strecke 150 m)</i>	PKW (132mg/km)	GESAMT
pro Tag	1.651.125 mg = 1.651,13 g = 1,65 kg	214.710 mg =214,71g =0,215 kg	75.838 mg = 75,84 g = 0,076 kg	1.941.673 mg =1.941,67 g =1,94 kg
pro Jahr	602.660.625 mg =602.660,63 g =602,66 kg	78.369.150 mg =78.369,15 g =78,37 kg	27.680.870 mg =27.680,87 g =27,68 kg	708.710.645 mg 708.710,65 g =708,71 kg

Tab. 04: Erwartete Staubemissionen Paketzentrum Weichering.

Werden die aufgezeigten erwarteten Emissionen im Starkverkehr am Paketzentrum Weichering gemäß Tab. 03 nach PM<sub>10</sub> und Grobpartikeln unterteilt, ergeben sich folgende Werte:



Erwartete Emissionen (Ein- und Ausfahrt)	LKW (850mg/km)		PKW (132mg/km)		GESAMT	
	Anteil an PM10:	Anteil an Grobpartikeln:	Anteil an PM10:	Anteil an Grobpartikeln:	Anteil an PM10:	Anteil an Grobpartikeln:
pro Tag	93.291,75 mg = 93,29 g = 0,093 kg	1.772.543,25 mg = 1.772,54 g = 1,77kg	3.791,90 mg = 3,79 g = 0,004 kg	72.046,10 mg 72,05 g 0,072 kg	97.083,65 mg = 97,08 g = 0,097 kg	1.844.589,35 mg = 1.844,59 g = 1,85 kg
pro Jahr	34.051.488,80 mg = 34.051,49 g = 34,05 kg	646.978.286,00 mg = 646.978,29 g = 646,99 kg	1.384.043,50 mg = 1.384,04 g 1,38 kg	26.296.826,50 mg = 26.296,83 g 26,30 kg	35.435.532,30 mg = 35.435,53 g =35,44 kg	673.275.112 mg = 673.275,11g = 673,28 kg

Tab. 05: Erwartete Emissionen unterteilt nach PM10 und Grobpartikeln.

Die aufgeführten Werte zeigen die zu erwartenden auftretenden Emissionen und treten am gesamten Standort auf. Im Folgenden werden die geplanten vertikalen Begrünungen aufgezeigt. Zudem wird eine Annäherung zur möglichen Feinstaubbindung durch die vertikalen Begrünungen auf Basis der in Kapitel 2 aufgeführten Literaturrecherchen vorgenommen.

## Vergleich Verkehrssituation Bundesstraße 16

Um einen Vergleich mit der aktuellen Verkehrssituation herzustellen, wurden zusätzlich die Verkehrszahlen der Bundesstraße 16 nach dem oben genannten Verfahren analysiert. Als Referenzstrecke wurde hierzu das Teilstück vom Knotenpunkt B16 – ST 2043 bei Bruck bis zum Knotenpunkt B16 – Kreisstraße ND 18 Anschluss Weichering gewählt. Das Straßenstück misst eine Länge von insgesamt 5.800 Metern.

	LKW	PKW	GESAMT
Fahrten in beide Richtungen, unterteilt nach PKW/LKW pro 24 h	2.865	16.788	19.653

Tab. 06: Erwartete Verkehrszahlen Teilstück B 16.

Auf Basis der Emissionen je Kilometer und der Teilstrecke von 5.800 Metern, sind auf der Bundesstraße die in Tab. 06 genannten Verkehre bis 2035 zu erwarten. Von den oben genannten Verkehrszahlen sind die Verkehre der Deutschen Post ausgeschlossen.

Erwartete Emissionen (Ein- und Ausfahrt)	LKW (850mg/km)	PKW (132mg/km)	GESAMT
pro Tag	2.435.250 mg = 2.432,25 g =2,43 kg	2.216.016 mg =2.216,02 g =2,22 kg	4.651.266 mg =4.651,27 g =4,65 kg
pro Jahr	888.866.250 mg =888.866,25 g =888,87 kg	808.845.849 mg =808.845,85 g =808,85 kg	1.697.712.099 mg 1.697.712,10 g =1.697,71 kg

Tab. 07: Erwartete Staubemissionen Teilstück B 16.



Werden die zu erwartenden Emissionen am Paketzentrum Weichering mit den errechneten Emissionen an der Bundesstraße 16 verglichen, so ist eine 2,4 fache Belastung durch die Bundesstraße gegeben.

<b>Erwartete Emissionen</b>	<b>Teilstück Bundesstraße 16</b>	<b>Paketzentrum Weichering</b>
pro Tag	4.651.266 mg =4.651,27 g =4,65 kg	1.941.673 mg =1.941,67 g =1,94 kg
pro Jahr	1.697.712.099 mg 1.697.712,10 g =1.697,71 kg	708.710.645 mg 708.710,65 g =708,71 kg

Tab. 08: Vergleich erwartete Staubemissionen Teilstück B 16 zu Paketzentrum Weichering.

## Geplante vertikale Bauwerksbegrünungen (Lärmschutzwände und Fassaden)

Bauwerk	Höhe [m]	Länge [m]	Begrünungstyp	Exposition	Begrünte Fläche [m <sup>2</sup> ]
Lärmschutzwand 1	9	65 m, davon 35,00 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	S, SO	315,00
Lärmschutzwand 2	9	176,29 m, davon 91,29 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	W, N	821,61
Westfassade Parkhaus (Lärmschutzwand 3)	10,60	81,84 m, davon 41,84 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	W	443,50
Nordfassade Parkhaus (Lärmschutzwand 4)	10,60	34,85 m, davon 17,43 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	N	184,76
Ostfassade Parkhaus	10,60	81,52 m, davon 20,38 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	O	216,03
Südfassade Parkhaus	10,60	33,75 m, davon 8,44 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	S	89,46
Lärmschutzwand 5	8	51 m, davon 29 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	W	232,00
Lärmschutzwand 6	10	366,61 m, davon 178,61 m begrünt	Kletterpflanzen an Rankgittern	S, O, N	1.786,10
<b>GESAMT</b>					4.088,46 m <sup>2</sup>

Tab. 09: Geplante vertikale Bauwerksbegrünungen.

## Geplante Dachbegrünungen

Bauwerk	Substrathöhe [cm]	Vegetation	Fläche [m <sup>2</sup> ]
Parkhaus	12	blütenreiche Wildstauden-Gehölzbegrünung	2.819
Verwaltung	12	blütenreiche Wildstauden-Gehölzbegrünung	587
Übergabestation	12	blütenreiche Wildstauden-Gehölzbegrünung	166
Kläranlage	12	blütenreiche Wildstauden-Gehölzbegrünung	147
Sprinklerzentrale	12	blütenreiche Wildstauden-Gehölzbegrünung	139
Heizzentrale	12	blütenreiche Wildstauden-Gehölzbegrünung	99
Frachthalle	6	artenreiche Kraut-Gras-Sedum-Vegetation	14.352
<b>GESAMT</b>			18.309 m <sup>2</sup>

Tab. 10: Geplante Dachbegrünungen.

## Theoretisch mögliche Feinstaubbindung der Bauwerksbegrünungen

Wie bereits in den zuvor genannten Literaturrecherchen angedeutet, sind die Ansätze und Daten zur Reduzierung von Luftschadstoffen durch Pflanzen sehr unterschiedlich.

Alle Pflanzen können Staub und gasförmige Verunreinigungen aus der Luft abscheiden, allerdings sind einige Pflanzen effektiver als andere. Das hängt unter anderem von der Pflanze, der Blattstellung zueinander, der Gesamtfläche an Belaubung je Quadratmeter Begrünung, sowie der Oberflächenbeschaffenheit ab.

Eine Reduzierung von Luftschadstoffen in Höhe von 6,3 g/m<sup>2</sup> bei Dachbegrünungen und 6,0 g/m<sup>2</sup> bei Fassadenbegrünungen wird daher stark von der jeweils entwickelten Begrünung beeinflusst.

Legt man die genannten Daten zu Grunde, erhält man für die geplanten Bauwerksbegrünungen am Standort Weichering die folgenden Werte:

Bauwerksbegrünung	Potential Feinstaubbindung je m <sup>2</sup>	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Potential Feinstaubbindung gesamt
Parkhaus	bis zu 6,30 g	2.819,00	17.759,70 g
Verwaltung	bis zu 6,30 g	587,00	3.698,10 g
Übergabestation	bis zu 6,30 g	166,00	1.045,80 g
Kläranlage	bis zu 6,30 g	147,00	926,10 g
Sprinklerzentrale	bis zu 6,30 g	139,00	875,70 g
Heizzentrale	bis zu 6,30 g	99,00	623,70 g
Frachthalle	bis zu 6,30 g	14.352,00	90.417,60 g
<b>Summe Feinstaubbindung Dachbegrünung:</b>			<b>115.346,70 g</b> =115,35 kg
Lärmschutzwand 1	bis zu 6,00 g	315,00	1890,00 g
Lärmschutzwand 2	bis zu 6,00 g	821,61	4.929,66 g
Westfassade Parkhaus (Lärmschutzwand 3)	bis zu 6,00 g	443,50	2.661,00 g
Nordfassade Parkhaus (Lärmschutzwand 4)	bis zu 6,00 g	184,76	1108,56 g
Ostfassade Parkhaus	bis zu 6,00 g	216,03	1.296,18 g
Südfassade Parkhaus	bis zu 6,00 g	89,46	536,76 g
Lärmschutzwand 5	bis zu 6,00 g	232,00	1.392,00 g
Lärmschutzwand 6	bis zu 6,00 g	1.786,10	10.716,60 g
<b>Summe Feinstaubbindung Fassadenbegrünung:</b>			<b>24.530,76 g</b> =24,53 kg
<b>GESAMT</b>			<b>139.877,46 g</b> =139,88 kg

Tab. 11: Potenzial Feinstaubbindung der geplanten Dach- und Fassadenbegrünungen am Paketzentrum Weichering.

Ein anderer im *Kapitel 2* beschriebener Ansatz geht von der prozentualen Reduzierung des Gesamtstaubs während der Vegetationsperiode aus. Dieser Ansatz ist für die Beurteilung der Situation am Paketzentrum Weichering ungeeignet, da keine Messwerte der Staubkonzentration unter Realbedingungen im laufenden Betrieb herangezogen werden können.



## 4. Abschätzung der Entwicklung des Feinstaubaufkommens

### Simulierte Windsituation unter Berücksichtigung der geplanten Bebauung

Die Verteilung von Stäuben in der Atmosphäre wird mit Emissionsmodellen simuliert. Wie sich Partikel insbesondere Reifenabrieb verhalten, hängt stark von lokalen Gegebenheiten wie Wind, Exposition, Temperatur und Luftfeuchtigkeit ab. Wind beispielsweise, führt grundsätzlich zu einer Verdünnung und zu einem Abtransport des Feinstaubes. Darüber hinaus wird auch die Sedimentation erschwert. Die Ausbildung einer Inversionswetterlage führt zu einer Aufkonzentrierung der Partikel, was hauptsächlich nachts im innerstädtischen Bereich beobachtet wurde.

Die Wirkung von Niederschlag ist nicht eindeutig geklärt und die Ergebnisse aus mehreren Studien widersprechen sich teilweise, jedoch ist von einer Reduzierung auszugehen.

Untersuchungen an Autobahnen zeigten eine Abnahme der PM10-Konzentration bei Zunahme der relativen Luftfeuchte. Eine Zunahme der Temperatur hingegen führt auch zu einer Zunahme der PM10-Konzentration.

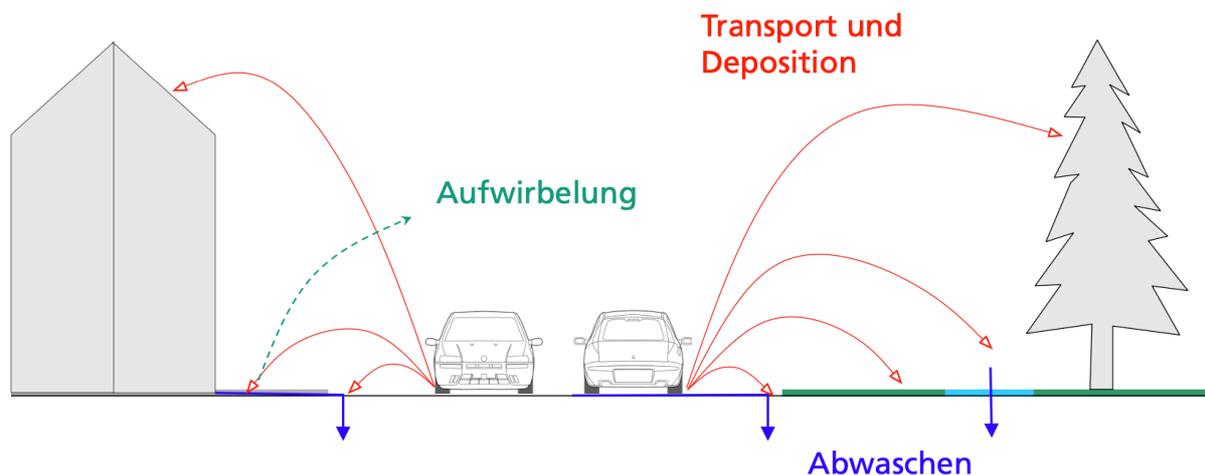


Abb.05: Emissionsmodell für Reifenabrieb in der Atmosphäre.

Insgesamt beeinflussen drei verschiedene Vorgänge die Verbreitung partikulärer Luftschadstoffe. Zum einen erfolgt über die trockene Deposition ein Austrag und eine Ablagerung von Luftinhaltsstoffen auf Oberflächen. Zum anderen erfolgt der Austrag und die Ablagerung durch Niederschlag. Je nach Oberflächenstruktur bleiben die Partikel haften, werden durch lokale Windströmungen aufgewirbelt (Abb. 05), oder durch Niederschlag, etc. abgewaschen.

Die Sedimentation bezeichnet das Absinken größerer Partikel aufgrund der Schwerkraft. Je größer ein Partikel ist, desto schneller erfolgt ein Absinken. Diese Prozesse sind abhängig von der Korngröße. Bei dem Reifenabrieb entsteht ein Anteil an Grobpartikeln von 95 % (Tab. 03). Diese Partikel werden schwerer wieder aufgewirbelt und über eine geringere Strecke transportiert. Partikel in der Größenordnung PM10 oder kleiner, werden hingegen leichter aufgewirbelt und können auch auf weite Entfernungen transportiert und abgelagert werden.

Betrachtet man die Windrose, sowie die Windsimulationen am Standort Weichering, erhält man Erkenntnisse zur vorrangig herrschenden Windrichtung und zur Windstärke. In Überschneidung mit den dargestellten Erkenntnissen zur theoretischen Feinstaubentwicklung, lassen sich stoffliche Strömungen und potenzielle Gefahrenbereiche erkennen.

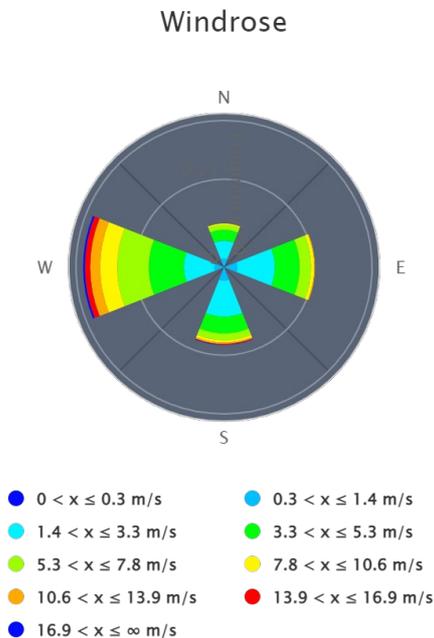


Abb. 06: Windrose am Standort Weichering.

Abbildung 06 zeigt die Windrose für den Standort Weichering. Wie anhand der pfeilförmigen Darstellungen zu erkennen ist, ist insbesondere mit stärkeren Winden bis zur maximalen Windgeschwindigkeit aus Westrichtung zu rechnen. Zudem sind geringe bis mittlere Windstärken aus südlicher und östlicher Richtung verzeichnet.

Betrachtet man die westliche Windrichtung bezogen auf den Lageplan, so erhält man eine Windsimulation. Dabei werden auftretende Winde, Verwirbelungen und Strömungen aufgezeigt. Zudem erkennt man, wie vorhandene Strukturen (Bäume, Baukörper, etc.) das Strömungsfeld verändern und wie sich potenzielle Luftschadstoffe ausbreiten können. Anhand der Abbildung 07 erkennt man, dass der vorherrschende Wind aus Westrichtung auf die westliche Fassade des Paketentrums trifft. Dabei wird der Wind abgelenkt und aufgrund der Schrägstellung nördlich am Gebäude vorbeigelenkt. Auf Abbildung 09 ist zudem eine leichte Strömung über das Gebäude zu erkennen. Im westlichen Bereich des Paketentrums werden die Windströmungen sowohl durch die Lärmschutzwand *LSW 6* als auch durch den angrenzenden Gehölzbestand ausgebremst und umgelenkt. Zum Teil entwickelt sich, wie auf Abb. 08 zu erkennen ist, eine bodennahe Gegenströmung. Aufgrund der geplanten Bebauungsstruktur und des angrenzenden östlichen Gehölzbestandes ist nur eine geringe Verteilung von Feinstaubpartikeln über eine größere Fläche zu erwarten. Ein Teil der Partikel wird durch den geringen aerodynamischen Durchmesser und Prozesse der Aufwirbelung und des Transports in westliche Winde mit einer Geschwindigkeit von 6-8 m/s gelangen (Abb. 08). Mit großer Wahrscheinlichkeit sedimentieren die Partikel innerhalb des östlichen Gehölzbestandes. Die steigende

Luftfeuchtigkeit im östlichen Gehölzbestand sorgt zudem für einen Zusammenschluss von Partikeln, wodurch schwerere Partikelagglomerate entstehen. Diese Partikelagglomerate sinken aufgrund ihres höheren Gewichts und größeren Durchmessers schneller ab.

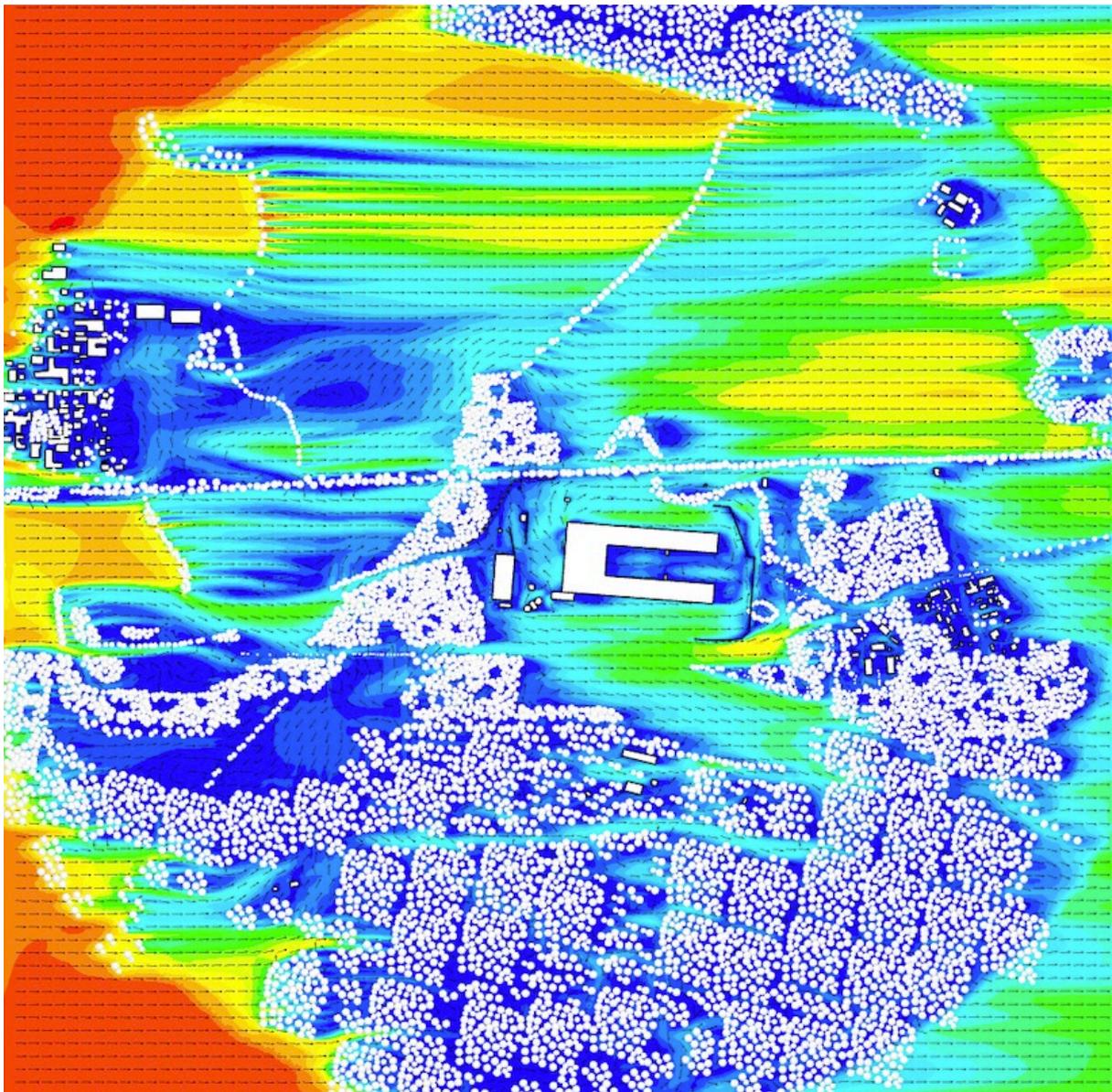


Abb. 07: Darstellung Westwind bei 10m/s Standort Weichering.

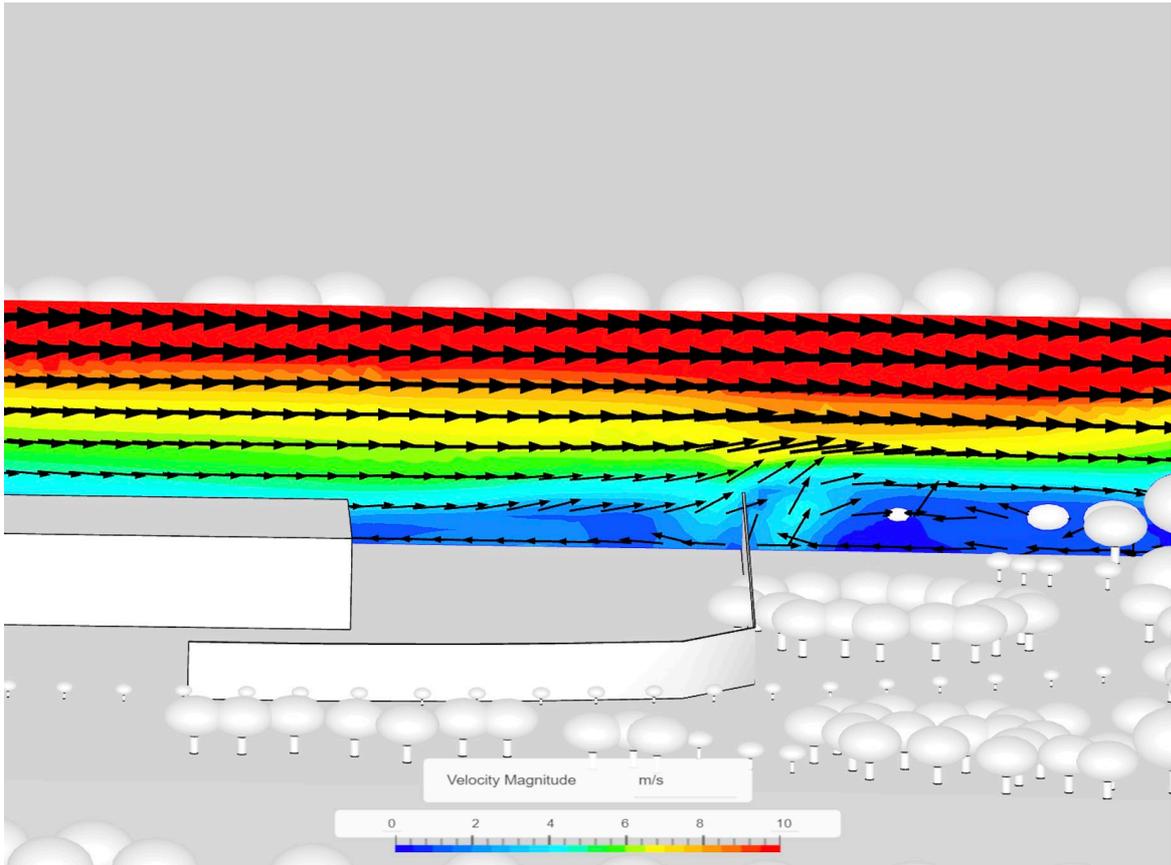


Abb. 08: Darstellung Schnitt Westwind – Detail Lärmschutzwand.

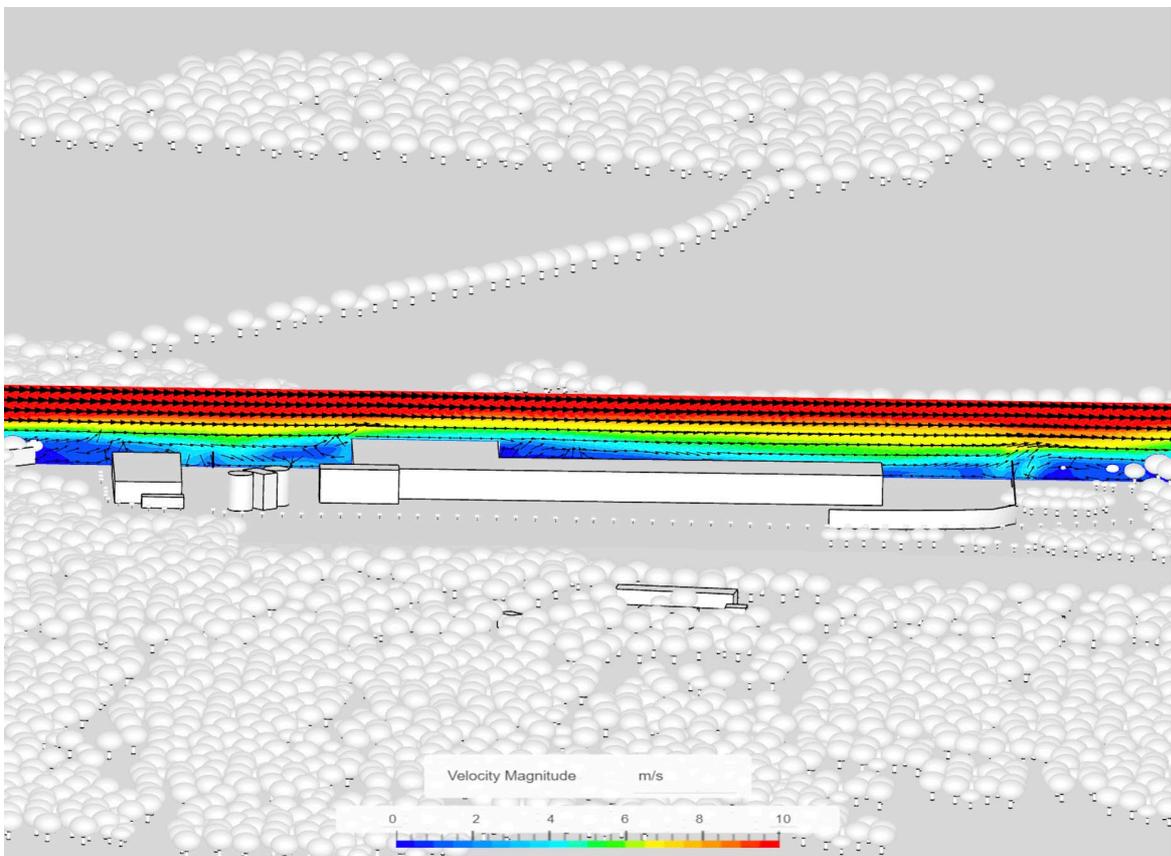


Abb. 09: Darstellung Schnitt Westwind – Paketzentrum Weichering.

## Gesamtbetrachtung der Feinstaubthematik am Paketzentrum Weichering

Ziel dieser Analyse war die Betrachtung der theoretischen Feinstaubbindung des Gebäudebegrünungskonzeptes am DHL Paketzentrums Weichering. Die aufgeführte Literaturrecherche macht deutlich, dass in der Wissenschaft sehr unterschiedliche Auffassungen zur Wirksamkeit von Pflanzen bei der Feinstaubbindung bestehen. Die unterschiedlichen Messergebnisse gründen insbesondere auf die vielen Parameter der Einflussnahme bei den Messungen.

Ausgehend von den genannten Daten, beträgt der Annäherungswert für das Feinstaub-Bindungsvermögen von Fassadenbegrünungen  $6,0 \text{ g/m}^2$  im Jahr, was einer täglichen Aufnahme von  $0,0164 \text{ g/m}^2$  entspricht.

Bei den Dachbegrünungen wurde ein Mittelwert aus den vorhandenen Daten angenommen. Hier ist ein Feinstaub-Bindungsvermögen von etwa  $6,3 \text{ g/m}^2$  im Jahr anzunehmen, was einer täglichen Aufnahme von  $0,0173 \text{ g/m}^2$  entspricht.

Verschiedene Studien haben ein weitaus höheres Bindungsvermögen bei Moosen im Vergleich zur Variante Sedum festgestellt. Diese Form der Begrünung stellt aber zum jetzigen Zeitpunkt keine etablierte Form der Verwendung dar.

Am Standort Weichering ist mit einer durchschnittlichen Verkehrsmenge (Ein- und Ausfahrt eingeschlossen) von 1.295 LKW und 383 PKW zu rechnen. Zusätzlich werden etwa 1.684 Rangieraufträge auf dem Gelände durchgeführt. Mit einer geschätzten Fahrstrecke von 1.500 Metern je Ein- und Ausfahrt, sowie 150 Metern je Rangierauftrag, ist eine zurückgelegte Gesamtstrecke von 2.195,1 km für LKW und 574,5 km für PKW anzunehmen.

Mit der geschätzten Fahrstrecke pro Tag und den erwarteten Emissionen je gefahrenen Kilometer (unterschieden nach LKW & PKW), lassen sich Schätzwerte für die zu erwartenden Emissionen ermitteln. Auf ein Kalenderjahr gerechnet, ergeben sich durch Reifenabrieb erzeugte Emissionen in Höhe von 681,03 kg für LKW und 27,68 kg für PKW. Daraus ergibt sich eine Summe von 708,71 kg Emissionen pro Jahr. In den Modellrechnungen wurde ausschließlich Reifenabrieb betrachtet, da hier die größten Emissionen zu erwarten sind und die umfangreichste Datengrundlage besteht.

Betrachtet man die am Standort geplanten Fassadenbegrünungen, so wird derzeit von rund  $4.088,46 \text{ m}^2$  Begrünung ausgegangen. Mit dem zuvor ermittelten theoretischen Feinstaub-Bindungsvermögen, ergeben sich für die Fassadenbegrünungen eine potenzielle Feinstaubbindung in Höhe von etwa 24,54 kg.

Bei den Dachbegrünungen wird derzeit mit einer Fläche von  $18.309 \text{ m}^2$  geplant, wodurch sich mit den zuvor genannten Daten ein potenzielles Feinstaub-Bindungsvermögen in Höhe von etwa 115,35 kg ergibt. Auf Basis der Datengrundlage konnte keine Unterscheidung in Substrathöhe oder unterschiedlichen Pflanzenkategorien vorgenommen werden.

Ein Vergleich zwischen den zu erwartenden Emissionen am Paketzentrum Weichering und den Emissionen der Bundesstraße 16 zeigt, dass durch die Straße eine 2,4 fach größere Feinstaubemission ausgeht.



Am Standort Weichering treten vorwiegend Westwinde auf. Der geringe Anteil an Feinstaub wird mit großer Wahrscheinlichkeit durch den vorherrschenden Westwind auf dem Gelände des Paketentrums und den östlich angrenzenden Gehölzstrukturen sedimentieren. Die Lärmschutzwand *LSW 6* sorgt für eine Barriere und eine Umlenkung des Luftstroms. Dadurch werden Verwirbelungen erzeugt und der Großteil der Stäube bleibt auf dem Grundstück des Paketentrums. Eine Gefährdung der umliegenden Siedlungsstrukturen ist durch das Paketzentrum Weichering daher nicht zu erwarten.

## 5. Quellenverzeichnis

1. Bartfelder, Kohler (1987): Experimentelle Untersuchungen zur Funktion der Fassadenbegrünung. Technische Universität Berlin, Fachbereich Landschaftsentwicklung. S. 612.
2. Berndtsson et. al. (2009) runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *ecol engin* 35:369–380.
3. Frahm (2008): Feinstaubreduktion an Straßenrändern durch Moosmatten. Vortrag. URL:[http://www.bast.de/nn\\_789794/DE/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Luftqualitaet-2008/luftqualit\\_C3\\_A4t-vortrag-frahm,templated=raw,property=publication-File.pdf/luftqualit\\_C3\\_A4t-vortrag-frahm.pdf](http://www.bast.de/nn_789794/DE/Publikationen/Veranstaltungen/V3-Luftqualitaet-2008/luftqualit_C3_A4t-vortrag-frahm,templated=raw,property=publication-File.pdf/luftqualit_C3_A4t-vortrag-frahm.pdf), Letzter Aufruf: 31.08.2022.
4. Frahm (2007): Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (Hrsg.): Moose reduzieren die Feinstaubbelastung. In Bonn sollen nun Moosmatten zur Fahrbahnrandbegrünung eingesetzt werden, online im Internet unter: <https://www.uni-bonn.de/neues/moose-reduzieren-die-feinstaubbelastung>, zuletzt abgerufen am: 23.08.2022, 09:30 Uhr.
5. Gorbachevskaya; Herfort (IASP) (2012): Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen, online im Internet unter: <https://www.gebaeudegruen.info/service/downloads/fbb-untersuchungen/>, zuletzt abgerufen am: 13.05.2022, 09:30 Uhr.
6. Hamburger Bildungsserver (Hrsg.) (2022): Photosynthese, online im Internet unter: <https://bildungsserver.hamburg.de/treibhausgase/15611982/kohlendioxid-photosynthese/>, zuletzt abgerufen am: 13.05.2022, 09:30 Uhr.
7. Langer (2006): Natürliche Filter? Die Filterung von Feinstauben durch Stadtbäume. *Das Taspo Magazin* 3: 20 - 23.
8. Pfanz et. al. (2006): *Taspo-Magazin*, Ausgabe 3, S. 12.
9. Pfoser (2016): Fassade und Pflanze. Potenziale einer neuen Fassadengestaltung, Darmstadt, online im Internet unter: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/5587/>, zuletzt abgerufen am: 18.02.2019, 9:00 Uhr.
10. Rowe (2011) green roofs as a means of pollution abatement. *environ Poll* 159(8–9):2100–2110.
11. Schreiter (2010): The ecological potential of green tram tracks in urban areas. World green roof Congress, Mexico City, (7.-9. Oktober 2010).
12. Science Media Center Germany (Hrsg.) (2017): Wie werden die Grenzwerte für Luftschadstoffe wie Feinstaub und Stickoxide festgelegt?, online im Internet unter: <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/fact-sheet/details/news/wie-werden-die-grenzwerte-fuer-luftschadstoffe-wie-feinstaub-und-stickoxide-festgelegt/>, zuletzt abgerufen am: 12.05.2022, 08:30 Uhr.
13. Spolek (2008): Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon. *Urban ecosystems* 11:349–359.
14. Statista GmbH (2022): Anteil der Bevölkerung in Städten weltweit von 1985 bis 2015 und Prognose bis 2050, online im Internet unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37084/umfrage/anteil-der-bevoelkerung-in-staedten-weltweit-seit-1985/>, Stand: 23.08.2022, 9:00 Uhr.
15. Thönnessen (2006): Feinstaub und Vegetation – Die EU-Feinstaubverordnung als Impuls für mehr Grün in den Städten. *Das Taspo Magazin* 3: 8 - 11.
16. Thönnessen, Hellack (2005): Staubfilterung durch Gehölzblätter. Anreicherung und Vermeidung von Stauben bei Wildem Wein und Platane. *Stadt und Grün* 54/12: 10 – 15.



17. Umweltbundesamt (2020): Luftschadstoffe im Überblick, online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-imueberblick/feinstaub#undefined>, abgerufen am 31.08.2022.
18. Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019): Wirkungen auf die Gesundheit, online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit#textpart-2>, zuletzt abgerufen am: 31.08.2022, 09:30 Uhr.
19. Umweltbundesamt (Hrsg.) (2019): Wirkungen auf die Gesundheit, online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/wirkungen-von-luftschadstoffen/wirkungen-auf-die-gesundheit#textpart-2>, zuletzt abgerufen am: 31.08.2022, 09:30 Uhr.
20. Umweltbundesamt (Hrsg.) (2022): Luftqualitätsgrenzwerte in Deutschland 2021 nahezu überall eingehalten, online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/luftqualitaetsgrenzwerte-in-deutschland-2021-nahezu>, zuletzt abgerufen am: 25.08.2022, 10:00 Uhr.
21. VDI (Hrsg.) (2016): Statusreport, Ruß in luftgetragendem Feinstaub, online im Internet unter: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-statusreport-russ-in-luftgetragendem-feinstaub>, zuletzt abgerufen am: 23.08.2022, 10:00 Uhr.
22. World Health Organization (Hrsg.) (2019): Fast 600 000 Todesfälle in Europa jährlich wegen Luftverschmutzung: neuer Bericht des WHO-Hauptbüros, online im Internet unter: <http://www.euro.who.int/de/health-topics/environment-and-health/air-quality/news/news/2014/03/almost-600-000-deaths-due-to-air-pollution-in-europe-new-who-global-report>, zuletzt abgerufen am: 18.02.19, 9:00 Uhr.
23. Yang et. al. (2008): Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *atmosph environ* 42(31):7266–7273.



## 6. Abbildungsverzeichnis

Abb.01: Oberflächenaufnahmen der ungereinigten Blätter von *Parthenocissus tricuspidata* und *Platanus x hispanica* im Herbst (Quelle: *Thönnessen und Hellack 2005, in IASP (2012): Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen*).

Abb. 02: Aufnahme Rasterelektronenmikroskop: Anhaftung von Staubpartikeln an einer *Bergenia* im Citytunnel Darmstadt (Quelle: *Kilian van Lier, Vertiko GmbH*).

Abb. 03: Aufbau begrünte Wand im Citytunnel Darmstadt/ IoT Messgerät zur Ermittlung der Feinstaub- und Stickoxidkonzentration (Quelle: *Kilian van Lier, Vertiko GmbH*).

Abb. 04: Feinstaub (PM 10)–Emissionen nach Verursacher in Deutschland (Quelle: Umweltbundesamt, Eigene Darstellung).

Abb. 05: Emissionsmodell für Reifenabrieb in der Atmosphäre (Quelle: Fraunhofer UMSICHT (2018): TyreWearMapping – Einfluss von Reifenabrieb auf die Umwelt, online im Internet unter: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/tyre-wearmapping/präsentation-einfluss-von-reifenabrieb.pdf>; zuletzt abgerufen am: 31.08.2022.)

Abb. 06: Windrose am Standort Weichering (Quelle Vertiko GmbH).

Abb. 07: Darstellung Westwind bei 10m/s Standort Weichering (Quelle Vertiko GmbH).

Abb. 08: Darstellung Schnitt Westwind – Detail Lärmschutzwand (Quelle Vertiko GmbH).

Abb. 09: Darstellung Schnitt Westwind – Paketzentrum Weichering (Quelle Vertiko GmbH).

## 7. Tabellenverzeichnis

Tab. 01: Feinstaubaufnahme der Dachoberfläche (1000 m<sup>2</sup>): extensive Dachbegrünung mit Sedum und Schotterdach (Quelle: Thönnessen und Hellack 2005, in IASP (2012): Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen).

Tab. 02: Erwartete Verkehrszahlen des Paketzentrums Weichering (Quelle: Deutsche Post AG).

Tab. 03: Reifenabriebsbedingte Emissionsfaktoren (Quelle: Klein et. Al: Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands, Task Force on Transportation of the Dutch Pollutant Release and Transfer Register, 2016, in Fraunhofer UMSICHT (2018): TyreWearMapping – Einfluss von Reifenabrieb auf die Umwelt, online im Internet unter: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/referenzen/tyrewearmapping/präsentation-einfluss-von-reifenabrieb.pdf>; zuletzt abgerufen am: 31.08.2022.).

Tab. 04: Erwartete Staubemissionen Paketzentrum Weichering (Eigene Darstellung).

Tab. 05: Erwartete Emissionen unterteilt nach PM<sub>10</sub> und Grobpartikeln (Eigene Darstellung).

Tab. 06: Erwartete Verkehrszahlen Teilstück B 16 (IGS Ingenieurgesellschaft Stolz mbH, Eigene Darstellung).

Tab. 07: Erwartete Staubemissionen Teilstück B 16 (Eigene Darstellung).

Tab. 08: Vergleich erwartete Staubemissionen Teilstück B 16 zu Paketzentrum Weichering (Eigene Darstellung).

Tab. 09: Geplante vertikale Bauwerksbegrünung (Quelle: Deutsche Post AG, Eigene Darstellung).

Tab. 10: Geplante Dachbegrünungen (Quelle: Deutsche Post AG, Eigene Darstellung).

Tab. 11: Potenzial Feinstaubbindung der geplanten Dach- und Fassadenbegrünungen am Paketzentrum Weichering (Eigene Darstellung).

