

Windumströmungssimulation und Bewertung des Windkomforts nach VDI 3787

Mit Herzog de Meuron Architekten
Für die Büschl Unternehmensgruppe

Transsolar Energietechnik GmbH



27.05.2024

1. Zusammenfassung.....	(Seite 3)
2. Wetterdaten	(Seite 7)
3. Windprofil.....	(Seite 11)
4. Modellgeometrie.....	(Seite 16)
5. Windumströmung WSW – Variantenvergleich.....	(Seite 19)
• Horizontalschnitte Höhe 1.5m / 15m / 45m / 60m über Boden; Dachterrassen und Vertikalschnitte	
6. Gegenüberstellung/Differenzberechnung.....	(Seite 55)
7. Statistischer Windkomfort – VDI.....	(Seite 60)
8. Optimierungen –Vergleich Planungstand März 2023 und aktuell.....	(Seite 76)
9. Untersuchung: Geöffnet vs Geschlossene Halle.....	(Seite 83)

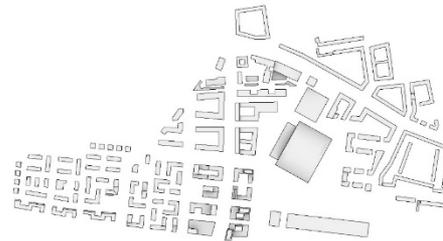
Zusammenfassung

Aufgabenstellung und Windkanal

Die Büschl Unternehmensgruppe plant die Errichtung eines neuen Stadtbausteins «Paketpostareal» im direkten Umgriff der denkmalgeschützten Paketposthalle im Münchener Westen. Das Areal soll mit einer blockartigen «Teppichbebauung», sowie mehreren Hochpunkten und mit einer starken Nutzungsdurchmischung entwickelt werden.

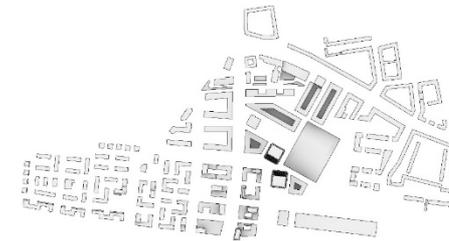
Die folgenden Studien konzentrieren sich auf zwei unterschiedliche städtebauliche Lösungen: den bestehenden, rechtsgültigen Bebauungsplan Nr. 1926a, fortan als "B-Plan 1926a" bezeichnet, und den neuen Entwicklungsplan, vorgelegt von Herzog de Meuron Architekten, im Folgenden als "B-Plan Verfahren 2147" bezeichnet. Das neue Vorhaben sieht die Errichtung mehrerer Hochhäuser vor, die Einfluss auf die Windverhältnisse in der Nachbarschaft haben. In diesem Sinne wurde eine Reihe von Windströmungssimulationen (CFD - Computational Fluid Dynamics) durchgeführt, um die Luftbewegungen und die Windbeschleunigungen zu analysieren.

Der Ist-Zustand wurde in dem Vergleich nicht berücksichtigt, da in der Untersuchung nur bauliche Endzustände betrachtet werden. Der B-Plan 1926a entspricht dem aktuell rechtsgültigen baulichen Endzustand und wurde daher als Referenz zu dem neu geplanten B-Plan Verfahren 2147 verwendet. Die Ist-Situation entspricht nur einer Teilbebauung des aktuellen B-Planes, Erkenntnisse aus diesem baulichen Zustand hätten somit keine Konsequenz, da sich die Windströmungen durch das hinzufügen weiterer, rechtlich zulässiger Gebäude signifikant ändern würde. Im gleichen Zuge wird auch bei dem neuen B-Plan Verfahren 2147 nur der Endzustand betrachtet, mögliche einzelne Bauabschnitte werden nicht berücksichtigt.



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

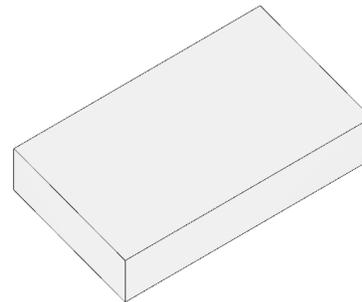
Zusammenfassung

Aufgabenstellung und Windkanal

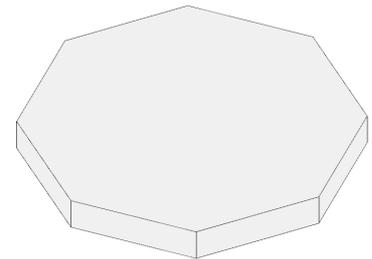
Die Referenzgeschwindigkeit aus dem verwendeten Wetterdatensatz in 10 m Höhe beträgt 4,5 m/s, daraus abgeleitet beträgt die Bezugsgeschwindigkeit in 1,5 m Höhe über dem Boden 1,7 m/s (Fußgängerniveau).

In dieser Untersuchung wird die Durchschnittswindgeschwindigkeit ohne Berücksichtigung von temporären Böengeschwindigkeiten betrachtet (ganzjähriger Mittelwert für Umströmung, sowie stündlicher Mittelwert bei Windkomfortbetrachtung). Darüber hinaus wird in diesen Studien die Vegetation des Geländes nicht berücksichtigt.

In der Studie wurden zwei Arten von virtuellen Windkanälen verwendet: ein unidirektionaler Tunnel mit der für den Standort am häufigsten vorkommenden Windrichtung und ein achteckiger (oktogonaler) Windkanal. Jeder von ihnen wurde für einen anderen Zweck gebaut, wobei der unidirektionale Tunnel auf die Untersuchung der Windgeschwindigkeit und -beschleunigung sowie der Windströmungsmetriken ausgerichtet war, während der oktogonale Tunnel zur Bewertung der Komfortparameter nach VDI 3787 am Standort entwickelt wurde, um die ganzjährigen Windverhältnisse abzubilden.



unidirektionaler
Windkanal



oktogonaler
Windkanal

Zusammenfassung

Schlussfolgerungen



Die berechneten Strömungsfelder wurden für verschiedene Höhen dargestellt, zum einen, um den Fußgängerkomfort und die Aufenthaltsqualität zu bewerten, aber auch die Windströmungen in größeren Höhen und weiterem Umgriff.

Die Auswirkungen des neuen Bebauungsplanes auf das Mikroklima werden in einem separaten Gutachten betrachtet.

Folgende Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen können in die weitere Planung einfließen:

Windströmung

- Im hier simulierten Fall (Hauptwindrichtung WSW) bewirken die Türme in ihrer unmittelbaren Umgebung in Bodennähe (Fußgängerebene) eine Erhöhung der Windgeschwindigkeiten durch Fallwinde und Strömungsablösungen. Dies ist ein typisches Phänomen bei Hochhäusern. Die erreichte Windbeschleunigung ist weitgehend als unkritisch zu bewerten.
- Die Fallwinde in Turmnahe könnten Fußgängeraktivitäten beeinträchtigen, die dort gemessenen Windbeschleunigung sind jedoch nicht höher als für normale Straßenaktivitäten empfohlenen Werte. Daher sind dynamische Aktivitäten wie z.B. Gehen und Radfahren weiterhin möglich. Es wird jedoch empfohlen, Bereiche für den längeren Aufenthalt wie Sitzgelegenheiten in den windberuhigten Zonen zu platzieren.
- Bereiche mit erhöhten Windgeschwindigkeiten durch Fallwinde oder Tunneleffekte können durch gezielte Elemente (z.B. Vordächer, Pavillions, etc.) oder Bepflanzungen (z.B. Bäume) eine Strömungsreduktion erfahren.
- In den höher gelegenen Bereichen kommt es aufgrund des Windwiderstandes der Türme zu turbulenten Nachlaufzonen, die die laminaren Windströmungen in dieser Höhe verändern. Die erzeugten Turbulenzen führen zu geringeren Windgeschwindigkeiten auf der windabgewandten Seite der Türme, aber auch zu einer stärkeren Durchmischung der höheren und teilweise kühleren Luftschichten mit den bodennahen durch die Stadt aufgewärmten Luftmengen.
- Auf den Dächern erreicht der Wind die Aufenthaltszone mit höheren Geschwindigkeiten als auf Bodenniveau. Daher müssen hier bauliche Maßnahmen zur Erhöhung des Windkomforts ergriffen werden, um die Dächer über das Jahr als Aufenthaltsbereiche nutzen zu können.

Zusammenfassung

Schlussfolgerungen

Numerische Vergleich / Differenzberechnung

- Die Überlagerung der Windgeschwindigkeiten zwischen den beiden untersuchten Varianten zeigt signifikante Unterschiede zwischen dem B-Plan Verfahren 2147 und dem B-Plan 1926a. Während der B-Plan 1926a mehr Windschattengebiete erzeugt und die Luftzirkulation einschränkt, fördern die Baumassen des neuen B-Plan Verfahrens 2147 stellenweise eine verbesserte Luftzirkulation. Besonders auffällig ist dies im Vergleich der Windgeschwindigkeiten auf Fußgängerniveau. In den Bereichen der MU 4, 6, 7 und 8 ist eine deutliche Zunahme der Windgeschwindigkeit im Rahmen des B-Plan Verfahrens 2147 im Vergleich zum B-Plan 1926a zu beobachten.

Übereinstimmung mit dem Windkomfortstandard

- In Übereinstimmung mit der Norm VDI 3787-4 wurde eine umfassende Analyse der Windbedingungen an verschiedenen Messpunkten durchgeführt. Die Studie zeigt, dass die Windkomfortbedingungen über den Großteil des Jahres in den besten Komfort-Kategorien A und B liegen. Laut VDI sind diese Kategorien geeignet für längeres Sitzen oder Stehen, kurzzeitiges Sitzen oder Stehen, Bummeln und zügiges Durchqueren. In den Bereichen der Kategorie A können alle Aktivitäten ohne Risiko für den Komfort der Fußgänger durchgeführt werden. In den mit B gekennzeichneten Bereichen könnten jedoch Tätigkeiten wie langes Sitzen und Stehen unkomfortabel werden. Es wird daher die Anordnung von z.B. Erholungsflächen und Außengastronomie in Bereichen der Windkomfortkategorie A empfohlen. Es sind aber auch lokale Windschutzmaßnahmen wie Bepflanzungen in Bereichen der Windkomfortkategorie B denkbar, um diese hinsichtlich Windkomfort zu verbessern. Dies gilt es bei der weiteren Planung der Freianlagen zu berücksichtigen. Die Vorgaben für Risikobedingungen nach Norm NEN 8100 wurde ebenfalls analysiert, und es wurde kein Risiko für Fußgänger aufgrund von starkem Wind festgestellt. Es ist wichtig zu beachten, dass bei beiden Analysen durchschnittliche stündliche Windgeschwindigkeit (siehe Seite 7) verwendet wurden, die keine Böengeschwindigkeiten berücksichtigen. Diese können für kurze Zeiträume deutlich höher ausfallen.

Vergleich zwischen geschlossener und offener Halle

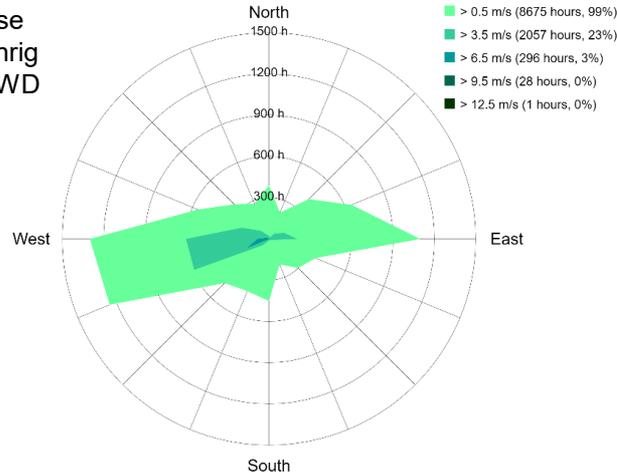
- Es wurde eine vergleichende Umströmungsstudie durchgeführt, um den Unterschied der Strömungsfelder zwischen einer geschlossenen und einer offenen Halle herzustellen. In einigen Bereichen werden bei einer geschlossenen Halle höhere Windbeschleunigungen erreicht, als im geöffneten Fall. Die Auswirkungen einer geschlossenen Halle auf die Strömungsfelder sind gering, eine deutlich größere Auswirkung auf die lokalen Beschleunigungseffekte hat die Ausformulierung der Türme.

Wetterdaten

Windrose und Windgeschwindigkeiten nach Angaben des DWD und IVEC

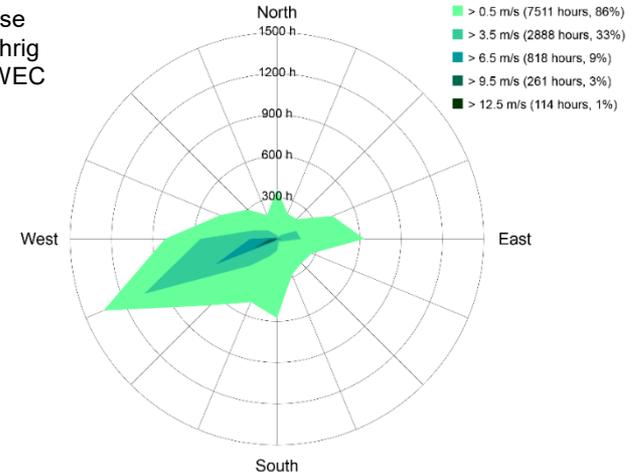


Windrose
Ganzjährig
nach DWD



Station Name: try2015y_N48_150E11_523
Temperature between -12.2 and 30.7 C
Jan 1 to Dec 31
From 0 h to 24 h
Turn: 0 degrees

Windrose
Ganzjährig
nach IVEC



Station Name: ivec_munich
Outdoor air temperatures between -16.5 and 33.3 C
Jan 1 to Dec 31
From 0h to 24h
Turn: 0 degrees

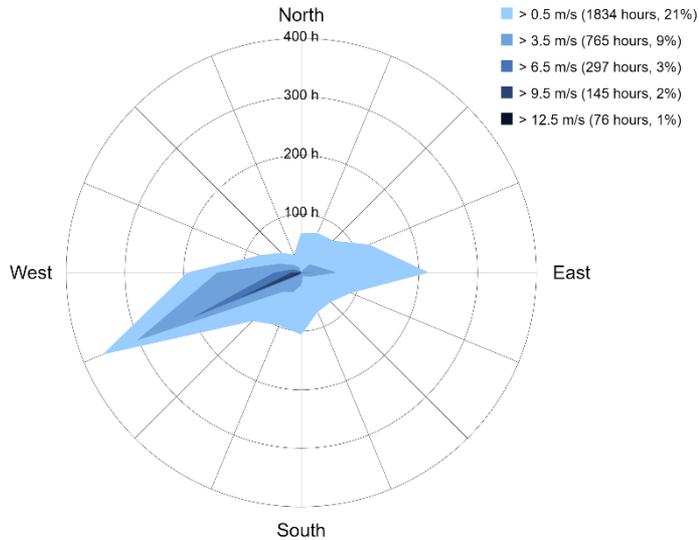
Winddaten unterscheiden sich stark je nach Aufstellort und räumlichen Gegebenheiten der Messtation. Aus diesem Grund werden verschiedene Wetterdatensätze betrachtet.

Nach Klimadatensätzen des DWD (Deutschen Wetterdienst) und IVEC (International Weather for energy calculations) kann angenommen werden, dass die ganzjährig vorherrschende Windrichtung West-Süd-West WSW ist. In dieser Analyse wird auf die IVEC-Wetterdaten zurückgegriffen, da diese die kritischen Windgeschwindigkeiten besser darstellen als die DWD-Wetterdaten. Die Datenbasis für die IVEC-Windrose entspricht einem Zeitraum von 9 Jahren (1982 bis 1990). Für die DWD-Windrose wurde ein Zeitraum von 18 Jahren (1995 bis 2012) verwendet.

Wetterdaten

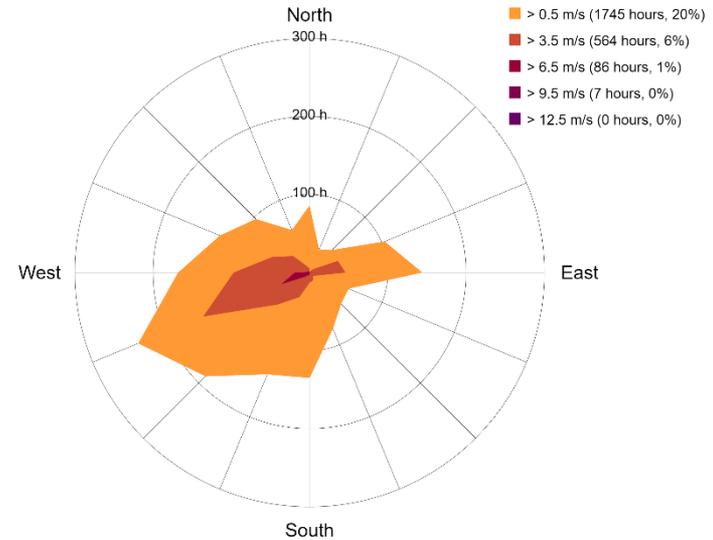
Windrose und Windgeschwindigkeiten

Winter Windrose



Station Name: iwec_munich
Temperature between -20 and 50 C
Dec 21 to Mar 20
From 0 h to 24 h
Turn: 0 degrees

Sommer Windrose



Station Name: iwec_munich
Temperature between -20 and 50 C
June 21 to Sept 12
From 0 h to 24 h
Turn: 0 degrees

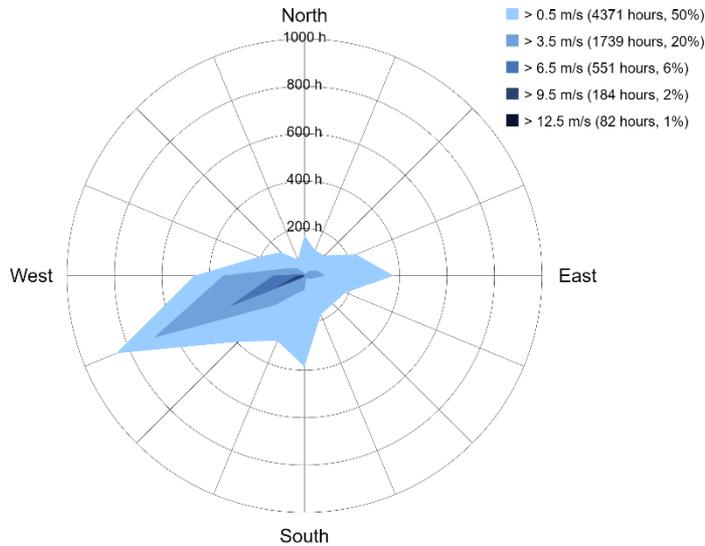
Die Windrose für die Winter- und Sommermonate zeigt die vorherrschende Windrichtung WSW. Kalte und warme Winde sind jedoch nicht auf die Sommer- und Wintermonate beschränkt, daher wird alternativ auch der kalte und warme Wind nach Temperaturbereichen über das gesamte Jahr dargestellt (folgende Seite).

Wetterdaten

Windrose und Windgeschwindigkeiten

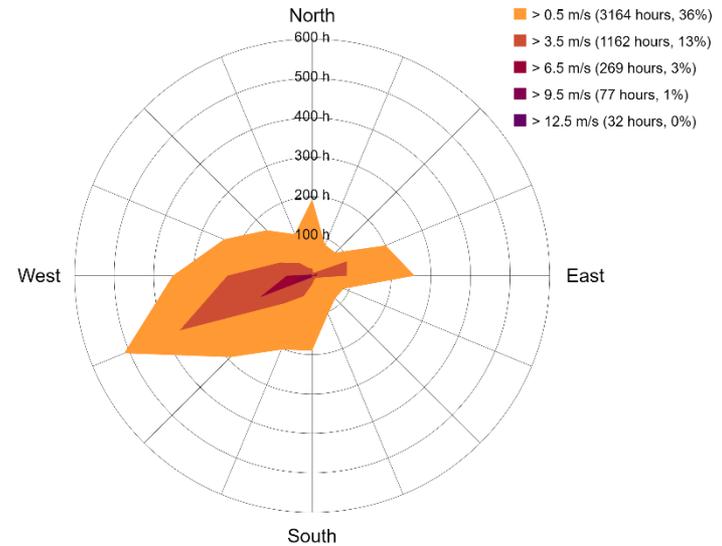


Kalter Wind ganzjährig (T < 10°C)



Station Name: iwec_munich
Temperature between -20 and 10 C
Jan 1 to Dec 31
From 0 h to 24 h
Turn: 0 degrees

Warmer Wind ganzjährig (T > 10°C)



Station Name: iwec_munich
Temperature between 10 and 50 C
Jan 1 to Dec 31
From 0 h to 24 h
Turn: 0 degrees

Die lokalen Wetterdatensätze für München (IWEC - International Weather for Energy Calculation) zeigen in der Windrose ganzjährig die Hauptwindrichtung West - Süd - West. Dies ist auch die vorherrschende Windrichtung bei kalten und warmen Winden.

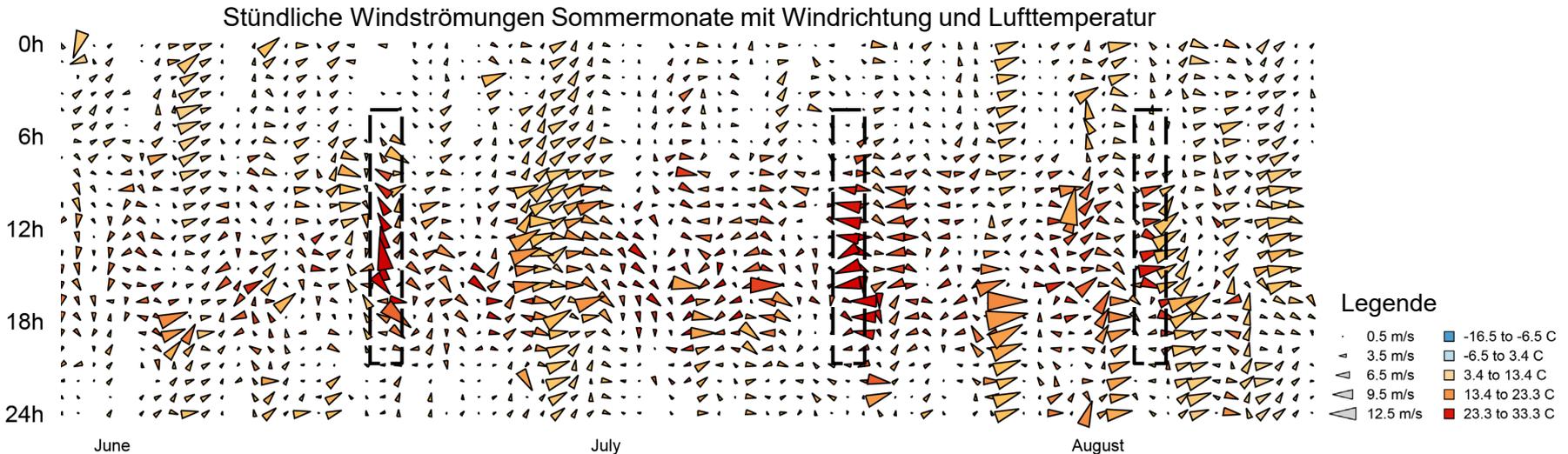
Wetterdaten

Windrichtungen im Sommer

Die statistischen Wetterdaten zeigen, dass trotz der hier untersuchten vorherrschenden Hauptwindrichtung WSW eine hohe Varianz bei den Windrichtungen vorliegt. Insbesondere in den unten dargestellten Sommermonaten und bei hohen Temperaturen wird ersichtlich, dass der Wind über den Tagesverlauf nicht konstant aus einer Richtung einströmt, sondern sich innerhalb weniger Stunden deutlich in seiner Richtung verändern kann.

Die in dieser Studie berechnete Hauptwindrichtung stellt somit den statistisch häufigsten Fall dar, ist jedoch nicht als alleinige Windrichtung zu verstehen.

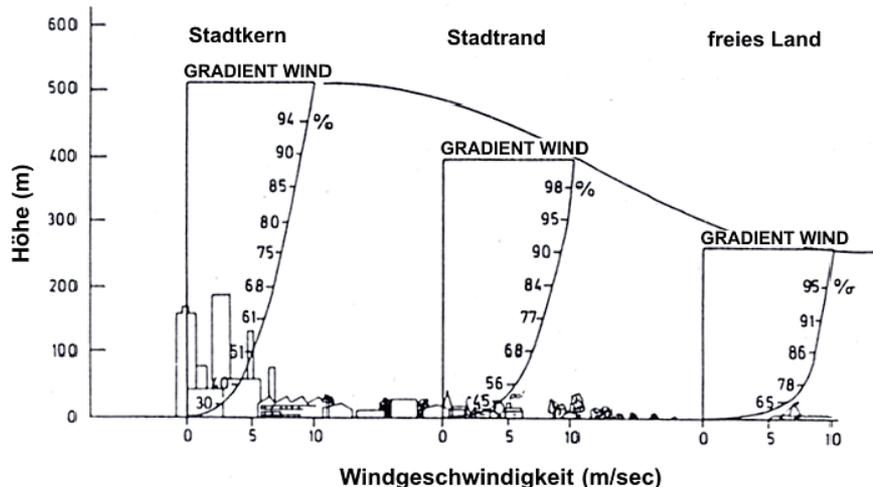
Aus diesem Grund wurde auch eine ganzjährige Untersuchung der Windkomforts mit verschiedenen Windrichtungen unternommen (siehe Kapitel Statistischer Windkomfort VDI).



Windprofil

Logarithmisches Geschwindigkeitsprofil

Für die Erstellung des logarithmischen Windprofils wurde das bebaute Umfeld des Paketpost-Areals detailliert analysiert, um die korrekte Geländerauhigkeit für die Erstellung des geeigneten logarithmischen Windprofils zu bewerten. Diese Analyse ist entscheidend, da das Windprofil maßgeblich von der Oberflächenbeschaffenheit und den Hindernissen im lokalen Terrain beeinflusst wird. Die Untersuchung der Geländerauhigkeit umfasst die Bewertung verschiedener Faktoren, wie Gebäudehöhen, Vegetationsdichte und die Anordnung von Strukturen, die den Windfluss modifizieren können.



Vertikales Windprofil über der Innenstadt, Stadtrand und Freiland;
(ROBEL et al., 1978)

* Robel F., Hoffmann U., Riekert A., (1978) Daten und Aussagen zum Stadtklima von Stuttgart auf der Grundlage der Infrarot Thermographie Beiträge zur Stadtentwicklung Nr. 15, Landeshauptstadt Stuttgart

Windprofil

Logarithmisches Geschwindigkeitsprofil



Typen der Geländerauheit

Die Oberflächenrauheit, dargestellt durch die Rauheitslänge (z_0), hat einen signifikanten Einfluss auf das Windprofil. Verschiedene Geländetypen haben unterschiedliche Rauheitslängen, die beeinflussen, wie schnell die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt. Gängige Kategorien der Geländerauheit umfassen:

1. See oder Ozean (Sehr Glatt): Sehr geringe Rauheit, $z_0 \approx 0.0002$ m.
2. Flaches und offenes Gelände: Minimale Hindernisse, $z_0 \approx 0.005$ m.
3. Ackerland oder Grasland: Mäßige Rauheit, $z_0 \approx 0.03$ m.
4. Vorstadtgebiete: Höhere Rauheit aufgrund von Häusern und kleinen Gebäuden, $z_0 \approx 0.25$ m.
5. Städtische Gebiete: Sehr hohe Rauheit, mit hohen Gebäuden und Strukturen, $z_0 \approx 0.5$ bis 1.0 m.
6. Wälder oder stark bebaute städtische Gebiete: Extrem hohe Rauheit, $z_0 > 2$ m.

Die Rauheitslänge (z_0) und der Exponent des Windprofil-Potenzgesetzes (α) sind Schlüsselparameter bei der Modellierung des Windprofils. Sie beeinflussen die Planung und Bewertung von Windenergieprojekten sowie die Architektur und Stadtplanung zur Minderung windbedingter Probleme.

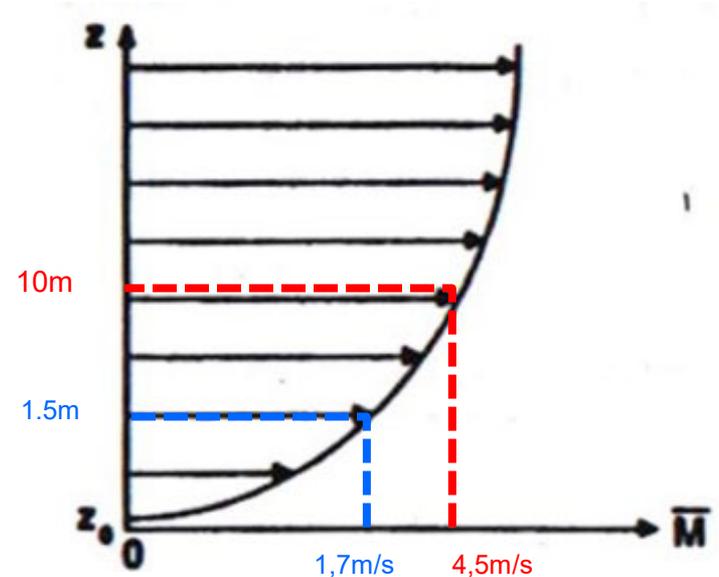
Windprofil

Logarithmisches Geschwindigkeitsprofil

In dieser Analyse wurde die Geländerauhigkeit mit $z_0 = 1,0$ angesetzt. Außerdem wurde der durchschnittliche Wind in einer bestimmten Höhe als Grundlage für die Ergebnisse verwendet.

Die Bezugsgeschwindigkeit in 10 m Höhe beträgt 4,5 m/s, während die Bezugsgeschwindigkeit in 1,5 m Höhe über dem Boden 1,7 m/s beträgt.

Es ist jedoch zu beachten, dass die verwendeten Windgeschwindigkeiten nicht mit der Böengeschwindigkeit übereinstimmt. Analysen zu max. möglichen Geschwindigkeiten z.B. für statische Auslegungen von Bauteilen muss mit Hilfe eines physikalischen Windkanaltests durchgeführt werden.



Windprofil

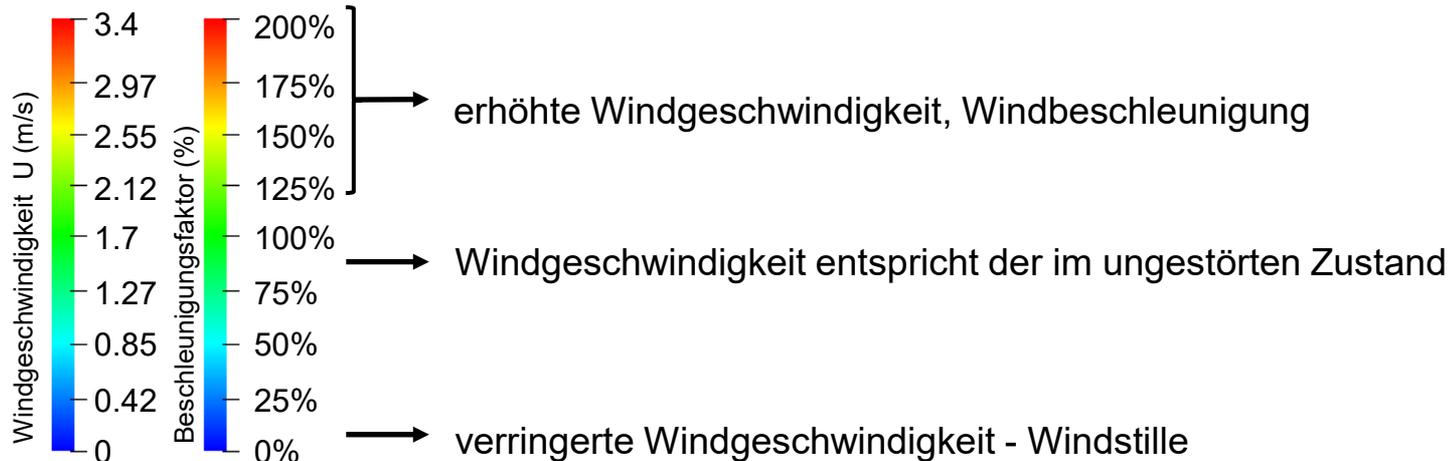
Windgeschwindigkeit / Beschleunigungsfaktor

Für unterschiedliche Höhen weist der ungestörte Wind unterschiedliche Geschwindigkeiten auf. Daher ist zu beachten, dass die Skala für jede untersuchte Höhe an die ungestörte Windgeschwindigkeit der jeweiligen Höhe angepasst wird.

Die Legende wurde basierend auf den häufigsten Windgeschwindigkeiten, die das Untersuchungsgebiet beeinflussen, entwickelt. Als Referenz für die Windgeschwindigkeitsbeschleunigung und -reduktion wurde die Referenzgeschwindigkeit berücksichtigt. Daher stellt die Windgeschwindigkeit im Diagramm 100% des natürlichen Windverhaltens bei ungestörten Windbedingungen dar, wenn sie auf dieselbe Geschwindigkeit wie die Referenzgeschwindigkeit eingestellt ist. Wenn die Geschwindigkeit bei 150% liegt, in diesem Fall bei 2,55 m/s, bedeutet dies, dass der Wind an diesem Punkt im Vergleich zum ungestörten Wind beschleunigt.

Der Beschleunigungsfaktor lässt sich somit für andere Referenzgeschwindigkeiten umrechnen. Für sehr starke Winde, wie in der VDI 3787 Blatt 4 definiert, gibt es am Standort kein Auftreten. Daher wird diese Geschwindigkeit nicht in der Legende dargestellt.

So ist beispielweise die ungestörte Windgeschwindigkeit in 1.5 m Höhe basierend auf dem verwendeten Windprofil 1,7 m/s, die Ergebnisdarstellung sieht für diese Höhe entsprechend so aus:



Windprofil

Beaufort-Skala



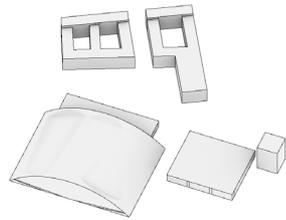
Die Beaufort-Skala bewertet die Windgeschwindigkeit von Windstille (Beaufort 0) bis Sturm (Beaufort 9), wobei jeder Grad bestimmte Windgeschwindigkeiten und deren Einfluss auf die Umgebung beschreibt. Die Skala erleichtert es, die dargestellten Windgeschwindigkeiten begrifflich zu machen, den Komfort im Freien zu bewerten und hilft bei der Planung und Optimierung öffentlicher Außenbereiche.

Beaufort-grad (Bft)	Bezeichnung	Mittlere Windgeschwindigkeit in auf Fußgängerniveau über freiem Gelände (m/s)	Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland
0	Windstille	0 - 0,1	keine Luftbewegung, Rauch steigt senkrecht empor
1	leiser Zug	0,2 - 1,0	kaum merklich, Rauch treibt leicht ab, Windflügel und Windfahnen unbewegt
2	leichte Brise	1,1 - 2,3	Blätter rascheln, Wind im Gesicht spürbar
3	schwache Brise	2,4 - 3,8	Blätter und dünne Zweige bewegen sich
4	mäßige Brise	3,9 - 5,5	Zweige bewegen sich, Staub und loses Papier wird vom Boden gehoben
5	frische Brise, frischer Wind	5,6 - 7,5	Spürbare Kraft des Windes, Schwierigkeiten beim Gehen, wenn man eine windige Zone betritt
6	starker Wind	7,6 - 9,7	Regenschirme können nur schwer benutzt werden, es fällt schwer gleichmäßig zu gehen, Wind deutlich hörbar
7	steifer Wind	9,8 - 12,0	Bäume schwanken, fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind
8	stürmischer Wind	12,1 - 14,5	Behindert im Allgemeinen das Vorankommen, Gleichgewicht sehr schwierig zu halten in Windböen
9	Sturm	14,6 - 17,1	Kleinere Schäden an Häusern, Gartenmöbel werden umgeworfen und verweht, Menschen werden umgeweht

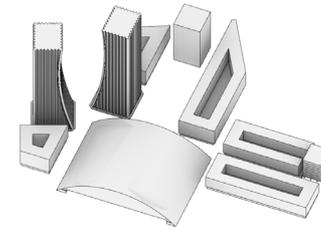
Modellgeometrie

Übersicht - Modell und Anströmung in Hauptwindrichtung

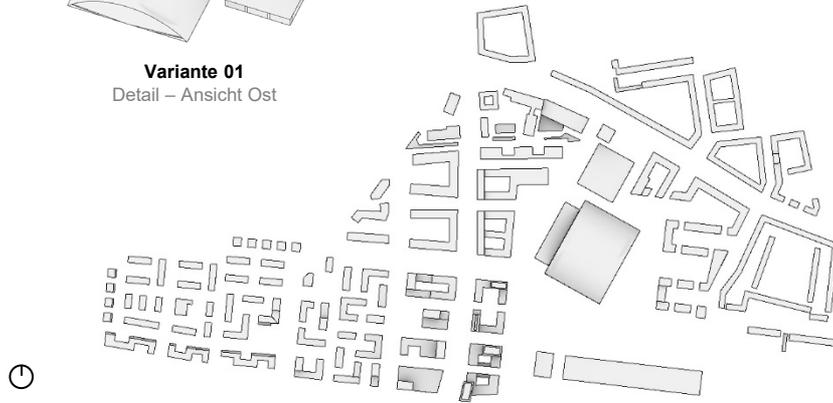
Ein Volumenmodell der geplanten Gebäude basierend auf der Planung des Architekturbüros Herzog de Meuron (HdM), sowie der bestehenden umgebenden Bebauung wurde für die Simulation in die virtuellen Windkanäle platziert.



Variante 01
Detail – Ansicht Ost



Variante 02
Detail – Ansicht Ost



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren

2147



Quelle: Modell auf Basis Plan © LHM

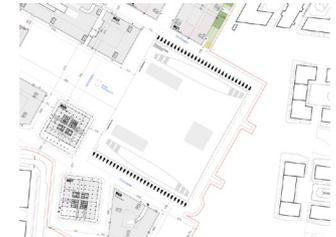
Quelle: Modell auf Basis Plan © LHM, Herzog de Meuron

Modellgeometrie

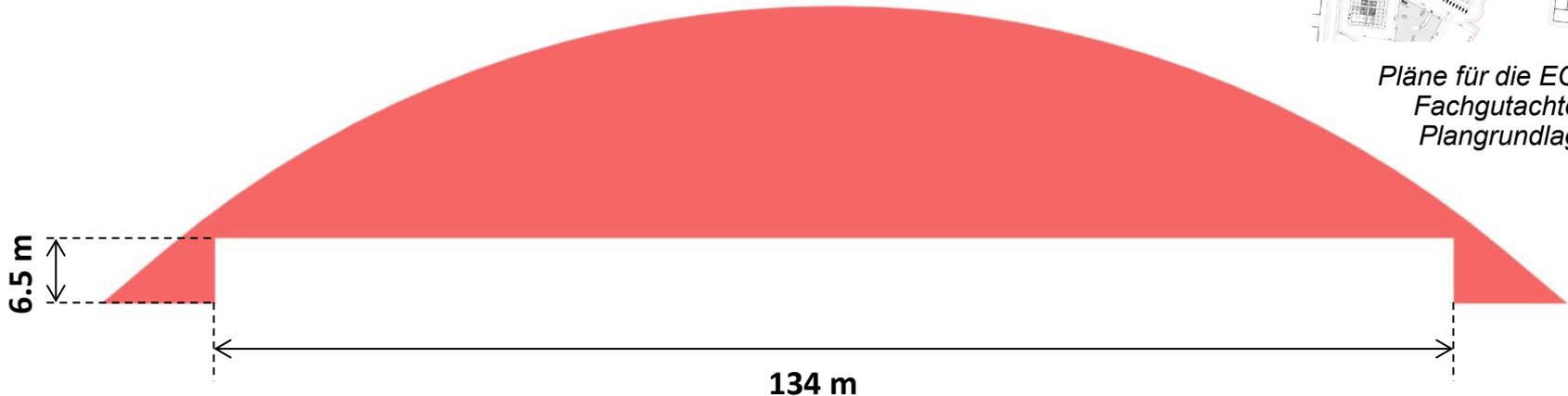
Übersicht - Modell und Anströmung in Hauptwindrichtung



Die Studie basiert auf dem Modell des Architekten vom 26. Juli 2023 (Plangrundlage Fachgutachten §4.2), das allen Gutachten zugrunde liegt. In diesem Modell ist die Halle offen. Aus diesem Grund wurden die Simulationen mit dem Basismodell und somit auch mit dem offenen Erdgeschoss durchgeführt für den B-Plan Verfahren 2147. Der obere Teil der Halle ist gemäß den Zeichnungen des Architekten geschlossen. Beachten Sie, dass für das CFD-Modell einige Vereinfachungen erforderlich sind.



Pläne für die EG -
Fachgutachten
Plangrundlage

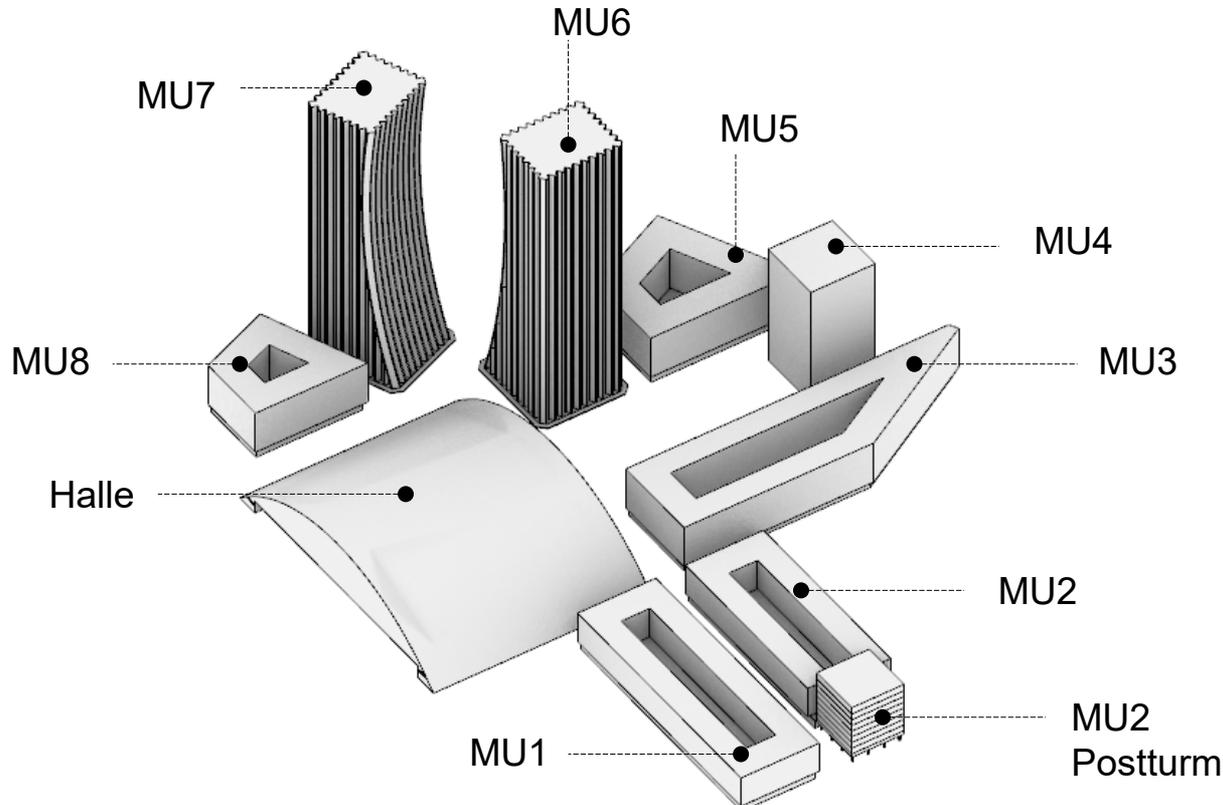


Öffnungsfläche	871 m ²
Fassadenfläche (rot)	2540 m ²
Gesamtfläche	3290 m ²
Öffnungsanteil	25%

Modellgeometrie

Übersicht - Modell und Anströmung in Hauptwindrichtung

Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Baukörper des B-Plan Verfahrens 2147 ab Juli 2023 nach der Plangrundlage Fachgutachten §4.2 benannt. Die Hochpunkte sind hierbei die beiden Türme MU6 + MU7, deutlich niedrigere Hochpunkte bilden MU4 und der bestehende Postturm MU2, der modernisiert werden soll.

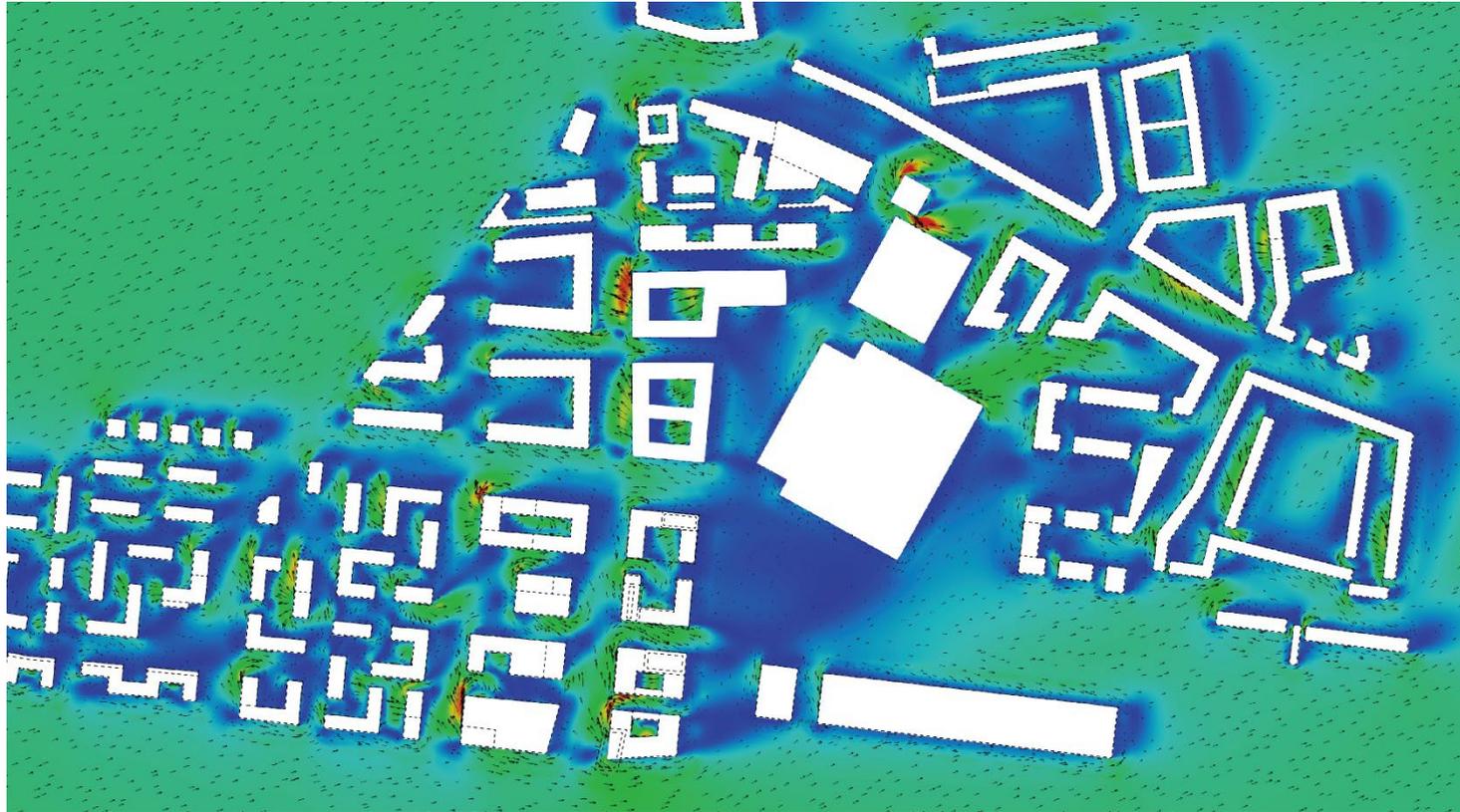


Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5 m über Boden

Wind-Umströmung WSW

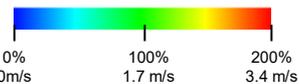
Horizontalschnitt - 1.5 m über Boden



Variante 01

B-Plan 1926a

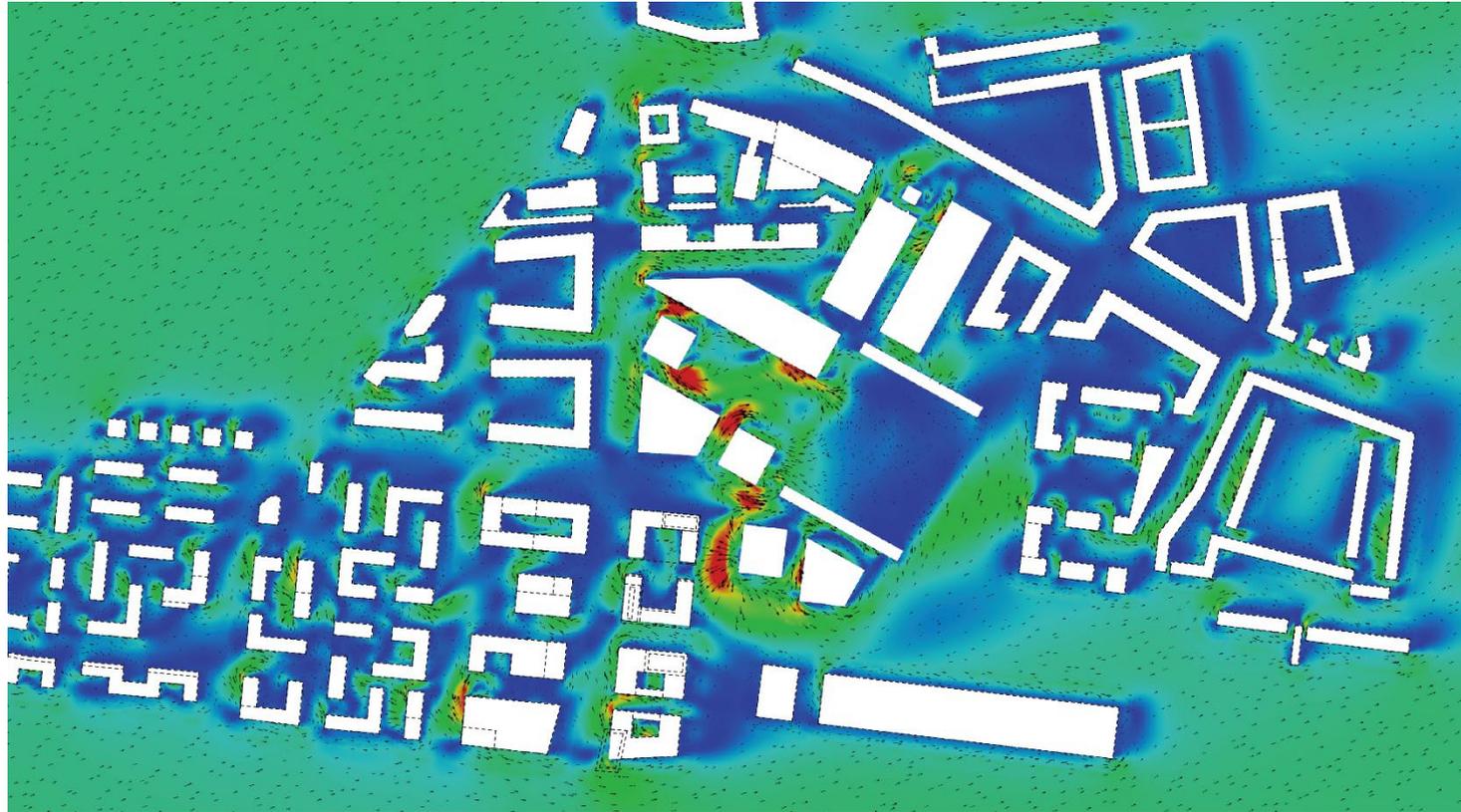
Windgeschwindigkeit



Uref = 1.7 m/s at 1.5m über Boden

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5 m über Boden



Die Paketposthalle wurde in dieser Variante als offene Fläche auf Fußgängerebene berechnet, wie in der Plangrundlage Fachgutachten §4.2), die allen Gutachten zugrunde liegt.

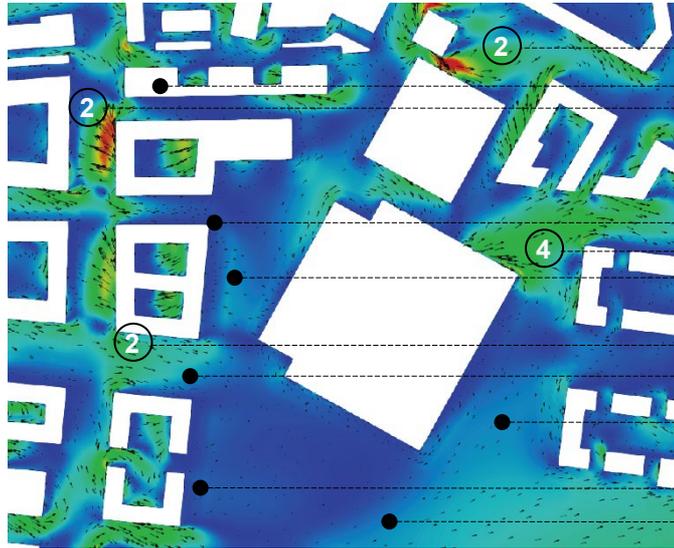
Variante 02

B-Plan Verfahren
2147

Windgeschwindigkeit
0% 100% 200%
0m/s 1.7 m/s 3.4 m/s
Uref = 1.7 m/s at 1.5m über Boden

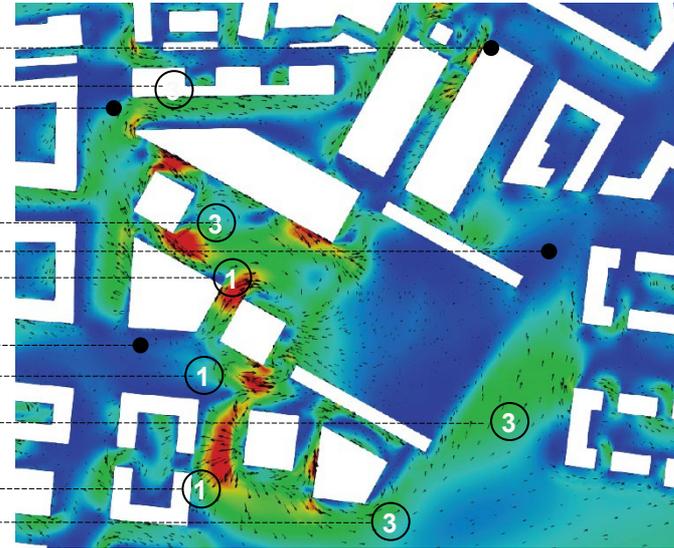
Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5 m über Boden – Areal



Variante 01

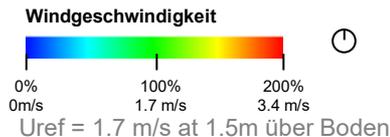
B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

1. Erhöhte Windgeschwindigkeit auf Fußgängerebene aufgrund der Platzierung der Hochhäuser
2. Reduzierte Windgeschwindigkeit auf Fußgängerebene aufgrund der Baumassen aus dem B-Plan 1926a
3. Erhöhte Windgeschwindigkeit in der Fußgängerebene des neuen Projekts, bedingt durch die Baumassen von MU 7 und 8.
4. Die Windgeschwindigkeit in der Variante B-Plan Verfahren 2147 ist aufgrund der Luftmassenverteilung durch die offene Halle reduziert. In der Variante B-Plan 1926a ist ein signifikanter höherer Windstrom zu erkennen, der von der Oberseite der Halle auf die Fußgängerebene fällt.



Standort im
Vergleichsmodell

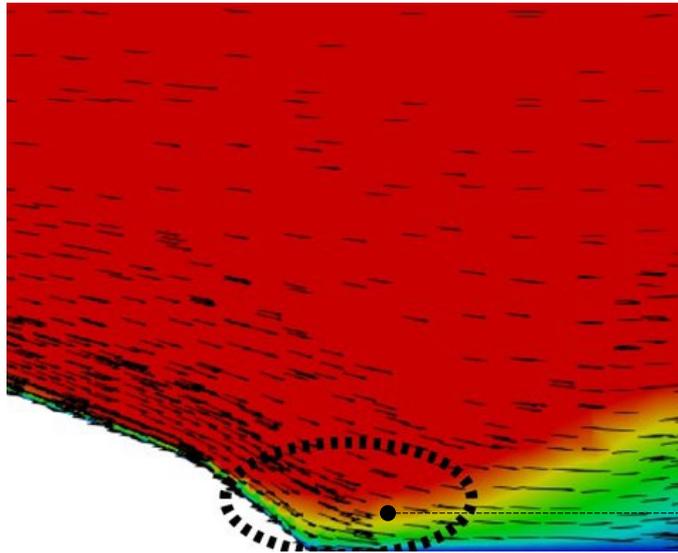


im Plan sichtbare
Veränderung



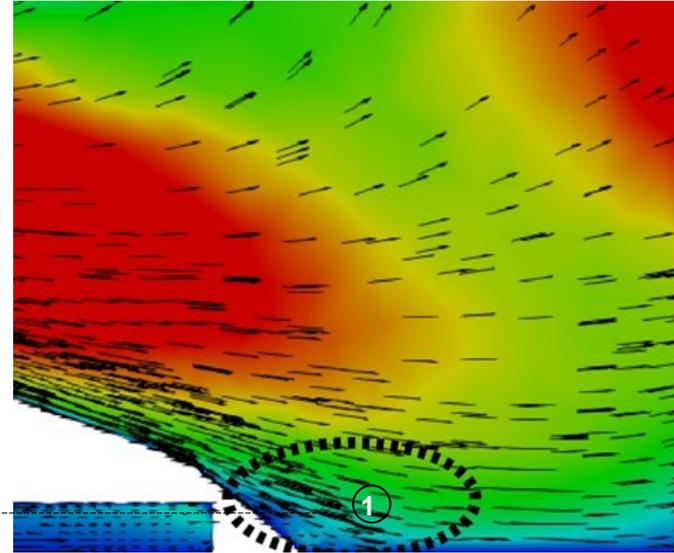
Wind-Umströmung WSW

Erläuterung zum Punkt 4 (vorherige Seite) – Areal, Abschnitt AA'



Variante 01

B-Plan 1926a

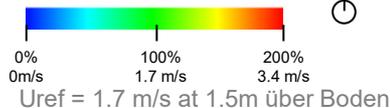


Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

1. Erfassung der Auswirkungen auf die Region 4 durch den Horizontalschnitt - 1,5 m über Grund - Areal (vorherige Seite): Der nahezu ungestört aus der Hauptwindrichtung auftreffende Wind erreicht bei der Variante B-Plan 1926a die Fußgängerhöhe mit höherer Intensität als bei der Variante B-Plan Verfahren 2147. Dieser Wind hat jedoch keine höhere Beschleunigung als die für diese Höhe zu erwartende Geschwindigkeit (100 % Windbeschleunigung). Dieser Effekt tritt auf, weil der Wind im Plan 1926a nahezu ungestört und mit hoher Geschwindigkeit auf die Halle trifft. Im neuen B-Plan hingegen wird der Wind durch die Türme umgelenkt.

Windgeschwindigkeit



Standort im
Vergleichsmodell

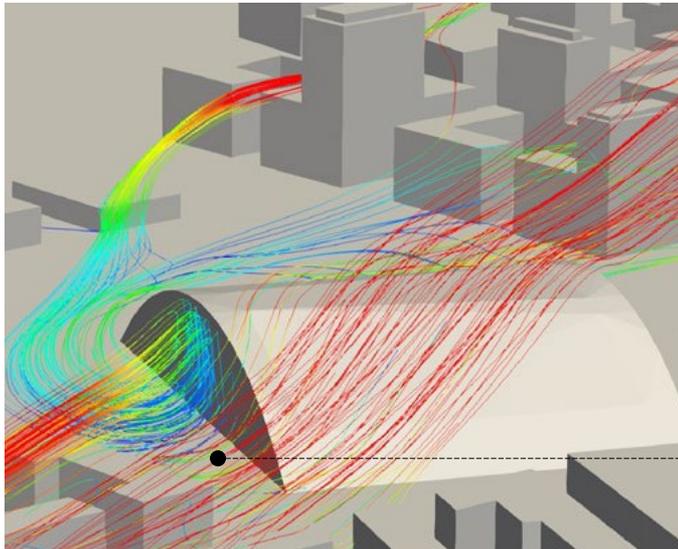


im Plan sichtbare
Veränderung



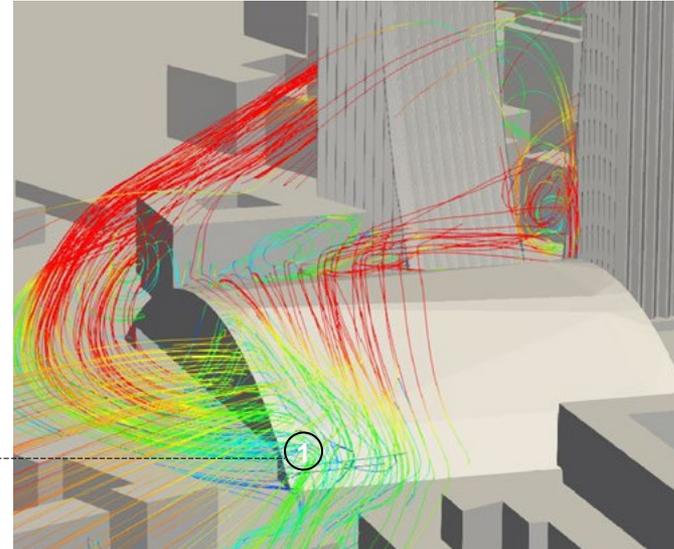
Wind-Umströmung WSW

Erläuterung zum Punk 4 – Areal, Nordost Ansicht



Variante 01

B-Plan 1926a

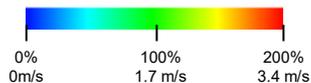


Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

1. Erfassung der Auswirkungen auf die Region 4 durch den Horizontalschnitt - 1,5 m über Grund - Areal: Der nahezu ungestört aus der Hauptwindrichtung auftreffende Wind erreicht bei der Variante B-Plan 1926a die Fußgängerhöhe mit höherer Intensität als bei der Variante B-Plan Verfahren 2147. Dieser Wind hat jedoch keine höhere Beschleunigung als die für diese Höhe zu erwartende Geschwindigkeit (100 % Windbeschleunigung). Dieser Effekt tritt auf, weil der Wind im Plan 1926a nahezu ungestört und mit hoher Geschwindigkeit auf die Halle trifft. Im neuen B-Plan hingegen wird der Wind durch die Türme umgelenkt.

Windgeschwindigkeit



Uref = 1.7 m/s at 1.5m über Boden

Standort im
Vergleichsmodell

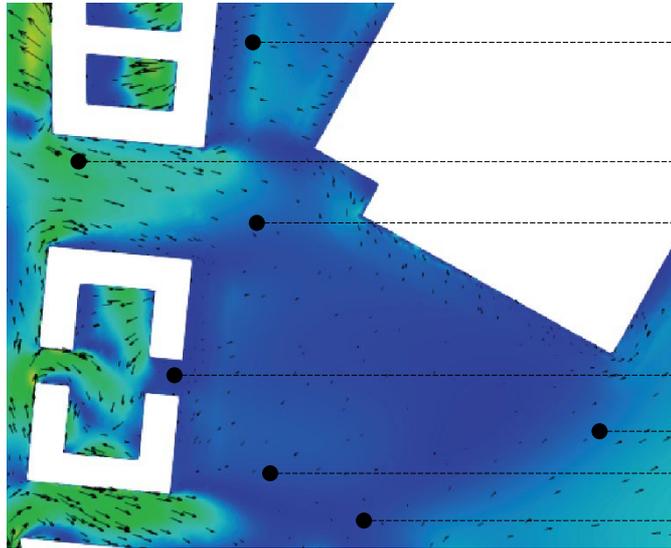


im Plan sichtbare
Veränderung



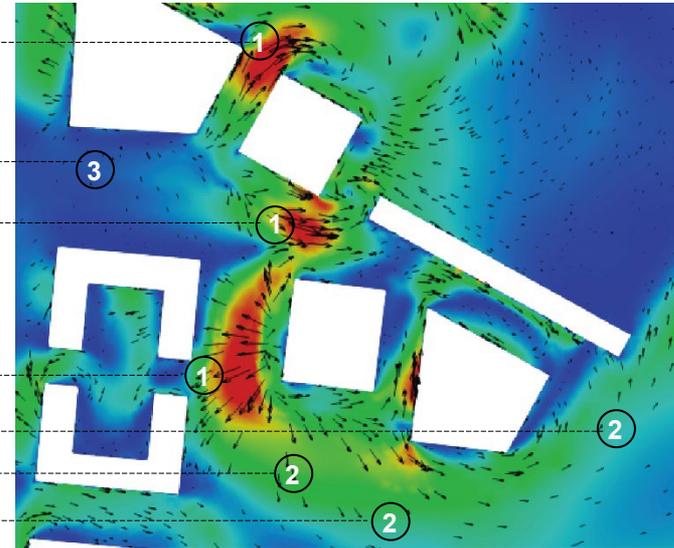
Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5m über Boden – MU 2.1 und MU 3.1



Variante 01

B-Plan 1926a

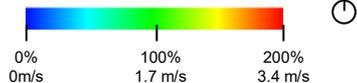


Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

1. Die durch die Fallwinde im Turm verursachten Windbeschleunigungen könnte sich in gewissem Maße auf die empfohlenen Aktivitäten im Fußgängerniveau auswirken. In diesen Regionen werden dynamische Aktivitäten wie Gehen, Radfahren, etc. empfohlen – siehe auch Bewertung nach VDI.
2. Der Vergleich zeigt zwar Windbeschleunigungen in diesem Bereich, diese sind aber nicht höher als bei ungestörten Windverhältnissen. Dies bedeutet, dass hier keine Einschränkungen der Freiflächennutzung vorliegen.
3. Windberuhigte Zone. Aktivitäten z.B. mit längeren sitzenden Tätigkeiten möglich - Sitzgelegenheiten empfohlen.

Windgeschwindigkeit

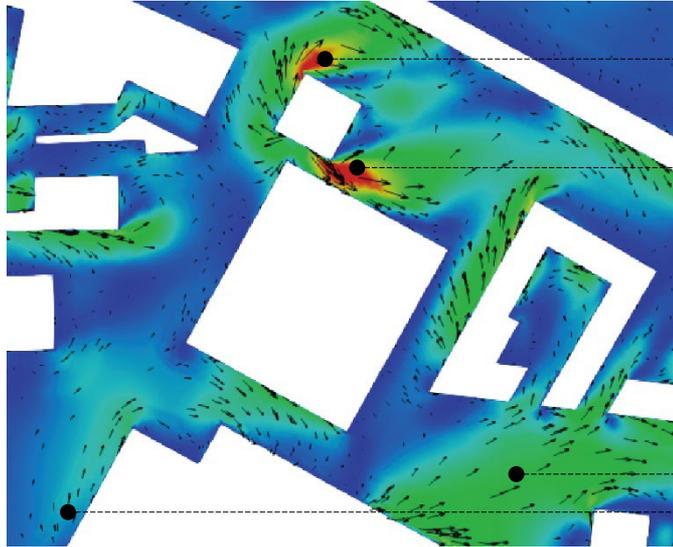


Uref = 1.7 m/s at 1.5m über Boden



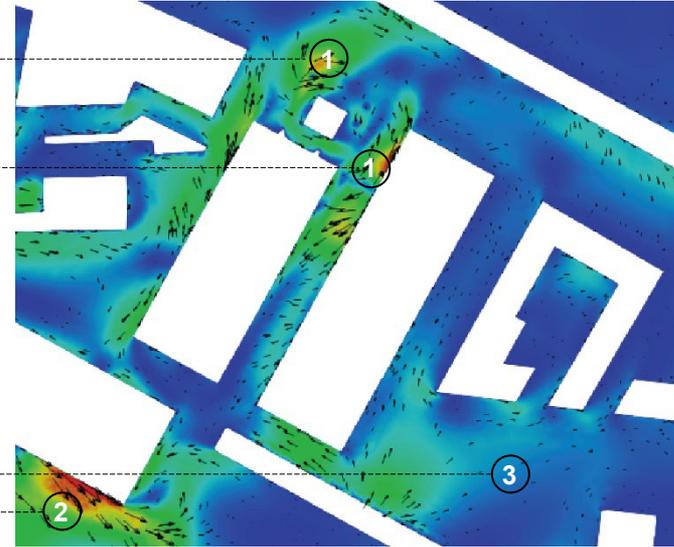
Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5m über Boden – MU 1 und MU 2



Variante 01

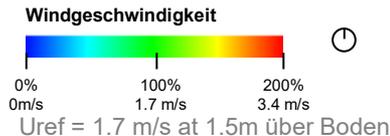
B-Plan 1926a



Variante 02

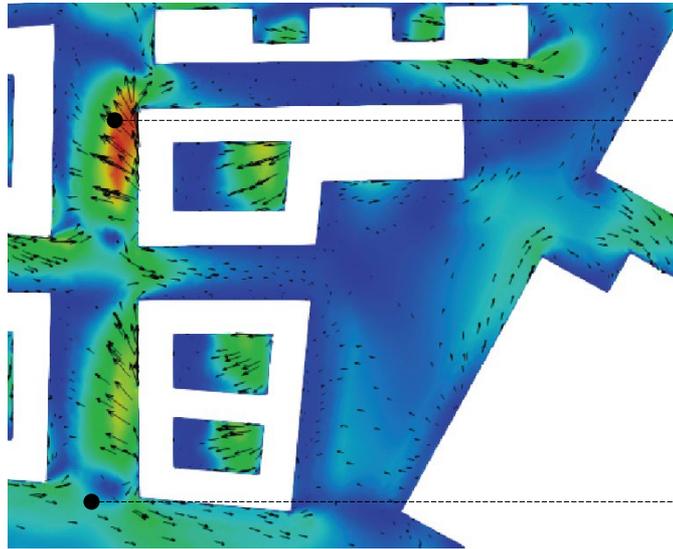
B-Plan Verfahren 2147

1. Die neuen Baumassen der Gebäude MU 1 + 2 erzeugen windgeschützte Bereiche, die für den Komfort von Fußgänger*Innen günstig sind.
2. Der Vergleich zeigt zwar Windbeschleunigungen in diesem Bereich, diese sind aber lokal auf die direkte Gebäudenähe begrenzt, in größerem Abstand vom Gebäude liegen keine Einschränkungen der Freiflächennutzung vor.
3. Windberuhigte Zone. Aktivitäten z.B. mit längeren sitzenden Tätigkeiten möglich - Sitzgelegenheiten empfohlen.



Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5m über Boden - Gebiet des Quartierparks

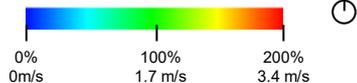


Variante 01

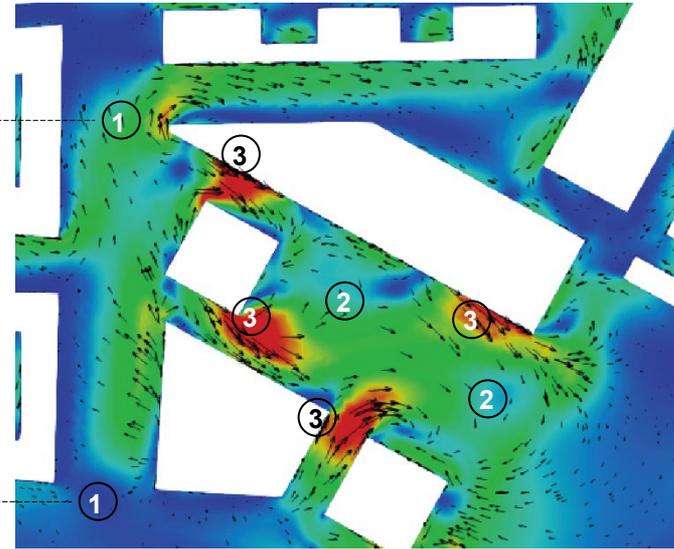
B-Plan 1926a

1. Die neue Baumassen von MU 3 + 5 erzeugen windgeschützte Bereiche, die für den Komfort von Fußgänger*Innen günstig sind.
2. Der mittlere Bereich des neuen Quartierparks ist wenig windgeschützt, dies führt zu einer stärkeren Durchlüftung und geringfügig eingeschränktem Komfort. Siehe auch VDI- und NEN-Analyse. Komfortverbesserungen kann durch bauliche Maßnahmen oder Bepflanzung erzielt werden.
3. Eine Windbeschleunigung durch Tunneleffekte und Fallwinde kann festgestellt werden, allerdings könnte es sich bei diesen Gebieten um Zirkulationsgebiete handeln.

Windgeschwindigkeit



Uref = 1.7 m/s at 1.5m über Boden



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147



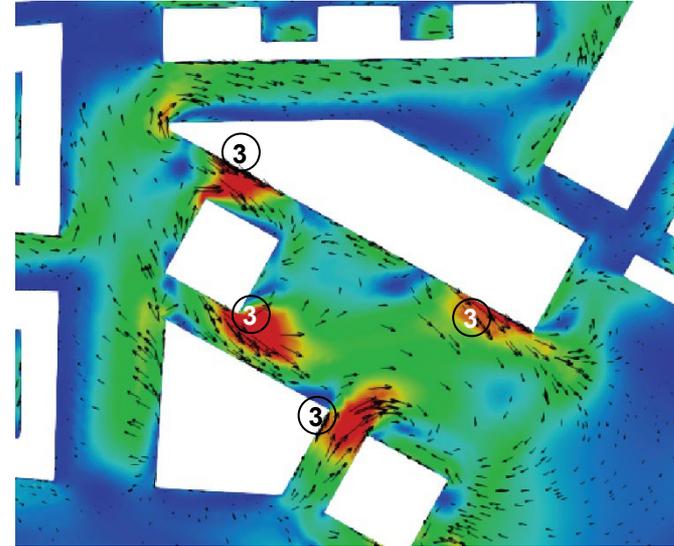
Wind-Umströmung WSW

Erläuterung zum Punkt 3 - Gebiet des Quartierparks

Die Einschränkungen des Windkomforts in Bereichen mit hoher Beschleunigung (Punkt 3) hängen mit der Nutzung des Raumes für verschiedene Aktivitäten zusammen.

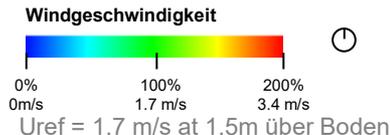
Die Abbildung für Variante 02 zeigt eine Beschleunigung von bis zu 200% des Referenzwertes, hier berechnet mit einem Windprofil von 1,7 m/s. Das bedeutet, dass die Windgeschwindigkeit an diesem Punkt + 3,4 m/s beträgt. Die Freiflächenplanung kann auf die Windbeschleunigung mit der Zonierung der möglichen Nutzungen und mit der Positionierung von Bäumen reagieren.

In der ganzjährigen Betrachtung (siehe Kapitel Windkomfort nach VDI) jedoch zeigt sich, dass diese Beschleunigungen keine negative Auswirkung auf den lokalen Windkomfort darstellt.



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

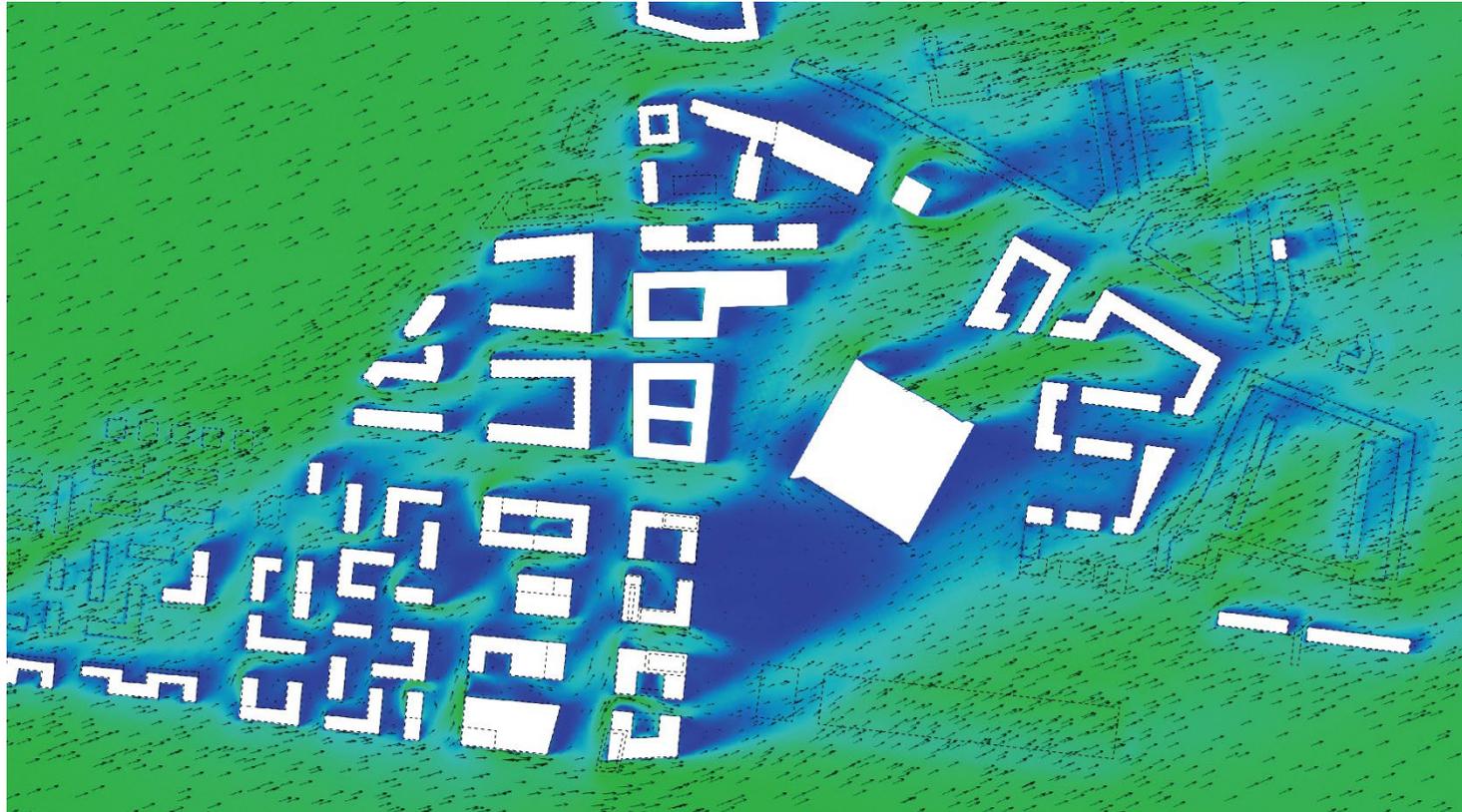


Wind-Umströmung WSW

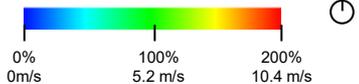
Horizontalsschnitt - 15 m über Boden

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - Wind SWS – 15m über Boden



Windgeschwindigkeit



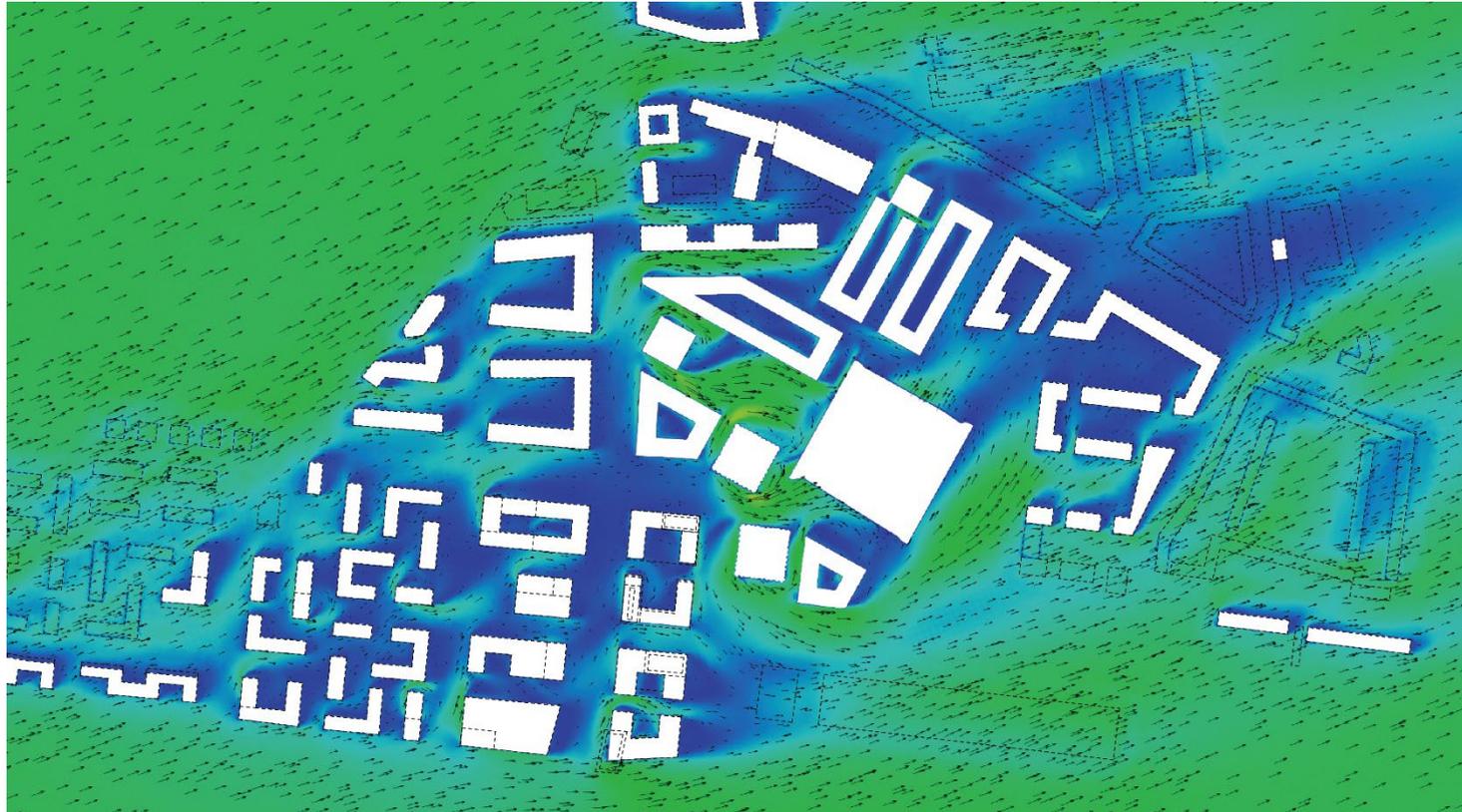
← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten

Variante 01

B-Plan 1926a

Wind-Umströmung WSW

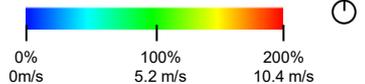
Horizontalschnitt - 15m über Boden



Variante 02

B-Plan Verfahren
2147

Windgeschwindigkeit

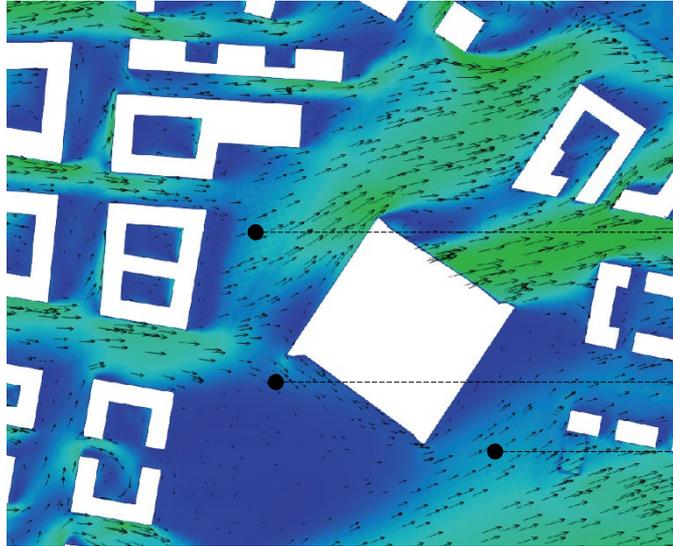


Uref = 5.2 m/s at 15 über Boden

← Änderung der Skala zur Anpassung
an höhere Windgeschwindigkeiten

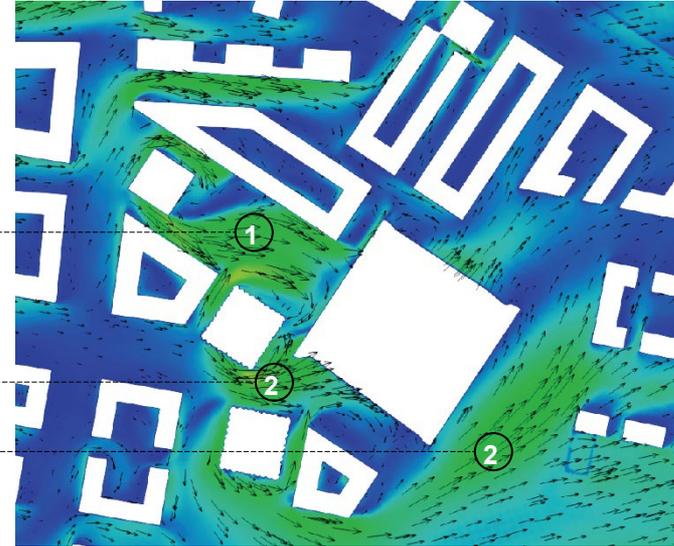
Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 15 m über Boden – Areal



Variante 01

B-Plan 1926a

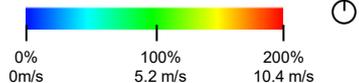


Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

1. Die Beschleunigung im Parkbereich ist nicht höher als die normale Beschleunigung für diese Höhe und im Vergleich zum B-Plan 1926a ist die Luftzirkulation optimiert.
2. Zwischen und hinter den Türmen ist die Beschleunigung aufgrund des Tunneleffekts und der Fallwinde höher als in den Nachbarregionen, jedoch nicht höher als die normale Beschleunigung für diese Höhe, die sich aus der Untersuchung des logarithmischen Windprofils ergibt

Windgeschwindigkeit



Uref = 5.2 m/s at 15 über Boden

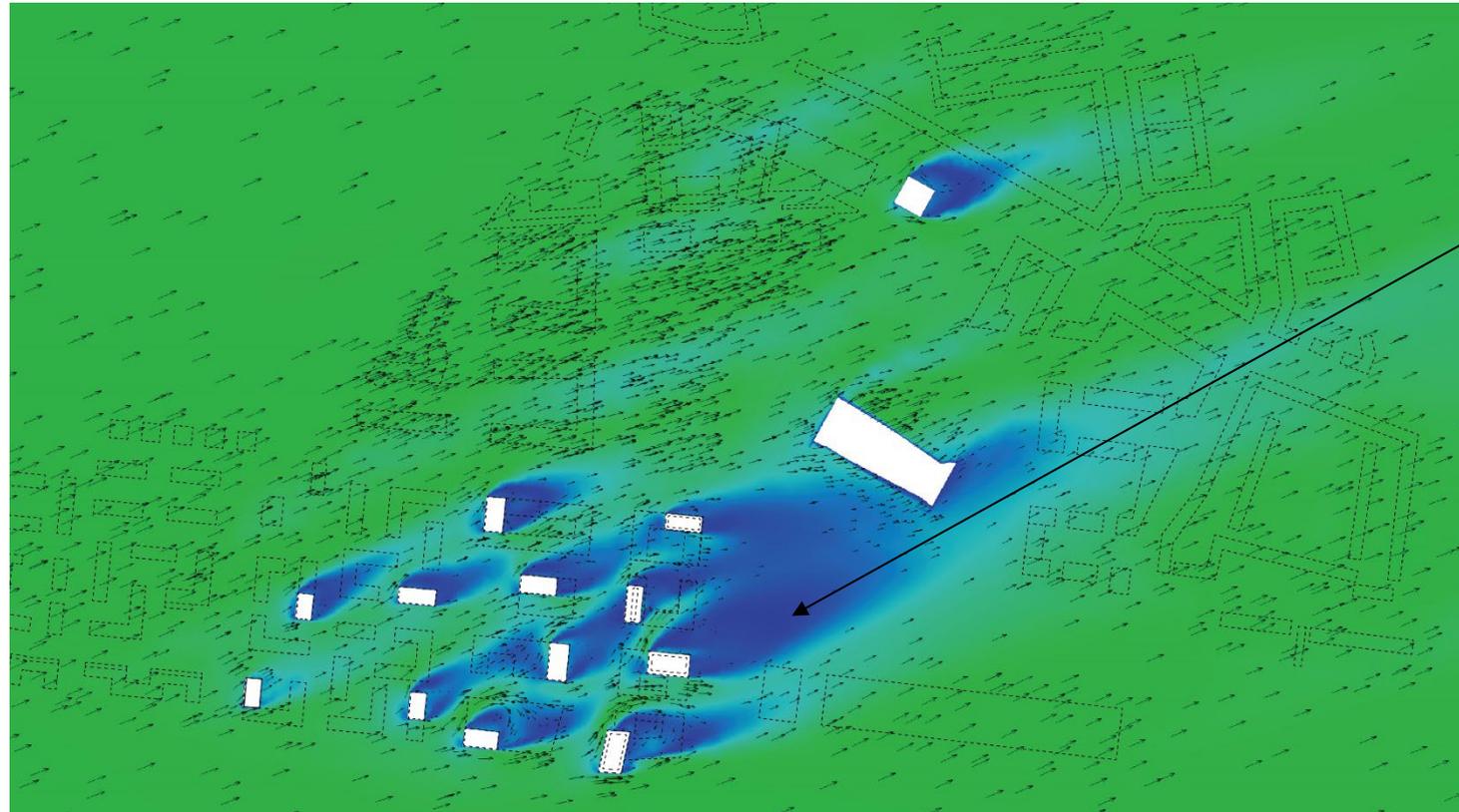


Wind-Umströmung WSW

Horizontalsschnitt - 30 m über Boden

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 30m über Boden

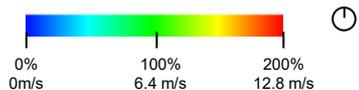


Das Fehlen von großen Hochhäusern in dieser Variante reduziert die Störung des laminaren Strömungsfeldes in dieser Höhe. Das sichtbare turbulente Nachlaufgebiet ist auf die bereits gebauten Nachbargebäude zurückzuführen.

Variante 01

B-Plan 1926a

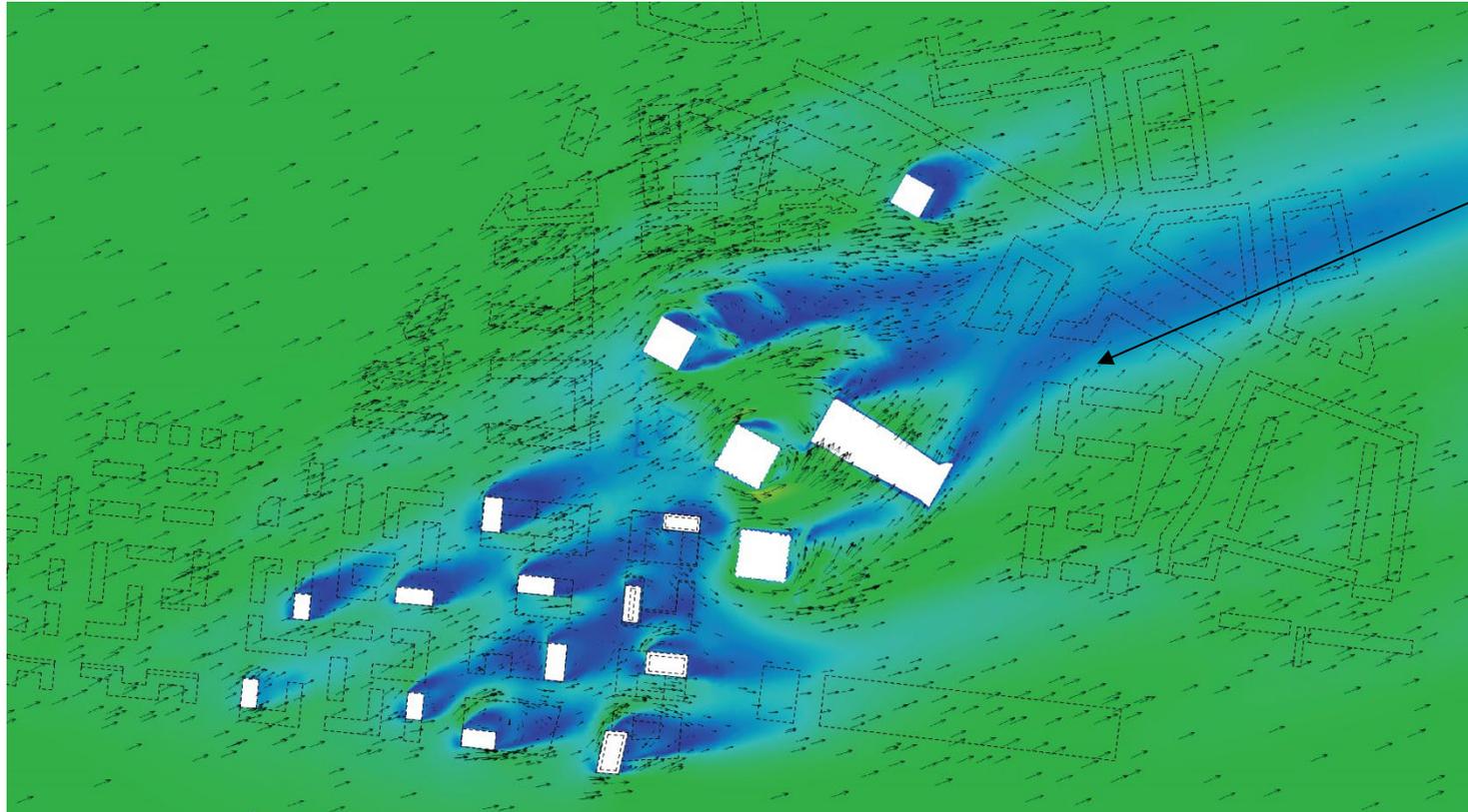
Windgeschwindigkeit



← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten

Wind-Umströmung WSW

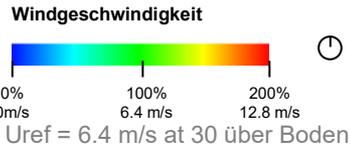
Horizontalschnitt - 30m über Boden



Die Durchströmung des Areals ist gut. Ein turbulentes Nachlaufgebiet hinter den Hochhäusern wird in Windrichtung erkennbar.

Variante 02

B-Plan Verfahren
2147



← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten

Wind-Umströmung WSW

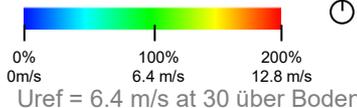
Erläuterung zu den Ergebnissen - 30 m über Boden – Areal

Zwischen den Hochhäusern des B-Plans 2147 tritt eine leichte Beschleunigung der Windgeschwindigkeit auf, die auf den Tunneleffekt und die Fallwinde zurückzuführen ist, ein übliches städtisches Phänomen, bei dem der Wind durch enge Gebäudezwischenräume kanalisiert wird.

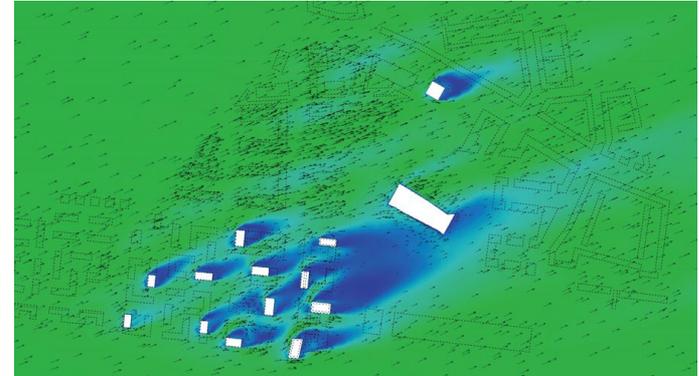
Im Vergleich zum B-Plan 1926a ist die Windbeschleunigung in dieser Höhe deutlich ausgeprägter. Dieser Kontrast unterstreicht den Einfluss der Hochhäuser auf die lokalen Windverhältnisse. Trotz dieser Beschleunigung bleiben die beobachteten Windgeschwindigkeiten innerhalb der für diese Höhe normalen Grenzen für ungestörte Windverhältnisse (ohne Hindernisse), wie sie durch das logarithmische Windprofilmodell vorhergesagt werden, das die natürliche Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe aufgrund der verringerten Oberflächenreibung berücksichtigt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Anwesenheit der Türme zu einer lokalen Erhöhung der Windgeschwindigkeit in 15 m Höhe führt. Dieser Anstieg geht jedoch nicht über die erwarteten Bedingungen hinaus, die sich aus dem logarithmischen Profil für diese städtische Umgebung ergeben. Diese Erkenntnis ist wichtig für das Verständnis der Auswirkungen von Hochhausstrukturen auf den Windkomfort und die Sicherheit in Wohngebieten.

Windgeschwindigkeit

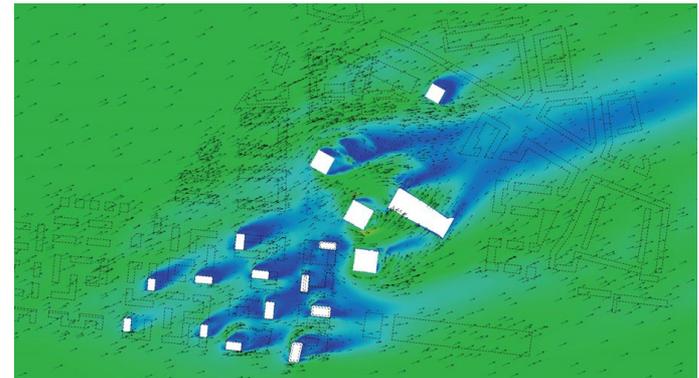


← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

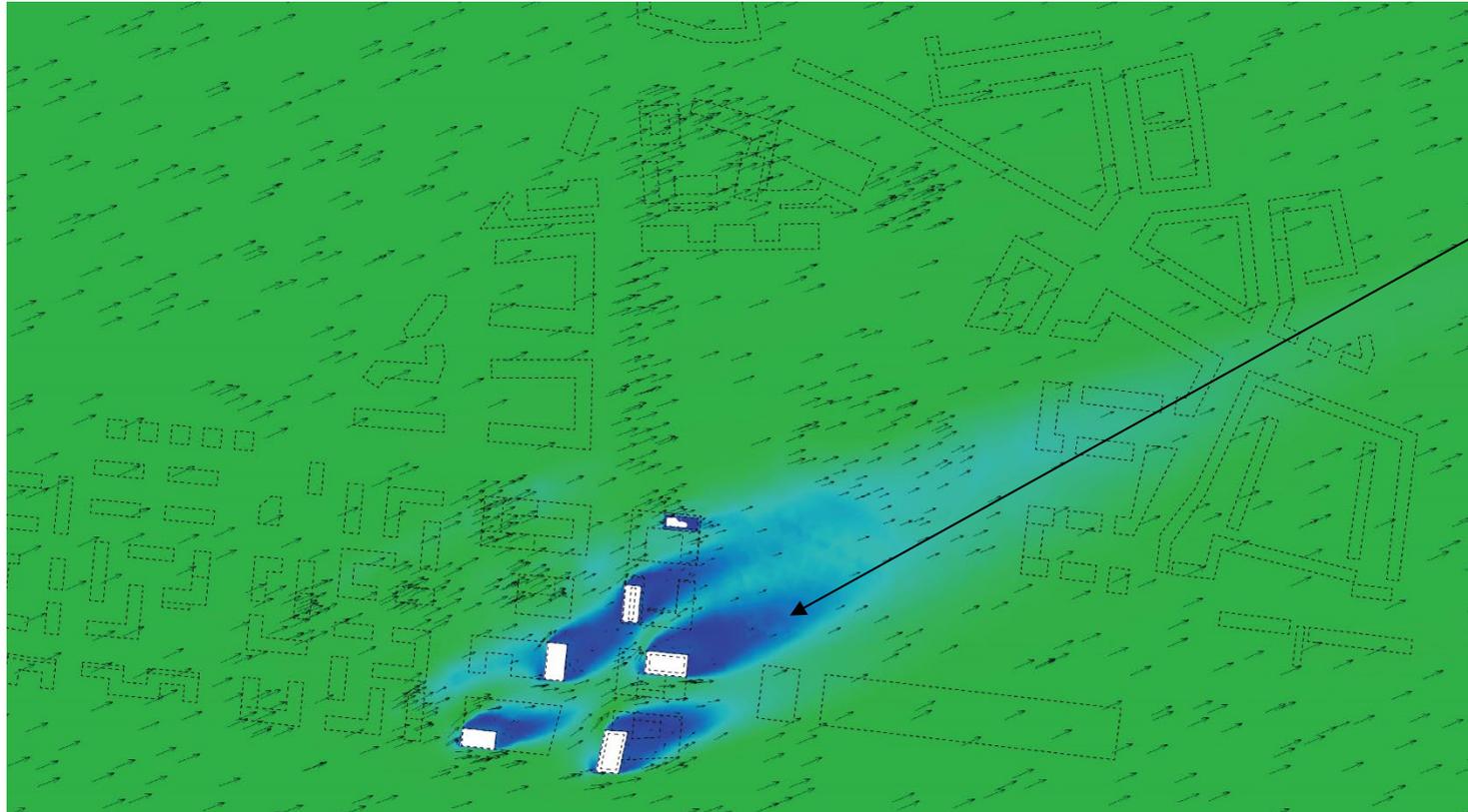
B-Plan Verfahren 2147³⁶

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 45 m über Boden

Wind-Umströmung WSW

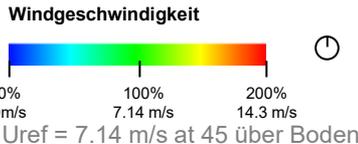
Horizontalschnitt - 45m über Boden



Das Fehlen von großen Hochhäusern in dieser Variante reduziert die Störung des laminaren Strömungsfeldes in dieser Höhe. Das sichtbare turbulente Nachlaufgebiet ist auf die bereits gebauten Nachbargebäude zurückzuführen.

Variante 01

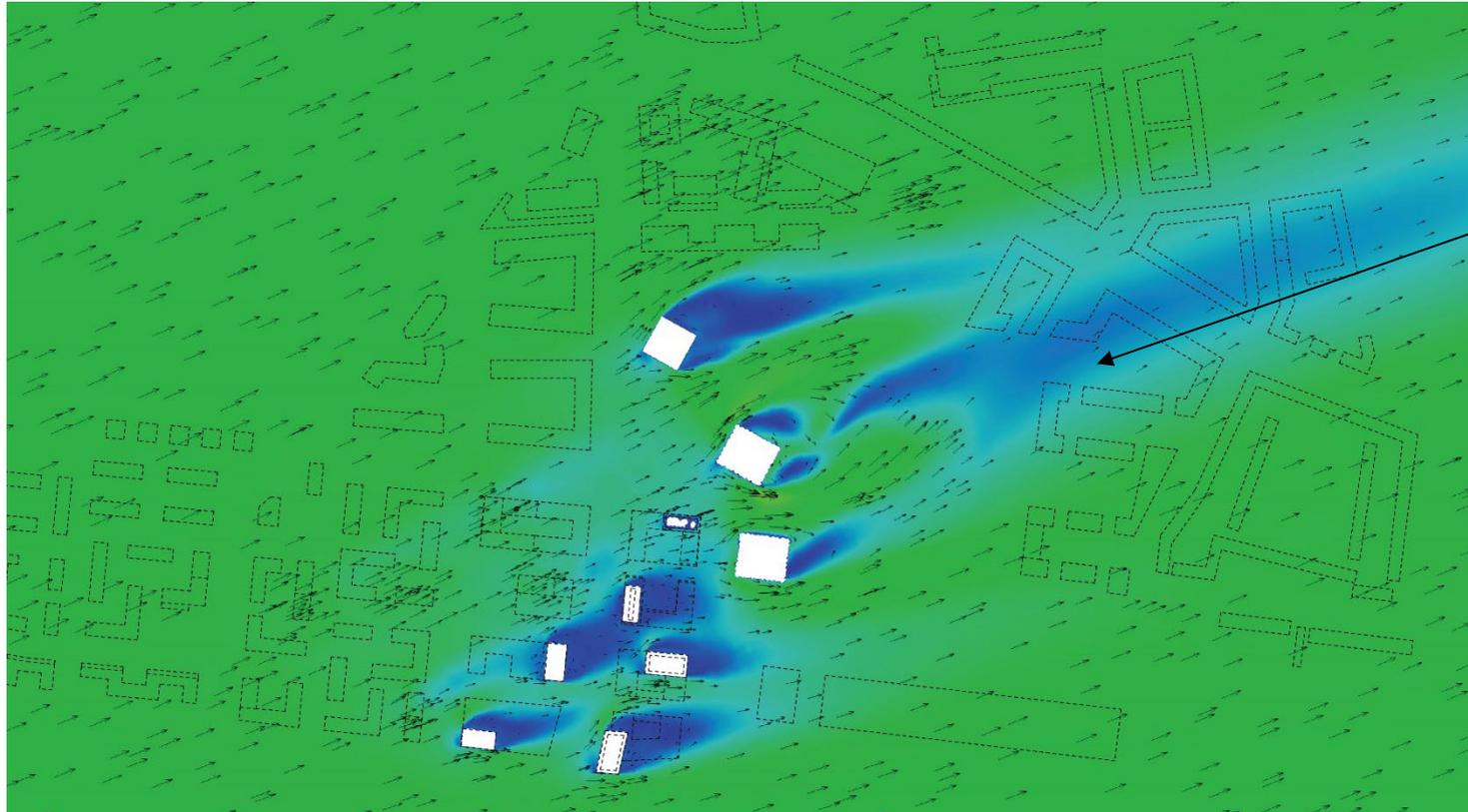
B-Plan 1926a



← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten

Wind-Umströmung WSW

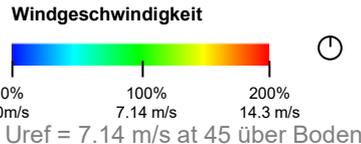
Horizontalschnitt - 45m über Boden



In dieser Höhe verursacht der Luftwiderstand der Türme mehr Luftbewegung in der direkten Nachbarschaft. Ein turbulentes Nachlaufgebiet hinter den Hochhäusern wird in Windrichtung erkennbar.

Variante 02

B-Plan Verfahren
2147



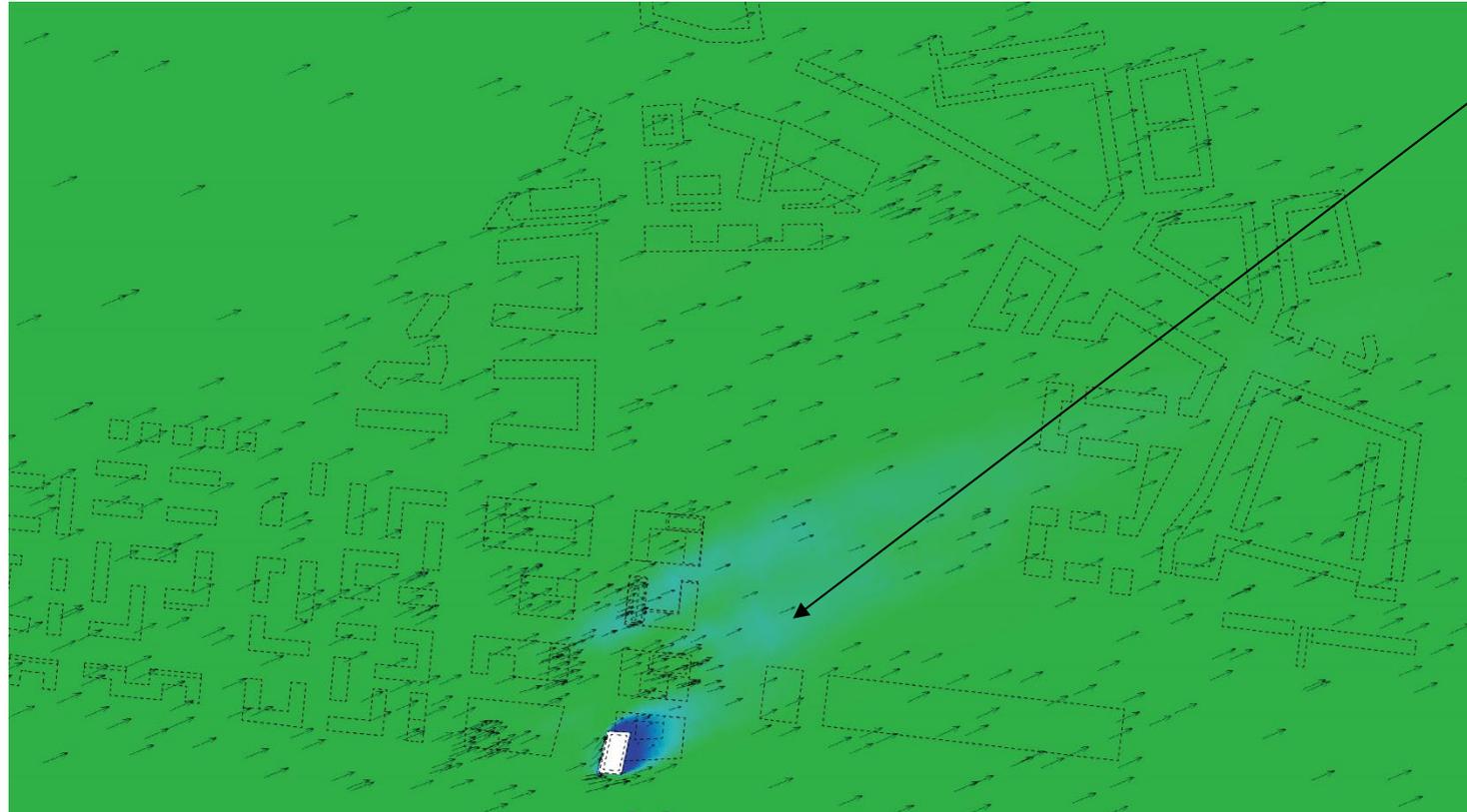
← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 60 m über Boden

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 60m über Boden

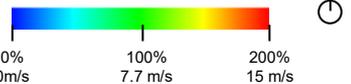


Ohne größere Bebauung in dieser Höhe erreicht der Wind eine beinahe durchgehend laminare Strömung.

Variante 01

B-Plan 1926a

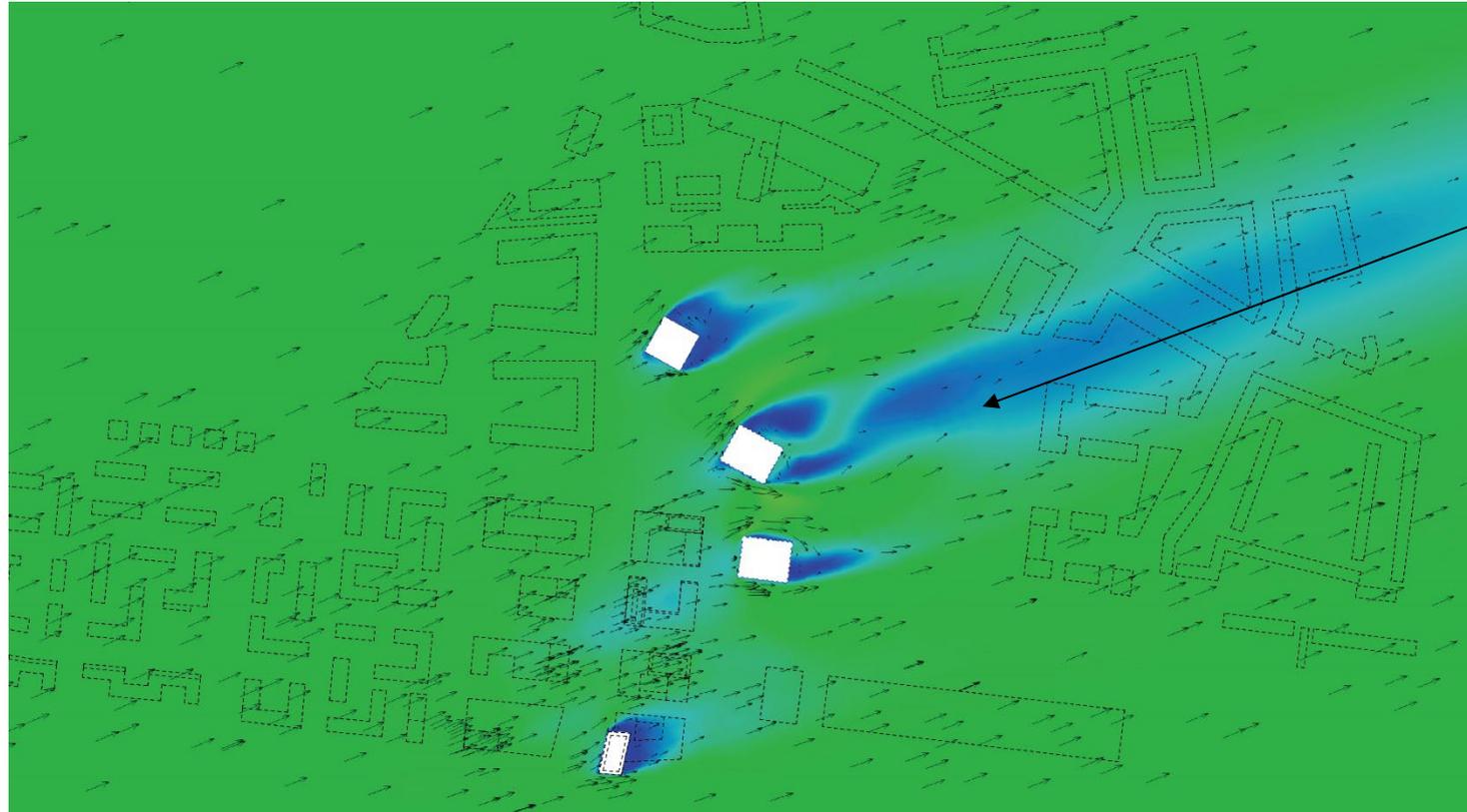
Windgeschwindigkeit



← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 60m über Boden

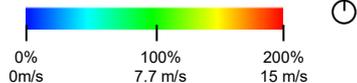


In dieser Höhe erstreckt sich durch die Türme ein grösseres turbulentes Nachlaufgebiet in Windrichtung. Die sonst laminare Luftströmung wird hier abgebremst und stärker durchmischt.

Variante 02

B-Plan Verfahren
2147

Windgeschwindigkeit

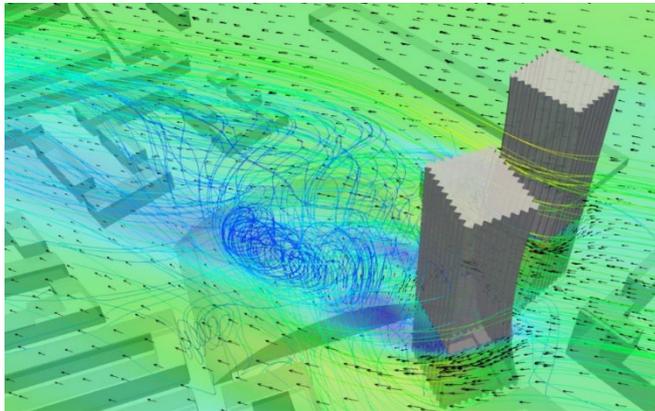


← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten

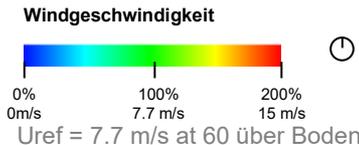
Wind-Umströmung WSW

Erläuterung zu den Ergebnissen - 60 m über Boden – Areal

Auf der Leeseite der Türme werden die Windgeschwindigkeiten durch die Turbulenzen, die durch den Strömungswiderstand der Bauwerke verursacht werden, herabgesetzt, was sich auf die Belüftung in diesem Bereich auswirkt. Dieser Effekt wirkt sich aufgrund der großen bewegten Luftmassen und hohen Windgeschwindigkeiten jedoch nicht wesentlich auf die Luftbewegung in der Umgebung aus. Aufgrund der großen Turbulenzen in der Nachlaufzone der Türme und aufgrund der Variabilität der Windrichtungen ist eine ausreichende Belüftung auch im Windschatten der Türme gegeben.



B-Plan Verfahren 2147 60 m über Boden

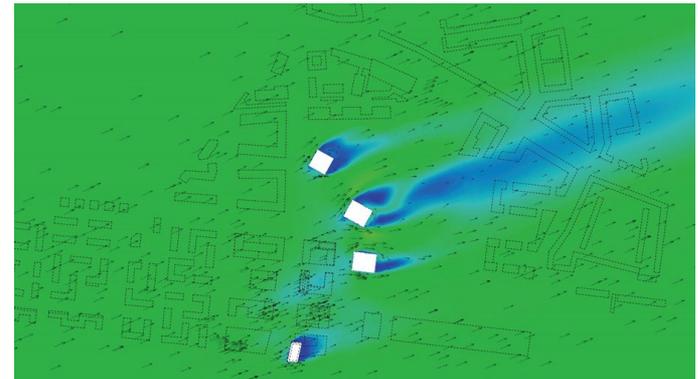


← Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147⁴³

Wind-Umströmung WSW

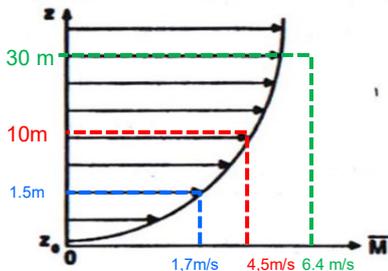
Dachterrasse

Windprofil

Beaufort-Skala

Die Beaufort-Skala bewertet die Windgeschwindigkeit von Windstille (Beaufort 0) bis Sturm (Beaufort 9), wobei jeder Grad bestimmte Windgeschwindigkeiten und deren Einfluss auf die Umgebung beschreibt. Die Skala erleichtert es, die dargestellten Windgeschwindigkeiten begrifflich zu machen, den Komfort im Freien zu bewerten und hilft bei der Planung und Optimierung öffentlicher Außenbereiche.

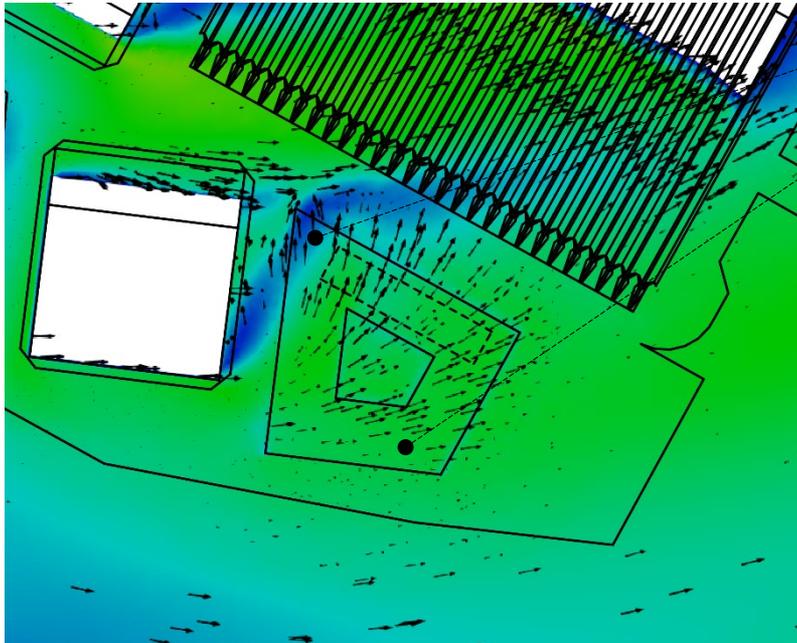
Auf der Dachebene würde die Referenzgeschwindigkeit in 24,4 m 6 m/s und in 30 m 6,4 m/s betragen. Dies ist bereits eine hohe Windgeschwindigkeit, bei der Tätigkeiten wie langes Sitzen unkomfortabel werden könnten



Beaufort-grad (Bft)	Bezeichnung	Mittlere Windgeschwindigkeit in auf Fußgängerniveau über freiem Gelände (m/s)	Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland
0	Windstille	0 - 0,1	keine Luftbewegung, Rauch steigt senkrecht empor
1	leiser Zug	0,2 - 1,0	kaum merklich, Rauch treibt leicht ab, Windflügel und Windfahnen unbewegt
2	leichte Brise	1,1 - 2,3	Blätter rascheln, Wind im Gesicht spürbar
3	schwache Brise	2,4 - 3,8	Blätter und dünne Zweige bewegen sich
4	mäßige Brise	3,9 - 5,5	Zweige bewegen sich, Staub und loses Papier wird vom Boden gehoben
5	frische Brise, frischer Wind	5,6 - 7,5	Spürbare Kraft des Windes, Schwierigkeiten beim Gehen, wenn man eine windige Zone betritt
6	starker Wind	7,6 - 9,7	Regenschirme können nur schwer benutzt werden, es fällt schwer gleichmäßig zu gehen, Wind deutlich hörbar
7	steifer Wind	9,8 - 12,0	Bäume schwanken, fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind
8	stürmischer Wind	12,1 - 14,5	Behindert im Allgemeinen das Vorankommen, Gleichgewicht sehr schwierig zu halten in Windböen
9	Sturm	14,6 - 17,1	Kleinere Schäden an Häusern, Gartenmöbel werden umgeworfen und verweht, Menschen werden umgeweht

Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5m über Dach – MU 8

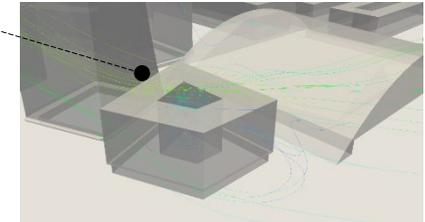


Die Windgeschwindigkeiten in der Nähe des Turms werden durch die Windschattenzone, die der Turm bietet, reduziert.

In diesen Zonen ist eine gewisse Beschleunigung zu erkennen, die jedoch nicht mit wesentlich höheren Geschwindigkeiten einhergeht, als für diese Höhe erwartet.

Beachten Sie jedoch, wie auf der Seite mit der Beaufort-Skala erwähnt, dass der Wind auf dieser Höhe mit 6,4 m/s für den Fußgänger bereits unangenehm ist. Daher sind Windschutzmaßnahmen notwendig.

Windrichtung überwiegend horizontal ausgerichtet. Windschutzvorrichtungen, wie z. B. Geländer, mit einer Mindesthöhe von 2 m sind erforderlich, um den Komfort der Fußgänger auf Terrasenebene zu gewährleisten. Detaillierte Maßnahmen sind in den späteren Planungsphasen mit den Planungsteams abzustimmen.



Perspektivische Ansicht MU 8

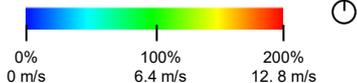
-Plan 2147

MU 8

1.5 über Dach, 30 m über Boden

-Plan 2147

Windgeschwindigkeit

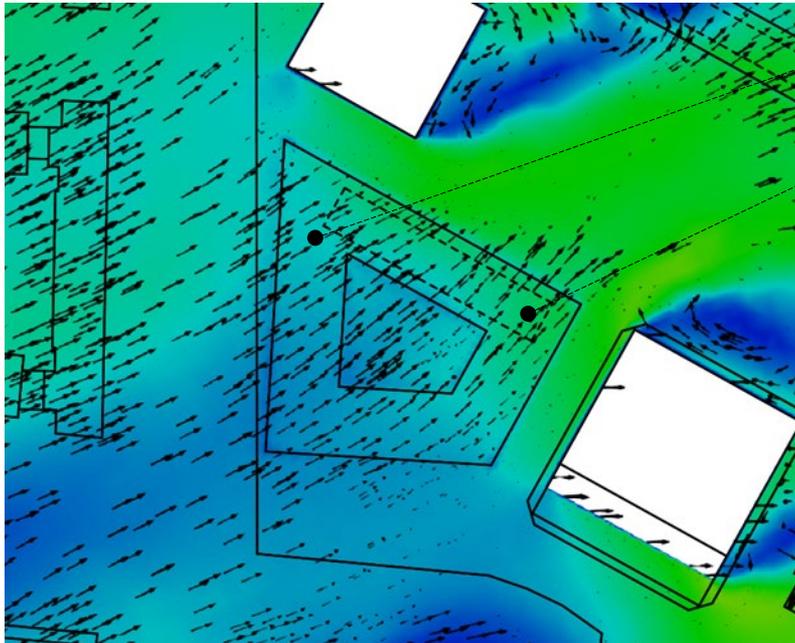


Uref = 6.4 m/s at 30 m über Boden



Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5m über Dach – MU 5

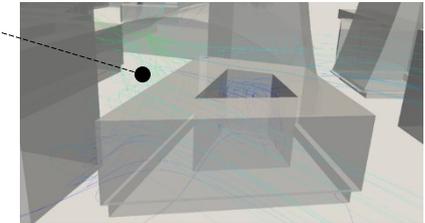


Der Wind hat aufgrund des Einflusses der bebauten Umgebung geringere Geschwindigkeiten. Bei der in dieser Berechnung betrachteten Windrichtung kann von keiner Einschränkung bei der Nutzung des Daches ausgegangen werden.

In diesen Zonen ist eine gewisse Beschleunigung zu erkennen, die jedoch nicht mit wesentlich höheren Geschwindigkeiten einhergeht, als für diese Höhe erwartet.

Beachten Sie jedoch, wie auf der Seite mit der Beaufort-Skala erwähnt, dass der Wind auf dieser Höhe mit 6,4 m/s für den Fußgänger bereits unangenehm ist. Daher sind Windschutz-Maßnahmen notwendig.

Windrichtung überwiegend horizontal ausgerichtet. Windschutzvorrichtungen, wie z. B. Geländer, mit einer Mindesthöhe von 2 m sind erforderlich, um den Komfort der Fußgänger auf Terrasenebene zu gewährleisten. Detaillierte Maßnahmen sind in den späteren Planungsphasen mit den Planungsteams abzustimmen.



Perspektivische Ansicht MU 5

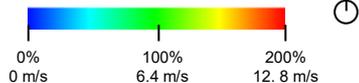
-Plan 2147

MU 5

1.5 über Dach, 30 m über Boden

-Plan 2147

Windgeschwindigkeit

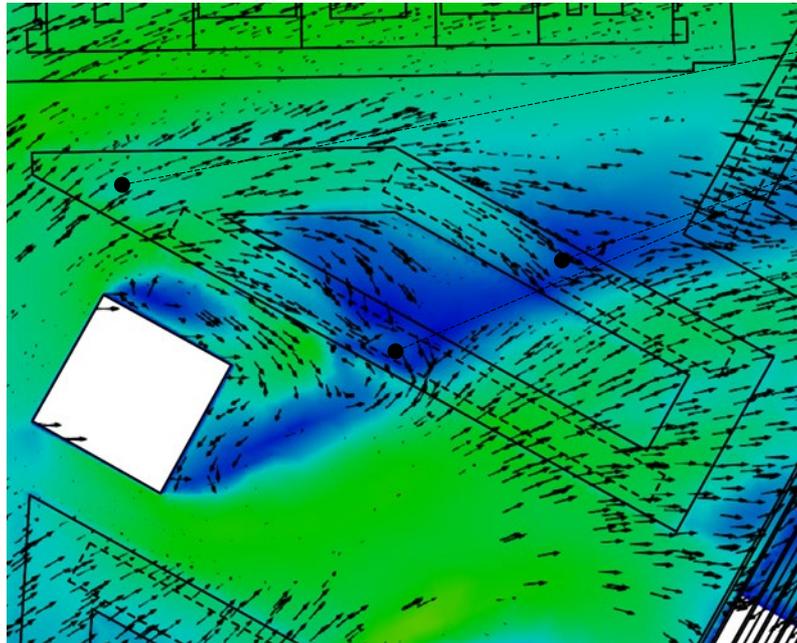


Uref = 6.4 m/s at 30 m über Boden



Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5m über Dach – MU 3



In dieser Region herrscht ungestörter Wind. Aufgrund der Windgeschwindigkeit in dieser Höhe werden bauliche Maßnahmen empfohlen, um den Windkomfort zu verbessern.

Das MU4 verursacht einen Windschattenbereich, der diesem Dach zugute kommt.

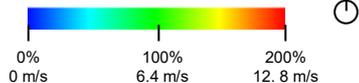
Beachten Sie jedoch, wie auf der Seite mit der Beaufort-Skala erwähnt, dass der Wind auf dieser Höhe mit 6,4 m/s für den Fußgänger bereits unangenehm ist. Daher sind Windschutz-Maßnahmen notwendig.

MU 3

1.5 über Dach, 30 m über Boden

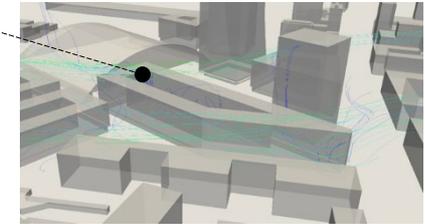
-Plan 2147

Windgeschwindigkeit



Uref = 6.4 m/s at 30 m über Boden

Windrichtung überwiegend horizontal ausgerichtet. Windschutzvorrichtungen, wie z. B. Geländer, mit einer Mindesthöhe von 2 m sind erforderlich, um den Komfort der Fußgänger auf Terrasenebene zu gewährleisten. Detaillierte Maßnahmen sind in den späteren Planungsphasen mit den Planungsteams abzustimmen.



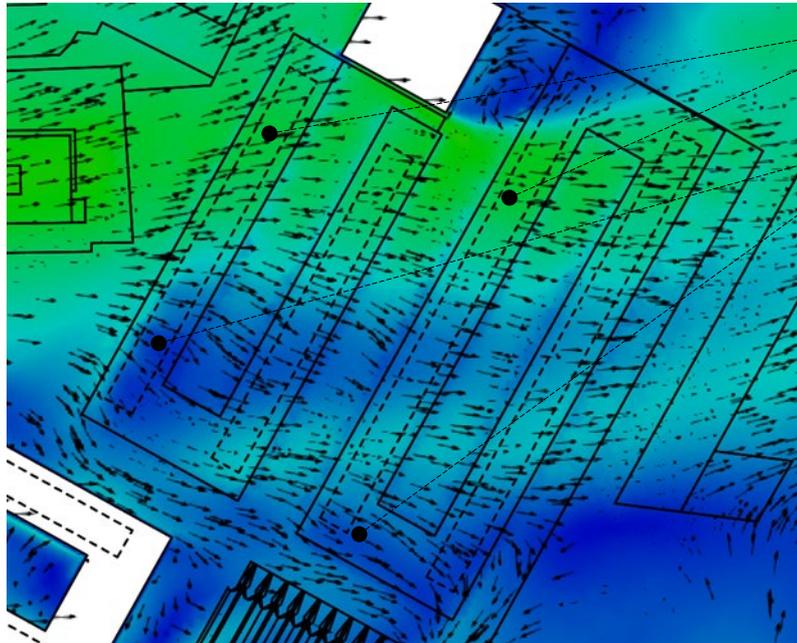
Perspektivische Ansicht MU 3

-Plan 2147



Wind-Umströmung WSW

Horizontalschnitt - 1.5m über Dach – MU 1 und 2

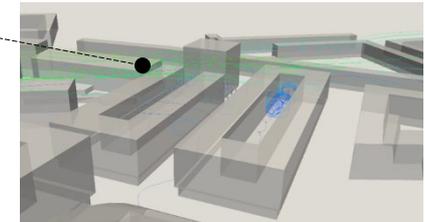


In dieser Region herrscht ungestörter Wind. Aufgrund der Windgeschwindigkeit in dieser Höhe werden bauliche Maßnahmen empfohlen, um den Windkomfort zu verbessern.

Dieses Dach ist niedriger als die anderen geplanten Gebäude. Dadurch werden die Geschwindigkeiten hier erheblich reduziert, was eine möglicherweise komfortable Umgebung für verschiedene Aktivitäten schafft

Beachten Sie jedoch, wie auf der Seite mit der Beaufort-Skala erwähnt, dass der Wind auf dieser Höhe mit 6 m/s für den Fußgänger bereits unangenehm ist. Daher sind Windschutz-Maßnahmen notwendig.

Windrichtung überwiegend horizontal ausgerichtet. Windschutzvorrichtungen, wie z. B. Geländer, mit einer Mindesthöhe von 2 m sind erforderlich, um den Komfort der Fußgänger auf Terrassenebene zu gewährleisten. Detaillierte Maßnahmen sind in den späteren Planungsphasen mit den Planungsteams abzustimmen.



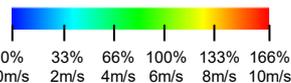
Perspektivische Ansicht MU 1 und 2

MU 1 und 2

1.5 über Dach, 24.4 m über Boden

-Plan 2147

Windgeschwindigkeit



Uref = 6 m/s at 24.4 m über Boden

-Plan 2147

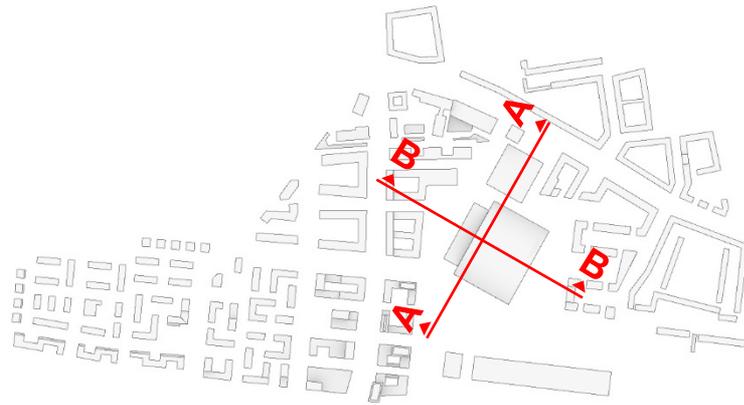


Wind-Umströmung WSW

Vertikalschnitte

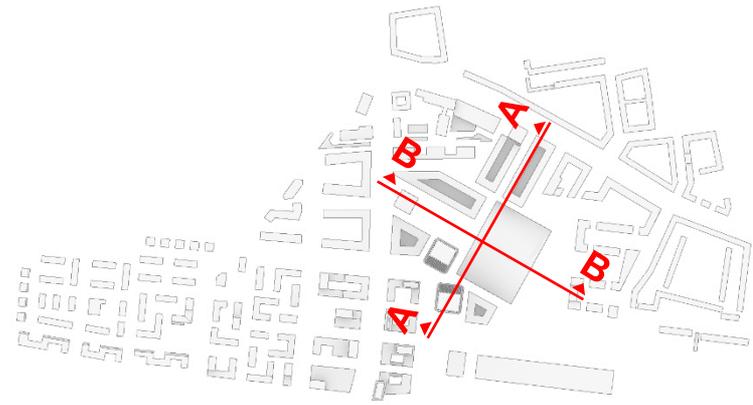
Wind-Umströmung WSW

Vertikalschnitte



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren
2147

Quelle: Plan © LHM

Quelle: Modell © basierend auf Planung Herzog de Meuron

Windprofil

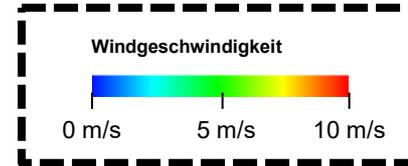
Logarithmisches Geschwindigkeitsprofil

Die Referenzgeschwindigkeiten beziehen sich auf eine bestimmte Höhe über Boden. Dies gilt für horizontale Schnitte, da in diesem Fall durch die Berechnung des Windprofils die Windgeschwindigkeit in dieser Höhe bestimmt werden kann, wenn kein Hindernis (z.B. Gebäude) vorhanden ist.

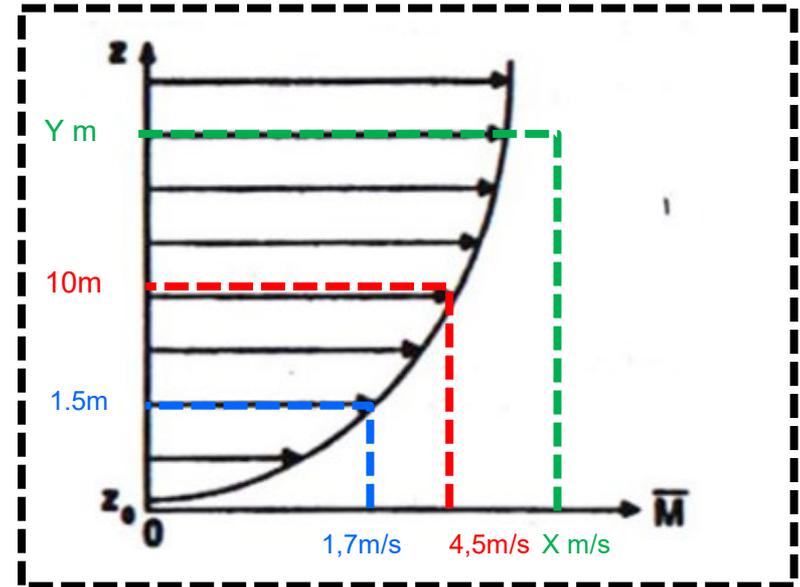
Die Ermittlung einer Referenzgeschwindigkeit ist für vertikale Schnitte nicht möglich, da aufgrund des Windprofils die Windgeschwindigkeit mit zunehmender Höhe ansteigt. Ein Vergleich zwischen einem vertikalen und einem horizontalen Schnitt ist daher nicht möglich.

Beachten Sie daher, dass im Vergleich zu den zuvor gezeigten Studien die Legende geändert wurde. Der Unterschied in der Legende ist notwendig, um die Windströmung besser zu verstehen. Wenn für alle Graphiken der gleiche Maßstab verwendet wird, können die Nuancen und Gradienten nicht erkannt werden, was die Ergebnisse und die Analyse unbrauchbar macht.

Für das Verständnis der Geschwindigkeiten wurde ein Grenzwert von 10 m/s auf der Skala festgelegt, was einer hohen, aber nicht gefährlichen Windgeschwindigkeit in jeder Höhe entsprechen würde.



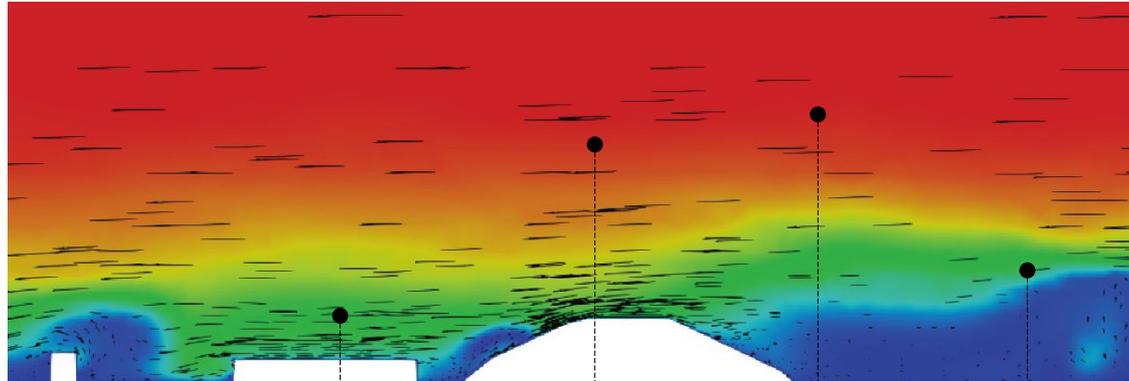
Ausgewählte Legende
für die Abschnitte



jede Höhe hat eine repräsentative Geschwindigkeit im ungestörten Zustand. Eine Referenzgeschwindigkeit für einen Abschnitt ist nicht praktikabel.

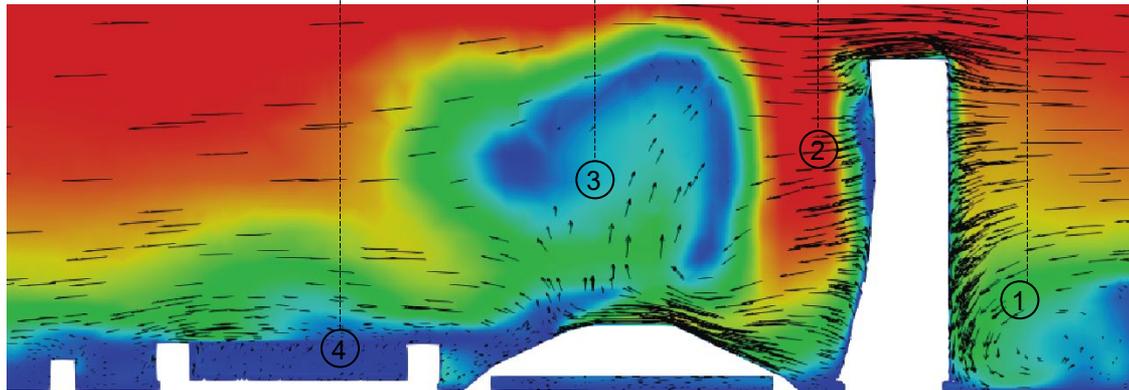
Wind-Umströmung WSW

Vertikalschnitt A



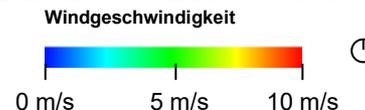
Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren
2147



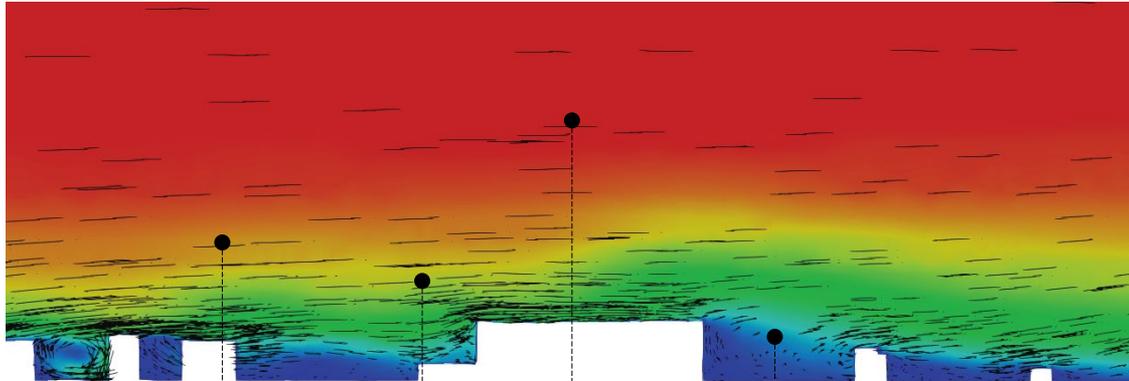
Für die Abschnitte wurde die Skala in der tatsächlich simulierten Windgeschwindigkeit und nicht als Beschleunigungsfaktor angegeben, da sie sich auf mehrere Höhen und damit auf mehrere Referenzgeschwindigkeiten bezieht.

1. Der Luvbereich des Turms zeigt Fallwinde, der eine geringfügige Windbeschleunigung in Fußgängerhöhe verursacht.
2. Auf der Leezone des Turms führt die Windbeschleunigung zu Turbulenzen in den höheren Lagen
3. Die Leezone des Turmes MU 6 (vor der Schnittebene) zeichnet sich als windberuhigter Bereich mit stärkerer turbulenter Durchmischung der bodennahen Luftmengen ab.
4. die Höfe von Mu 1 und 2 sind windgeschützt und weisen daher einen hohen Windkomfort auf - eignen sich z.B. gut für sitzende Tätigkeiten (z.B. Dachrestaurants)



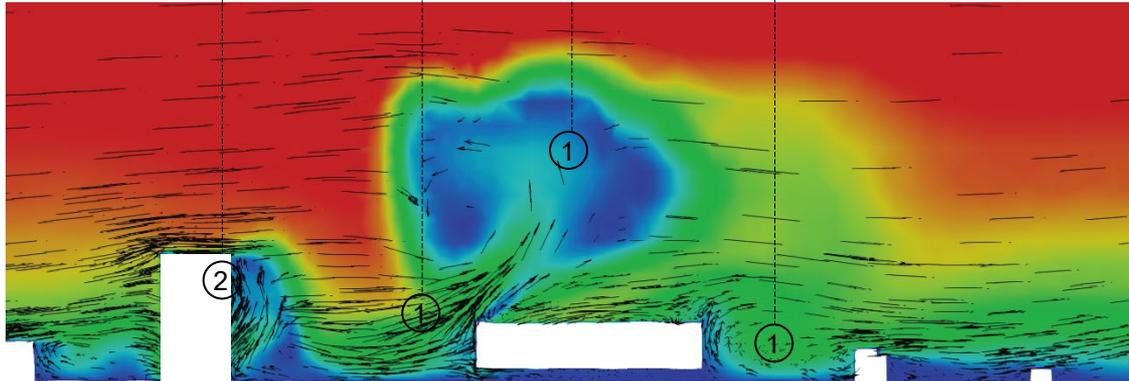
Wind-Umströmung WSW

Vertikalschnitt B



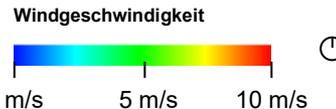
Variante 01

B-Plan 1926a



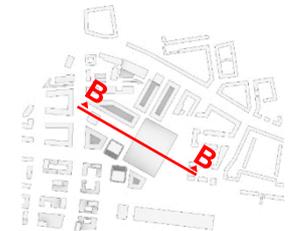
Variante 02

B-Plan Verfahren
2147



Für die Abschnitte wurde die Skala in der tatsächlich simulierten Windgeschwindigkeit und nicht als Beschleunigungsfaktor angegeben, da sie sich auf mehrere Höhen und damit auf mehrere Referenzgeschwindigkeiten bezieht.

1. Nachlaufgebiet der Türme (MU 6 und 7 Einfluss) zeichnet sich als windberuhigter Bereich mit stärkerer turbulenter Durchmischung der bodennahen Luftmengen ab.
2. Auf der Lee-Zone des MU 4 führt die Windbeschleunigung zu Turbulenzen in den höheren Lagen



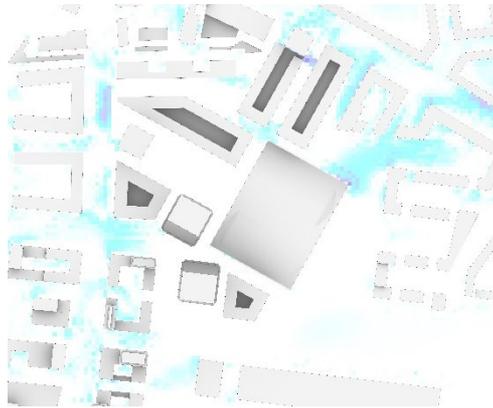
Gegenüberstellung/Differenzberechnung

Numerische Analyse

Gegenüberstellung/Differenzberechnung

Wind WSW – Numerische Analyse

Um die Unterschiede in der Windzirkulation auf dem Paketpostareal besser zu verstehen, wurde ein numerischer Vergleich entwickelt. Die Geschwindigkeiten für jeden Punkt wurden in einem Raster von 5 m in 1,5 m Höhe über Grund ausgewertet und auf die Referenzgeschwindigkeit von 1,7 m/s normiert, die mit der logarithmischen Windprofilformel berechnet wurde. Anschliessend wurden die Ergebnisse der Windbeschleunigungsfaktoren der beiden Varianten der verschiedenen B-Pläne voneinander subtrahiert. Es wurden zwei visuelle Ausgaben erstellt: eine Karte mit den Regionen, in denen die Windgeschwindigkeit gegenüber dem B-Plan 1926a zunimmt, und eine weitere Karte mit den Regionen, in denen die Windgeschwindigkeit abnimmt. Diese Zahlen wurden auf die Referenzgeschwindigkeit normiert.



**Geringere
Windgeschwindigkeit**



**Erhöhte
Windgeschwindigkeit**

$$(U/U_{ref})_{Plan} - (U/U_{ref})_{Ist}$$

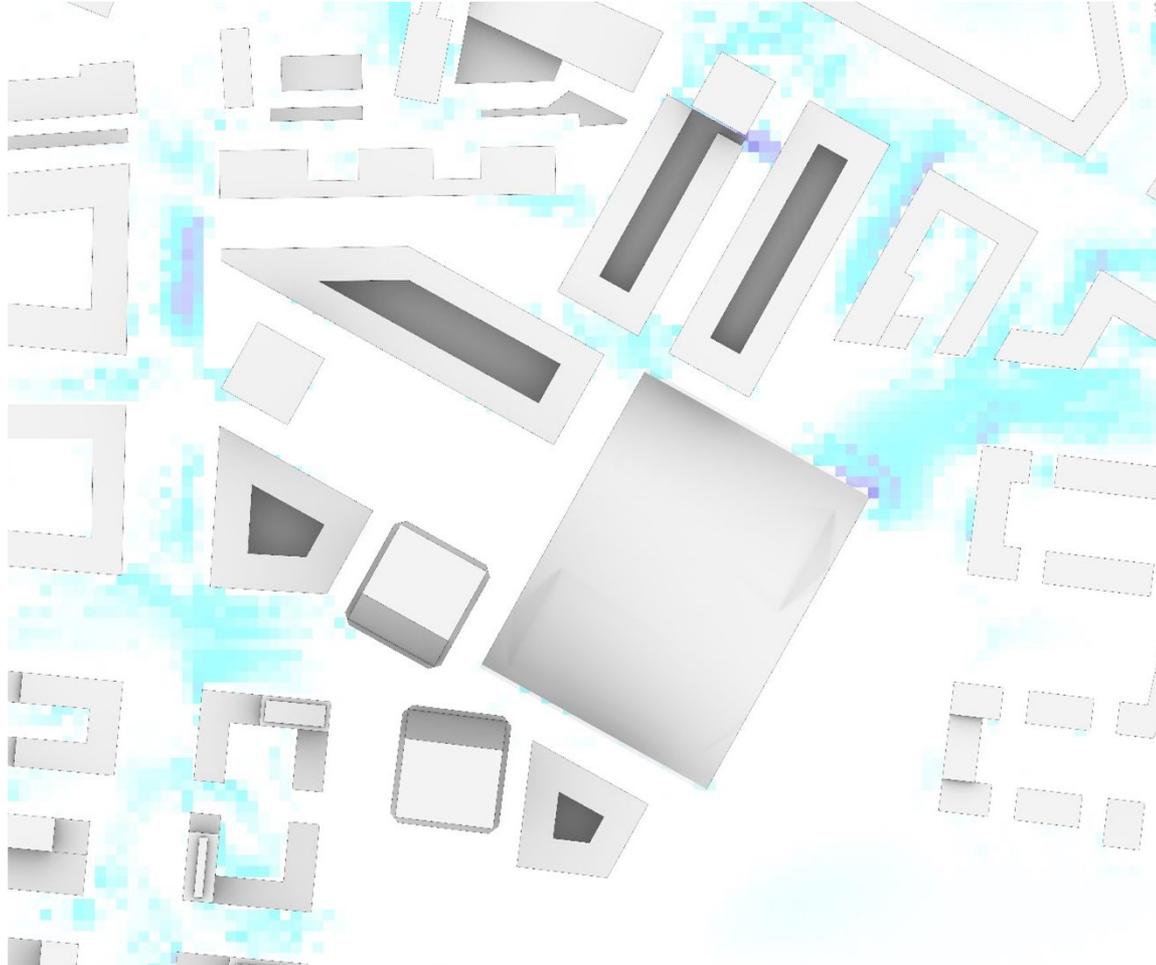
U_{plan} = Windgeschwindigkeit, in m/s,
aus dem B-Plan Verfahren 2147

U_{ist} = Windgeschwindigkeit, in m/s, aus
dem B-Plan 1926a

U_{ref} = Referenzgeschwindigkeit, in m/s
in 1.5 m Höhe über dem Boden (1.7
m/s)

Gegenüberstellung/Differenzberechnung

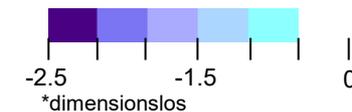
Wind WSW – Verringerung der Windgeschwindigkeit



Die negative Skala zeigt eine Verringerung der Windgeschwindigkeit vom B-Plan Verfahren 2147 gegenüber dem B-Plan 1926a. Dies deutet darauf hin, dass die Baumasse des neuen Plans die Luftgeschwindigkeit auf der windabgewandten Seite stellenweise reduziert, während das Quartier selbst nicht beeinflusst wird.

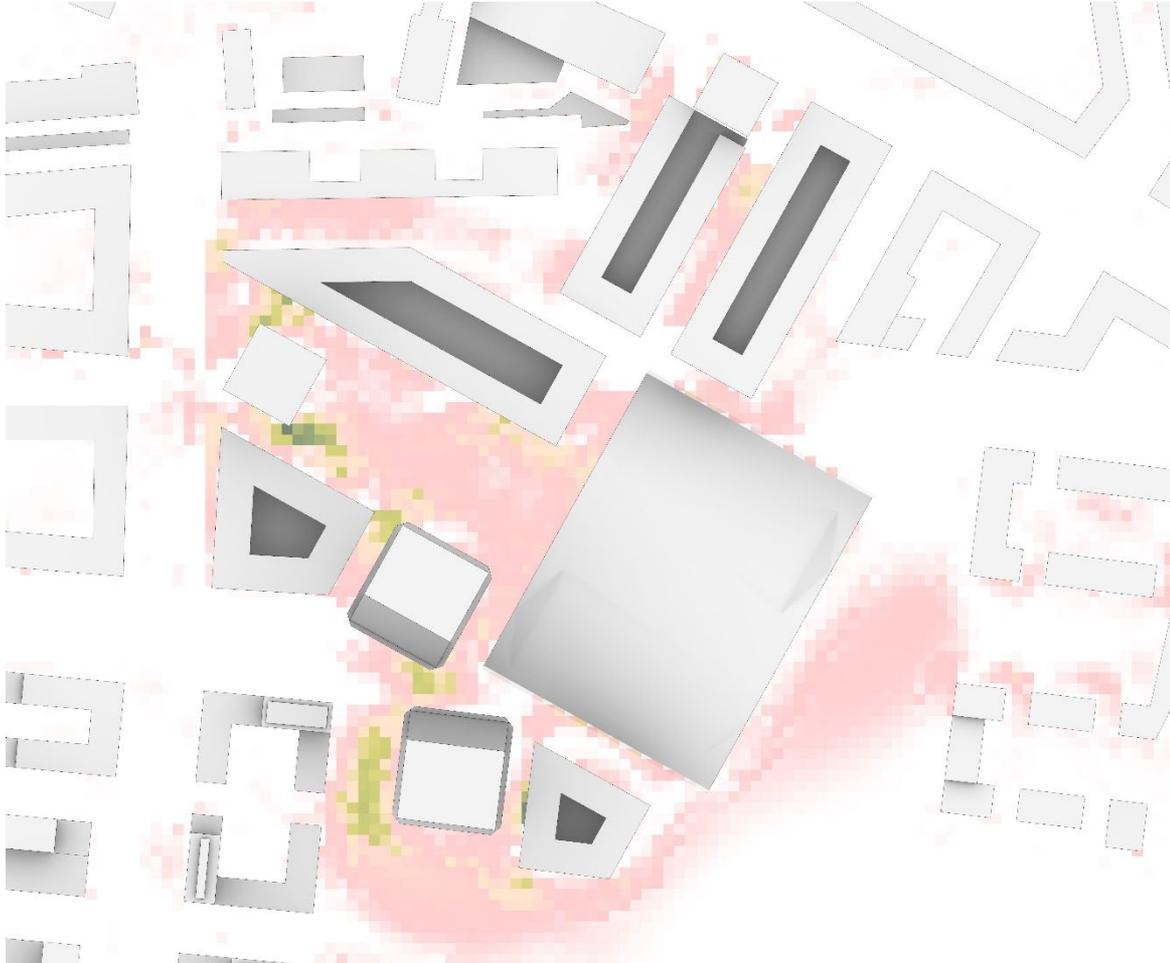
**Geringere
Windgeschwindigkeit**

$$(U/U_{ref})_{Plan} - (U/U_{ref})_{ist}$$



Gegenüberstellung/Differenzberechnung

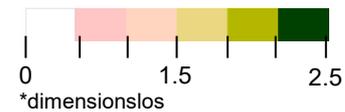
Wind WSW – Erhöhung der Windgeschwindigkeit



Die für das B-Plan Verfahren 2147 geplanten Hochpunkte erhöhen die Windgeschwindigkeiten auf Fußgängerniveau im Vergleich zum B-Plan 1926a. Dies zeigt sich besonders im direkten Umfeld von MU 4, 6, 7 und 8

Erhöhte Windgeschwindigkeit

$$(U/U_{ref})_{Plan} - (U/U_{ref})_{ist}$$



Gegenüberstellung/Differenzberechnung

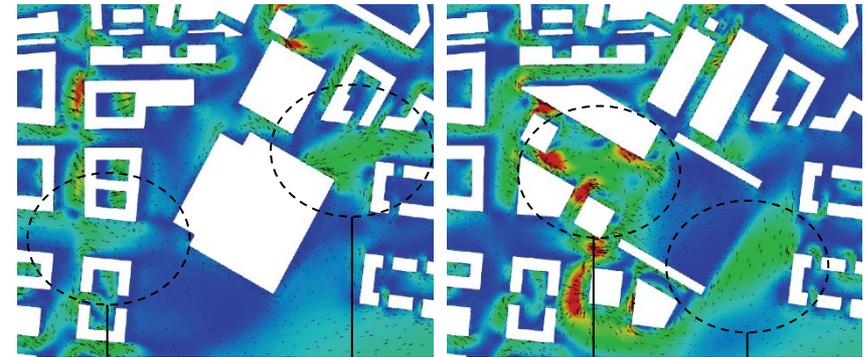
Wind WSW

Die Karten zeigen deutlich die Auswirkungen des neuen B-Plans 2147 im Vergleich zum B-Plan 1926a. Die Geschwindigkeiten für jeden Punkt wurden in einem Raster von 5 m in 1,5 m Höhe über Grund ausgewertet und auf die Referenzgeschwindigkeit von 1,7 m/s normiert, die mit der logarithmischen Windprofilformel berechnet wurde. Bei der Auswertung wurden immer die Ergebnisse des B-Plan-Verfahrens 2147 minus B-Plan 1926a berücksichtigt. Daher ist nur ein Vergleich zwischen den beiden Plänen aussagekräftig.

Bei den Bereichen mit reduzierter Geschwindigkeit handelt es sich um Zonen, die durch neue bauliche Strukturen verändert wurden und im B-Plan 1926a mit Gebäuden versehen sind, die ein Hindernis für den Wind darstellen und diesen stellenweise kanalisieren und verstärken. In der Analyse des B-Plan-Verfahrens 2147 sind diese Hindernisse nicht mehr vorhanden, so dass die Windgeschwindigkeit in diesen Bereichen geringer ist. Dies ist in der Karte als Windabnahme (blau) dargestellt. Gleiches gilt für die Windzunahme: Bereiche, die im B-Plan 1926a als windstill gelten, weisen im B-Plan-Verfahren 2147 eine Zunahme der Windgeschwindigkeit auf, die als "Windgeschwindigkeitszunahme" (rot) bezeichnet wird. Diese Analyse ist qualitativ und nur auf der Ebene der betroffenen Gebiete zu verstehen. Die Auswirkungen auf die spezifischen Nutzungen in den einzelnen Gebieten sind nicht Gegenstand dieser Diskussion, da sie in anderen Kapiteln des Berichts detailliert analysiert werden.

B-Plan 1926a

B-Plan-Verfahrens 2147



Geringere
Windgeschwindigkeit

Erhöhte
Windgeschwindigkeit



Statistischer Windkomfort

VDI 3787-4

Statistischer Windkomfort

Beurteilungskriterien – in VDI Blatt 4



Beurteilungskriterien nach VDI (Abschnitt 7 der VDI 3787 Blatt 4 (2020))

Die Beurteilung des lokalen Windklimas auf die verschiedenen Wirkungen (thermische Be- oder Entlastung, oder Gefährdung) im Rahmen dieser Richtlinie basiert jeweils auf Kombinationen

- einer Grenzgeschwindigkeit für die lokale Windgeschwindigkeit auf Personenhöhe (das heißt in **1,5 m** Höhe)
- und einer Überschreitungswahrscheinlichkeit p .

• 7.3 Gefährdung durch Starkwinde

Um eine Gefährdung durch Wind weitgehend auszuschließen, dürfte die lokale stundengemittelte Windgeschwindigkeit von **15 m/s** in **maximal 0,01 %** der Zeit überschritten werden.

Statistischer Windkomfort

Beurteilungskriterien – in VDI Blatt 4

7.2 Beeinträchtigung bei stärkerem Wind

Verschiedene Aktivitäten im Freien können durch eine stärkere Windeinwirkung beeinträchtigt werden.

Je nach Aktivität gibt es daher Kriterien, um zu beurteilen, ob mit einer Beeinträchtigung zu rechnen ist.

Diese Kriterien stützen sich auf sogenannte Grenzgeschwindigkeiten und mit ihnen gekoppelte Überschreitungswahrscheinlichkeiten.

Werden als Grenzgeschwindigkeiten Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit herangezogen, lässt sich das lokale Windklima nach Bild 3 in vier Windkomfortbereiche A (sehr hoher Windkomfort) bis D (sehr geringer Windkomfort) einteilen.

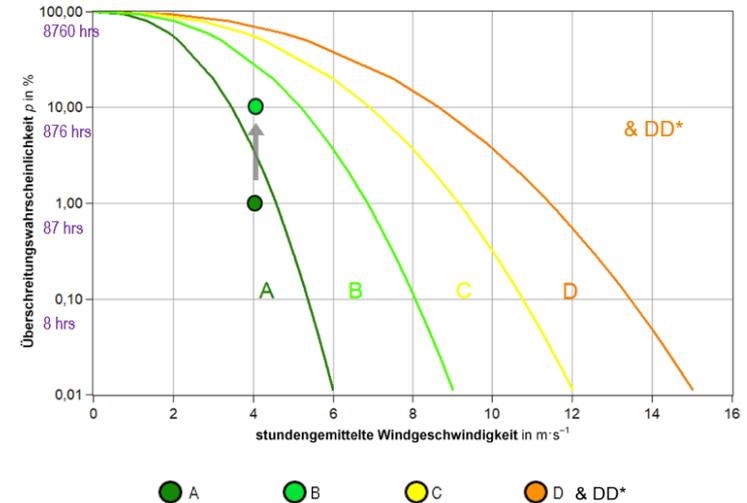


Bild 3. Einteilung der Windkomfortbereich bei starken Winden, Windheschwindigkeit in Lau- und Verweilhöhe, basierend auf den Untersuchungen verschiedener Autoren (siehe [2])

*Die Kategorie DD wurde von Transsolar hinzugefügt, um die Fälle anzuzeigen, die schlechter als D sind

Tabelle 1. Kriterien zur Beurteilung des lokalen Windklimas auf Belästigungen durch Wind

Windkomfortbereich	Aktivitätsklasse			
	Längeres Sitzen oder Stehen (z. B. Parkanlagen, Marktplätze, Straßencafés, Biergärten, Spielplätze, Ruhezonen)	Kurzzeitiges Sitzen oder Stehen (z. B. Bahn- oder Bussteige, sonstige Wartebereiche im Freien)	Langsames Flanieren, Bummeln (z. B. Ladenzeilen, Eingangsbereiche)	Zügiges Durchqueren (z. B. Passagen, Parkplätze)
A	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
B	mäßig geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
C	ungeeignet	mäßig geeignet	geeignet	geeignet
D	ungeeignet	ungeeignet	mäßig geeignet	noch geeignet

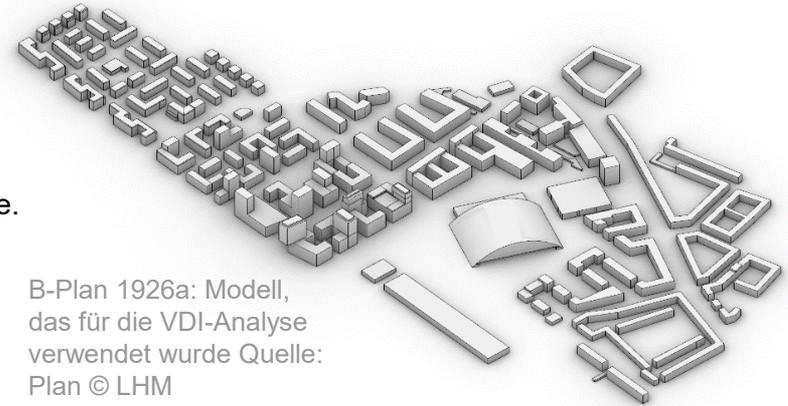
Statistischer Windkomfort

Beurteilung des Außenwindkomforts

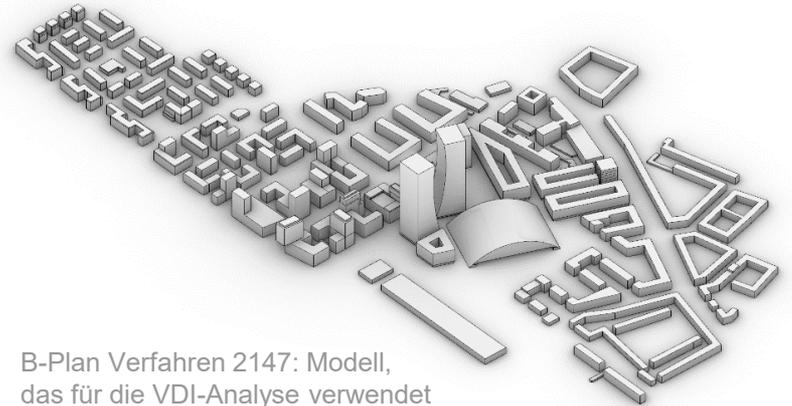
Das verwendete geometrische Modell ist hier dokumentiert. Die Auflösung des simulierten Messgitters variiert mit der Höhe des Windkanals. In Bodennähe hat das Messgitter eine Auflösung von 1.5 m. Unabhängig von der Modellauflösung ist für die meisten Graphiken zur besseren Lesbarkeit die Auflösung weniger genau gewählt. Die Halle ist im B-Plan Verfahren 2147 offen und im B-Plan 1926a für die VDI-Analyse geschlossen angenommen, wie in der vorherigen Analyse.

Als CFD-Software wird OpenFOAM verwendet, um eine neutrale atmosphärische Grenzschicht (ABL) in einer städtischen Umgebung unter verschiedenen Windrichtungen (45-Grad-Schritte) zu simulieren. Für dieses Projekt wurden acht Windrichtungen simuliert, nachdem zuvor die Hauptwindrichtungen aus meteorologischen Daten analysiert wurden.

Nach Abschluss der Simulation werden verschiedene Beurteilungspunkte in einer Höhe von 1,5 m über das Gelände verteilt. Unter Berücksichtigung der ganzjährigen stündlichen Wetterdaten (Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen) und der für jeden Punkt berechneten Windabschwächungsfaktoren (die statistische Analyse für die Windgeschwindigkeit in allen acht Windrichtungen, die aus den CFD-Simulationen gewonnen wurden) können die jährlichen Windverhältnisse abgeschätzt werden. Somit können die maximalen und mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten für den gesamten Bereich um die Gebäude, einschließlich der angrenzenden Gehwegbereiche und der Räume zwischen den Gebäuden, abgeschätzt und kartiert werden. Mit diesem Verfahren kann überprüft werden, ob jeder Punkt die Zielwerte der VDI3787-4 erfüllt oder nicht.



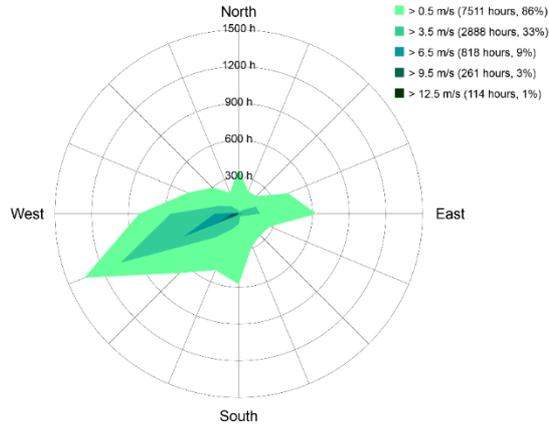
B-Plan 1926a: Modell, das für die VDI-Analyse verwendet wurde Quelle: Plan © LHM



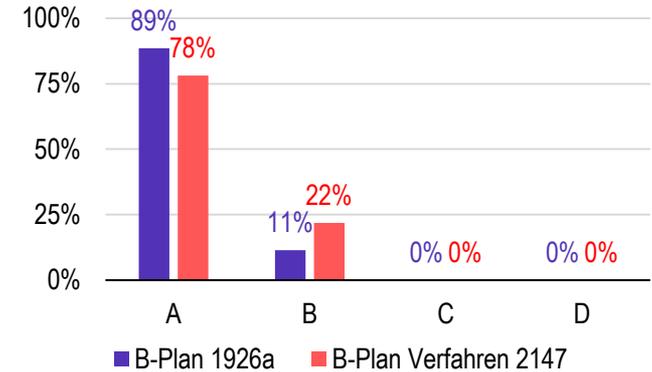
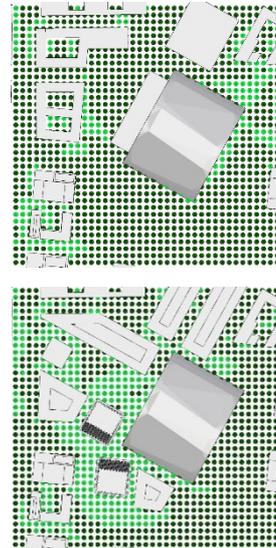
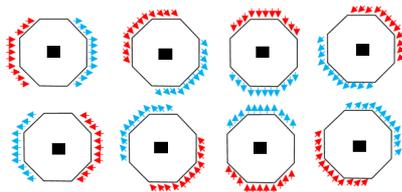
B-Plan Verfahren 2147: Modell, das für die VDI-Analyse verwendet wurde Quelle: Modell © basierend auf Planung Herzog de Meuron

Statistischer Windkomfort

Beurteilung des Außenwindkomforts



Station Name: twec_munich
 Outdoor air temperatures between -16.5 and 33.3 C
 Jan 1 to Dec 31
 From 0h to 24h
 Turn: 0 degrees



Windkomfort
 VDI 3787-4*

Windsimulation (CFD) für alle Windrichtungen
 (aufgeteilt in 8 Segmente)

*VDI 3787 Blatt 4 (2020) Umweltmeteorologie - Methoden zur Beschreibung von Stark- und Schwachwinden in bebauten Gebieten und deren Bewertung

Statistischer Windkomfort

Erläuterungen zu den VDI-Berechnungen



Die Norm VDI 3787 Blatt 4 erlaubt eine Übertragung der gemessenen Winddaten auf das Untersuchungsgebiet mit dem logarithmischen Profil. Die Berechnung des Untersuchungsgebietes erfolgt daher mit diesem Ansatz.

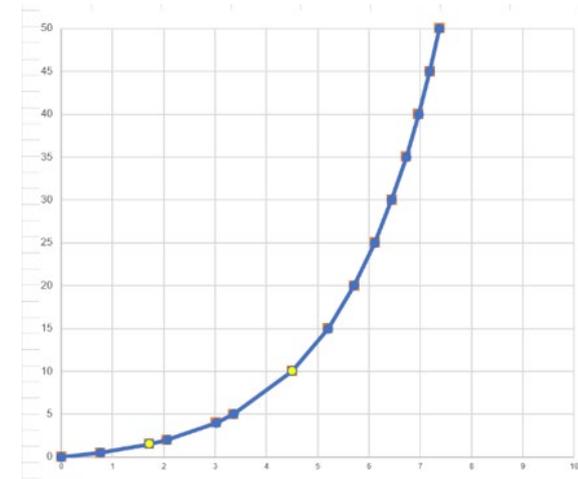
Die Norm erlaubt verschiedene Übertragungsansätze zur Konvertierung der Windgeschwindigkeiten von der Messstation zum Beurteilungspunkt. Es kann somit bei einer der Umrechnung via Potenzansatz ggf. auch zu höheren Geschwindigkeiten am Beurteilungspunkt führen und somit können auch niedrigere Komfortkategorien erreicht werden.

$$v_2 = v_1 \frac{\left(\ln \frac{h_2 + z_0}{z_0} \right)}{\left(\ln \frac{h_1 + z_0}{z_0} \right)}$$

Logarithmische Profilgleichung, die bei der Analyse verwendet wurde

Die für die Simulation verwendete Bezugsgeschwindigkeit entspricht, wie auf Seite 13 dieses Berichts erwähnt, in 10 m Höhe - 4,5 m/s, während die Bezugsgeschwindigkeit in 1,5 m Höhe über dem Boden 1,7 m/s beträgt. Die Bezugsgeschwindigkeit wird durch das logarithmische Windprofil berechnet. Bei dieser Berechnung werden die Elemente der umgebenden Regionen des Standorts berücksichtigt.

Uref	4.5 m/s
Zref	10 m
z0	1 m
zinf	200 m
rhoInf	1.2 kg/m3
UInf	9.95 m/s
pInf	59.43 Pa
z (m)	U (m/s)
0	0.00
0.5	0.76
1.5	1.72
2	2.06
4	3.02
5	3.36
10	4.50
15	5.20
20	5.71
25	6.11
30	6.44
35	6.72
40	6.97
45	7.19
50	7.38
55	7.55
60	7.71
65	7.86
70	8.00
75	8.13
80	8.25
85	8.36
90	8.47
95	8.57
100	8.66



Windprofil und Zunahme der Referenzgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe

Statistischer Windkomfort

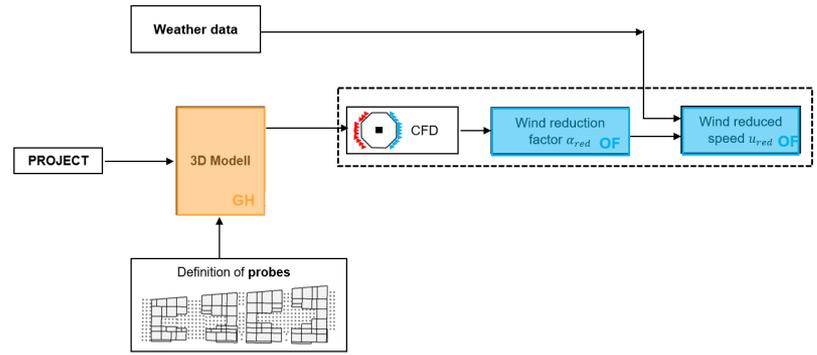
Erläuterungen zu den VDI-Berechnungen

Der Reduktionsfaktor wurde nach der in der VDI 3787 Blatt 4 verfügbaren Formel berechnet. Für jeden Punkt wurde die entsprechende Geschwindigkeit für jede Richtung ($u_{p,\beta}$) durch die Referenzgeschwindigkeit ($u_{Ref,\beta}$) in dieser Höhe geteilt.

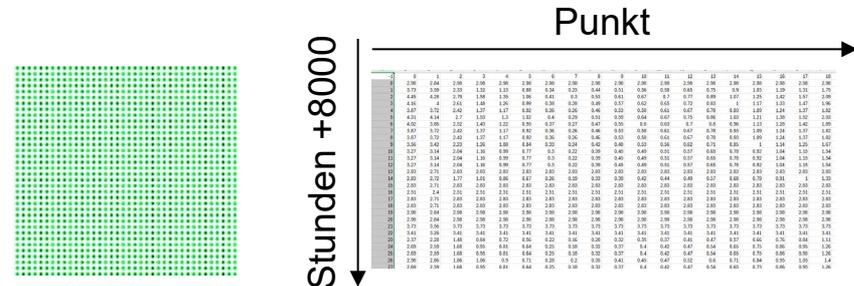
$$\psi(\beta) = u_{p,\beta} / u_{Ref,\beta}$$

Textauszug aus der VDI 3787 / Blatt 4 (2020) - Blatt 4, Seite 32

In der VDI-Analyse wird die Wahrscheinlichkeit ermittelt, wie viel % der Zeit der Wind im Laufe eines Jahres (8760 Stunden) eine bestimmte Geschwindigkeit erreichen kann. Dabei werden 8 verschiedene Windrichtungen berücksichtigt. Eine direkte Korrelation zwischen der unidirektionalen Windkanalanalyse wie zuvor dargestellt und der probabilistischen Analyse nach der VDI-Norm ist nicht möglich. Die Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen werden dem IWEK-Wetterdatensatz entnommen.



Ablauf der Analyse



Aufteilung der Punkte - Raster mit 5 m Netzgröße

Bewertung der Punkte für die einzelnen Windrichtungen und Jahreszeiten - Statistische Analyse

Statistischer Windkomfort

VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte - 1.5 m über Boden



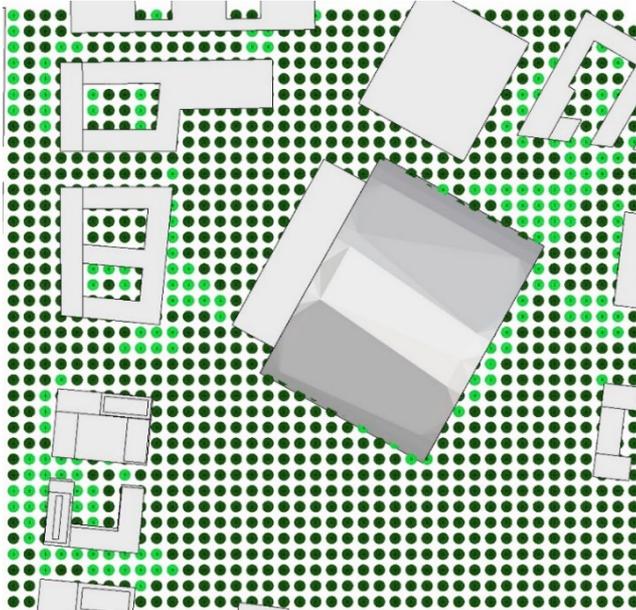
Die untere Tabelle zeigt in den jeweiligen Ergebnisdarstellungen die wahrscheinliche Windgeschwindigkeit je betrachteter sVariante unter Berücksichtigung der 8 Windrichtungen während der 8760 Stunden des Jahres. Dabei werden die für jeden Messpunkt möglichen 70.080 stündlichen Windgeschwindigkeiten berücksichtigt. Dies resultiert in einer prozentualen Wahrscheinlichkeit, für wie viele Stunden über das Jahr eine Windgeschwindigkeit an dem betrachteten Punkt erreicht werden kann.

Die Tabelle variiert je nach betrachtetem Messpunkt.

	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
% B-Plan 1926a	X	X	X	X	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
% B-Plan Verfahren 2147	X	X	X	X	X	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

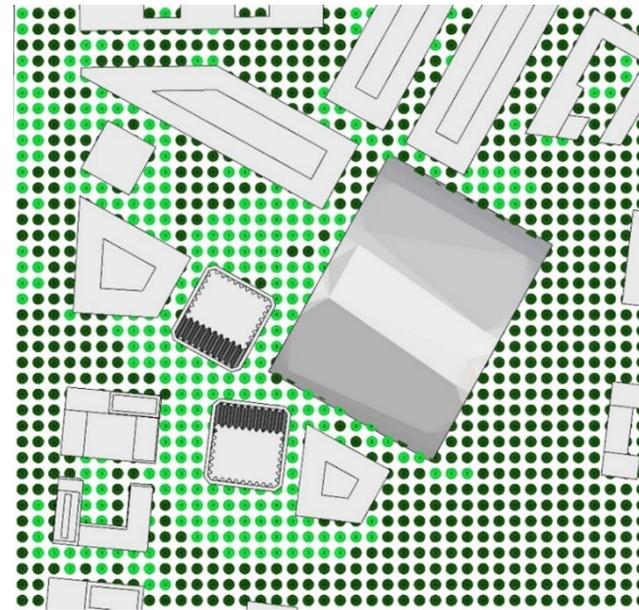
Statistischer Windkomfort

VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte, 1.5 m über Boden



Variante 01 *

B-Plan 1926a



Variante 02 *

B-Plan Verfahren 2147

In den Bereichen der Kategorie A können alle Aktivitäten ohne Risiko für den Komfort der Fußgänger durchgeführt werden. In den mit B gekennzeichneten Bereichen könnten jedoch Tätigkeiten wie langes Sitzen und Stehen unkomfortabel werden. Da die geplanten Freianlagen noch in einer frühen Planungsphase ohne große Planungstiefe sind, ist es schwierig, Schlussfolgerungen zu den derzeit geplanten Aktivitäten zu ziehen.

Es kann jedoch empfohlen werden, dass die Anordnung von z.B. Treffpunkten in Bereichen mit Kategorie A bevorzugt werden sollte, oder dass lokale Windschutzmaßnahmen wie Bepflanzungen sinnvoll sind, um Bereiche mit Kat. B zu verbessern.

* Auflösung Simulationsmodell: 1.5 m, Auflösung Graphik: 10 m

● A ● B ● C ● D & DD*

Windkomfortbereich	Aktivitätsklasse			
	Längeres Sitzen oder Stehen (z. B. Parkanlagen, Marktplätze, Straßencafés, Biergärten, Spielplätze, Ruhezonen)	Kurzzeitiges Sitzen oder Stehen (z. B. Bahn- oder Bussteige, sonstige Wartebereiche im Freien)	Langsames Flanieren, Bummeln (z. B. Ladenzeilen, Eingangsbereiche)	Zügiges Durchqueren (z. B. Passagen, Parkplätze)
A	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
B	mäßig geeignet	geeignet	geeignet	geeignet

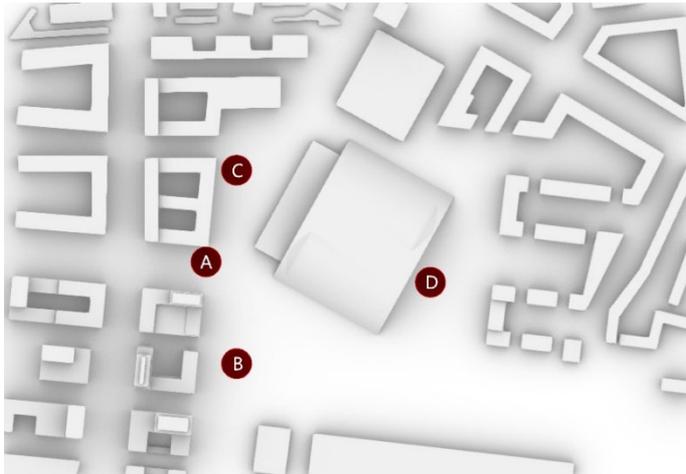


Statistischer Windkomfort

VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte - 1.5 m über Boden

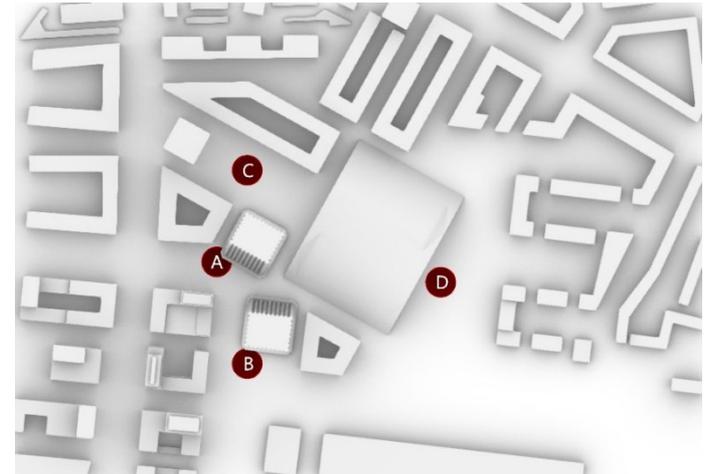


Es wurden einige Testpunkte ausgewählt, um die Windkomfortsituation im Jahresverlauf genauer zu demonstrieren. In Anlehnung an die VDI-Konformität wurden die Testpunkte in 1,5 m Höhe über dem Boden angenommen.



Variante 01

B-Plan 1926a



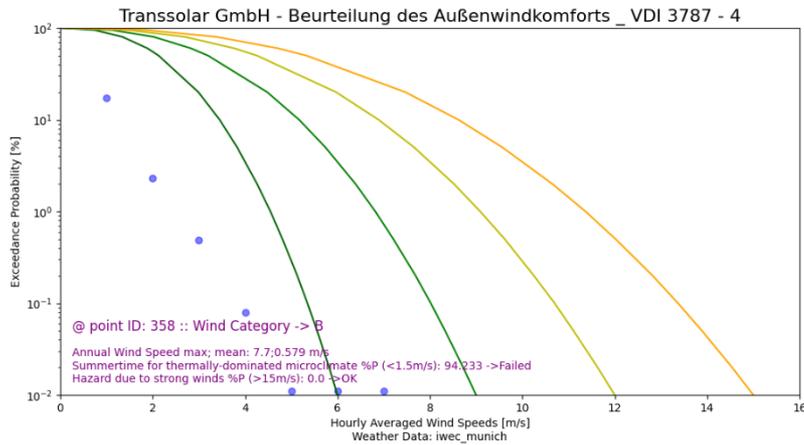
Variante 02

B-Plan Verfahren
2147

Statistischer Windkomfort

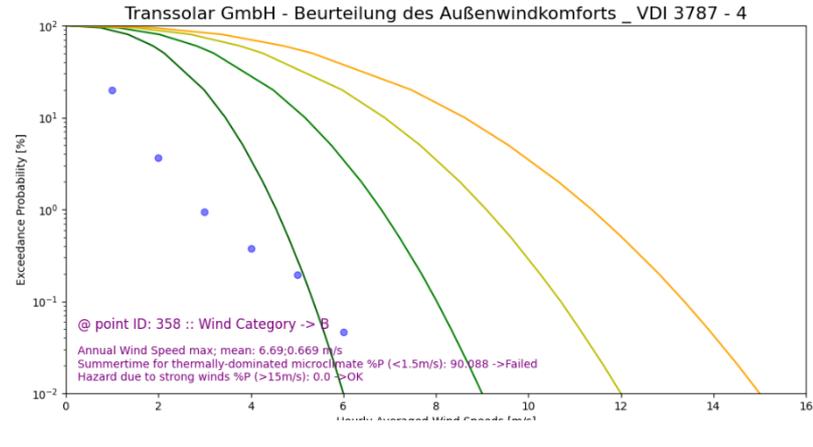
VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte

1.5 m über Boden - Testpunkt A



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
% B-Plan 1926a	17.3	2.3	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
% B-Plan Verfahren 2147	19.7	3.7	0.9	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



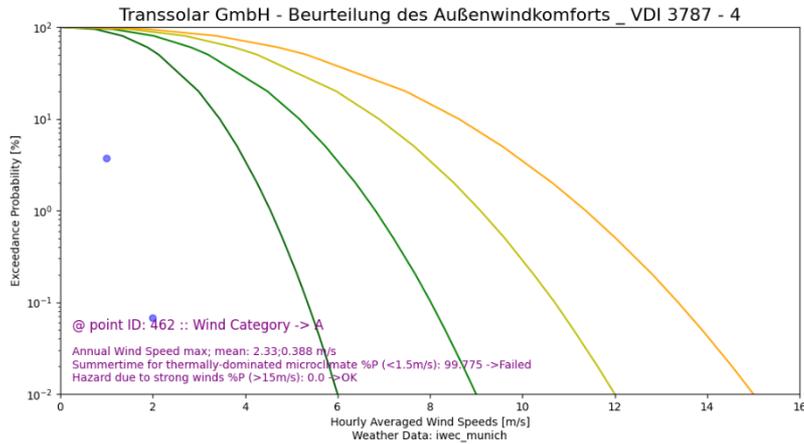
Die Windgeschwindigkeit in 1,5 m Höhe über Grund beträgt bei ungestörten Windverhältnissen 1,7 m/s. Am Punkt A kann die Windgeschwindigkeit in 0,2 % der Jahresstunden 5 m/s erreichen. Das ist fast das Dreifache des Referenzwertes. Obwohl nach der Beaufort-Skala 5 m/s als mäßige Brise gilt, die für Fußgänger kein Risiko darstellt, ist langes Sitzen oder Stehen in diesem Bereich nicht empfehlenswert. Cafés und Treffpunkte im Freien sollten daher gemieden werden.



Statistischer Windkomfort

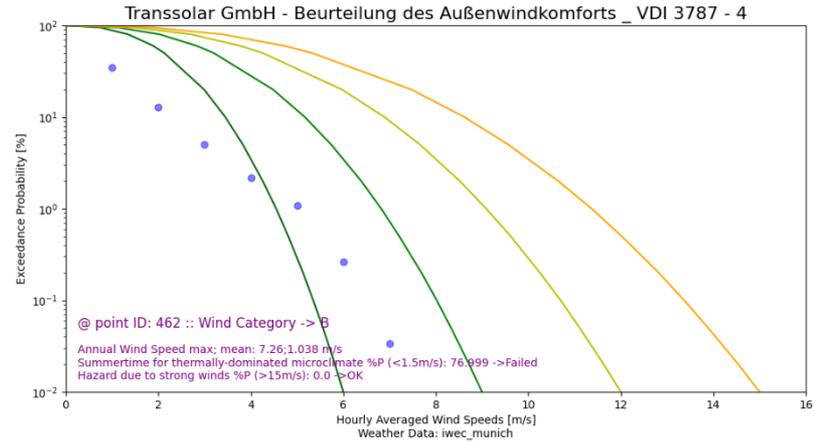
VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte

1.5 m über Boden - Testpunkt B



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
% B-Plan 1926a	3.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
% B-Plan Verfahren 2147	34.5	12.9	5.1	2.2	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



In Punkt B, unter dem MU 7, erreicht der Wind eine höhere Beschleunigung und kann für 0.3% der Jahresstunden eine Geschwindigkeiten von 6 m/s erreichen. Dies könnte zu Schwierigkeiten beim Gehen führen. Langes Sitzen oder Stehen wird in dieser Region nicht empfohlen. Daher sollten Cafés und Treffpunkte im Freien gemieden werden.

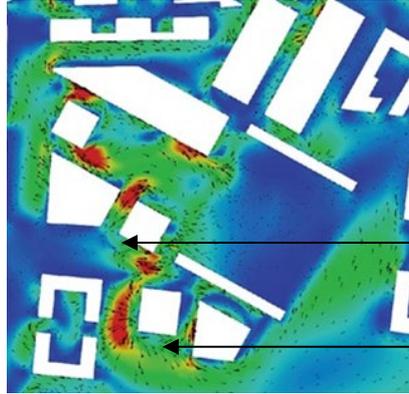


Statistischer Windkomfort

VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte, 1.5 m über Boden

Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse der Geschwindigkeiten der VDI-Berechnung über der Geschwindigkeit aus dem unidirektionalen Windkanal liegt. Die numerische Analyse, d.h. der unter den Diagrammen dargestellte Wahrscheinlichkeitsbereich, kann jedoch eine andere Verteilung aufweisen, da wir hier weder eine unidirektionale Windgeschwindigkeit noch eine Referenzgeschwindigkeit für das ganze Jahr verwenden, sondern mit den gemessenen Winddaten arbeiten. Z.B. treten am Messpunkt A Geschwindigkeiten von 5 m/s für 0.2% des Jahres auf – dies entspricht ca. 18 Stunden.

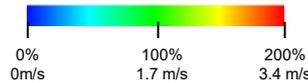
In Realität können kurzzeitig höhere Böen-Windgeschwindigkeiten auftreten, diese werden jedoch in der Computer-gestützten Simulation nicht berücksichtigt.



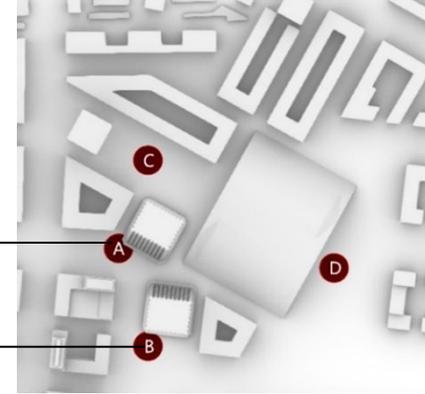
Windumströmung (SWS Richtung)

B-Plan Verfahren 2147

Windgeschwindigkeit SWS Richtung



Uref = 1.7 m/s at 1.5m über Boden



VDI Analysis

B-Plan Verfahren 2147

VDI - Punkt A

	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
% B-Plan 1926a	17.3	2.3	0.5	0.1	0.0	0.0
% B-Plan Verfahren 2147	19.7	3.7	0.9	0.4	0.2	0.0

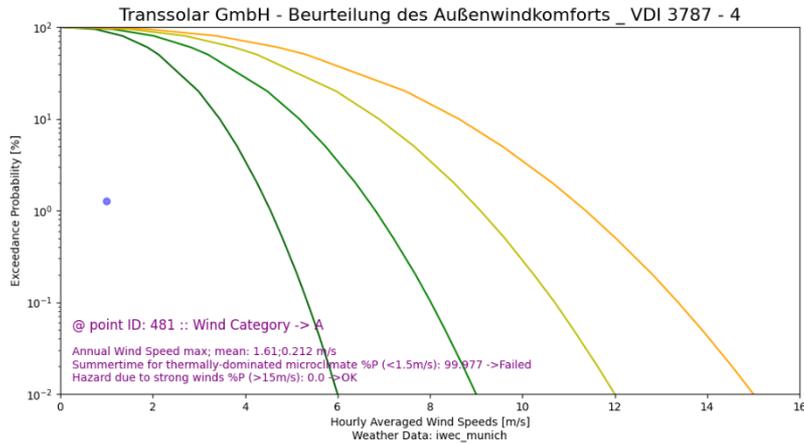
VDI - Punkt B

	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s
% B-Plan 1926a	3.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
% B-Plan Verfahren 2147	34.5	12.9	5.1	2.2	1.1	0.3

Statistischer Windkomfort

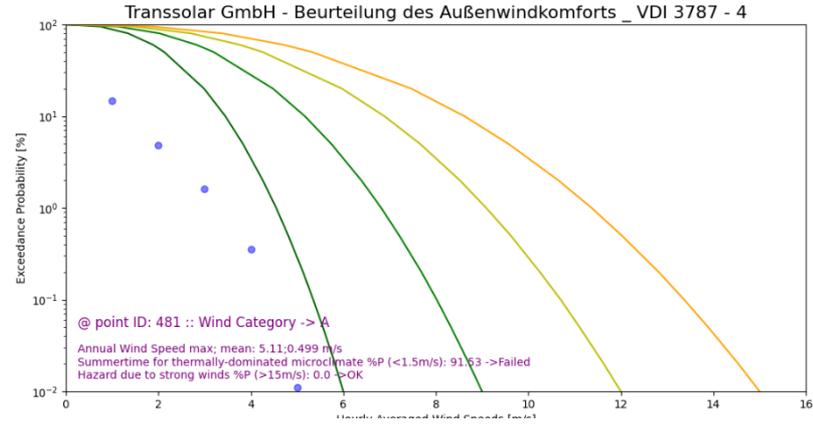
VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte

1.5 m über Boden - Testpunkt C



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
% B-Plan 1926a	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
% B-Plan Verfahren 2147	14.7	4.8	1.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

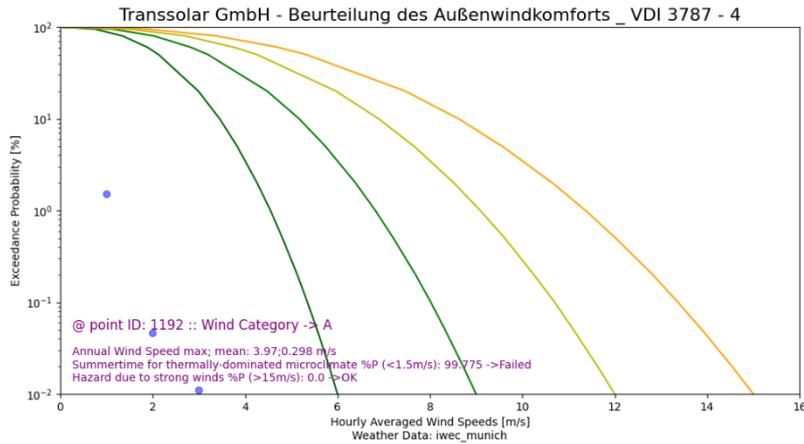
In Punkt C, in der Region des Quartiersparks, sind die Windverhältnisse für alle Aktivitäten günstig. Im Vergleich zum B-Plan 1926a wurde die Durchlüftung verbessert. Hier konnten alle Tätigkeiten nach der VDI-Skala durchgeführt werden.



Statistischer Windkomfort

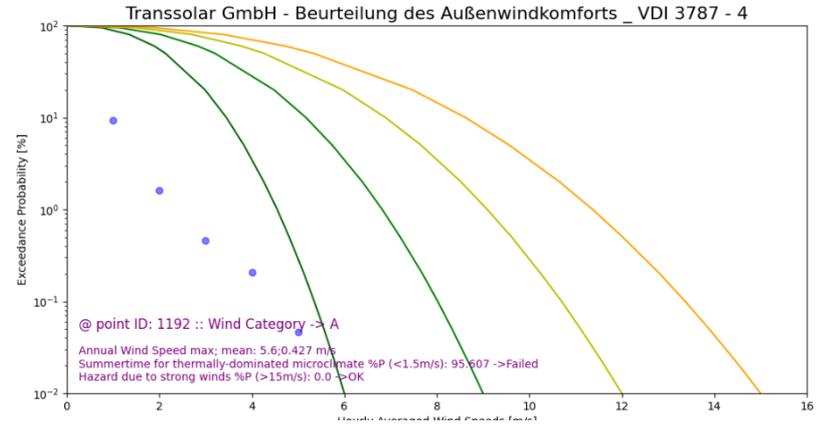
VDI-3787-4 - untersuchte Messpunkte

1.5 m über Boden - Testpunkt D



Variante 01

B-Plan 1926a



Variante 02

B-Plan Verfahren 2147

	1 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
% B-Plan 1926a	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
% B-Plan Verfahren 2147	9.3	1.6	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Im Punkt D, im südöstlichen Bereich der Halle, wurde die Windbewegung im Vergleich zum B-Plan 1926a etwas erhöht, was für eine bessere Durchlüftung spricht und aber für den Windkomfort keine Verschlechterung darstellt. Hier konnten alle Tätigkeiten nach der VDI-Skala durchgeführt werden.



Statistischer Windkomfort

VDI-3787-4



Es wurde eine statistische Analyse des Windkomforts nach VDI 3787-4 für verschiedene Bereiche unternommen.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Windkomfortbedingungen für die meiste Zeit des Jahres in den Kategorien A und B liegen.

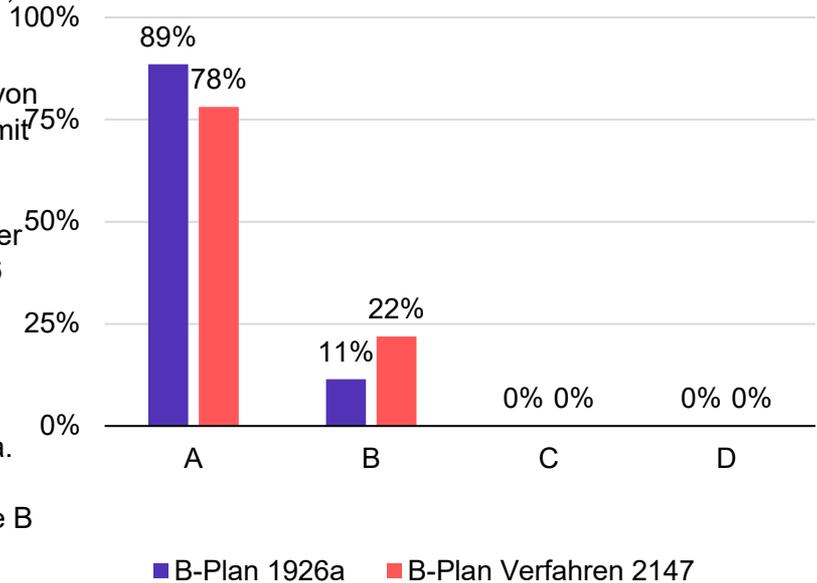
Laut VDI sind diese Kategorien geeignet für längeres Sitzen oder Stehen, kurzzeitiges Sitzen oder Stehen, Bummeln und zügiges Durchqueren.

An Punkt A kann die Windgeschwindigkeit für 0,2% der Zeit einen Wert von 5 m/s erreichen, was jedoch immer noch als «mäßige Brise» gilt und damit für Fußgänger unbedenklich ist.

An Punkt B unter dem MU 7 sind die Windgeschwindigkeiten mit 0,3% der Jahresstunden minimal länger und mit einer max. Geschwindigkeit von 6 m/s noch etwas höher als Punkt A, hier kann zu dieser Zeit das Gehen durch den Wind erschwert werden.

Punkt C im Quartierspark bietet günstige Windverhältnisse für alle Aktivitäten und eine Verbesserung gegenüber dem älteren B-Plan 1926a. Kategorie A gilt lediglich für Punkt C, nicht aber für den gesamten Quartierspark, der auch große Flächenanteile mit Windkomfort Kategorie B aufweist. Dies ist bei der Anordnung von Zonen für längeres Sitzen oder Stehen zu beachten und gegebenenfalls dort über dichtere Bepflanzung Windschatten herzustellen.

Ebenso wurde die Windbewegung am Punkt D, im südöstlichen Bereich der Halle, im Vergleich zum B-Plan 1926a ganzjährig verbessert.



Optimierungen

Reduktion der Windeffekte durch Weiterentwicklung der Planung
Vergleich Planungstand März 2023 und aktuell

Optimierungen

Wind-Optimierungsmaßnahmen

Die Türme MU 6 und MU 7 wurden mehrfach überarbeitet und optimiert, um die Windumströmung zu beeinflussen. Dargestellt ist ein Vergleich zwischen der im März 2023 entwickelten Studie und dem aktuellen B-Plan Verfahren 2147.

In der ersten Untersuchung im März wurden die Fassaden als glatte Oberflächen angesetzt, auf Basis der damaligen Simulationsergebnisse wurden folgende Optimierungen von HdM unternommen:

1. Geänderte Turmstellung und Entfall der Schrägaufzüge

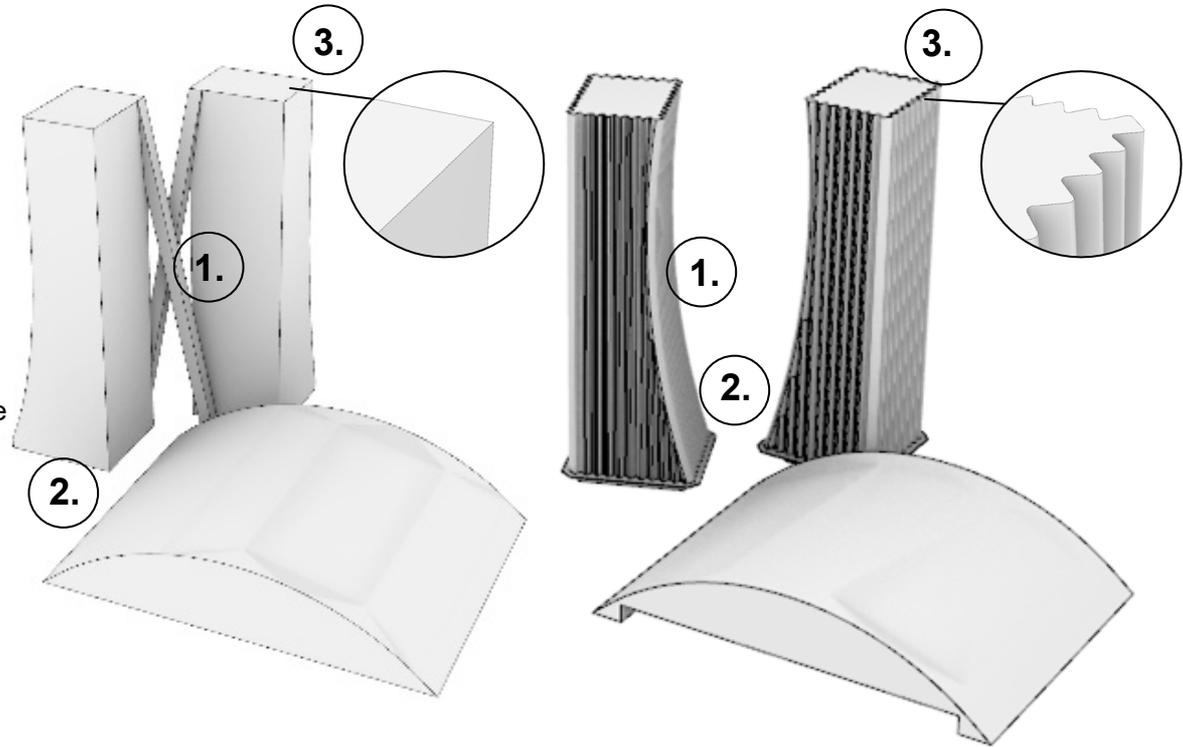
Die Vergrößerung des Abstandes der Türme reduziert den Tunneleffekt mit Windbeschleunigungen zwischen den Türmen.

2. Turmkranz - die Fallwinde in Turmnähe werden durch die Einführung eines Vordaches im unteren Bereich verringert.

3. Erhöhte Fassadenrauigkeit

Die geplante wellenförmige Fassade erhöht den Strömungswiderstand der Türme, dadurch werden lokale Windbeschleunigungen durch Strömungsablösungen reduziert

Quelle: Modell © basierend auf Planung Herzog de Meuron

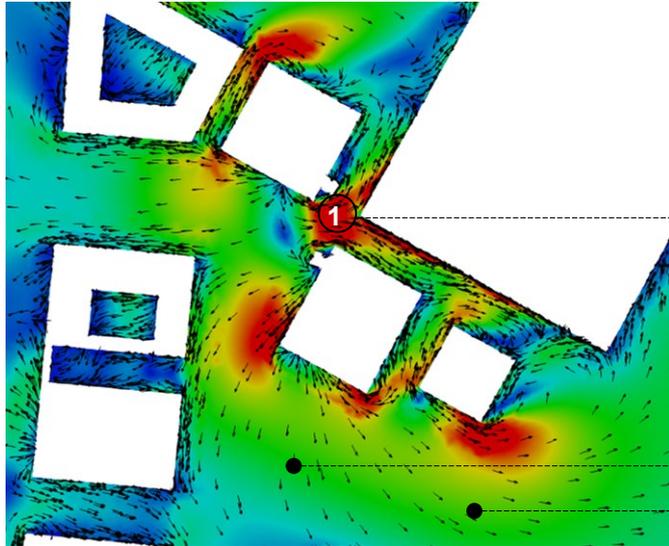


**B-Plan Stand
März 2023**

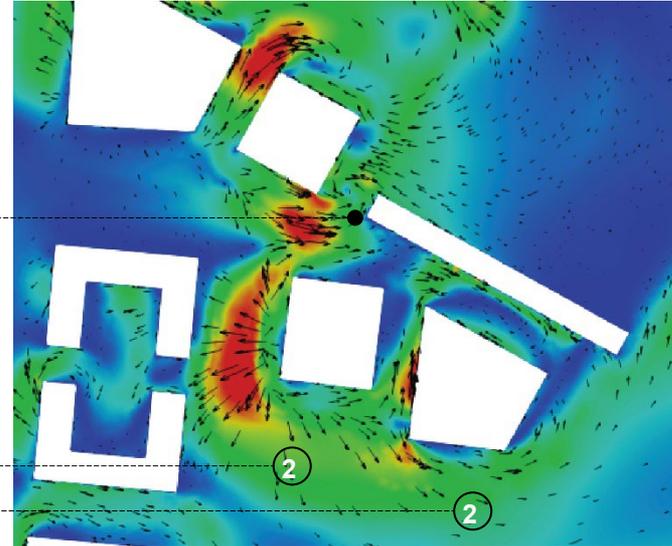
B-Plan Verfahren 2147

Optimierungen

Auswirkungen Wind-Optimierung – 1.5 m über Boden



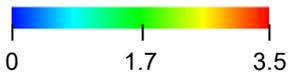
**B-Plan Stand
März 2023**



B-Plan Verfahren 2147

1. Höhere Windgeschwindigkeiten in der Region zwischen dem Turm MU 6 und der Halle durch Tunneleffekte. Verbesserung durch geänderte Turmstellung und Öffnung der Halle.
2. Die Fassadengeometrie und Vordächer wurden optimiert und reduzieren den Fallwind im Bereich der Türme MU 6 und 7

Windgeschwindigkeit (m/s)

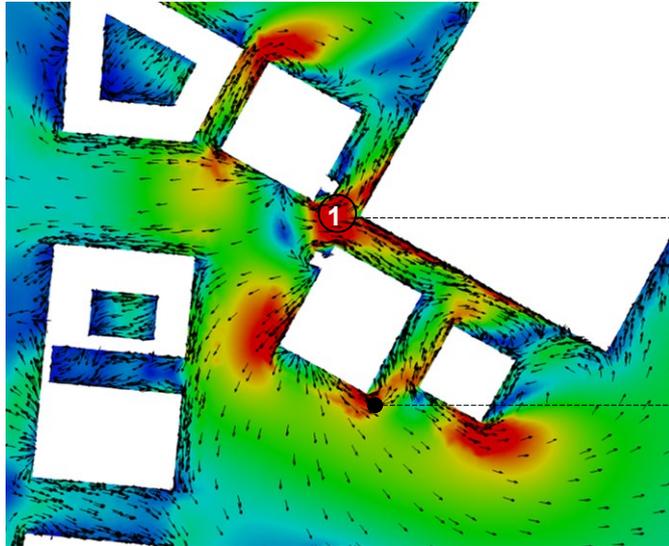


Uref = 1.7 m/s at 1.5 über Boden

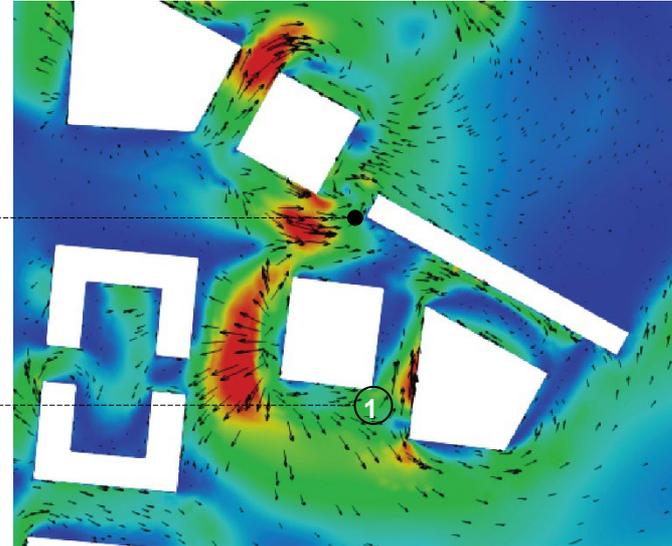


Optimierungen

Erläuterung zu der Wind-Optimierung – 1.5 m über Boden



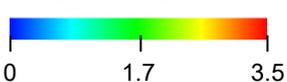
**B-Plan Stand
März 2023**



B-Plan Verfahren 2147

1. Im Dezember 2022 wurden die Türme eine glatte Oberfläche simuliert, während sie in der weiteren Entwicklung (Stand Juli 2023) Fassaden mit erhöhter Oberflächenrauigkeit aufweisen. Außerdem unterscheidet sich der B-Plan-Verfahren 2147, vom Stand März 2023 in den bodennahen Ebenen - im neuen Modell gibt es eine Marquise, eine Auskragung des Daches, die Fallwinde umlenken kann, während diese im vorherigen Modell nicht vorhanden war. Dies hat dazu beigetragen, die Geschwindigkeiten in Bodennähe deutlich zu reduzieren.

Windgeschwindigkeit (m/s)

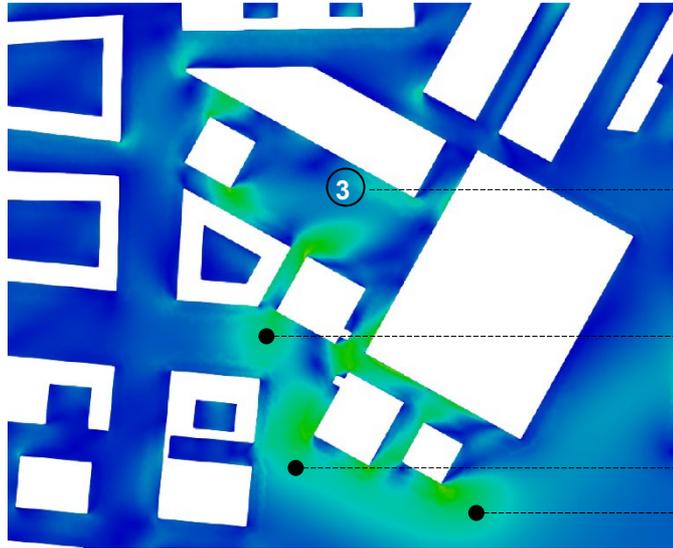


Uref = 1.7 m/s at 1.5 über Boden

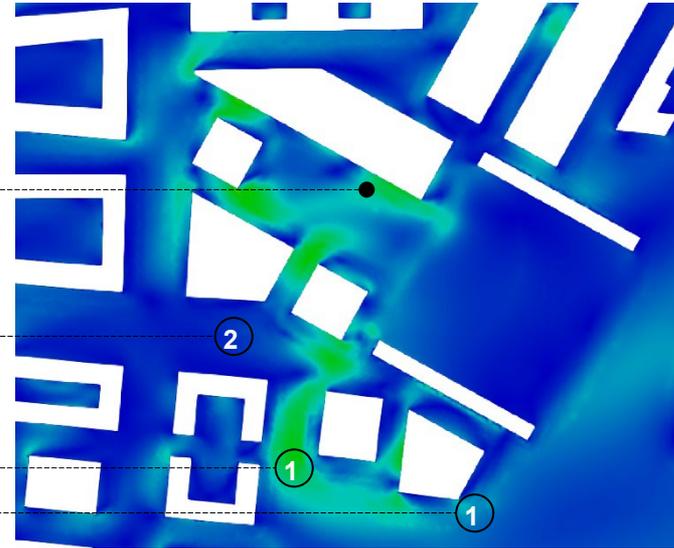


Optimierungen

Wind-Optimierung – 1.5 m über Boden



**B-Plan Stand
März 2023**

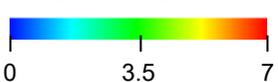


B-Plan Verfahren 2147

Mit einer höheren Skala ist es möglich, die Auswirkungen der Fassadenoptimierungen festzustellen.

1. Die Fassadengeometrie und Vordächer wurden optimiert und reduzieren den Fallwind im Bereich der Türme MU 6+7, sowie zwischen MU 7+8
2. Die Region um MU 5 hat sich ebenfalls verbessert und weist im Vergleich zum vorherigen Turm eine geringere Windgeschwindigkeit auf.
3. In der Quartiersparkregion wurde jedoch, wie in den vorherigen Folien beschrieben, die Luftzirkulation erhöht, was für die Nutzungen dort von Vorteil sein kann

Windgeschwindigkeit (m/s)



Uref = 1.7 m/s at 1.5 über Boden



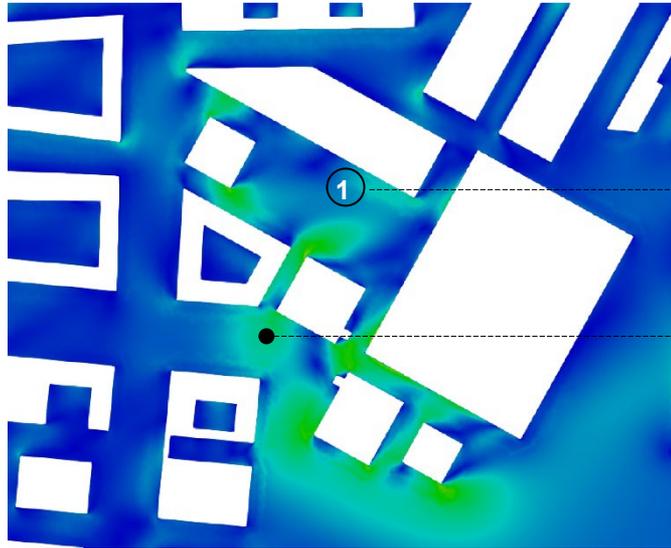
Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten.

Die Skala zeigt die absolute Windgeschwindigkeit an, nicht die Beschleunigung.

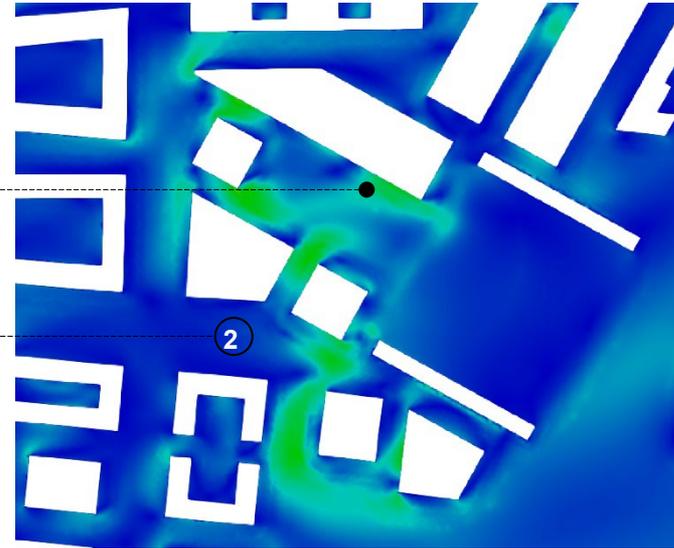


Optimierungen

Erläuterung zu der Wind-Optimierung – 1.5 m über Boden



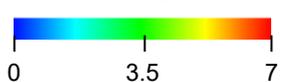
**B-Plan Stand
März 2023**



B-Plan Verfahren 2147

1. Positiv wird die Erhöhung der Windgeschwindigkeiten und die damit stärkere Durchlüftung des Quartierparks bewertet.
 2. Im Nahumfeld der Türme dagegen wird die Reduktion der Luftgeschwindigkeit als positiv bewertet, da diese auf eine Reduktion der von den Türmen verursachten Fallwinde hinweisen. Diese können insbesondere bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten problematisch sein.
- Die Veränderungen der Windgeschwindigkeiten bewegen sich generell auf einem sehr moderaten Niveau.

Windgeschwindigkeit (m/s)



Uref = 1.7 m/s at 1.5 über Boden



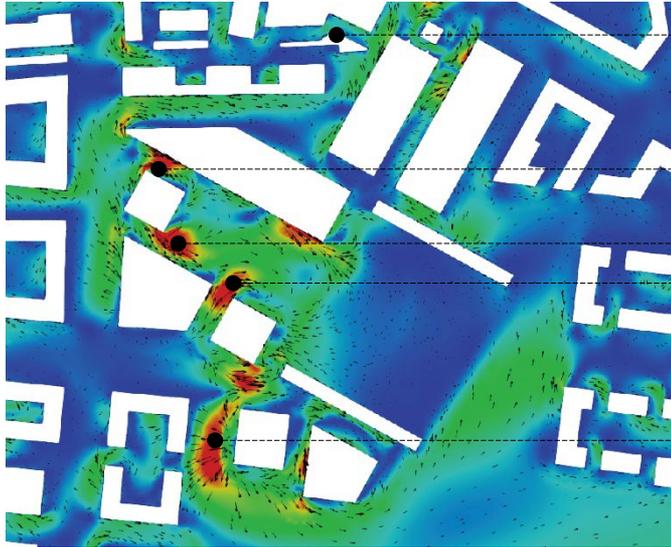
Änderung der Skala zur Anpassung an höhere Windgeschwindigkeiten.

Die Skala zeigt die absolute Windgeschwindigkeit an, nicht die Beschleunigung.

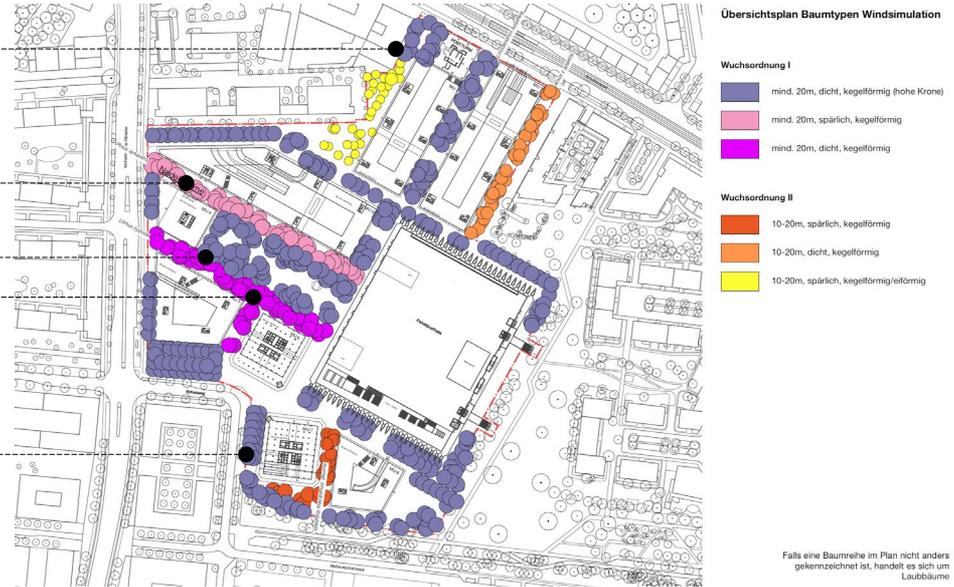


Optimierungen

Baumstellung



B-Plan Verfahren 2147



Baumstellung und Baumtypen - © Vogt Landschaftsarchitekten 8.9.23

Neben der Optimierung der Turmstellungen, Fassaden und Vordächer wurde auch durch die Anordnung der Bäume auf die lokal erhöhten Windgeschwindigkeiten reagiert. So wird insbesondere im Quartierspark aber auch in Turmnahe durch die Baumkronen eine Abminderung von Windbeschleunigungen ermöglicht.

Die Regionen mit erhöhter Windbeschleunigung sind gut gekennzeichnet und werden in dem Bericht eingehend erörtert. Die Baumstandorte waren zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch in Abstimmung, die Positionierung der Bäume erfolgt jedoch bereits unter Berücksichtigung der damaligen Ergebnisse der Windsimulationen. Um die exakte Auswirkung der Bäume auf die Windumströmung zu ermitteln, wird empfohlen in den späteren Planungsphasen weitere Windsimulationen zu berechnen, die mit einem höheren Detaillierungsgrad inkl. der Bäume erstellt werden. Im jetzigen Planungsstadium sind solche Simulationen nicht geläufig.

Unterschied zwischen geschlossener und offener Halle

durch Analyse nach NEN8100

München, Paketpostareal

Analyse des Fußgängerwindkomforts



Um die unterschiedlichen Auswirkungen einer offenen und einer geschlossenen Halle zu analysieren, wurde eine Windkomfortanalyse für Fußgänger durchgeführt. Aufgrund der zeitkritischen Terminalschiene wurde eine vereinfachte Berechnung auf Basis der niederländischen Norm NEN8100 durchgeführt, die deutlich schneller als eine Berechnung nach VDI 3787 gerechnet werden kann. Die Norm gründet auf langen Erfahrungen und wird oftmals auch in Deutschland z.B. in Bebauungsplänen angewendet.

Die Kriterien der Norm definieren die Wahrscheinlichkeit von Windgeschwindigkeiten über einem bestimmten Schwellenwert an einem bestimmten Ort. Das Ergebnis stellt eine statistisch für das Jahr hochgerechnete Überlagerung der verschiedenen Windrichtungen dar und zeigt eine Häufigkeit der Überschreitung einer bestimmten Geschwindigkeit.

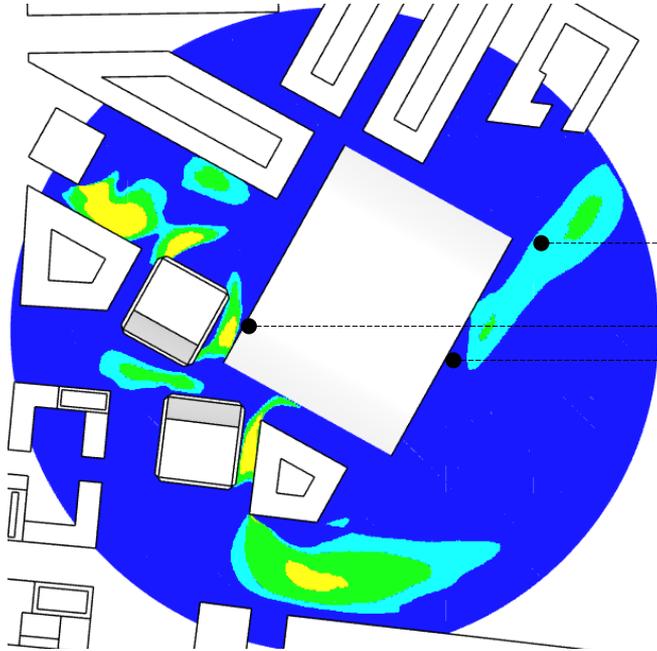
Die Messung erfolgt in einer bestimmten Höhe zwischen 1,5 m und 1,75 m, je nach örtlichen behördlichen Vorgaben. Kurz gesagt, die NEN8100-Kriterien setzen einen Grenzwert für die Windgeschwindigkeit und geben dann an, mit welcher Wahrscheinlichkeit dieser Wert überschritten wird.

Abhängig von der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Schwellenwindgeschwindigkeit definiert der Code fünf Qualitätsklassen des Windkomforts A-E:

	A	5 m/s	< 2.5%	sitzend, für eine lange Zeit	} Verweilflächen: Komfortabler Bereich für sitzende Tätigkeiten
	B	5 m/s	< 5%	sitzend, für eine kurze Zeit	
	C	5 m/s	< 10%	schlendern	} Bewegungsflächen: Komfortabler Bereich für stehende Aktivitäten
	D	5 m/s	< 20%	schnell laufend	
	E	5 m/s	>= 20%	unbequem	} Unbequeme Zone

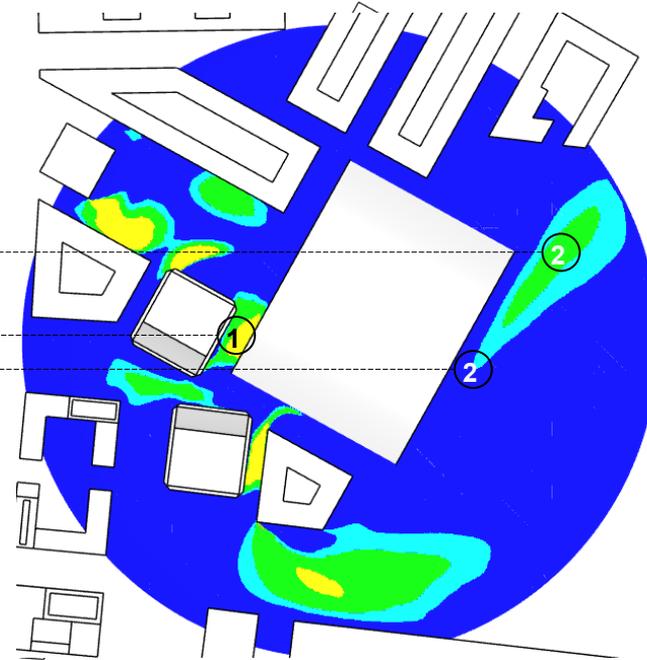
Statistischer Windkomfort

NEN8100 - Fußgängerwindkomforts



B-Plan Verfahren 2147

Geöffnet Halle



B-Plan Verfahren 2147

Geschlossene Halle

	A	5 m/s	< 2.5%	sitzend, für eine lange Zeit
	B	5 m/s	< 5%	sitzend, für eine kurze Zeit
	C	5 m/s	< 10%	schlendern
	D	5 m/s	< 20%	schnell laufend
	E	5 m/s	>= 20%	unbequem

1. In einigen Bereichen in der Nähe des Turms führt die geschlossene Halle zu einer Erhöhung der Windgeschwindigkeit.
2. Auch auf der anderen Seite der Halle wird eine erhöhte Geschwindigkeit im Vergleich zur offenen Halle festgestellt.

Aus der Analyse geht jedoch hervor, dass die Auswirkungen nicht signifikant sind. Die größte Auswirkung auf den Windkomfort hätte die Veränderung der Türme. Die offene oder geschlossene Halle spielt dabei keine große Rolle.