

Neubau Bürogebäude Trivago (Düsseldorf, Deutschland)

Windkanalversuche:

- **Ermittlung des Windkomforts und der Windsicherheit im bodennahen Außenbereich**
- **Ermittlung des Windkomforts und der Windsicherheit auf den Balkonen und Dachterrassen**

Revision 02 – ersetzt den Bericht datiert auf den 18.01.2017

Auftraggeber: Immofinanz Medienhafen GmbH
Hildeboldplatz 20
50672 Köln

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. M. Kraut

Birkenfeld, 25. Jan. 2017



Prof. Dipl.-Ing. J. Wacker
Wacker Ingenieure

INHALTSVERZEICHNIS

1	PROBLEMSTELLUNG	1
2	EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE, WINDKANALVERSUCHE	4
2.1	Windklima am Standort.....	6
2.2	Quantitative Ermittlung des Windkomforts	9
2.3	Komfortkriterien.....	13
2.4	Beschreibung der Versuchsvarianten	16
3	ERGEBNISSE DER WINDKOMFORTUNTERSUCHUNGEN	19
3.1	Windkomfort am Standort als Referenz	19
3.2	Windkomfort im bodennahen Außenbereich	20
3.2.1	<i>Ergebnisse für Konfiguration 1 (ohne BA 2)</i>	20
3.2.2	<i>Ergebnisse für Konfiguration 2 (mit BA 2)</i>	28
3.3	Windkomfort auf den Balkonen und Dachterrassen	35
3.3.1	<i>Ergebnisse Dachterrassen des BA1 für Konfiguration 1 (ohne BA 2)</i>	35
3.3.2	<i>Ergebnisse Dachterrassen des BA 1 für Konfiguration 2 (mit BA 2)</i>	38
3.3.3	<i>Ergebnisse Balkone des BA 2</i>	41
4	ANHANG	44
4.1	Nachuntersuchung bodennaher Windkomfort.....	44
4.2	Ergebnisse.....	48
4.2.1	<i>Ergebnisse Verbesserungsmaßnahme 1</i>	48
4.2.2	<i>Ergebnisse Verbesserungsmaßnahme 2</i>	50
4.2.3	<i>Ergebnisse Verbesserungsmaßnahme 3</i>	52
5	VERWENDETE UNTERLAGEN	55

1 PROBLEMSTELLUNG

In Düsseldorf im Bereich des Medienhafens ist der Neubau der Trivago Bürogebäude geplant (Abb. 1.1). Das Bauvorhaben umfasst zwei im Grundriss nierenförmige Gebäude. Ein ca. 30 m hoher Flachbau sowie ein ca. 68 m hohes Hochhaus.

Im Zusammenhang mit der weiteren Planung der Gebäude wurde das Büro Wacker Ingenieure beauftragt, für unterschiedliche Bebauungskonstellationen die Bauwerksaerodynamik-Aspekte:

- Windkomfort/Windsicherheit im bodennahen Außenbereich
- Windkomfort/Windsicherheit auf den Balkonen und Dachterrassen

strömungstechnisch mittels Windkanaltests zu untersuchen. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse dargestellt.



Abb. 1.1: Visualisierung der geplanten Trivago Gebäude (BA 1 und BA 2)



Abb. 1.2: Projektstandort in Düsseldorf (Medienhafen)

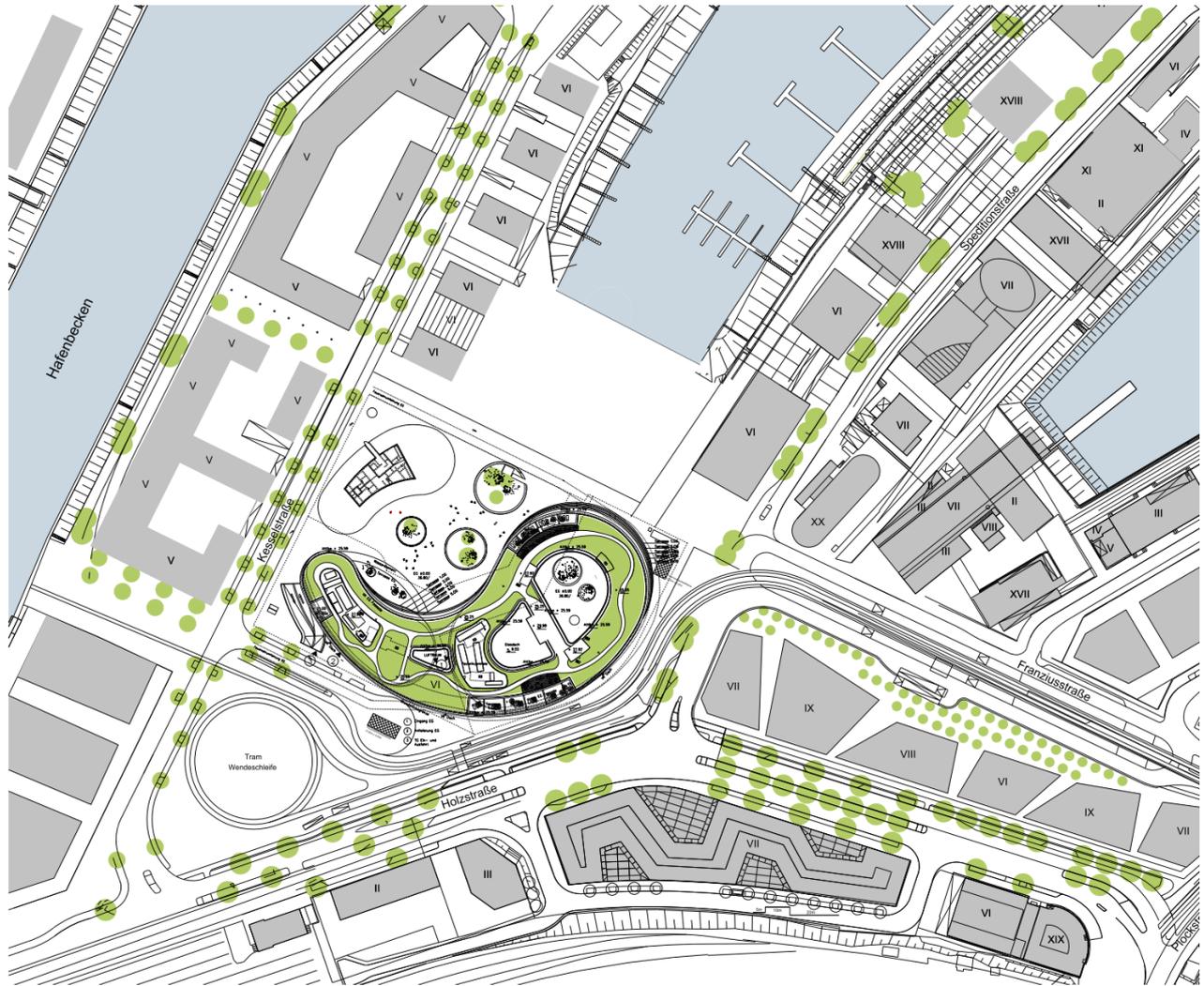


Abb. 1.3: Lageplan der Trivago Gebäude am Medienhafen in Düsseldorf (Witte, 2016)

2 EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE, WINDKANALVERSUCHE

Für eine quantitative Prognose des Windkomforts bzw. Winddiskomforts müssen an entsprechend kritischen Punkten, deren Positionen auf der Basis von Erfahrungswerten aus früheren Projekten sowie anhand der vorgesehenen Nutzung identifiziert werden, die örtlichen Windgeschwindigkeiten und Windgeschwindigkeitsschwankungen mittels spezieller Messsonden bestimmt, statistisch aufbereitet und bewertet werden.

Die Windkanaluntersuchungen erfolgten an einem maßstäblich verkleinerten Modell (Maßstab 1/250) des Gebäudekomplexes inklusive Umgebungsbebauung in einem Grenzschichtwindkanal (siehe Abb. 2.1). Die Windkanaluntersuchungen wurden für zwei Konfigurationen durchgeführt:

- **Konfiguration 1:** BA 1 mit Umgebungsbebauung im Istzustand
- **Konfiguration 2:** BA 1 und BA 2 im Ensemble mit Umgebungsbebauung im Istzustand

Die Messungen wurden unter Einhaltung der maßgeblichen Ähnlichkeitsgesetze durchgeführt. Die unmittelbare Umgebungsbebauung wurde, soweit sie einen entscheidenden Einfluss auf die Strömungsverhältnisse hat, nachgebildet. Strömungsmechanisch relevante Details, wie die exponierte Lage des Projektstandortes sowie der Höhenversatz zur Rheinebene wurden im Windkanalmodell berücksichtigt (siehe Abb.2.1).

Die für das Untersuchungsgebiet repräsentativen atmosphärischen Grenzschichtströmungsverhältnisse, d.h. die höhenabhängige Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeit und der Windböen (Turbulenz), wurden mit Hilfe von Rauigkeitselementen auf dem Windkanalboden und sogenannten Vortex-Generatoren (Wirbelerzeugern) am Beginn der Windkanalteststrecke erzeugt. Dadurch wurde der Einfluss der weiter entfernt liegenden Umgebung auf das Windprofil berücksichtigt. Das Modell wurde auf einem Drehteller zur Simulation unterschiedlicher Windrichtungen angebracht.

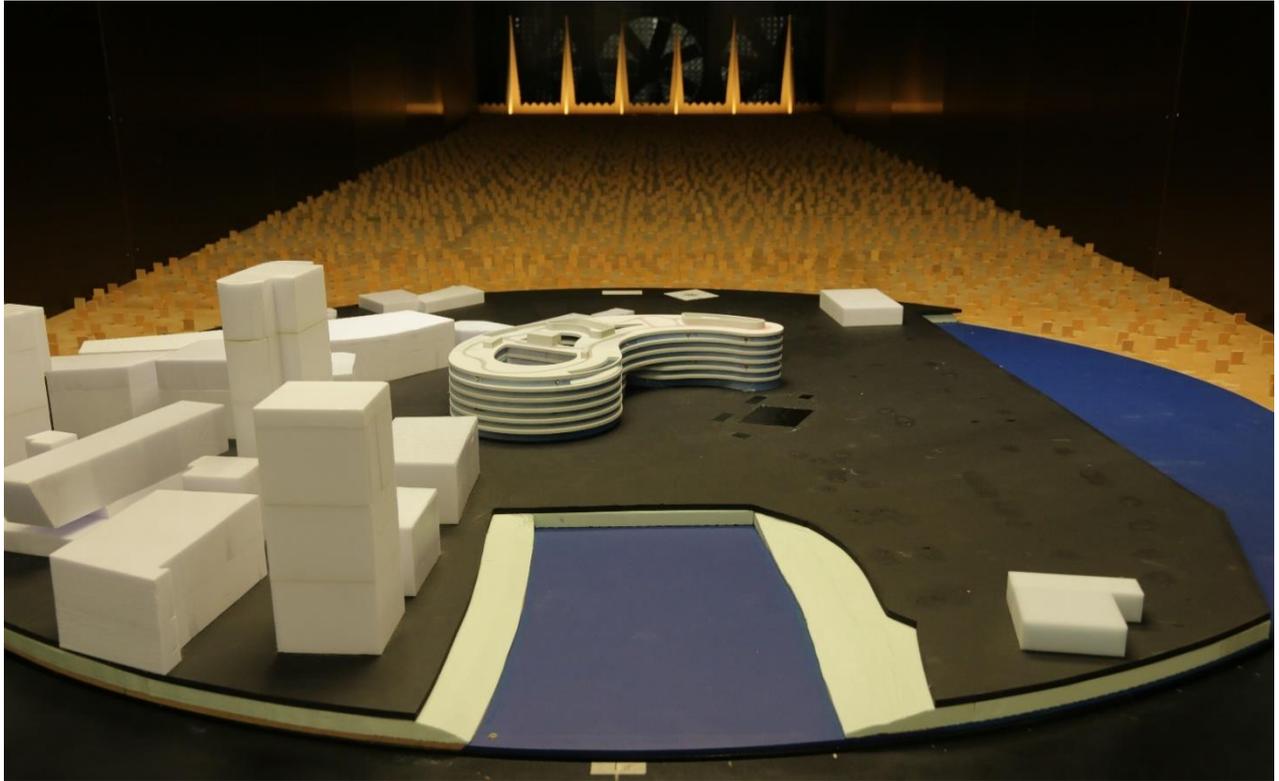


Abb. 2.1: Windkanalmodell im Grenzschichtwindkanal mit angrenzender Umgebungsbebauung im Istzustand. Oben ohne Hochhaus BA 2 (Konfiguration 1), unten mit Hochhaus BA 2 (Konfiguration 2)

2.1 Windklima am Standort

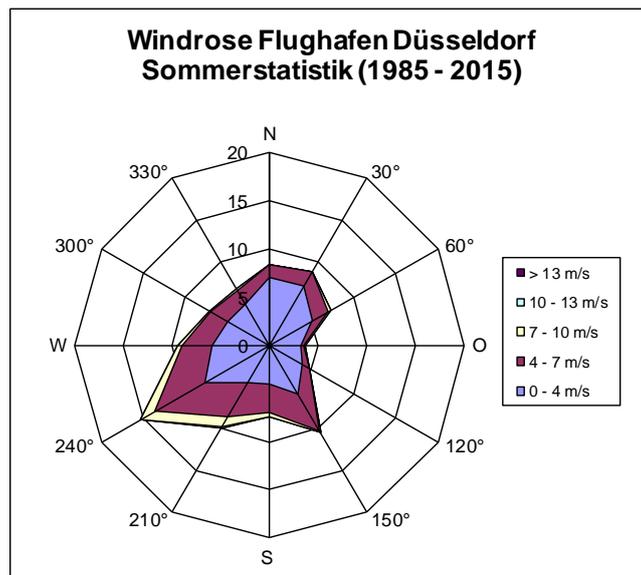
Für die Bewertung des Windkomforts bzw. der Windsicherheit wurden die Daten der Station - Flughafen Düsseldorf verwendet. Für die Bewertung des bodennahen Windkomforts bzw. des Nutzerkomforts auf den Dachterrassen wurden jeweils die Sommer- und Winterstatistiken (Abb. 2.2 und 2.3) der Windinformationen verwendet. Für die Bewertung der Windsicherheit wurde die ganzjährige Windstatistik verwendet (Abb. 2.4).

Hierbei wird definiert:

Sommerhalbjahr: Monate April - September

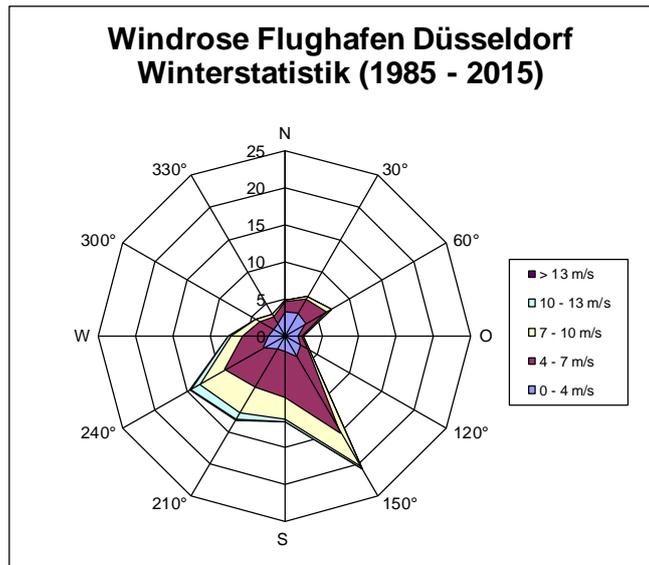
Winterhalbjahr: Monate Oktober – März

Für die Anwendung der Statistik wurde der Einfluss der unterschiedlichen Bodenrauigkeiten von Messstation und Projektstandort nach DIN EN 1991-1-4 (2010) berücksichtigt.



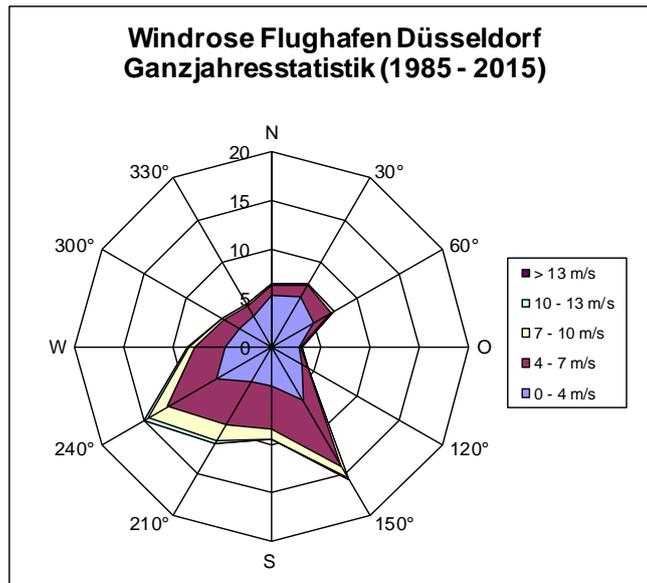
Windrichtung β [°]	alle	> 1 m/s	> 2 m/s	> 3m/s	> 4 m/s	> 5 m/s	> 6 m/s	> 7 m/s	> 8 m/s	> 9 m/s	> 10 m/s
0	8.4	7.4	5.0	2.9	1.4	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
30	8.8	7.9	5.5	3.4	1.8	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
60	7.3	6.5	4.7	3.3	2.1	1.3	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0
90	3.6	3.0	1.7	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
120	4.7	4.2	2.7	1.6	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
150	10.5	10.3	9.2	7.2	4.6	2.2	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0
180	7.4	7.2	6.5	5.1	3.4	1.9	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0
210	9.8	9.6	8.9	7.3	5.4	3.6	2.2	1.3	0.7	0.3	0.1
240	15.4	15.0	13.3	10.5	7.8	5.4	3.3	1.8	0.9	0.4	0.1
270	9.5	9.1	7.7	5.5	3.5	2.0	1.0	0.4	0.2	0.1	0.0
300	7.1	6.7	5.6	3.8	2.2	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0
330	6.7	6.2	4.7	3.1	1.8	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0

Abb. 2.2: Summenhäufigkeit in [%] für verschiedene mittlere Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen an der meteorologischen Station Düsseldorf-Flughafen – Sommerhalbjahr April – September



Windrichtung β [°]	alle	> 1 m/s	> 2 m/s	> 3m/s	> 4 m/s	> 5 m/s	> 6 m/s	> 7 m/s	> 8 m/s	> 9 m/s	> 10 m/s
0	4.8	4.4	3.9	2.6	1.6	0.9	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0
30	6.1	6.1	5.5	4.0	2.5	1.4	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0
60	7.2	7.2	6.7	5.4	4.0	2.5	1.5	0.8	0.3	0.1	0.0
90	2.4	2.4	2.1	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
120	3.9	3.9	3.6	2.5	1.5	0.9	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0
150	20.8	20.8	20.6	19.6	17.5	14.0	9.8	5.6	2.7	1.1	0.4
180	11.6	11.6	11.4	10.8	9.4	7.5	5.4	3.3	1.7	0.8	0.3
210	13.2	13.2	13.0	12.3	11.1	9.3	7.2	5.2	3.4	2.1	1.2
240	14.7	14.7	14.3	13.1	11.5	9.4	7.4	5.5	3.9	2.6	1.6
270	7.6	7.6	7.3	6.5	5.4	4.1	3.0	1.9	1.2	0.7	0.4
300	4.5	4.5	4.2	3.6	2.9	2.0	1.2	0.7	0.4	0.2	0.1
330	3.3	3.3	3.0	2.1	1.5	1.0	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0

Abb. 2.3: Summenhäufigkeit in [%] für verschiedene mittlere Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen an der meteorologischen Station Düsseldorf-Flughafen – Winterhalbjahr Oktober-März



Windrichtung β [°]	alle	> 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
0	6.4	5.6	3.8	2.2	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
30	7.5	6.7	4.7	3.0	1.6	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
60	7.3	6.6	5.1	3.6	2.3	1.4	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0
90	3.0	2.6	1.5	0.7	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
120	4.3	3.9	2.6	1.5	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
150	15.6	15.4	14.4	12.3	9.3	6.0	3.2	1.5	0.6	0.2	0.1
180	9.5	9.3	8.7	7.3	5.4	3.7	2.1	1.1	0.5	0.2	0.1
210	11.5	11.3	10.6	9.2	7.3	5.4	3.7	2.3	1.4	0.8	0.4
240	15.1	14.7	13.2	11.0	8.6	6.4	4.4	2.9	1.7	1.0	0.5
270	8.5	8.2	7.1	5.4	3.8	2.5	1.5	0.8	0.4	0.2	0.1
300	5.8	5.5	4.6	3.3	2.1	1.2	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0
330	5.0	4.6	3.4	2.3	1.4	0.8	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0

Abb. 2.4: Summenhäufigkeit in [%] für verschiedene mittlere Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen an der meteorologischen Station Düsseldorf-Flughafen – Ganzjahresstatistik

2.2 Quantitative Ermittlung des Windkomforts

Die Fußgänger-Behaglichkeit, der sogenannte Windkomfort, wird nicht nur durch die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit \bar{U} sondern auch durch die Intensität der Windgeschwindigkeitsschwankungen, also die Böigkeit des Windes, bestimmt. Die Intensität der Windgeschwindigkeitsschwankungen (Böigkeit) wird durch deren Effektivwert erfasst:

$$\sigma = \sqrt{\bar{u}^2}$$

Der Effektivwert ist die Wurzel aus dem Mittelwert der quadrierten Geschwindigkeitsschwankungen und wird daher auch als RMS-Wert (Root-Mean-Square) bezeichnet. Zur Quantifizierung des Windkomforts und der Windsicherheit von Passanten dient die Bezugswindgeschwindigkeit:

$$U_B = \bar{U} + \gamma \cdot \sigma$$

In der Literatur schwanken die Werte für den Wichtungsfaktor γ zwischen 1 und 4 (z.B. Gandemer, 1982). Zur Beurteilung des Windkomforts werden in aller Regel Wichtungsfaktoren zwischen 1 und 1.5, zur Beurteilung der Windsicherheit Werte zwischen 3 und 3.5 gewählt. Im Rahmen der vorliegenden Studie werden γ -Werte von 1.5 (Windkomfort) bzw. 3.0 (Windsicherheit) angesetzt.

Bei der Festlegung von Obergrenzen für die Geschwindigkeit U_B wird als Grenzwindgeschwindigkeit für die mechanische Wirkung, also zur Quantifizierung der sogenannten mechanischen Behaglichkeit, eine Geschwindigkeit

$$U_{B,mech.Grenz} = \bar{U} + \sigma = 6 \text{ m/s}$$

entsprechend der einschlägigen Literatur gewählt. Oberhalb dieses Wertes beginnen unangenehme Wirkungen für den Menschen, wie unter anderem das Aufwirbeln von Staub, Druckempfindung an empfindlichen Körperstellen sowie Irritation der Augen.

Die thermische Windwirkung ist insbesondere bei niedrigen Außentemperaturen von Bedeutung. In Mitteleuropa sind in den Wintermonaten häufig die östlichen Windrichtungen mit niedrigen Außentemperaturen korreliert, d.h. sie treten verstärkt auf. Da bei niedrigen Außentemperaturen bereits niedrigere Windgeschwindigkeiten als störend bzw. unangenehm empfunden werden, wird in aller Regel – so auch in dieser Studie - bei winterlichen Windströmungen aus östlichen Windrichtungen eine Grenzwindgeschwindigkeit $U_{b,mech.Grenz} = 4 \text{ m/s}$ angesetzt.

Es gibt in der Literatur unterschiedliche Ansätze zur Bewertung. Einige Autoren definieren bei einer konstanten Böenwindgeschwindigkeit von 6 m/s mögliche Nutzungen aufgrund der Überschreitungshäufigkeiten, andere Autoren beurteilen Nutzungsmöglichkeiten aufgrund der Böenwindgeschwindigkeit bei konstant gehaltener Überschreitungshäufigkeit von max. 1 % der Jahresstunden. In dieser Untersuchung erfolgt die Beurteilung mit einem plausiblen Mix unterschiedlicher Kriterien. Die genaue Beschreibung dieser Kriterien erfolgt in Kap. 2.3 bzw. 2.4. Zur Quantifizierung des Windkomforts entwickelten Gandemer und Guyot (1976) den Geschwindigkeitsfaktor X_i :

$$X_i = \frac{\overline{(U + \gamma \cdot \sigma)_{mB}}}{\overline{(U + \gamma \cdot \sigma)_{oB}}}$$

X_i ist der Quotient der lokalen, durch die Bebauung beeinflussten Windgeschwindigkeit (Index mB) und der ungestörten Bezugsgeschwindigkeit ohne Bebauung (Index oB) an derselben Stelle in gleicher Höhe. Beide Bezugsgeschwindigkeiten können im Windkanalmodell z.B. mit Hitzdrahtsonden, Laser-Doppler-Velocimetern oder Irwin Sensoren gemessen werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Messungen mit Irwin Sensoren und Hitzdrahtsonden durchgeführt (Abb. 2.5 und Abb. 2.6). Dabei werden die zeitlich gemittelten Windgeschwindigkeiten und die Windgeschwindigkeitsschwankungen in der gleichen Messhöhe (entsprechend 1.5 m im Naturmaßstab über dem Boden) mit und ohne Bebauung bestimmt.

Geschwindigkeitsfaktoren $X_i < 1$ bedeuten, dass durch die Bebauung eine Verringerung der Windgeschwindigkeiten auftritt; bei Geschwindigkeitsfaktoren $X_i > 1$ wurde eine Erhöhung der örtlichen Windgeschwindigkeiten relativ zur Windsituation ohne Bebauung ermittelt.

Im Anschluss an die Messung des Geschwindigkeitsfaktors wird berechnet, wie häufig im statistischen Jahresmittel die Grenzwindgeschwindigkeit überschritten wird. Hierzu werden die lokalen Windgeschwindigkeitsdaten mit den Häufigkeitsverteilungen des Windklimas gekoppelt. Als Ergebnis werden die Überschreitungshäufigkeiten der Grenzwindgeschwindigkeiten U_B ermittelt.

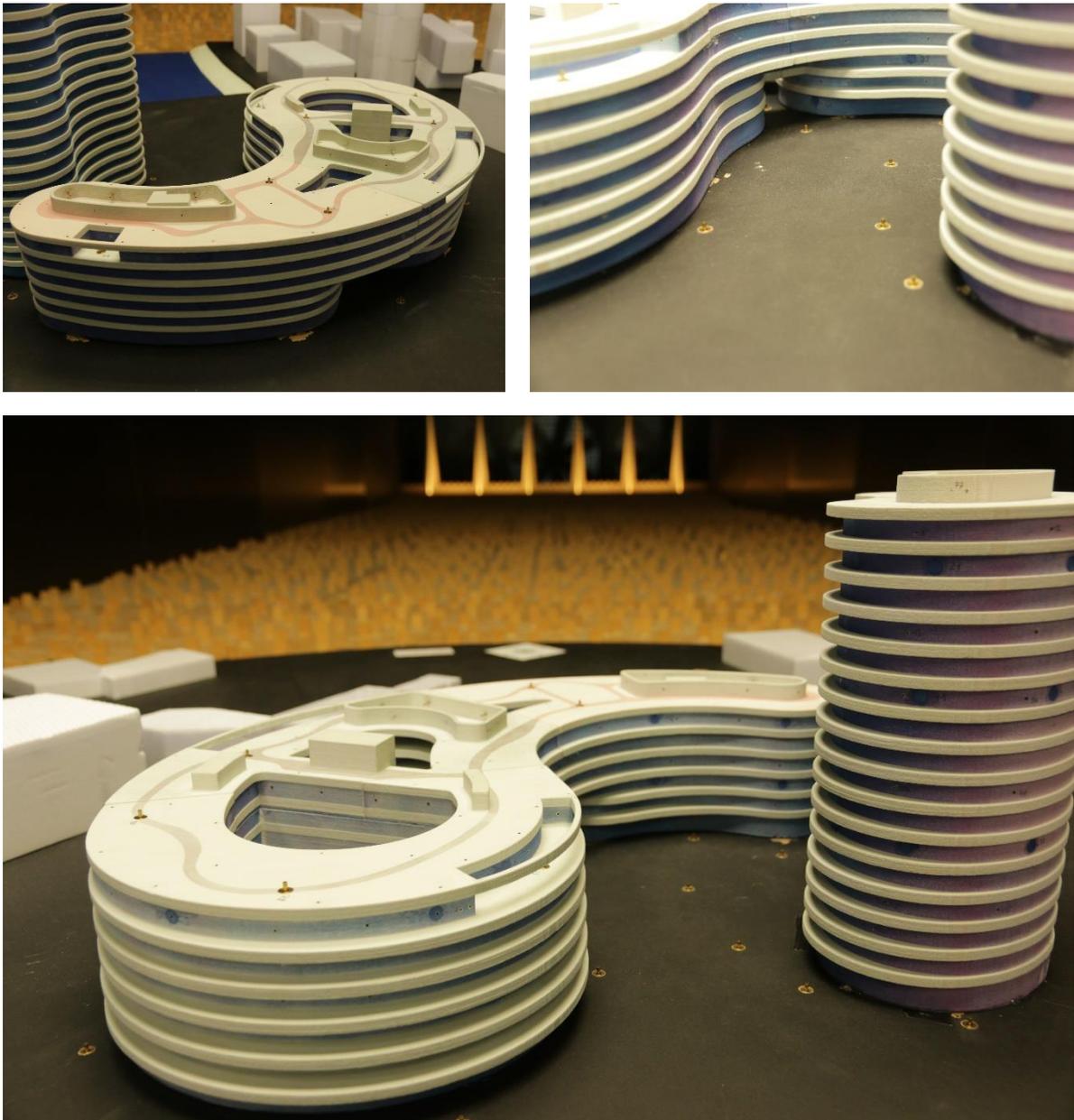


Abb. 2.5: Nahaufnahmen des Windkanalmodells mit Irwin Sensoren zur Geschwindigkeitsmessung im Bodenbereich und auf den Dachterrassen in Konfiguration 2

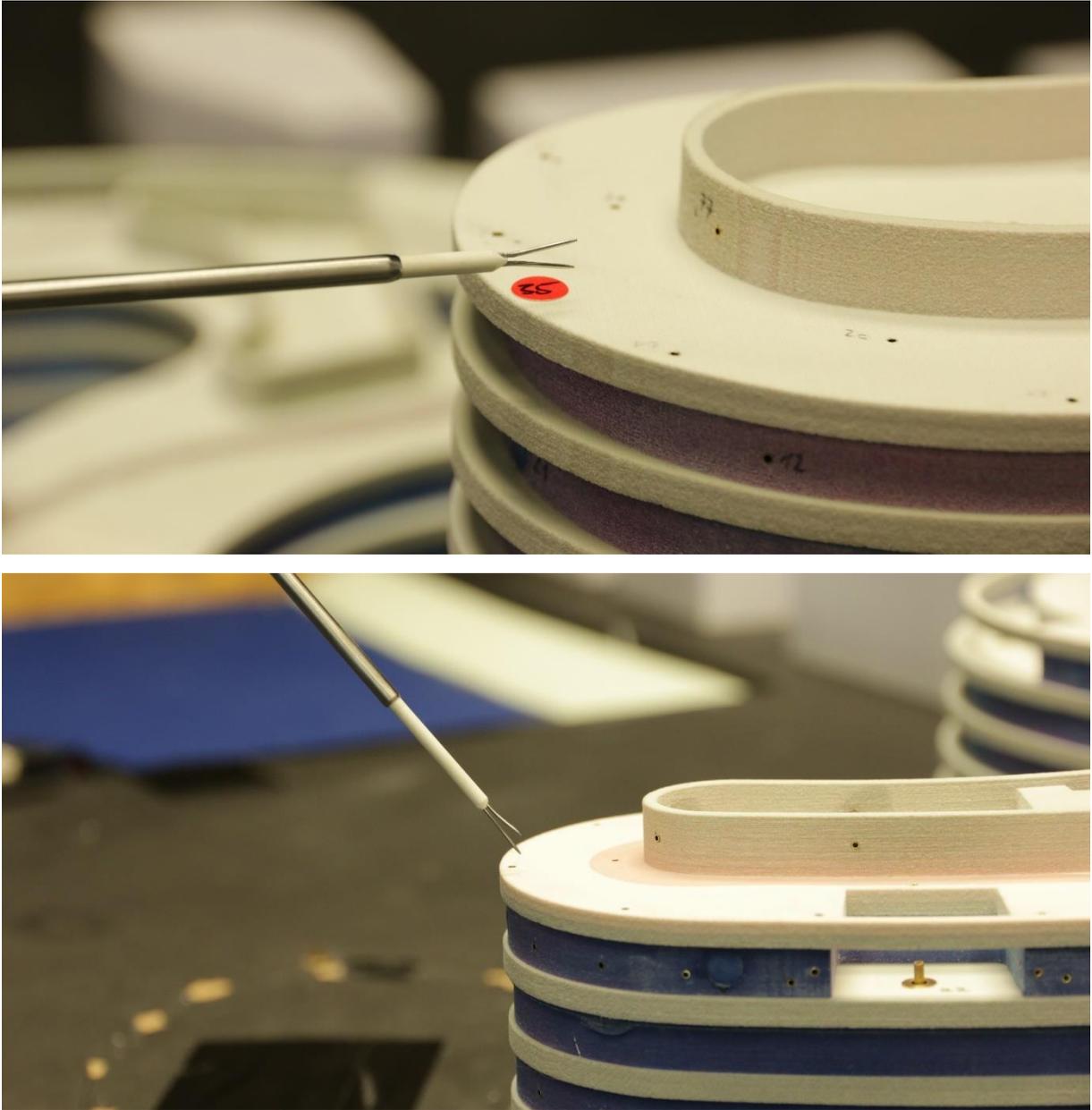


Abb. 2.6: Nahaufnahmen des Windkanalmodells mit Hitzdraht Sensoren zur Geschwindigkeitsmessung auf den Dachterrassen. Oben in Konfiguration 2. Unten in Konfiguration 1.

2.3 Komfortkriterien

Bei vorliegendem Projekt wurden sowohl im bodennahen Bereich als auch auf den Dachterrassen Messpunkte angeordnet. Die Nutzung dieser beiden Bereiche unterscheidet sich. Während die Bereiche um das Gebäude herum größtenteils innerstädtischen, öffentlichen Raum darstellen und daher stets für Fußgänger passierbar sein müssen, ist die Nutzbarkeit der Dachterrassen und naturgemäß witterungsabhängig und kann nicht für jede Art von Windverhältnissen gewährleistet werden.

Werden die Flächen aber genutzt, so ist anzunehmen, dass die Nutzer ihren dortigen Aufenthalt auch im Sitzen verbringen und daher die Empfindlichkeit für windinduzierte Belästigungen besonders erhöht ist. Im Folgenden werden zunächst die für das Umfeld des Gebäudes relevanten Kriterien erläutert. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Herangehensweise bei der Beurteilung der Windsituation auf den Dachterrassen und Balkonen.

Windkomfort im Umfeld des Gebäudekomplexes. Zur Beurteilung der örtlichen Windsituation finden sich in der Literatur unterschiedliche Kriterien. In dieser Untersuchung werden Kriterien von Gandemer und Guyot (1976), Hunt (1976), Williams et al. (1990) und Ratcliff und Peterka (1990) herangezogen. Die Windkomfortkriterien sowie eine Einteilung in Windkomfortstufen sind in Tab. 2.1 dargestellt. Nach Gandemer und Guyot (1976) ist in Wartebereichen, Parks, Cafés, Fußgänger- und Einkaufsbereichen etc. eine Überschreitung von $U_B = 6$ m/s in maximal 5% der Jahresstunden akzeptabel.

Zonen, in denen die Geschwindigkeit $U_B = 6$ m/s in maximal 20% der Zeit überschritten wird, sind als Zonen einzustufen, in denen nur ein kurzer Aufenthalt vorgesehen ist (Fußgängerbereiche). Allerdings sollten dabei Geschwindigkeitsspitzen von $U_B = 15$ m/s nur in maximal 0,05% der Zeit überschritten werden. In Bereichen, in denen mit plötzlich wechselnden Winden (z.B. Gebäudeecken etc.) zu rechnen ist, geben Hunt (1976) und Williams et al. (1990) an, dass eine Böenwindgeschwindigkeit von 13 m/s nicht häufiger als zu 1% der Zeit überschritten werden sollte. Ein problemloses Fortbewegen ist bei diesen Verhältnissen noch möglich. Bei Überschreitungen von $U_B = 13$ m/s in mehr als 1% der Zeit werden die Bedingungen als lästig eingestuft; in diesem Fall sind in den Bereichen, in denen sich Fußgänger und Radfahrer bewegen, Windschutzmaßnahmen vorzusehen.

In allen öffentlich zugänglichen Zonen, in denen in mehr als 1% der Jahresstunden mit Böenwindgeschwindigkeiten von $U_B = 18$ m/s zu rechnen ist, ist eine mögliche Gefahr für Fußgänger gegeben. In diesen Zonen sind Windschutzmaßnahmen nötig. Dieses Sicherheitskriterium ist auf die Ganzjahreswindstatistik bezogen.

Böenwindgeschwindigkeit U_B	Überschreitungshäufigkeit	Beurteilungskriterien	Windkomfortstufe
> 6 m/s	0%	keine Windkomforteinschränkungen	0
> 6 m/s	max. 5%	verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen	1
> 6 m/s > 15 m/s	max. 20% max. 0.05%	verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt	2
> 13 m/s	max. 1%	verträglich für problemloses Fortbewegen	3
> 13 m/s	> 1%	unangenehm, lästig (Windschutzmaßnahmen)	4
> 18 m/s	> 1%	Mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern	5

Tab. 2.1: Kriterien zur Beurteilung der bodennahen Windverhältnisse (nach Gandemer und Guyot 1976, Hunt 1976, Williams et al. 1990, Ratcliff und Peterka 1990)

Windkomfort auf Balkonen/Terrassen. Für Loggien/Balkone/Dachterrassen stellt sich die Bewertung des Windkomforts unterschiedlich im Vergleich zu den Außenanlagen im Bodenbereich dar. Hierzu einige Anmerkungen: Der Aufenthalt auf privaten Wohnungen sowie Büros und Hotels zugeordneten Flächen geschieht in der Regel freiwillig und hängt neben den Windverhältnissen von vielen weiteren Parametern ab, unter anderem vom Nutzungsverhalten der Bewohner/Nutzer, der Außentemperatur etc. So ist beispielsweise eine längerfristige Nutzung bei niedrigen Lufttemperaturen selbst bei Windstille nicht komfortabel. Eine ausschließliche bzw. getrennte Bewertung des Nutzungskomforts anhand der Windgeschwindigkeit als alleinigen Parameter ist somit nicht zielführend.

Aus diesem Grund sind die Komfortkriterien für Fußgänger (Tab. 2.1) nicht uneingeschränkt geeignet, um den Nutzungskomfort auf Balkonen umfassend zu einzuordnen.

Eine Abgrenzung der Kriterien wird vereinfacht wie folgt vorgenommen: Die Hauptnutzungszeit von Balkonen/Loggien/Dachterrassen wird auf das Sommerhalbjahr zwischen April und September festgelegt. Das bedeutet, dass das windintensivere Winterhalbjahr nicht in die Bewertung mit eingeht, da hier allein aus Temperaturgründen der Nutzungskomfort in der Regel nicht gegeben ist. Es werden die Böenwindgeschwindigkeiten $U_B = 6$ m/s (Grenzwert für uneingeschränkte Nutzung der Balkone) und $U_B = 13$ m/s (Grenzwert für besonders unangenehme Windbedingungen)

betrachtet und deren Überschreitungshäufigkeiten ermittelt. Anhand dieser Werte wird die Komforteinschätzung vorgenommen (Tab. 2.2).

Für die Bewertung der Windsicherheit auf Dachterrassen oder Balkonen wird als Kriterium ebenfalls die Überschreitung einer Böenwindgeschwindigkeit von $U_B = 18 \text{ m/s}$ (Kriterium für u.U. sicherheitsgefährdende Windbedingungen) an mehr als 1% der Jahresstunden festgelegt. Dieses Sicherheitskriterium ist auf die Ganzjahreswindstatistik bezogen.

Hinweis: Für die Beurteilung des Windkomforts auf Balkonen, Loggien oder Dachterrassen von Gebäuden wird davon ausgegangen, dass bei Starkwindereignissen (Stürme) diese Bereiche nicht genutzt werden. Generell können hier deutlich erhöhte Windgeschwindigkeiten im Vergleich zum bodennahen Windfeld auftreten. Bei Stürmen ist in diesen Bereichen daher prinzipiell auch mit potentiell gefährlichen Windbedingungen zu rechnen, selbst wenn eine gute Windkomforteinstufung vorliegen sollte. Der Aufenthalt auf den Balkonen, Loggien oder Dachterrassen sollte daher bei Starkwindereignissen vermieden werden. Zudem sollten bei längerer Abwesenheit Gegenstände auf den Balkonen ausreichend gesichert werden.

Böenwindgeschwindigkeit U_B	Überschreitungshäufigkeit	Windkomfortverhältnisse auf Balkonen / Dachterrassen	Windkomfortstufe
6 m/s 13 m/s	< 5% < 1%	gut gut windgeschützt, hohe Windgeschwindigkeiten treten selten auf	A
6 m/s 13 m/s	5 % ... 20% < 1%	mäßig mäßig windgeschützt, hohe Windgeschwindigkeiten treten vermehrt auf	B
6 m/s 13 m/s	> 20 % > 1 %	verbesserungswürdig wenig windgeschützt, hohe Windgeschwindigkeiten treten häufig auf	C
18 m/s	>1%	dringend verbesserungswürdig wie Komfortstufe C aber mit zusätzlichem Gefährdungspotenzial	D

Tab. 2.2: Windkomfortstufen zur Bewertung der Komfortverhältnisse auf Balkonen, Loggien oder Dachterrassen.

2.4 Beschreibung der Versuchsvarianten

Die Bestimmung der Geschwindigkeitsfaktoren X_i wurde an insgesamt 50 Punkten im bodennahen Außenbereich um die Trivago Gebäude BA 1 und BA 2, auf den für Aufenthalte vorgesehenen Dachterrassen des BA 1 sowie für den Dachbereich und die Balkone des BA 2 durchgeführt. Die Positionen der Messstellen sind in Abb. 2.7 und Abb. 2.8 definiert. Die Messungen wurden für insgesamt 24 Anströmrichtungen in 15°-Schritten in ca. 1.5 m Höhe (entspricht ca. 6 mm im Modell) über der jeweiligen Bodenoberfläche durchgeführt. Die Windkanaluntersuchungen für den bodennahen Außenbereich und auf den Dachterrassen wurden für zwei Konfigurationen durchgeführt:

- **Konfiguration 1:** BA 1 mit Umgebungsbebauung im Istzustand
- **Konfiguration 2:** BA 1 und BA 2 im Ensemble mit Umgebungsbebauung im Istzustand

Die Untersuchungskonfigurationen sowie die zu berücksichtigende Situation der Umgebungsbebauung erfolgte in Absprache mit dem Auftraggeber. Diese Bebauungssituation wird hinsichtlich der Windkomfortuntersuchungen als die kritischere Situation eingeschätzt. Sollte im Bereich zwischen Kesselstraße und Hafenbecken eine Blockbebauung, ähnlich wie im Lageplan (Abb. 1.3) beschrieben, realisiert werden, so ist davon auszugehen, dass sich diese am Projektstandort (Trivago Areal) in vielen Bereichen als eher günstig auf die Windkomfortsituation auswirken wird.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfortuntersuchung bodennaher Außenbereich und Terrassen/Dachterrassen

- Messpositionen (MP 1-21 bodennaher Bereich, MP 22,23,31,32 Terrassen BA 1, MP 24 2.OG BA 1, MP 25-30 und 33 auf Dachterrasse BA 1, MP 34 und 35 auf Dachfläche BA 2)



Abb. 2.7: Bezeichnungen und Positionen der Messstellen der Windkomfortmessung im bodennahen Außenbereich und auf den Dachterrassen

Trivago - BA 2

Windkomfortuntersuchung Balkone BA 2

● Messpositionen fassadennaher Bereich

MP 1, 2, 3, 10, 11: 14. OG

MP 4, 5, 6, 12, 13: 10. OG

MP 7, 8, 9, 14, 15: 5. OG

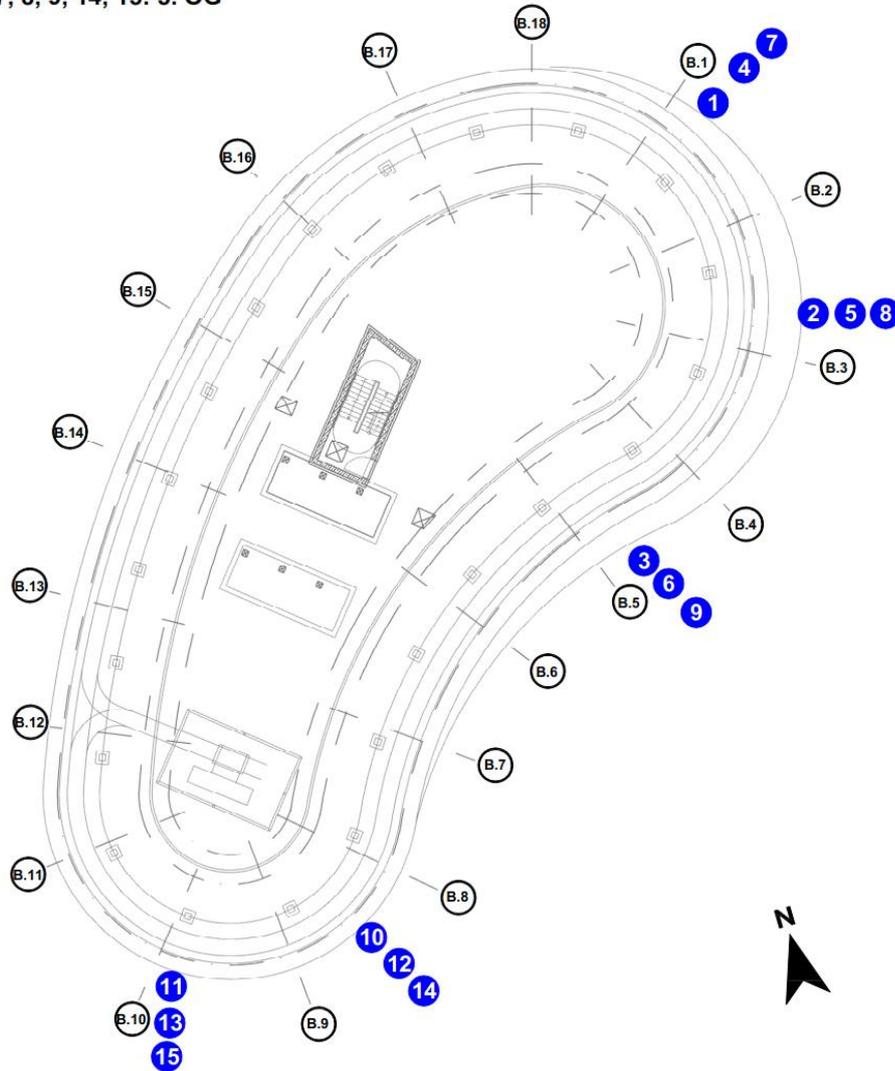


Abb. 2.8: Bezeichnungen und Positionen der Messstellen der Windkomfortmessung im fassadennahen Bereich des Gebäudes BA 2

3 ERGEBNISSE DER WINDKOMFORTUNTERSUCHUNGEN

3.1 Windkomfort am Standort als Referenz

Die Winddaten der verfügbaren Wetterstation zeigen, dass die häufigsten und größten Windgeschwindigkeiten aus südwestlichen bzw. südöstlichen Windrichtungen (240° und 150°) zu erwarten sind. Um die nachfolgenden Ergebnisse einschätzen zu können, wurde zunächst der Windkomfort in Fußgängerhöhe $h = 1.5$ m in einer gänzlich unbebauten Umgebung (große Freifläche, ohne Projektgebäude und Umgebung) bewertet. Hierzu wird die Windstatistik der Wetterstation auf den Projektstandort angepasst (nach DIN EN 1991-1-4, 2005) und ein konstanter Erhöhungsfaktor $X_i = 1$ aus allen Windrichtungen angenommen.

Referenz Sommerhalbjahr: Die Überschreitungshäufigkeit einer Böenwindgeschwindigkeit von 6 m/s in 1.5 m über Boden lässt sich im Sommerhalbjahr zu etwa 5 % ermitteln. Dies bedeutet, dass alleine aufgrund des Windklimas am Standort (Mischprofil Geländekategorie 2 und 3) ohne Einfluss von Gebäuden nach den Kriterien aus Tab. 2.1 die **Windkomfortstufe 2** erreicht wird. Der Standort wäre also während des Sommerhalbjahres für kurzfristige Aufenthalte geeignet.

Referenz Winterhalbjahr: Die Überschreitungshäufigkeit einer Böenwindgeschwindigkeit von 6 m/s in 1.5 m über Boden lässt sich im Winterhalbjahr zu über 20 % ermitteln. Dies bedeutet, dass alleine aufgrund des Windklimas am Standort ohne Einfluss von Gebäuden nach den Kriterien aus Tab. 2.1 die **Windkomfortstufe 3** erreicht wird. Der Standort ist im Winterhalbjahr tendenziell schlechter zu bewerten als während des Sommerhalbjahres. Ein problemloses Fortbewegen am Projektstandort ist in diesem Zeitraum dennoch möglich.

3.2 Windkomfort im bodennahen Außenbereich

Aus den Windkanalmessungen an den einzelnen Messpunkten lassen sich windrichtungsabhängig die Erhöhungsfaktoren X_i bestimmen. Diese geben an, um wie viel sich die Geschwindigkeit als Folge der Bebauung im Vergleich zu einer ungestörten Fläche ändert. Die Matrizen der Erhöhungsfaktoren X_i für sämtliche Windrichtungen und Messpunkte im bodennahen Außenbereich sind für die untersuchten Konfigurationen 1 und 2 in Tab. 3.1 und Tab. 3.4 dargestellt. Erhöhungsfaktoren von 1.2 bedeuten beispielsweise, dass die Geschwindigkeiten um 20 % höher sind als in unbebautem Gelände, Faktoren von 0.8 bedeuten eine Geschwindigkeitsreduktion um 20 %. Es ist zu beachten, dass die angegebenen maximalen Erhöhungsfaktoren im Allgemeinen aus unterschiedlichen Windrichtungen gemessen wurden, d.h. dass diese nicht gleichzeitig auftreten.

HINWEIS: Bei der Anwendung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Einordnung in die verschiedenen Komfortstufen aufgrund von langjährigen Klimazeitreihen vorgenommen wurde, d.h. die oben getroffenen Aussagen bezüglich der Häufigkeit sind repräsentativ für ein Durchschnittsjahr. In einzelnen Jahren kann es zu Abweichungen vom Durchschnitt kommen.

3.2.1 Ergebnisse für Konfiguration 1 (ohne BA 2)

Für das vorliegende Projekt ist teilweise mit Windbeschleunigungen gegenüber dem unbebauten Fall zu rechnen. Dies ist als Folge der Gebäudeumströmung zu verstehen, da es hier durch die Verdrängung des Gebäudes zu Windbeschleunigungen im bodennahen Bereich kommen kann. Zudem kann es für einige Windrichtungen durch die abgerundete Gebäudeform zu erhöhten Windgeschwindigkeiten im Nahbereich des Gebäudes kommen. Dieser Effekt ist insbesondere in dem Gebäudedurchgang zu beobachten. Dort kann es aus einigen Windrichtungen zu einer Kanalisierung der Luftströmung (Düseneffekt) kommen, was wiederum zu Windbeschleunigungen führt. Für andere Windrichtungen und Bereiche dagegen hat das Gebäude einen abschattenden Effekt, was zu einer Verlangsamung der Luftströmung und damit zu günstigen Windverhältnissen führt.

Messpunkt	Windrichtung β [°] (0° = Nord)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	1.02	1.11	1.01	0.85	0.80	0.78	0.66	0.93	1.18	1.09	0.98	0.93
2	0.89	0.98	0.94	0.74	0.60	0.63	0.65	1.14	1.39	1.18	0.98	0.85
3	1.33	1.42	1.18	0.72	0.49	0.45	0.58	1.24	1.67	1.42	0.93	0.91
4	1.57	1.19	0.57	0.63	1.16	1.21	1.38	1.25	0.94	0.70	0.98	1.38
5	0.88	0.95	0.92	0.82	0.84	0.85	0.61	0.67	0.95	1.04	0.88	0.78
6	0.70	0.78	0.81	0.67	0.67	0.76	0.66	0.72	0.90	1.22	0.96	0.70
7	1.13	1.32	1.13	0.66	0.40	0.37	0.31	0.39	0.84	1.34	1.25	0.99
8	0.69	0.84	0.84	0.73	0.74	0.86	0.58	0.63	0.74	0.98	0.79	0.61
9	0.73	0.90	0.86	0.66	0.61	0.72	0.52	0.66	0.74	0.80	0.64	0.57
10	0.77	0.97	0.87	0.56	0.54	0.54	0.44	0.49	0.58	0.95	1.16	0.86
11	0.64	0.69	0.63	0.57	0.55	0.56	0.54	0.60	0.74	0.83	0.79	0.60
12	0.78	0.66	0.56	0.49	0.49	0.49	0.47	0.52	0.48	0.74	0.99	0.83
13	0.83	0.89	0.76	0.62	0.91	0.82	0.83	1.13	1.25	1.03	0.92	0.75
14	1.91	1.78	1.26	0.94	1.53	1.51	1.73	1.87	1.88	1.44	1.60	1.87
15	1.06	1.18	0.91	0.97	1.51	1.18	0.68	0.83	1.25	1.40	1.06	0.94
16	1.06	1.10	0.66	0.42	0.44	0.44	0.46	0.55	0.55	0.64	0.82	0.88
17	0.93	0.56	0.74	1.12	1.22	1.24	0.80	0.45	0.64	1.21	1.53	1.34
18	0.79	0.73	0.56	0.59	0.78	0.81	0.76	0.74	0.76	0.68	0.53	0.60
19	1.31	1.09	0.95	1.08	1.42	1.48	1.23	1.17	0.76	0.95	1.32	1.41
20	1.86	1.53	0.92	0.93	1.34	1.35	1.38	1.37	0.67	0.44	1.00	1.71
21	1.22	1.17	1.09	0.94	0.90	1.16	1.29	1.59	1.45	0.74	0.59	0.93

Tab. 3.1: Erhöhungsfaktoren X_i an den in Abb. 2.7 angegebenen Messpunkten im bodennahen Außenbereich um das Trivago Gebäude BA 1 für Konfiguration 1 (ohne BA 2) im Vergleich zur unbebauten Referenzsituation. Maxima sind orange hervorgehoben.

Aus der Kopplung der windrichtungsabhängigen Erhöhungsfaktoren mit der Windstatistik werden die Häufigkeiten bestimmt, mit denen bestimmte Grenzgeschwindigkeiten überschritten werden. Hierbei wird die Auswertung für die Windkomfortbeurteilung getrennt für das Winter- und das Sommerhalbjahr durchgeführt. Die Beurteilung bezüglich der Windsicherheit wird unter Berücksichtigung der ganzjährigen Windstatistik ermittelt. Jeder Messpunkt wird anhand dieser Häufigkeiten nach den Komfort- bzw. Sicherheitskriterien in die entsprechenden Stufen eingeordnet. Ein Minuszeichen hinter der Windkomfortstufe (z.B. 2-) wird vergeben, wenn die Werte an der Schwelle zur nächsthöheren Komfortstufe liegen.

Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr:

Während des Sommerhalbjahres sind die in Tab. 3.2 bzw. Abb. 3.1 angegebenen Komfortstufen zu erwarten.

Im Sommerhalbjahr kann mit wenigen Ausnahmen fast allen Messpunkten auf dem Gelände Windkomfortstufe 2 und besser zugeordnet werden, was einer guten bis sehr guten Windkomfortsituation für öffentlich zugängliche Bereiche entspricht. Ein kurzfristiger bzw.

teilweise auch längerfristiger Aufenthalt ist somit in vielen Bereichen problemlos möglich. Im Zentrum des Projektstandorts, nördlich des Gebäudes kann während der Sommermonate sogar Windkomfortstufe 1 zugeordnet werden, was die Nutzung für Cafés, Parks oder Wartebereiche zulässt. Lediglich an der nordwestlichen Gebäudeseite (Nähe Kesselstraße) und in dem Durchgang des Gebäudes kann es zu unkomfortablen Windsituationen kommen. An der nordwestlichen Gebäudeseite können höhere Windgeschwindigkeiten etwas häufiger auftreten. Dieser Bereich entspricht der Windkomfortstufe 3, was bedeutet, dass er sich zwar für längerfristige bzw. kurzfristige Aufenthalte nicht eignet, ein problemloses Fortbewegen ist allerdings zu jeder Zeit gewährleistet. Einzig in dem Gebäudedurchgang können häufiger Windbedingungen auftreten, die als unangenehm oder lästig empfunden werden können (Windkomfortstufe 4).

Prognose Windkomfort im Winterhalbjahr:

Insgesamt sind die Windkomfortbedingungen im Winterhalbjahr ungünstiger als in den Sommermonaten (Tab. 3.3 und Abb. 3.2). Es sind allerdings weiterhin Bereiche vorhanden, in denen die Bedingungen auch während dieses Zeitraums in einem akzeptablen bis guten Bereich bleiben (Windkomfortstufe 2 und besser). In den Bereichen, die auch im Sommer gute bis sehr gute Windkomfortbedingungen aufgewiesen haben (zentraler Bereich nördlich des Gebäudes BA 1 und Innenhof) werden auch im Winter gute Windkomfortbedingungen prognostiziert. Diese Bereiche entsprechen Windkomfortstufe 2 und besser, was eine Verbesserung zur unbebauten Referenzsituation darstellt. Im Nahbereich des Gebäudes und im Bereich der Kesselstraße fallen einige Punkte um teilweise über eine Komfortstufe im Vergleich zu Situation im Sommer ab. Dies liegt unter anderem an dem deutlich windintensiveren Windklima sowie des herabgestuften Komfortkriteriums für östliche Windrichtungen (s. Kap. 2.2) während der Wintermonate. Speziell an der nordwestlichen und südlichen Gebäudeseite sowie in dem Durchgang des Gebäudes können sich die Windkomfortbedingungen zu Komfortstufe 3- bzw. 4 verschlechtern. Insbesondere an den MP 3, 14, 15, 20 und 21 treten teilweise hohe Windbeschleunigungen aus den Haupt- und Starkwindrichtungen 150° und 240° auf (siehe Tab. 3.1), die häufig zu unangenehmen Windbedingungen führen können.

Prognose Windsicherheit:

Die Auftretungswahrscheinlichkeit von Windböen > 18 m/s ist mit Ausnahme von MP 14 (Gebäudedurchgang) an allen untersuchten Messpunkten geringer als 1%, so dass das in Tab. 2.1 definierte Sicherheitskriterium für öffentlich zugängliche Bereiche überall außer im Durchgang des Gebäudes eingehalten wird.

Eine potentielle Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern im Sinne des Sicherheitskriteriums konnte daher im Bereich des Gebäudedurchgangs nicht gänzlich ausgeschlossen werden (Abb. 3.2). Für diesen Bereich sollten Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden. Zur Verbesserung der Situation in diesem kritischen Bereich könnten prinzipiell folgende Maßnahmen führen:

- Begrünung der Freiflächen nördlich und südlich des Durchgangs, um die Luftströmungen abzubremesen bzw. umzulenken.
- Einbringen von Windschutzwänden an der Nord- und Südseite des Durchgangs (z.B. in versetzter Anordnung, so dass ein Passieren weiterhin möglich bleibt), um das ungehinderte Durchströmen von Wind zu verringern.

Es sollte in Zusammenarbeit mit den Architekten geklärt werden, welche Maßnahmen ergriffen werden können. Die Wirksamkeit der Maßnahmen kann dann ggf. in ergänzenden Modellversuchen überprüft werden.

Sommerhalbjahr		Böenwindgeschwindigkeit und Auftretenshäufigkeit						Windkomfort- stufe
Messpunkt	> 6 m/s				> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	
	0%	0 % ... 5 %	5 % ... 20 %	> 20 %	> 1 %	> 0.05 %	> 1 %	
1			x					2
2			x					2
3			x			x		3
4			x					2
5		x						1
6		x						1
7		x						1-
8		x						1
9		x						1
10		x						1
11		x						1
12		x						1
13			x					2
14				x	x	x		4
15			x					2
16		x						1-
17		x						1
18		x						1
19			x					2
20			x					2
21			x					2

Tab. 3.2: Klassifizierung des Windkomforts an den Messpunkten 1 bis 21 im bodennahen Außenbereich für Konfiguration 1 (ohne BA 2) im Sinne der in Tab. 2.1 angegebenen Kriterien.

Sommerhalbjahr Monate April - September

Beispiel als Lesehilfe der Tabelle: Am Messpunkt 2 werden Böenwindgeschwindigkeiten von 6 m/s zwischen 5 % und 20% der Jahresstunden erwartet. Somit wird der Messpunkt der Komfortstufe 2 zugeordnet.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Sommerhalbjahr
Konfiguration 1: ohne BA 2

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

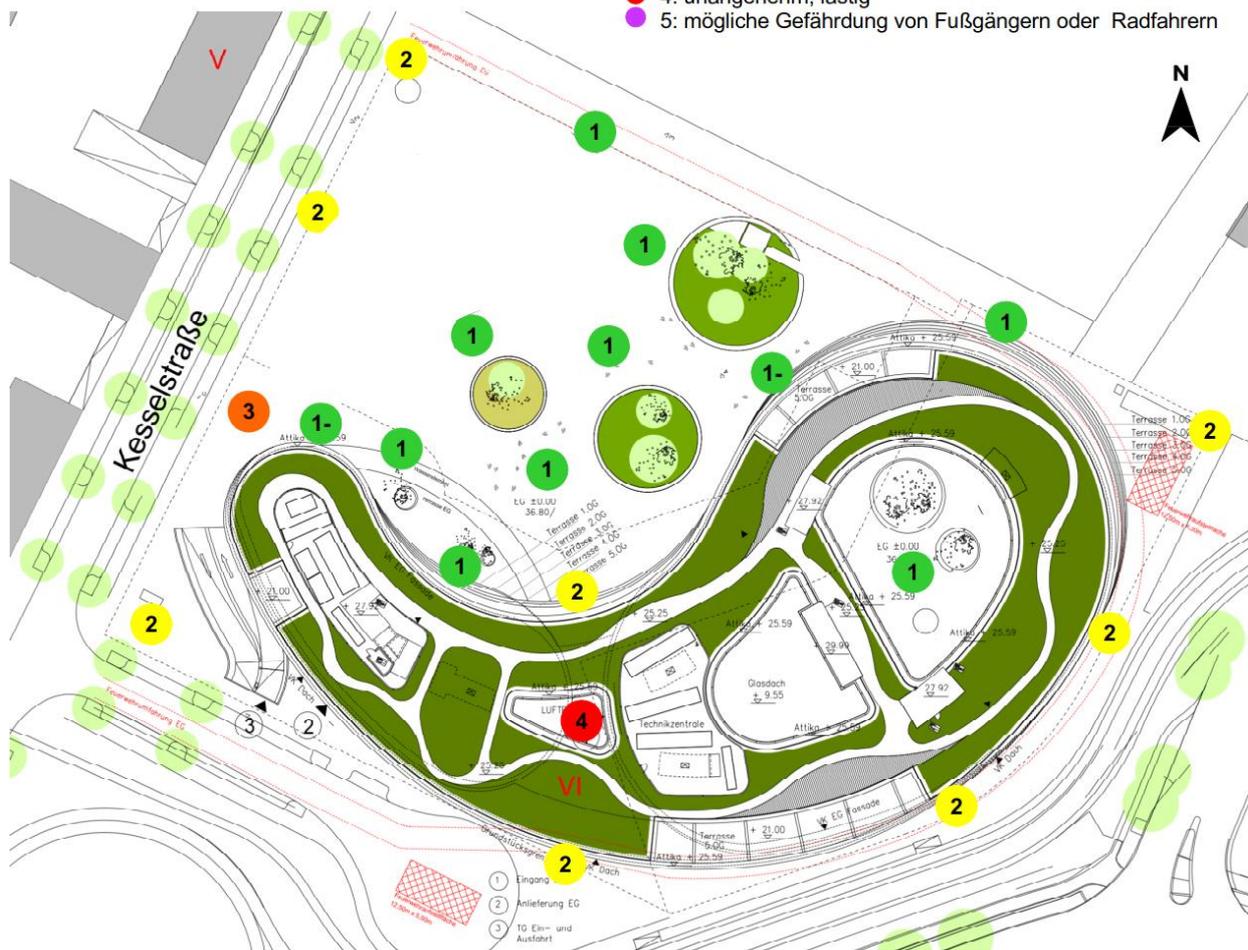


Abb. 3.1: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 1 (ohne BA 2)

Sommerhalbjahr Monate April – September

Winterhalbjahr		Böenwindgeschwindigkeit und Auftretenshäufigkeit						Windkomfort- stufe
Messpunkt	> 6 m/s				> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	
	0%	0 % ... 5 %	5 % ... 20 %	> 20 %	> 1 %	> 0.05 %	> 1 %	
1				x		x		3
2				x	x	x		3-
3				x	x	x		4
4				x		x		3
5			x					2
6			x					2-
7			x			x		3
8			x					2
9			x					2
10			x					2
11		x						1-
12		x						1
13				x		x		3
14				x	x	x	x	5
15				x		x		3-
16		x						1-
17				x				3
18			x					1-
19				x		x		3
20				x		x		3-
21				x	x	x		4

Tab. 3.3: Klassifizierung des Windkomforts an den Messpunkten 1 bis 21 im bodennahen Außenbereich für Konfiguration 1 (ohne BA 2) im Sinne der in Tab. 2.1 angegebenen Kriterien.

Winterhalbjahr Monate Oktober - März

Beispiel als Lesehilfe der Tabelle: Am Messpunkt 4 werden Böenwindgeschwindigkeiten von 6 m/s an über 20% der Jahresstunden erwartet. Somit wird der Messpunkt der Komfortstufe 3 zugeordnet.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Winterhalbjahr
Konfiguration 1: ohne BA 2

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

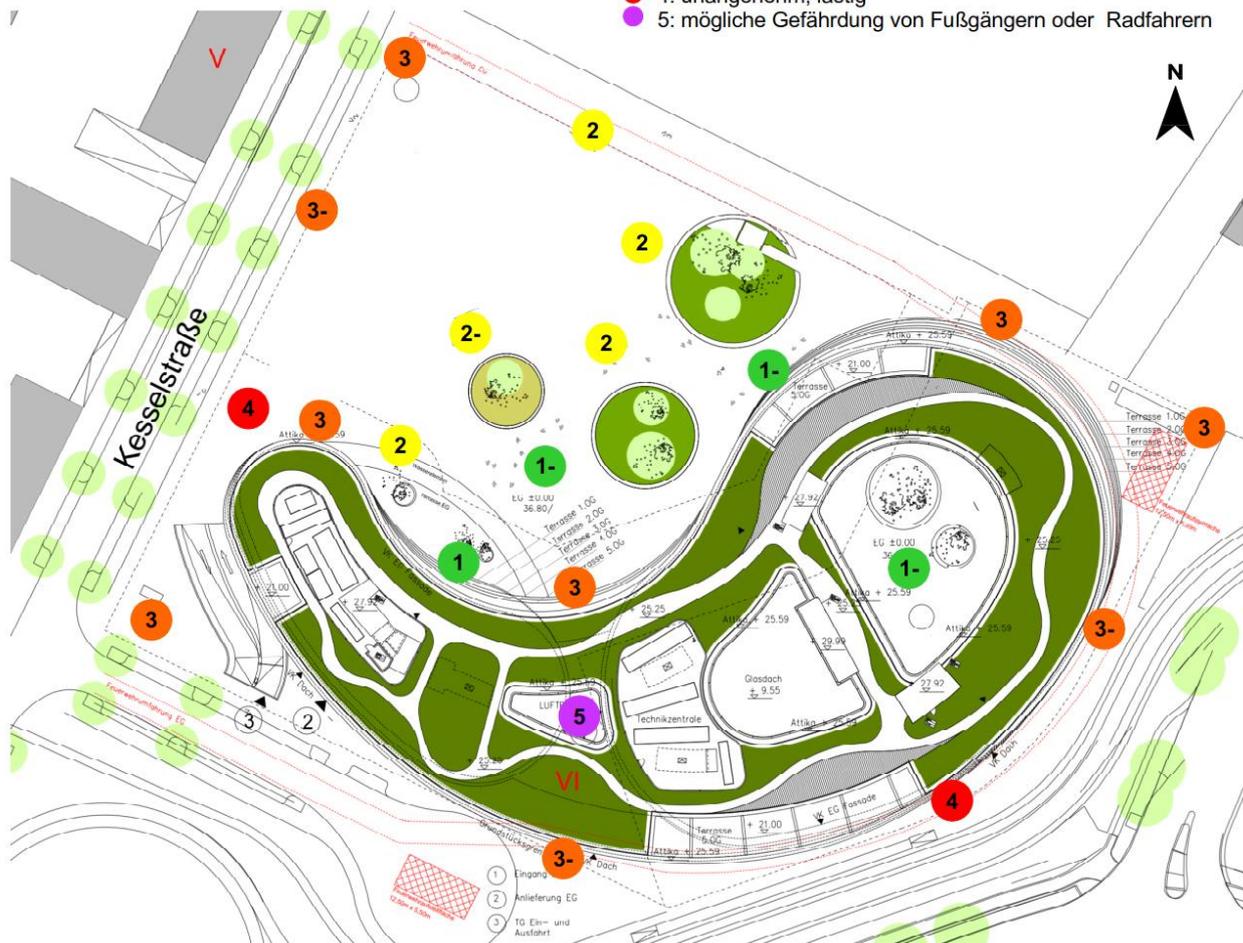


Abb. 3.2: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 1 (ohne BA 2)

Winterhalbjahr Monate Oktober - März

3.2.2 Ergebnisse für Konfiguration 2 (mit BA 2)

Auch in dieser Konfiguration ist für das vorliegende Projekt teilweise mit Windbeschleunigungen gegenüber dem unbebauten Fall zu rechnen. Dies ist als Folge der Umströmung des Gebäudes BA 1 und zusätzlich des Hochhauses BA 2 zu verstehen, da hier durch die Verdrängung große Luftmassen in den bodennahen Bereich eingemischt werden und daher aus Kontinuitätsgründen hohe Windgeschwindigkeiten auftreten können. Zudem kann es für einige Windrichtungen zu einer Kanalisierung der Luftströmung (Düseneffekt) zwischen dem Hochhaus BA 2 und dem Gebäude BA 1 kommen, was wiederum zu Windbeschleunigungen führt. Für andere Windrichtungen dagegen hat die Bebauung auch in diesem Fall einen abschattenden Effekt, was zu einer Verlangsamung der Luftströmung führt.

X _i (γ = 1.5)	Windrichtung β [°] (0° = Nord)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Messpunkt 1	0.93	1.17	1.42	1.25	1.33	1.47	1.10	1.23	1.43	1.50	1.55	1.27
Messpunkt 2	1.39	1.75	1.52	1.02	0.97	1.31	1.43	1.68	1.76	1.36	0.85	0.87
Messpunkt 3	1.25	1.26	1.18	1.13	1.56	1.67	1.65	1.49	1.20	1.01	1.26	1.49
Messpunkt 4	1.33	0.76	0.47	0.64	1.13	1.16	1.43	1.32	0.92	0.79	1.25	1.61
Messpunkt 5	1.71	0.99	0.92	1.14	1.47	1.72	1.94	1.60	0.81	0.91	1.82	2.00
Messpunkt 6	1.24	1.49	1.02	0.53	0.48	0.55	0.59	0.58	0.60	0.67	0.63	1.00
Messpunkt 7	1.68	1.71	1.51	1.37	1.83	1.84	1.35	1.39	1.85	1.91	2.05	1.98
Messpunkt 8	1.98	1.81	1.19	0.70	0.88	1.32	1.85	1.78	1.17	0.68	0.90	1.62
Messpunkt 9	1.67	1.57	1.19	0.87	1.18	1.58	1.70	1.46	1.01	0.86	1.08	1.36
Messpunkt 10	1.45	1.24	0.79	0.66	1.00	1.22	1.19	1.22	1.48	1.50	1.63	1.62
Messpunkt 11	1.41	1.16	0.89	0.95	1.57	1.96	2.03	1.64	0.96	1.11	1.50	1.50
Messpunkt 12	1.20	0.64	0.52	0.61	1.01	1.22	1.24	0.95	0.53	0.56	0.71	1.21
Messpunkt 13	0.82	0.68	0.66	0.57	0.77	0.82	1.01	1.13	1.24	0.86	0.80	1.09
Messpunkt 14	1.75	1.62	1.39	1.18	1.54	1.55	1.26	1.58	1.84	1.19	0.88	1.53
Messpunkt 15	0.95	0.87	1.03	1.00	1.42	1.21	0.67	0.84	1.26	1.49	0.89	1.02
Messpunkt 16	1.58	1.46	0.83	0.42	0.58	0.82	0.96	0.89	0.73	0.88	1.38	1.57
Messpunkt 17	0.97	0.61	0.68	1.02	0.96	1.08	1.13	0.79	0.41	0.58	1.29	1.45
Messpunkt 18	0.92	0.84	0.58	0.56	0.78	0.81	0.70	0.72	0.78	0.66	0.53	0.69
Messpunkt 19	1.31	1.12	0.95	1.06	1.43	1.53	1.23	1.17	0.89	0.91	1.30	1.42
Messpunkt 20	1.87	1.62	0.96	0.95	1.35	1.37	1.40	1.34	0.90	0.70	0.97	1.54
Messpunkt 21	0.88	1.08	1.07	0.98	0.90	1.16	1.26	1.58	1.58	0.85	0.52	0.54

Tab. 3.4: Erhöhungsfaktoren X_i an den in Abb. 2.7 angegebenen Messpunkten im bodennahen Außenbereich für Konfiguration 2 (mit BA 2) im Vergleich zur unbebauten Referenzsituation. Maxima sind orange hervorgehoben.

Aus der Kopplung der windrichtungsabhängigen Erhöhungsfaktoren mit der Windstatistik werden die Häufigkeiten bestimmt, mit denen bestimmte Grenzwindgeschwindigkeiten überschritten werden. Hierbei wird die Auswertung für die Windkomfortbeurteilung getrennt für das Winter- und das Sommerhalbjahr durchgeführt. Die Beurteilung bezüglich der Windsicherheit wird unter

Berücksichtigung der ganzjährigen Windstatistik ermittelt. Jeder Messpunkt wird anhand dieser Häufigkeiten nach den Komfort- bzw. Sicherheitskriterien in die entsprechenden Stufen eingeordnet. Ein Minuszeichen hinter der Windkomfortstufe (z.B. 2-) wird vergeben, wenn die Werte an der Schwelle zur nächsthöheren Komfortstufe liegen.

Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr:

Während des Sommerhalbjahres sind die in Tab. 3.5 bzw. Abb. 3.3 angegebenen Komfortstufen zu erwarten.

Im Sommerhalbjahr kann auch für diese Gebäudekonstellation an vielen Messpunkten auf dem Gelände die Windkomfortstufe 2 oder besser zugeordnet werden. Das bedeutet, dass ein kurzfristiger Aufenthalt in vielen Bereichen problemlos möglich ist. In einigen Bereichen kann auch die Nutzung für Cafés, Parks, Wartebereiche oder Spielplätze in Betracht gezogen werden (Windkomfortstufe 1 bzw. 1-). Ein deutlicher Unterschied zu Konfiguration 1 ist in der entstandenen Gasse zwischen den Gebäuden BA 1 und BA 2 sowie an den Messpunkten im Nahbereich um das Gebäude BA 2 erkennbar. Hier verschlechtert sich die Windsituation im Vergleich zu Konfiguration 1. Durch die Errichtung des Hochhauses BA 2 bildet sich eine relativ schmale Gasse zwischen den Gebäuden aus, in welcher es zu einer Kanalisierung der Windströmung (Düseneffekt) kommen kann. Insbesondere an MP 7 treten deutlich erhöhte Windbeschleunigungen im Vergleich zu Konfiguration 1 auf (siehe Tab. 3.4). In diesem Bereich verschlechtert sich die Windkomfortsituation zu Komfortstufe 4, was bedeutete, dass dort mit unangenehmen Windbedingungen zu rechnen ist. Auch im Nahbereich des Hochhauses und im Zentrum des Projektstandorts verschlechtert sich die Windkomfortsituation im Vergleich zu Konfiguration 1. In diesem Bereich wird an den meisten Punkten nur noch Komfortstufe 2-, 3 und 3- erreicht. Diese Bereiche sind demnach selbst im Sommer nur bedingt für kurzfristige Aufenthalte geeignet. Ein problemloses Fortbewegen ist allerdings gewährleistet. Eine Verbesserung im Vergleich zur Bebauungssituation ohne Hochhaus ist allerdings in dem Gebäudedurchgang (MP 14) erkennbar. Hier hat das Gebäude BA 2 für einige Windrichtungen eine abschattende Wirkung, was zu einer besseren Komfortsituation in diesem Bereich führt (Windkomfortstufe 3).

Prognose Windkomfort im Winterhalbjahr:

Insgesamt sind die Windkomfortbedingungen im Winterhalbjahr auch in dieser Gebäudekonstellation ungünstiger als in den Sommermonaten (Tab. 3.6 und Abb. 3.4). In vielen Bereichen können sich die Bedingungen im Winter zu unangenehmen, lästigen Windsituationen verschlechtern (Komfortstufe 3- und 4). Während des windintensiveren Winterhalbjahrs treten nur

noch in einzelnen Bereichen gute bis akzeptable Windbedingungen auf (südlich des Hochhauses, Innenhof BA 1 sowie im Nahbereich nördlich des Gebäudes BA 1).

Prognose Windsicherheit:

Die Auftretungswahrscheinlichkeit von Windböen > 18 m/s ist an einigen untersuchten Messpunkten größer als 1% bzw. liegt im Grenzbereich, so dass das in Tab. 2.1 definierte Sicherheitskriterium für öffentlich zugängliche Bereiche an den Messpunkten 5, 7 und 11 nicht bzw. nur knapp eingehalten wird.

In diesen Bereichen kann eine potentielle Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern im Sinne des Sicherheitskriteriums nicht gänzlich ausgeschlossen werden (Abb. 3.4) und es sollten Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden. Zur Verbesserung der Situation dieser kritischen Bereiche können prinzipiell folgende Maßnahmen führen:

- Begrünung der Freiflächen des Areals zwischen den Gebäuden, um die Luftströmungen abzubremesen bzw. windberuhigte Bereiche zu schaffen
- Einbringen von Windschutzwänden an der Ost- und Westseite der Gasse zwischen den Gebäuden (z.B. in versetzter Anordnung, so dass ein Passieren weiterhin möglich bleibt), um das ungehinderte Durchströmen von Wind zu verringern.

Es sollte in Zusammenarbeit mit den Architekten geklärt werden, welche Maßnahmen ergriffen werden können. Die Wirksamkeit der Maßnahmen kann dann ggf. in ergänzenden Modellversuchen überprüft werden.

Sommerhalbjahr								
Messpunkt	Böenwindgeschwindigkeit und Auftretenshäufigkeit							Windkomfort- stufe
	> 6 m/s				> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	
	0%	0 % ... 5 %	5 % ... 20 %	> 20 %	> 1 %	> 0.05 %	> 1 %	
1			x					2
2				x		x		3
3			x					2-
4			x					2
5			x			x		3
6		x						1
7				x	x	x		4
8			x			x		3-
9			x					2-
10			x					2
11				x		x		3
12		x						1-
13			x					2
14				x		x		3
15			x					2
16			x					2
17		x						1-
18		x						1
19			x					2
20			x					2
21			x			x		2-

Tab. 3.5: Klassifizierung des Windkomforts an den Messpunkten 1 bis 21 im bodennahen Außenbereich für Konfiguration 2 (mit BA 2) im Sinne der in Tab. 2.1 angegebenen Kriterien.

Sommerhalbjahr Monate April - September

Beispiel als Lesehilfe der Tabelle: Am Messpunkt 10 werden Böenwindgeschwindigkeiten von 6 m/s zwischen 5 % und 20 % der Jahresstunden erwartet. Somit wird der Messpunkt der Komfortstufe 2 zugeordnet.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Sommerhalbjahr
Konfiguration 2: mit BA 2

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätze
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

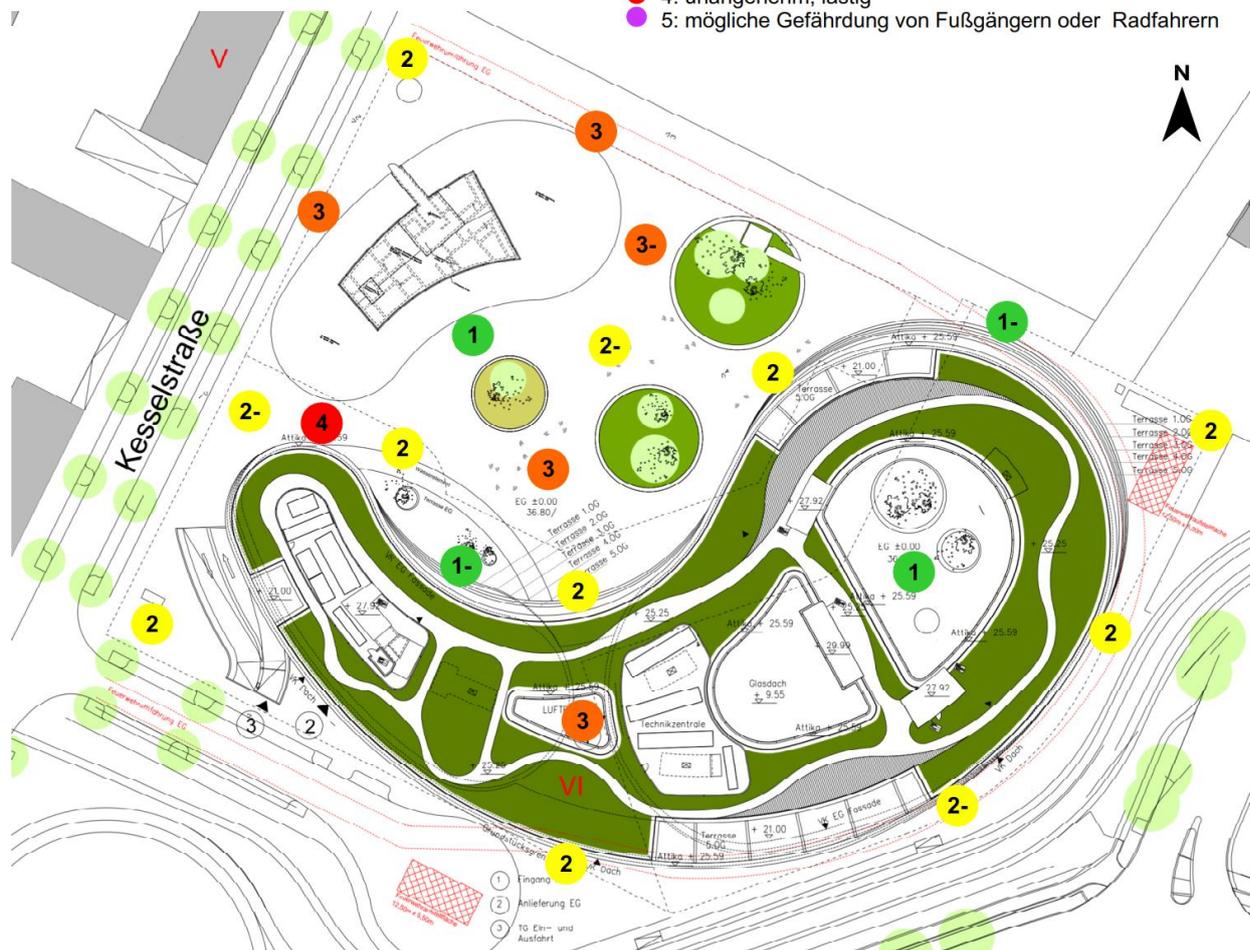


Abb. 3.3: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 2 (mit BA 2)

Sommerhalbjahr Monate April – September

Winterhalbjahr		Böenwindgeschwindigkeit und Auftretenshäufigkeit						Windkomfort- stufe
Messpunkt	> 6 m/s				> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	
	0%	0 % ... 5 %	5 % ... 20 %	> 20 %	> 1 %	> 0.05 %	> 1 %	
1				x	x	x		4
2				x	x	x		4
3				x	x	x		4
4				x		x		3-
5				x	x	x		4-
6			x					2
7				x	x	x	x	5
8				x	x	x		4
9				x	x	x		4
10				x	x	x		4
11				x	x	x		4-
12				x				3
13				x		x		3
14				x	x	x		4
15				x		x		3-
16			x					2-
17			x					2
18			x					2
19				x		x		3
20				x		x		3-
21				x	x	x		4

Tab. 3.6: Klassifizierung des Windkomforts an den Messpunkten 1 bis 21 im bodennahen Außenbereich für Konfiguration 2 (mit BA 2) im Sinne der in Tab. 2.1 angegebenen Kriterien.

Winterhalbjahr Monate Oktober - März

Beispiel als Lesehilfe der Tabelle: Am Messpunkt 12 werden Böenwindgeschwindigkeiten von 6 m/s an über 20 % der Jahresstunden erwartet. Somit wird der Messpunkt der Komfortstufe 3 zugeordnet.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Winterhalbjahr
Konfiguration 2: mit BA 2

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

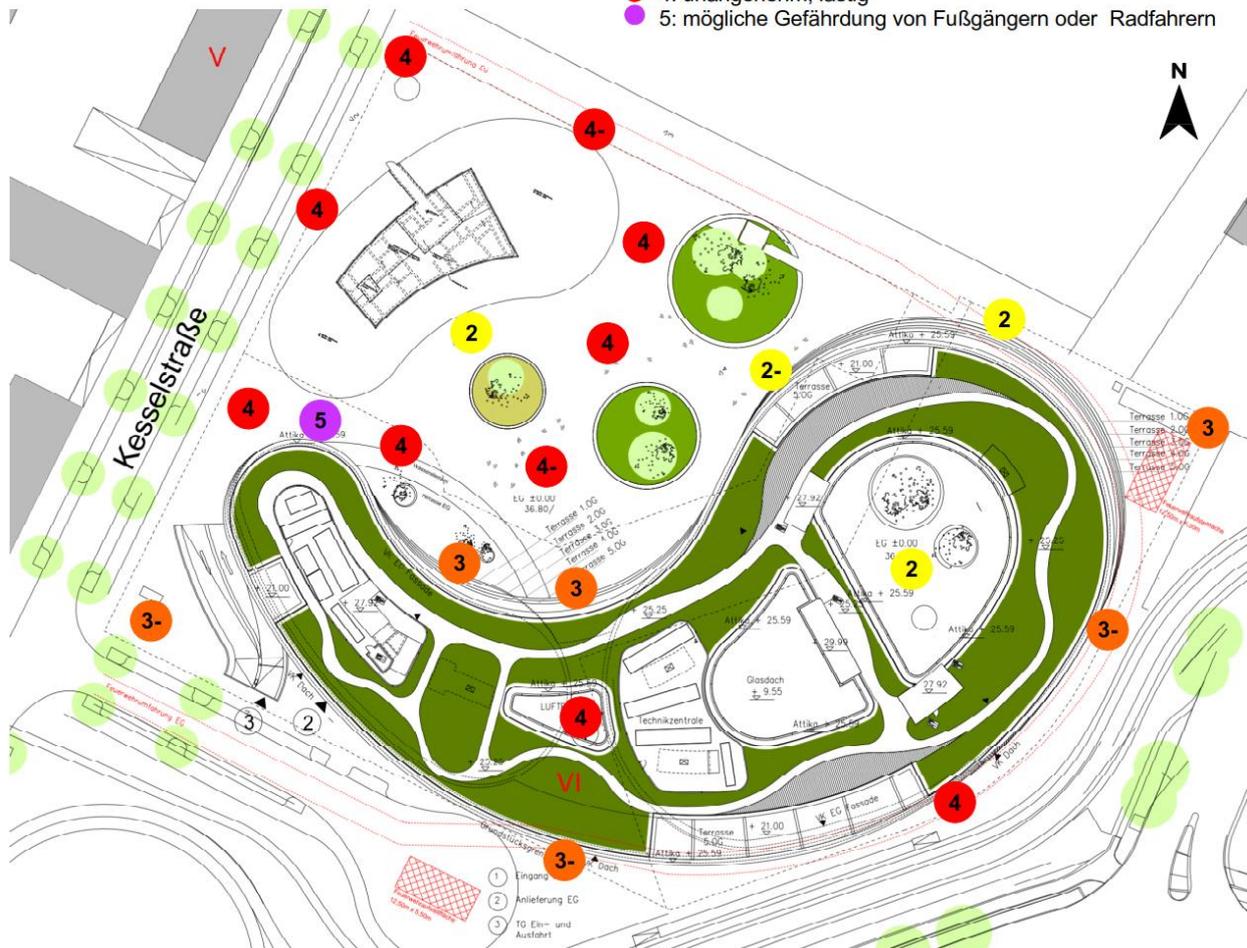


Abb. 3.4: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 2 (mit BA 2)

Winterhalbjahr Monate Oktober - März

3.3 Windkomfort auf den Balkonen und Dachterrassen

3.3.1 Ergebnisse Dachterrassen des BA1 für Konfiguration 1 (ohne BA 2)

In Tab. 3.7 sind die für jede Windrichtung gemessenen Erhöhungsfaktoren X_i der Windgeschwindigkeit auf den Dachterrassen im Vergleich zur ungestörten Windgeschwindigkeit in $h = 1.5$ m über Bodenniveau dargestellt. Eine Übersicht über die entsprechenden Messpunktepositionen findet sich in Abb. 2.7.

HINWEIS: Bei der Anwendung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Einordnung in die verschiedenen Komfortstufen aufgrund von langjährigen Klimazeitreihen vorgenommen wurde, d.h. die oben getroffenen Aussagen bezüglich der Häufigkeit sind repräsentativ für ein Durchschnittsjahr. In einzelnen Jahren kann es zu Abweichungen vom Durchschnitt kommen.

X_i ($y = 1.5$)	Windrichtung β [°] (0° = Nord)											
	Messpunkt	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
22	1.00	0.53	0.35	0.34	0.69	0.71	0.85	1.35	1.24	1.19	0.80	0.99
23	1.00	1.10	0.88	0.68	0.65	0.63	0.62	0.77	1.00	1.23	1.26	0.91
24	0.23	0.31	0.40	0.49	0.73	0.66	0.46	0.29	0.30	0.31	0.33	0.27
25	0.70	0.79	0.87	0.71	0.92	1.16	1.26	0.95	0.89	0.96	1.30	1.38
26	0.91	0.95	1.02	0.87	1.32	1.22	1.06	0.88	0.86	1.04	1.24	1.32
27	0.99	0.78	0.74	0.83	1.10	0.92	0.86	0.95	0.99	1.10	0.89	1.05
28	1.27	1.16	0.81	0.89	1.27	1.14	0.92	0.94	0.93	0.93	0.86	1.00
29	0.94	0.83	0.96	0.83	1.11	1.46	1.32	1.09	1.08	1.00	1.06	1.22
30	1.40	1.20	0.90	0.90	1.32	1.24	1.32	1.22	0.87	0.98	1.04	1.28
31	0.52	0.59	0.55	0.72	1.20	1.16	1.21	1.39	1.01	0.58	0.51	0.56
32	0.68	0.78	0.66	0.83	0.84	0.82	1.07	1.16	0.92	0.60	0.60	0.62
33	1.28	1.62	1.51	1.09	0.89	0.87	1.06	1.13	1.47	1.77	1.59	1.11

Tab. 3.7: Erhöhungsfaktoren X_i an den in Abb. 2.7 angegebenen Messpunkten auf den Dachterrassen des Trivago Gebäudes BA 1 für Konfiguration 1 (ohne BA 2) im Vergleich zur un bebauten Referenzsituation. Maxima sind orange hervorgehoben.

Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr:

Während des Sommerhalbjahres sind die in Tab. 3.8 bzw. Abb. 3.5 angegebenen Komfortstufen zu erwarten.

Auf den Dachterrassen ist demnach in allen Bereichen mit guten bis mäßigen Windkomfortbedingungen zu rechnen. Die Überschreitungshäufigkeit der Grenzwindgeschwindigkeit von 6 m/s liegt an den meisten Messpunkten zwischen 5 % und 20 %. An einigen Punkten liegt diese auch unter 5 %, was der Komfortstufe A entspricht.

Prognose Windsicherheit:

Die Auftretenswahrscheinlichkeit von Windböen > 18 m/s ist an allen untersuchten Messpunkten geringer als 1 %, so dass das in Tab. 2.2 definierte Sicherheitskriterium für Balkone und Dachterrassen überall eingehalten wird.

Sommerhalbjahr								
Messpunkt	Böenwindgeschwindigkeit und Auftretenshäufigkeit							Windkomfort- stufe
	> 6 m/s				> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	
	0%	0 % ... 5 %	5 % ... 20 %	> 20 %	> 1 %	> 0.05 %	> 1 %	
22			x					B
23		x						A-
24		x						A
25			x					B
26			x					B
27		x						A
28		x						A-
29			x					B
30			x					B
31			x					B
32		x						A
33			x					B

Tab. 3.8: Klassifizierung des Windkomforts an den Messpunkten 22 bis 33 im Bereich der Dachterrassen des Trivago Gebäudes BA 1 für Konfiguration 1 (ohne BA 2) im Sinne der in Tab. 2.2 angegebenen Kriterien.

Sommerhalbjahr Monate April - September

Beispiel als Lesehilfe der Tabelle: Am Messpunkt 30 werden Böenwindgeschwindigkeiten von 6 m/s zwischen 5 % und 20 % der Jahresstunden erwartet. Somit wird der Messpunkt der Komfortstufe B zugeordnet.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Sommerhalbjahr
Konfiguration 1: ohne BA 2

Dachterrassen:

- A: gut windgeschützt
- B: mäßig windgeschützt
- C: wenig windgeschützt (verbesserungswürdig)
- D: Gefährdungspotential (dringend verbesserungswürdig)



Abb. 3.5: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten der Dachterrassen auf dem Trivago Gebäude BA 1 für Konfiguration 1 (ohne BA 2)

Sommerhalbjahr Monate April – September

3.3.2 Ergebnisse Dachterrassen des BA 1 und BA 2 für Konfiguration 2

In Tab. 3.9 sind die für jede Windrichtung gemessenen Erhöhungsfaktoren X_i der Windgeschwindigkeit auf den Dachterrassen im Vergleich zur ungestörten Windgeschwindigkeit in $h = 1.5$ m über Bodenniveau dargestellt. Eine Übersicht über die entsprechenden Messpunktepositionen findet sich in Abb. 2.7.

X_i ($v = 1.5$)	Windrichtung β [°] (0° = Nord)											
Messpunkt	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
22	0.49	0.41	0.37	0.36	0.76	0.97	0.79	1.20	1.26	1.19	0.81	0.77
23	1.16	1.30	0.93	0.61	0.55	0.68	0.78	0.75	0.91	0.70	0.76	0.89
24	0.26	0.31	0.37	0.43	0.59	0.60	0.46	0.29	0.29	0.35	0.31	0.26
25	0.81	0.89	0.96	0.86	1.00	0.99	1.06	0.88	0.90	1.09	1.35	1.01
26	0.91	0.98	1.04	0.94	1.16	1.17	1.02	0.88	0.89	1.11	1.24	1.06
27	0.65	0.71	0.74	0.72	0.85	0.75	0.85	0.95	1.09	1.19	0.78	0.68
28	1.07	1.09	0.81	0.82	1.18	1.10	0.88	0.95	0.98	0.94	0.79	0.83
29	0.83	0.82	0.97	0.83	1.11	1.48	1.25	1.06	1.09	0.85	0.99	1.13
30	1.30	1.21	0.90	0.84	1.26	1.26	1.36	1.22	0.92	0.89	0.90	1.14
31	0.46	0.51	0.59	0.79	1.20	1.16	1.14	1.33	1.03	0.62	0.48	0.46
32	0.55	0.68	0.60	0.75	0.76	0.76	0.98	1.12	0.93	0.55	0.47	0.48
33	0.84	0.84	1.17	1.33	1.45	1.24	1.05	1.20	1.62	1.87	1.77	1.42
34	1.26	0.98	0.75	0.79	1.26	1.71	1.92	1.97	2.04	2.30	2.35	1.93
35	1.99	1.78	1.52	1.55	1.87	1.86	1.48	0.95	0.73	1.00	1.23	1.72

Tab. 3.9: Erhöhungsfaktoren X_i an den in Abb. 2.7 angegebenen Messpunkten auf den Dachterrassen der Trivago Gebäude BA 1 und BA 2 für Konfiguration 2 im Vergleich zur un bebauten Referenzsituation. Maxima sind orange hervorgehoben.

Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr:

Während des Sommerhalbjahres sind die in Tab. 3.10 bzw. Abb. 3.6 angegebenen Komfortstufen zu erwarten.

Auf den Dachterrassen des Gebäudes BA 1 ist demnach auch für diese Gebäudekonstellation in fast allen Bereichen mit guten bis mäßigen Windkomfortbedingungen zu rechnen. Die Überschreitungshäufigkeit der Grenzwindgeschwindigkeit von 6 m/s liegt an den meisten Messpunkten zwischen 5 % und 20 % (Komfortstufe A- und B). An einigen Messpunkten liegt diese sogar unter 5 %, was der Komfortstufe A entspricht. Lediglich am Randbereich der Dachterrasse in Richtung Hochhaus (Messpunkt 33) treten unkomfortable Windbedingungen etwas häufiger auf, da es in diesem Bereich, wie auch im bodennahen Bereich, zu Windbeschleunigungen durch Strömungskanalisation kommen kann. An den Messpunkten 34 und 35 treten ebenfalls etwas häufiger erhöhte Windgeschwindigkeiten auf, was zu unkomfortablen Komfortbedingungen

führt. Allerdings ist für diese Bereiche laut Auftraggeber keine Nutzung als Dachterrasse vorgesehen.

Prognose Windsicherheit:

Die Auftretenswahrscheinlichkeit von Windböen > 18 m/s ist nicht an allen untersuchten Messpunkten geringer als 1 %, so dass das in Tab. 2.2 definierte Sicherheitskriterium für Balkone und Dachterrassen am Messpunkten 34 nicht eingehalten wird (Abb.3.6). Da der Dachbereich des Hochhauses allerdings nicht als Dachterrasse genutzt wird und keinen öffentlich zugänglichen Bereich darstellt, sind in diesem Zusammenhang Verbesserungsmaßnahmen nicht zwingend erforderlich.

Sommerhalbjahr		Böenwindgeschwindigkeit und Auftretenshäufigkeit						Windkomfort- stufe
Messpunkt	> 6 m/s				> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	
	0%	0 % ... 5 %	5 % ... 20 %	> 20 %	> 1 %	> 0.05 %	> 1 %	
22			x					B
23		x						A
24			x					A
25		x						A-
26		x						A-
27		x						A-
28		x						A
29			x					B
30			x					B
31			x					A-
32		x						A
33			x			x		B-
34				x	x	x	x	D
35			x					B-

Tab. 3.10: Klassifizierung des Windkomforts an den Messpunkten 22 bis 35 im Bereich der Dachterrassen der Trivago Gebäude BA 1 und BA 2 für Konfiguration 2 im Sinne der in Tab. 2.2 angegebenen Kriterien.

Sommerhalbjahr Monate April - September

Beispiel als Lesehilfe der Tabelle: Am Messpunkt 22 werden Böenwindgeschwindigkeiten von 6 m/s zwischen 5 % und 20 % der Jahresstunden erwartet. Somit wird der Messpunkt der Komfortstufe B zugeordnet.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Sommerhalbjahr
Konfiguration 2: mit BA 2

Dachterrassen:

- A: gut windgeschützt
- B: mäßig windgeschützt
- C: wenig windgeschützt (verbesserungswürdig)
- D: Gefährdungspotential (dringend verbesserungswürdig)



Abb. 3.6: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten der Dachterrassen der Trivago Gebäude BA 1 und BA 2 für Konfiguration 2

Sommerhalbjahr Monate April – September

3.3.3 Ergebnisse Balkone des BA 2

In Tab. 3.11 sind die für jede Windrichtung gemessenen Erhöhungsfaktoren X_i der Windgeschwindigkeit auf den Balkonen im Vergleich zur ungestörten Windgeschwindigkeit in $h = 1.5$ m über Bodenniveau dargestellt. Eine Übersicht über die entsprechenden Messpunktepositionen findet sich in Abb. 2.8.

Xi ($\gamma = 1.5$)	Windrichtung β [°] (0° = Nord)											
	Messpunkt	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
1	1.85	1.69	1.16	1.08	1.59	1.52	0.70	0.43	0.43	0.37	0.38	0.99
2	0.76	1.47	1.55	1.21	1.27	1.50	1.82	1.59	0.73	0.50	0.55	0.58
3	0.86	0.71	0.49	0.35	0.54	0.87	1.07	1.02	0.77	0.62	0.61	0.80
4	2.01	1.97	1.11	0.97	1.86	1.85	0.77	0.47	0.42	0.44	0.41	1.02
5	0.77	1.41	1.73	1.34	0.83	1.41	1.92	1.30	0.57	0.58	0.63	0.62
6	0.64	0.54	0.44	0.48	0.76	0.88	0.92	0.90	0.75	0.67	0.54	0.57
7	2.00	1.83	0.95	0.77	1.79	1.63	0.59	0.38	0.31	0.38	0.40	1.04
8	0.66	1.20	1.69	1.30	0.73	1.46	1.83	1.22	0.55	0.44	0.52	0.50
9	0.38	0.39	0.39	0.53	0.88	0.82	0.84	0.91	0.71	0.54	0.41	0.33
10	0.95	1.00	1.00	1.07	1.49	1.52	1.41	1.47	1.47	1.05	0.60	0.80
11	0.57	0.56	0.40	0.41	1.28	2.07	2.03	1.26	0.83	1.48	1.67	1.14
12	1.06	1.05	1.18	1.37	1.58	1.29	1.04	1.49	1.40	0.73	0.49	0.83
13	0.63	0.59	0.45	0.41	0.78	1.64	1.94	1.12	0.87	1.78	1.58	0.77
14	0.63	0.64	1.10	1.46	1.53	1.11	0.93	1.46	1.33	0.66	0.53	0.65
15	0.75	0.70	0.48	0.42	0.50	1.38	1.95	1.16	0.93	1.78	1.56	0.76

Tab. 3.11: Erhöhungsfaktoren X_i an den in Abb. 2.8 angegebenen Messpunkten im fassadennahen Bereich des Trivago Gebäudes BA 2 im Vergleich zur unbebauten Referenzsituation. Maxima sind orange hervorgehoben.

Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr:

Während des Sommerhalbjahres sind die in Tab. 3.12 bzw. Abb. 3.7 angegebenen Komfortstufen zu erwarten.

Auf den Balkonen des Gebäudes BA 2 ist demnach in vielen Bereichen mit guten bis mäßigen Windkomfortbedingungen zu rechnen. Die Überschreitungshäufigkeit der Grenzwindgeschwindigkeit von 6 m/s liegt an den meisten Messpunkten zwischen 5 % und 20 % (Komfortstufe A- und B bzw. B-). Die nördlichen Balkone entsprechen größtenteils der Komfortstufe B (unterer Bereich 1. OG bis 10. OG) und B- (oberer Bereich ab 11. OG). Die weiter südlich gelegenen Balkonbereiche der nördlichen Balkone können sogar der Komfortstufe A zugeordnet werden. Die ungünstigsten Windbedingungen werden an den südlichen Balkonen im unteren Bereich (1. OG bis 7. OG) erwartet. In diesem Bereich können, bedingt durch die Gasse zwischen BA 1 und BA 2, vermehrt höhere Windgeschwindigkeiten auftreten (Komfortstufe C), da

es in diesem Bereich, wie auch im bodennahen Bereich, zu Windbeschleunigungen durch Strömungskanalisation kommen kann. Im weiter oben gelegenen Bereich der Südbalkone (ab 8. OG) werden etwas bessere Windbedingungen erwartet (Komfortstufe B-).

Prognose Windsicherheit:

Die Auftretenswahrscheinlichkeit von Windböen > 18 m/s ist an allen untersuchten Messpunkten geringer als 1 %, so dass das in Tab. 2.2 definierte Sicherheitskriterium für Balkone und Dachterrassen überall eingehalten wird.

Sommerhalbjahr								
Messpunkt	Böenwindgeschwindigkeit und Auftretenshäufigkeit							Windkomfort- stufe
	> 6 m/s				> 13 m/s	> 15 m/s	> 18 m/s	
	0%	0 % ... 5 %	5 % ... 20 %	> 20 %	> 1 %	> 0.05 %	> 1 %	
1			x					B-
2			x			x		B-
3		x						A-
4			x					B
5			x			x		B
6		x						A-
7			x					B
8			x					B
9		x						A-
10			x					B-
11			x			x		B-
12			x					B
13			x			x		B-
14			x		x			C
15			x		x	x		C

Tab. 3.12: Klassifizierung des Windkomforts an den Messpunkten 1 bis 15 im Bereich der Balkone des Trivago Gebäudes BA 2 im Sinne der in Tab. 2.2 angegebenen Kriterien.

Sommerhalbjahr Monate April - September

Beispiel als Lesehilfe der Tabelle: Am Messpunkt 4 werden Böenwindgeschwindigkeiten von 6 m/s zwischen 5 % und 20 % der Jahresstunden erwartet. Somit wird der Messpunkt der Komfortstufe B zugeordnet.

Trivago - BA 2

Windkomfort-Klassifizierung Sommerhalbjahr

Balkone:

- A: gut windgeschützt
- B: mäßig windgeschützt
- C: wenig windgeschützt (verbesserungswürdig)
- D: Gefährdungspotential (dringend verbesserungswürdig)

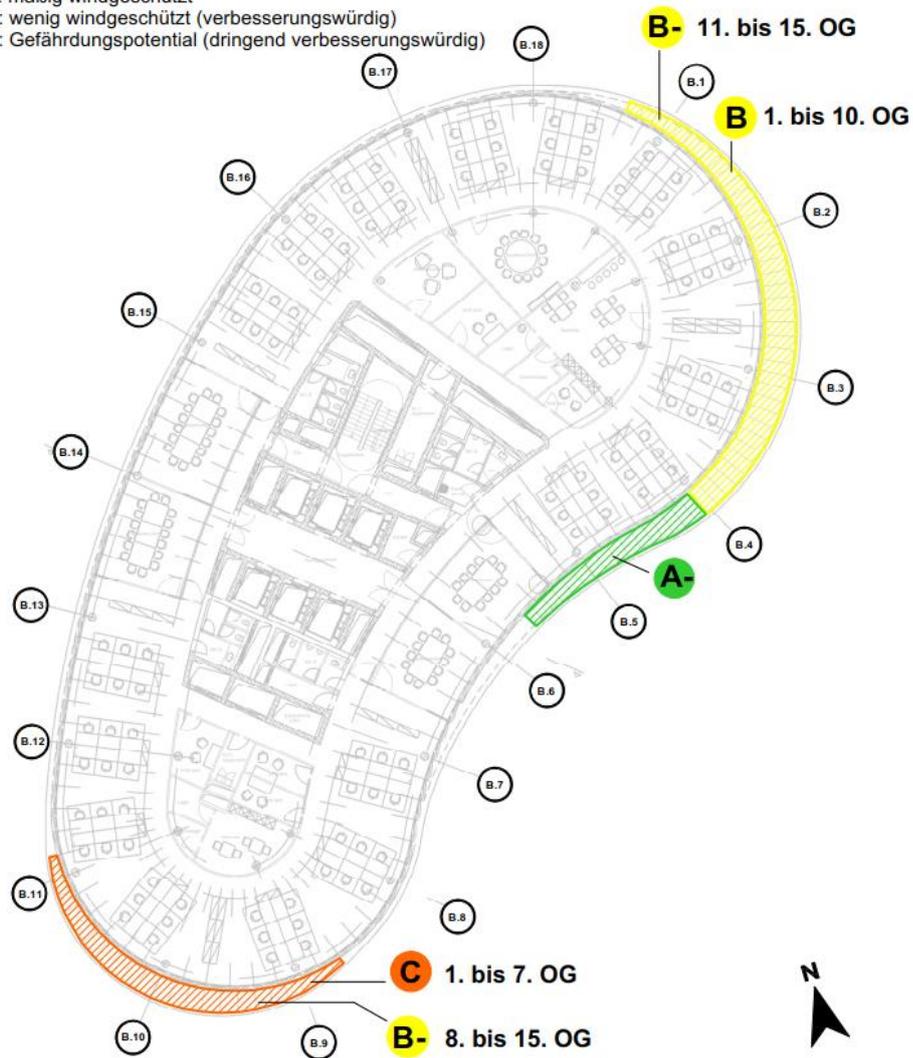


Abb. 3.7: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten der Balkone des Trivago Gebäude BA 2

Sommerhalbjahr Monate April – September

4 ANHANG

4.1 Nachuntersuchung bodennaher Windkomfort

Im Rahmen eines erweiterten Windkanalversuches wurden für die kritischen bodennahen Bereiche hinsichtlich der Windkomfortsituation (Bereiche mit möglicher Gefährdung bedingt durch Windströmungen) beauftragungsgemäß unterschiedliche Verbesserungsmaßnahmen untersucht. Eine Beschreibung der Untersuchungszustände sowie die Ergebnisse der Nachuntersuchung sind nachfolgend dokumentiert.

Randbedingungen:

Im Zuge der Windkomfortuntersuchung für den bodennahen Außenbereich auf dem Trivago Areal hat sich gezeigt, dass es in den Bereichen „Gasse BA 1 und BA 2“ sowie im Gebäudedurchgang des BA 1 zu kritischen Windbedingungen kommen kann. In diesen Bereichen konnte eine potentielle Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern im Sinne des Sicherheitskriteriums nicht gänzlich ausgeschlossen werden und es sollten Verbesserungsmaßnahmen ergriffen werden (siehe Kap. 3). In Abstimmung mit dem Auftraggeber sowie den Architekten wurden die folgenden drei Verbesserungsmaßnahmen untersucht.

Verbesserungsmaßnahme 1

Bereich: Gasse zwischen BA 1 und BA 2

Verbesserungsmaßnahme: Pflanzinsel westlich der Gasse

- Höhe Pflanzinsel ca. 1 m
- Durchmesser ca. 7 m
- Höhe Bewuchs ca. 2.75 m



Abb. 4.1: Nahaufnahme des Windkanalmodells mit Verbesserungsmaßnahme 1 (Pflanzinsel westlich der Gasse zwischen BA 1 und BA 2).

Verbesserungsmaßnahme 2

Bereich: Gasse zwischen BA 1 und BA 2

Verbesserungsmaßnahme: Windschutzwände anstatt der Pflanzinsel westlich der Gasse

- 4 Windschutzwände in versetzter Anordnung
- Höhe Windschutzwände ca. 2.5 m
- Breite der Windschutzwände ca. 5 m

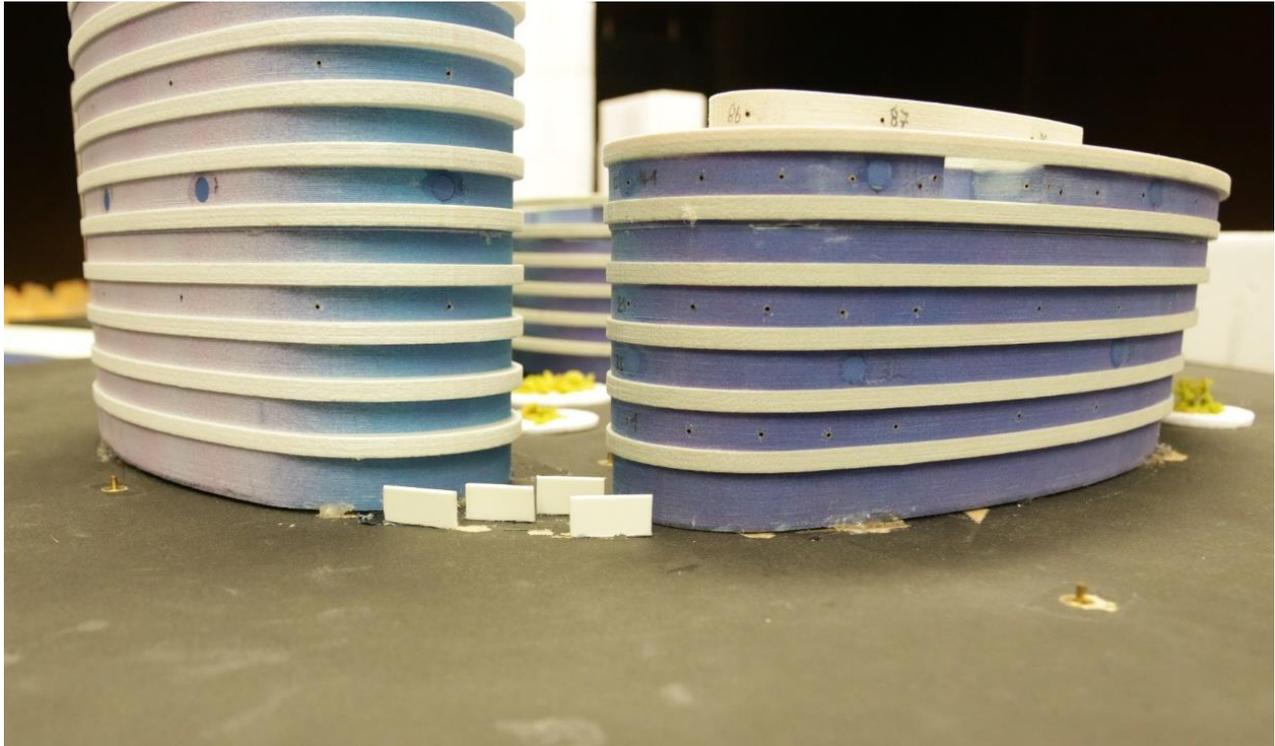


Abb. 4.2: Nahaufnahme des Windkanalmodells mit Verbesserungsmaßnahme 2 (Windschutzwände westlich der Gasse zwischen BA 1 und BA 2).

Verbesserungsmaßnahme 3

Bereich: Gebäudedurchgang BA 1 (für Konstellation ohne BA 2)

Verbesserungsmaßnahme: Pflanzinsel südlich des Durchgangs

- Höhe Pflanzinsel ca. 1 m
- Durchmesser ca. 12 m
- Höhe Bewuchs ca. 2.75 m

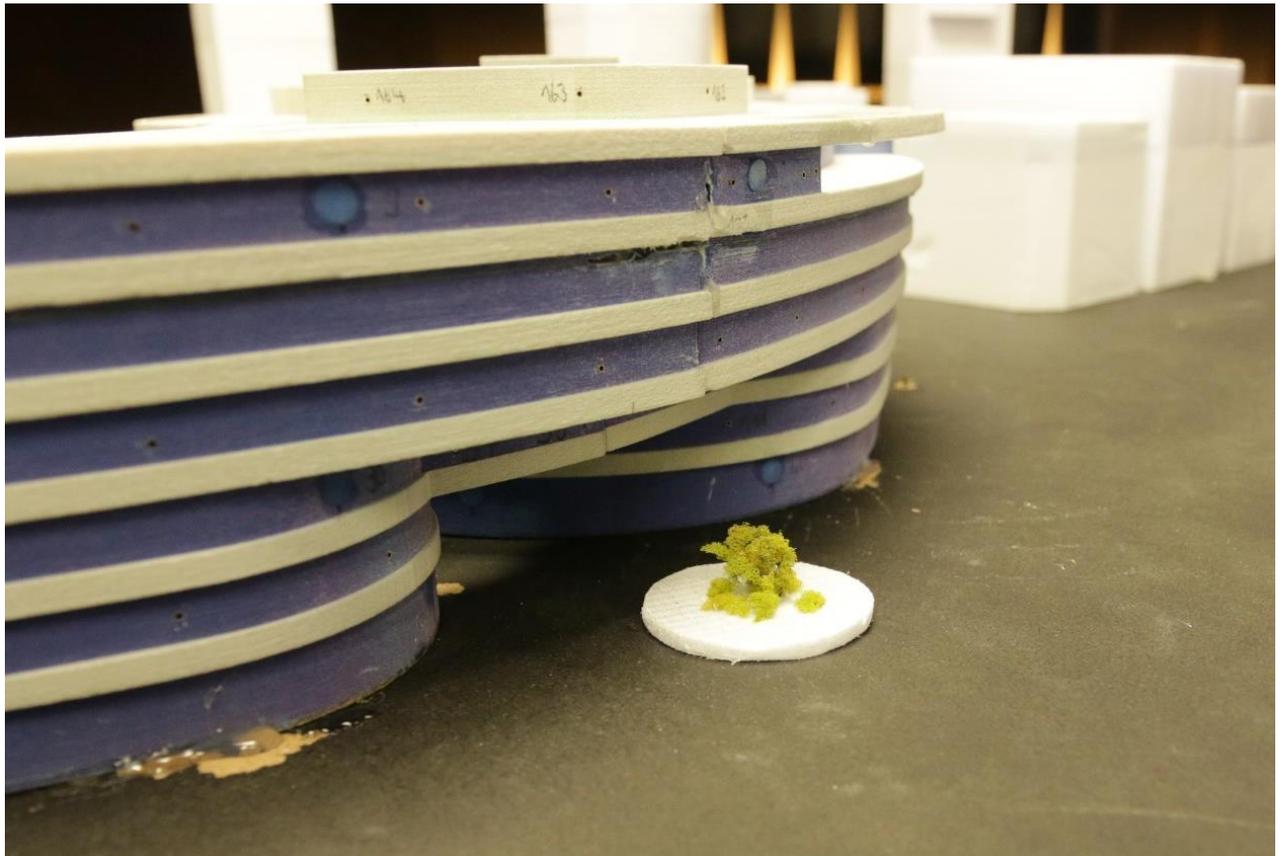


Abb. 4.3: Nahaufnahme des Windkanalmodells mit Verbesserungsmaßnahme 3 (Pflanzinsel südlich des Gebäudedurchgangs von BA 1).

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Ergebnisse Verbesserungsmaßnahme 1

Unter Berücksichtigung der Verbesserungsmaßnahme 1 sind die in Abb. 4.4 und Abb. 4.5 angegebenen Komfortstufen zu erwarten. Durch die Pflanzinsel westlich der Gasse ist mit einer leichten Verbesserung der Windkomfortsituation in der Gebäudegasse zu rechnen.

Die Situation verbessert sich im Sommer von Komfortstufe 4 (vor der Maßnahme) auf Komfortstufe 3. Im Winterhalbjahr verbessert sich Situation von Sicherheitsstufe 5 (vor Maßnahme) auf Komfortstufe 4-.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Sommerhalbjahr
Konfiguration 2: mit BA 2
und Verbesserungsmaßnahme Pflanzinseln

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

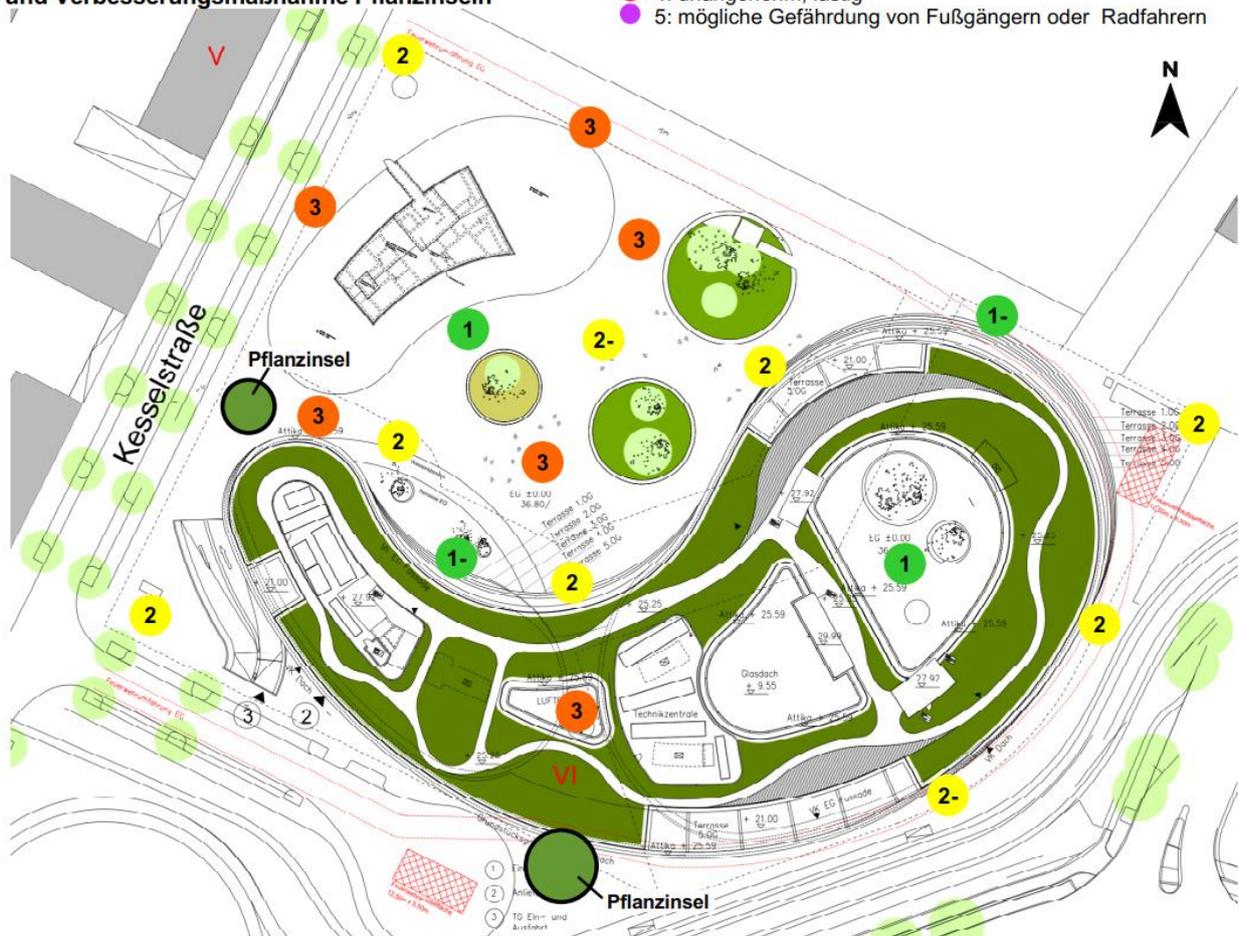


Abb. 4.4: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 2 (mit BA 2) mit Verbesserungsmaßnahme durch Pflanzinseln

Sommerhalbjahr Monate April – September

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Winterhalbjahr
Konfiguration 2: mit BA 2
und Verbesserungsmaßnahme Pflanzinseln

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

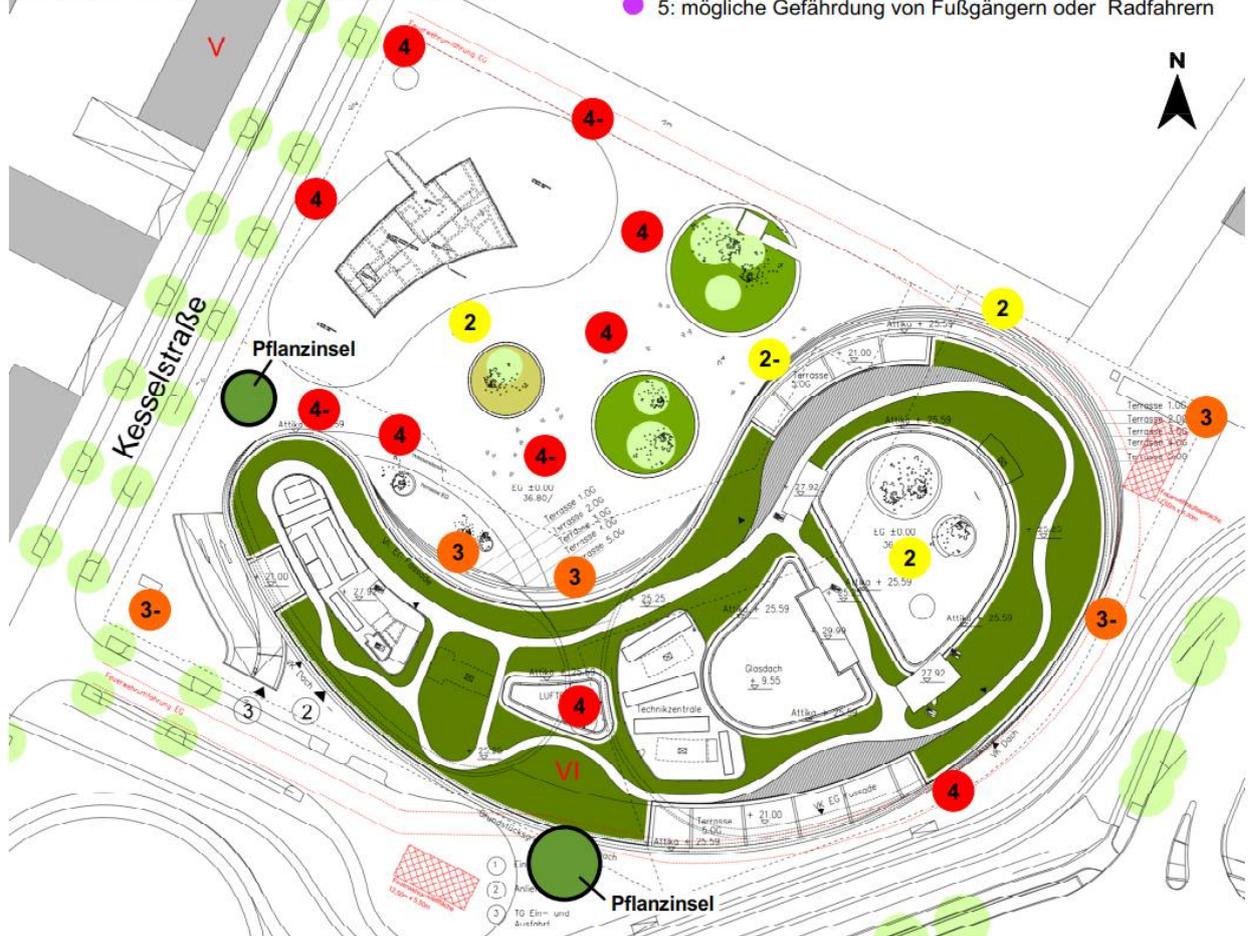


Abb. 4.5: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 2 (mit BA 2) mit Verbesserungsmaßnahme durch Pflanzinseln

Winterhalbjahr Monate Oktober – März

4.2.2 Ergebnisse Verbesserungsmaßnahme 2

Unter Berücksichtigung der Verbesserungsmaßnahme 2 sind die in Abb. 4.6 und Abb. 4.7 angegebenen Komfortstufen zu erwarten. Durch die Windschutzwände westlich der Gasse ist mit einer deutlicheren Verbesserung der Windkomfortsituation in der Gebäudegasse zu rechnen.

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Sommerhalbjahr
Konfiguration 2: mit BA 2
und Verbesserungsmaßnahme Windschutzwände

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

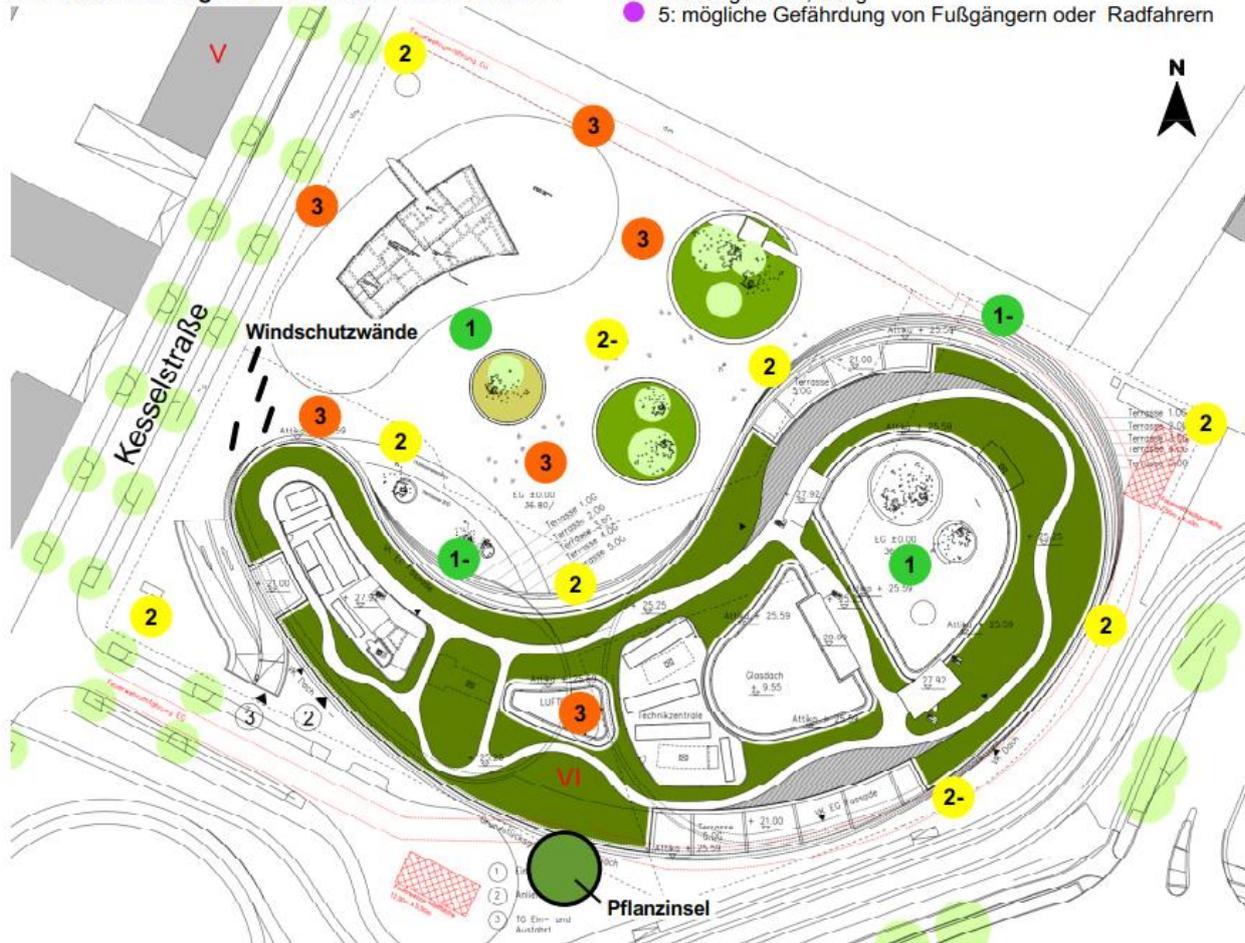


Abb. 4.6: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 2 (mit BA 2) mit Verbesserungsmaßnahme durch Windschutzwände

Sommerhalbjahr Monate April – September

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Winterhalbjahr
Konfiguration 2: mit BA 2
und Verbesserungsmaßnahme Windschutzwände

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

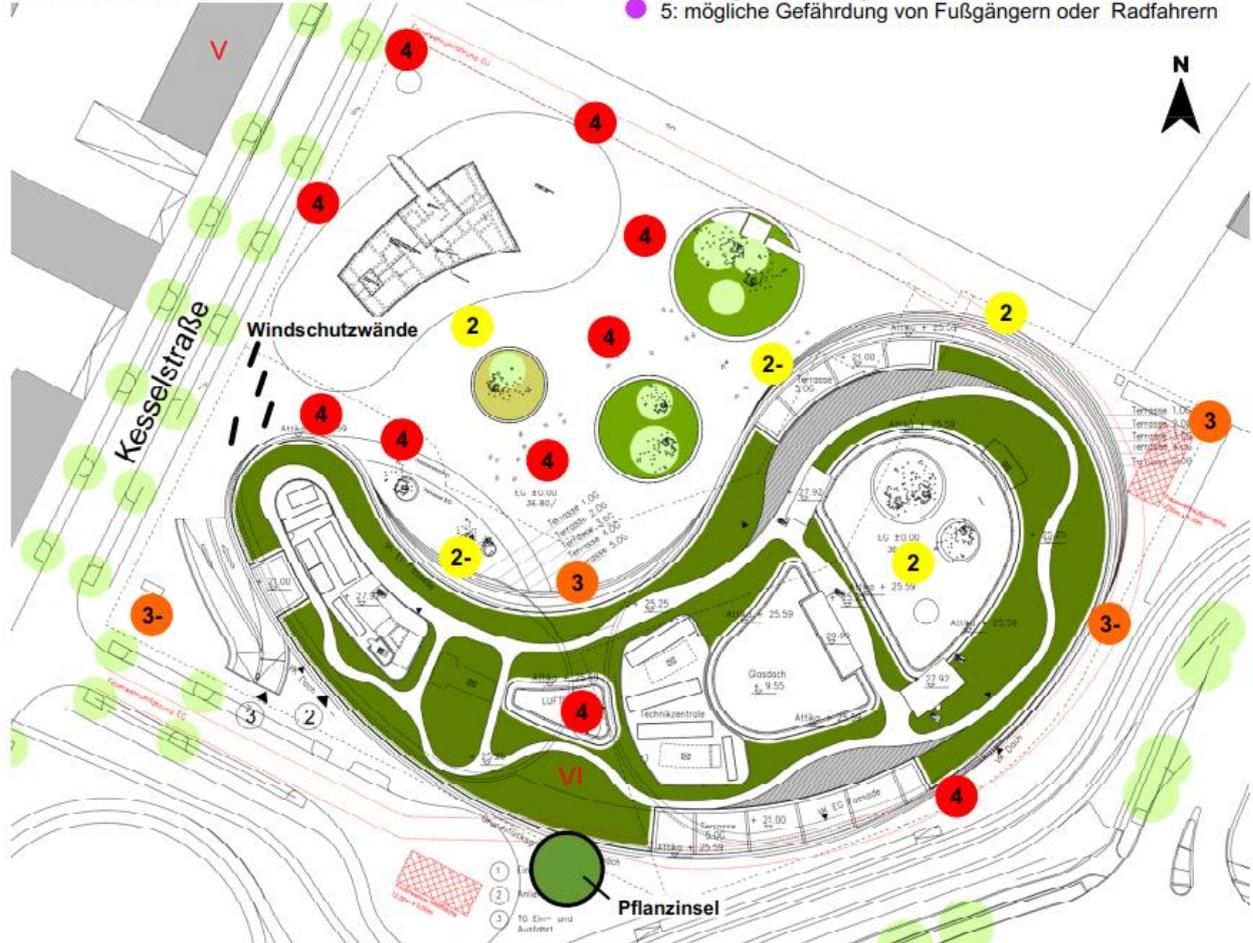


Abb. 4.7: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 2 (mit BA 2) mit Verbesserungsmaßnahme durch Windschutzwände

Winterhalbjahr Monate Oktober – März

4.2.3 Ergebnisse Verbesserungsmaßnahme 3

Unter Berücksichtigung der Verbesserungsmaßnahme 3 sind die in Abb. 4.8 und Abb. 4.9 angegebenen Komfortstufen zu erwarten. Durch die Pflanzinsel südlich des Gebäudedurchganges wird keine Verbesserung der Windkomfortsituation im Gebäudedurchgang erzielt.

Trivago - Düsseldorf

**Windkomfort-Klassifizierung
Sommerhalbjahr
Konfiguration 1: ohne BA 2
und Verbesserungsmaßnahme Pflanzinsel**

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

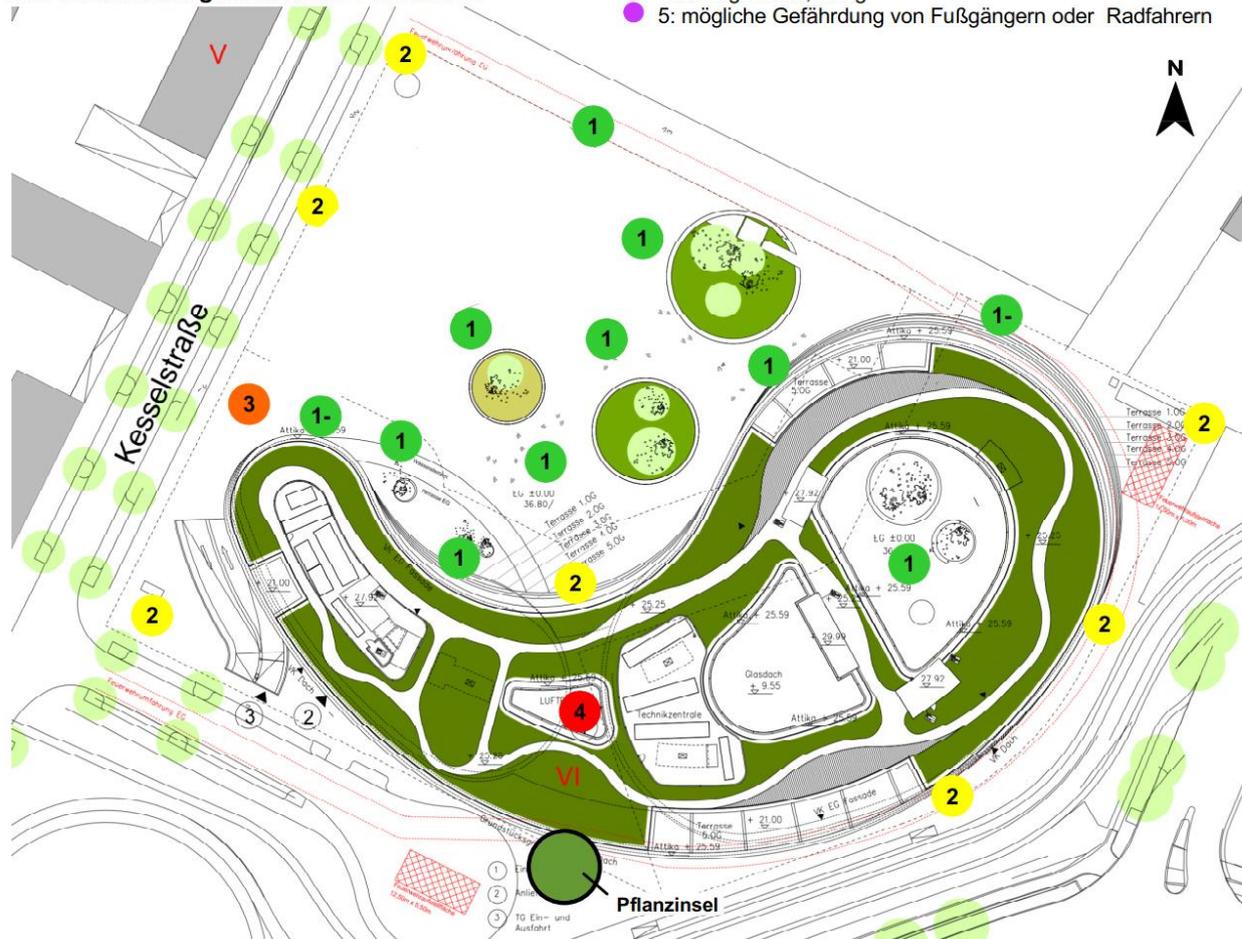


Abb. 4.8: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 1 (ohne BA 2) mit Verbesserungsmaßnahme durch Pflanzinsel

Sommerhalbjahr Monate April – September

Trivago - Düsseldorf

Windkomfort-Klassifizierung
Winterhalbjahr
Konfiguration 1: ohne BA 2
und Verbesserungsmaßnahme Pflanzinsel

Fußgängerbereiche:

- 1: verträglich in Cafés, Parks, Wartebereichen, auf Spielplätzen
- 2: verträglich auf Flächen für kurzfristigen Aufenthalt
- 3: verträglich für problemloses Fortbewegen
- 4: unangenehm, lästig
- 5: mögliche Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern

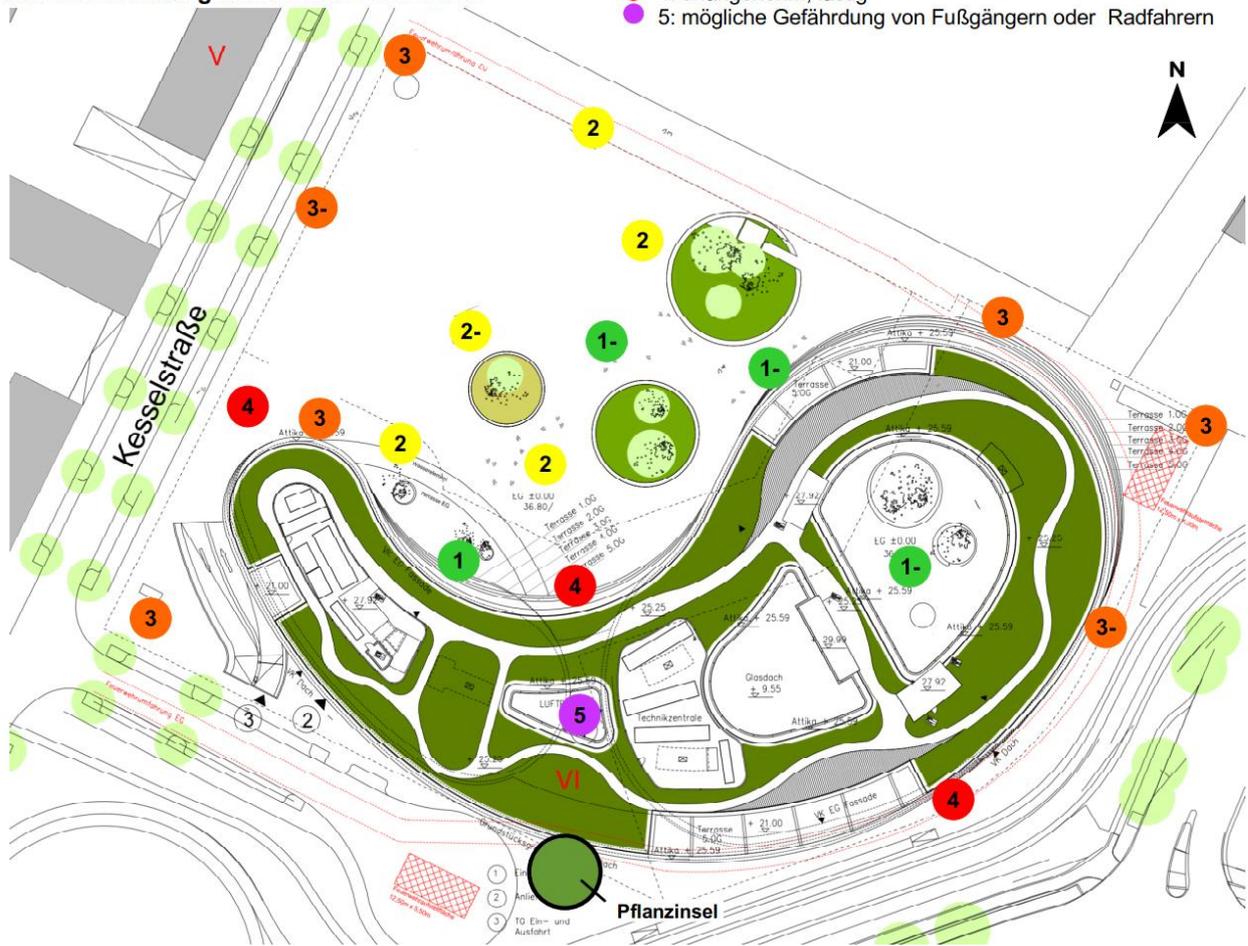


Abb. 4.9: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten des bodennahen Außenbereichs für Konfiguration 1 (ohne BA 2) mit Verbesserungsmaßnahme durch Pflanzinsel

Winterhalbjahr Monate Oktober – März

Fazit:

- Im Bereich der Gasse zwischen BA 1 und BA 2 wird sowohl durch die Pflanzinsel als auch durch die Windschutzwände westlich der Gasse eine Verbesserung der Windsituation erzielt. Mit beiden Maßnahmen lässt sich die Windsituation in diesem Bereich dahingehend verbessern, sodass das Windsicherheitskriterium für öffentlich zugängliche Bereiche eingehalten wird. Allerdings wird das Sicherheitskriterium unter Verwendung einer Pflanzinsel nur knapp eingehalten. Eine deutlichere Verbesserung wird unter Verwendung der Windschutzwände erzielt.
- Bei den Ergebnissen gilt es zu beachten, dass die im Windkanalversuch nachgebildete Umgebungsbebauung ein „Worst Case Szenario“ darstellt. Die eventuell zukünftig realisierte Blockbebauung westlich der Kesselstraße wurde absprachegemäß nicht berücksichtigt. Es ist davon auszugehen, dass sich diese als eher günstig auf die Windkomfortbedingungen im Gassenbereich zwischen BA 1 und BA 2 auswirken wird.
- Im Bereich des Gebäudedurchgangs von BA 1 lässt sich durch die südlich verortete Pflanzinsel keine Verbesserung hinsichtlich der Windsituation erzielen. Eine potenzielle Gefährdungssituation wurde in diesem Bereich allerdings nur für die Baukonstellation ohne das Gebäude BA 2 festgestellt (siehe Kap. 3).

5 VERWENDETE UNTERLAGEN

Gandemer, J., 1982: „Simulation and Measurement of the Local Wind Environment“. In: T.A. Reinhold (ed), Wind Tunnel Modelling for Civil Engineering Applications, Cambridge University Press.

Gandemer, J., Guyot, A., 1976: „Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti“. La Documentation Française, Paris.

Hunt, J.C.R., 1976: „The Effects of Wind on People; New Criteria Based on Wind Tunnel Experiments“. Vol. 11, pp. 15-28, Pergamon Press.

Ratcliff, M.A., Peterka, J.A., 1990: „Comparison of Pedestrian Wind Acceptability Criteria“. Journal of Wind Eng. and Industrial Aerodyn., Vol. 36, pp. 791-800.

DIN EN 1991-1-4 2005: "Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten". Dezember 2010.

Williams, C.J., Hunter, M.A., Waechter, W.F., 1990: „Criteria for Assessing the Pedestrian Wind Environment“. Journal of Wind Eng. and Industrial Aerodyn., Vol. 36, pp. 811-815.

Witte 2016: „Planunterlagen, Informationen, Kommunikation zum Bauvorhaben Trivago, Düsseldorf.“, Witte Projektmanagement GmbH, Düsseldorf.