

# Hauptbahnhof München – Sanierung Starnberger Flügelbahnhof (München, Deutschland)

## Windkanalversuche:

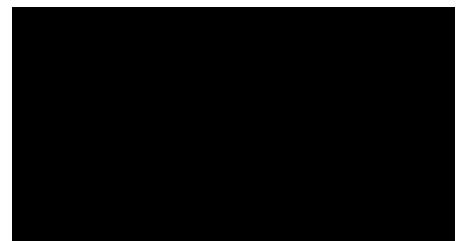
- Untersuchung des Windkomforts im bodennahen Außenbereich des Starnberger Flügelbahnhofs

**Auftraggeber:**

DB Station & Service AG  
Richelstraße 3  
80634 München

**Projektbearbeitung:**

██████████



13. November 2018

[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[REDACTED]

- [REDACTED]  
[REDACTED]
- [REDACTED]  
■ [REDACTED] ■ [REDACTED] ■ [REDACTED] ■ [REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>1</b>	<b>PROBLEMSTELLUNG .....</b>	<b>2</b>
1.1	Beschreibung des Projekts.....	2
1.2	Problemstellung, Auflistung der Leistungen .....	2
<b>2</b>	<b>EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE, WINDKANALVERSUCHE .....</b>	<b>6</b>
2.1	Windklima am Standort.....	10
2.2	Quantitative Ermittlung des Windkomforts .....	14
2.3	Komfortkriterien.....	15
2.4	Beschreibung der Versuchsvarianten .....	16
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE DER WINDKOMFORTUNTERSUCHUNGEN.....</b>	<b>21</b>
3.1	Windkomfort am Standort als Referenz .....	21
3.2	Windkomfort im bodennahen Außenbereich, Situation 1: Istzustand.....	21
3.3	Windkomfort im bodennahen Außenbereich, Situation 2: Neubebauung ohne Vordach	26
3.4	Windkomfort im bodennahen Außenbereich, Situation 3: Neubebauung – mit Vordach	30
3.5	Fazit .....	34
<b>4</b>	<b>VERWENDETE DOKUMENTE.....</b>	<b>36</b>

## **1 PROBLEMSTELLUNG**

### **1.1 Beschreibung des Projekts**

Im Zuge der Sanierung des Hauptbahnhofs München ist auch eine Sanierung des nördlich gelegenen Starnberger Flügelbahnhofs geplant (nachfolgend mit SFB bezeichnet). Hierzu soll unter anderem als Eingangsgebäude ein neues Hochhaus errichtet werden (Abb. 1.1.bis Abb. 1.3).

### **1.2 Problemstellung, Auflistung der Leistungen**

Im Zusammenhang mit der weiteren Planung des Gebäudes stellt sich die Frage hinsichtlich der Auswirkungen des neuen Hochhauses auf die bodennahen Windgeschwindigkeitsverhältnisse. Insbesondere die Flächen rund um den Starnberger Flügelbahnhof sind hierbei von Interesse.

Das Büro Wacker Ingenieure wurde beauftragt folgende Bauwerksaerodynamik-Aspekte, strömungstechnisch mittels Windkanaltests zu untersuchen:

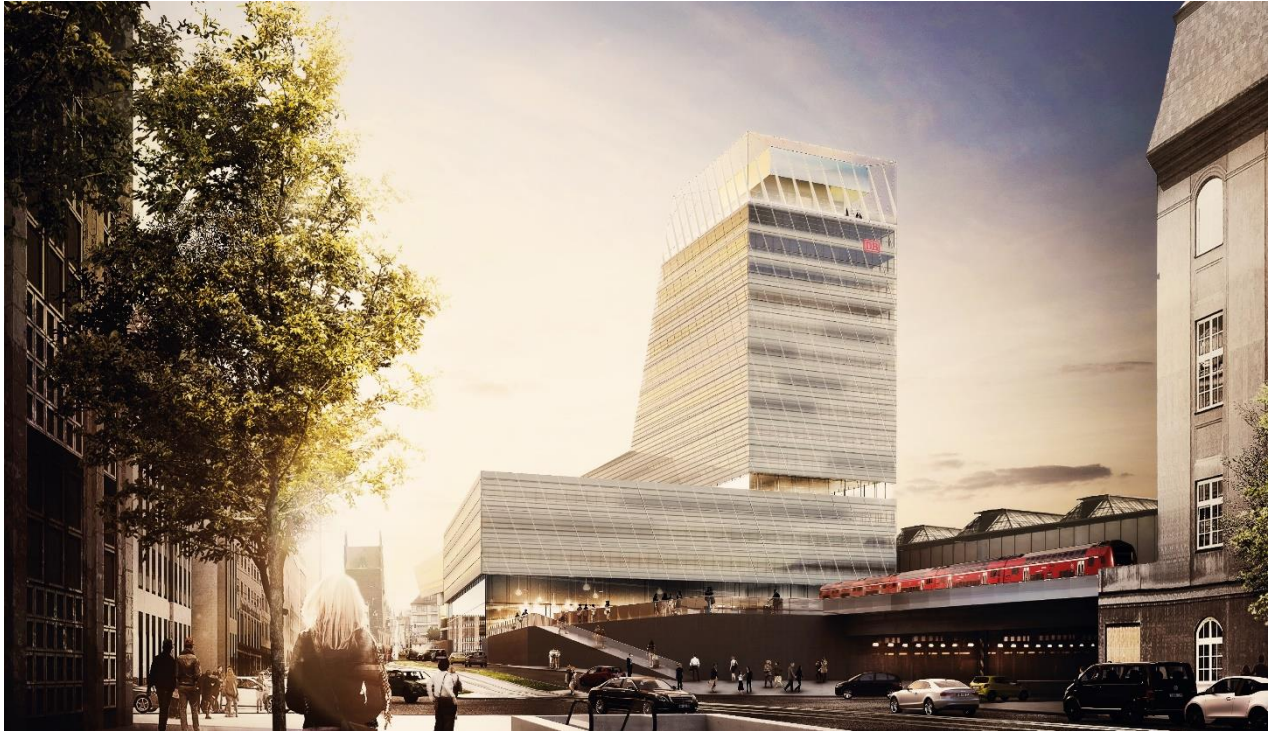
- Windkomfort/-diskomfort im bodennahen Außenbereich

Im vorliegenden Bericht werden die Vorgehensweise und Untersuchungsergebnisse dokumentiert.

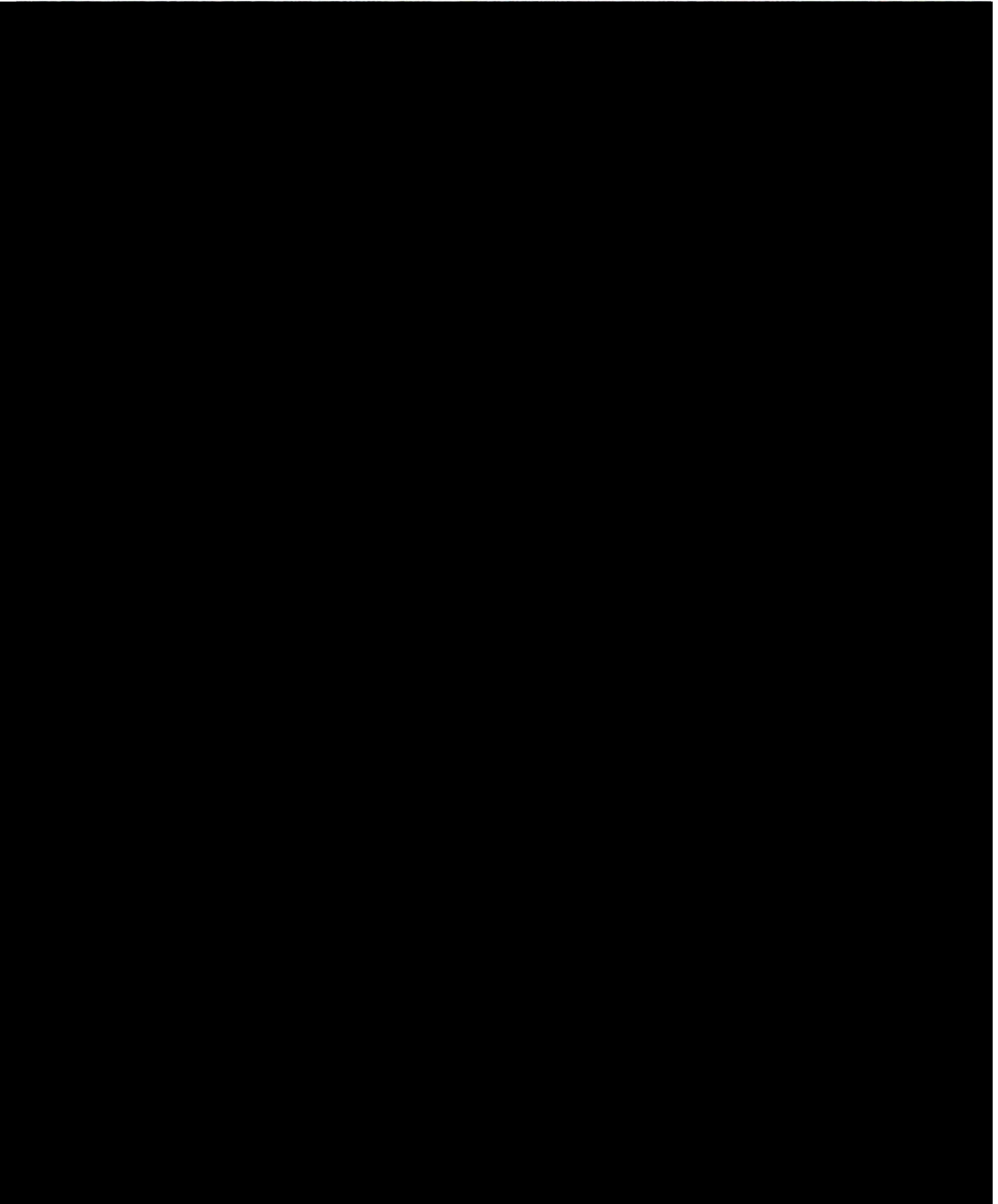


**Abb. 1.1:** Visualisierung des neu geplanten Hauptbahnhofes bzw. des Starnberger Flügelbahnhofes (Auer&Weber, 2018)





**Abb. 1.2:** Visualisierung des neu geplanten Hauptbahnhofes bzw. des Sarnberger Flügelbahnhofes (Auer&Weber, 2018)



**Abb. 1.3:** Lage des geplanten Bauvorhabens in München (Google Earth, 2018)

## **2 EXPERIMENTELLE VORGEHENSWEISE, WINDKANALVERSUCHE**

Für eine quantitative Prognose des Windkomforts bzw. Winddiskomforts in den Außenbereichen von Bauwerken müssen an definierten Messstellen die örtlichen Windgeschwindigkeiten und Windgeschwindigkeitsschwankungen mittels spezieller Messsonden bestimmt, statistisch aufbereitet und bewertet werden. Die Position der Messstellen wurden auf der Basis von Erfahrungswerten definiert und mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Die Windkanaluntersuchungen erfolgen an einem maßstäblich verkleinerten Modell (geometrischer Maßstab 1/300) des Gebäudes mit aktueller Umgebungsbebauung in einem Grenzschichtwindkanal. Die Windkanaluntersuchungen wurden für drei Konfigurationen durchgeführt (siehe Abb. 2.1 bis Abb. 2.3):

**Konfiguration 1:** SFB mit Umgebungsbebauung im Istzustand

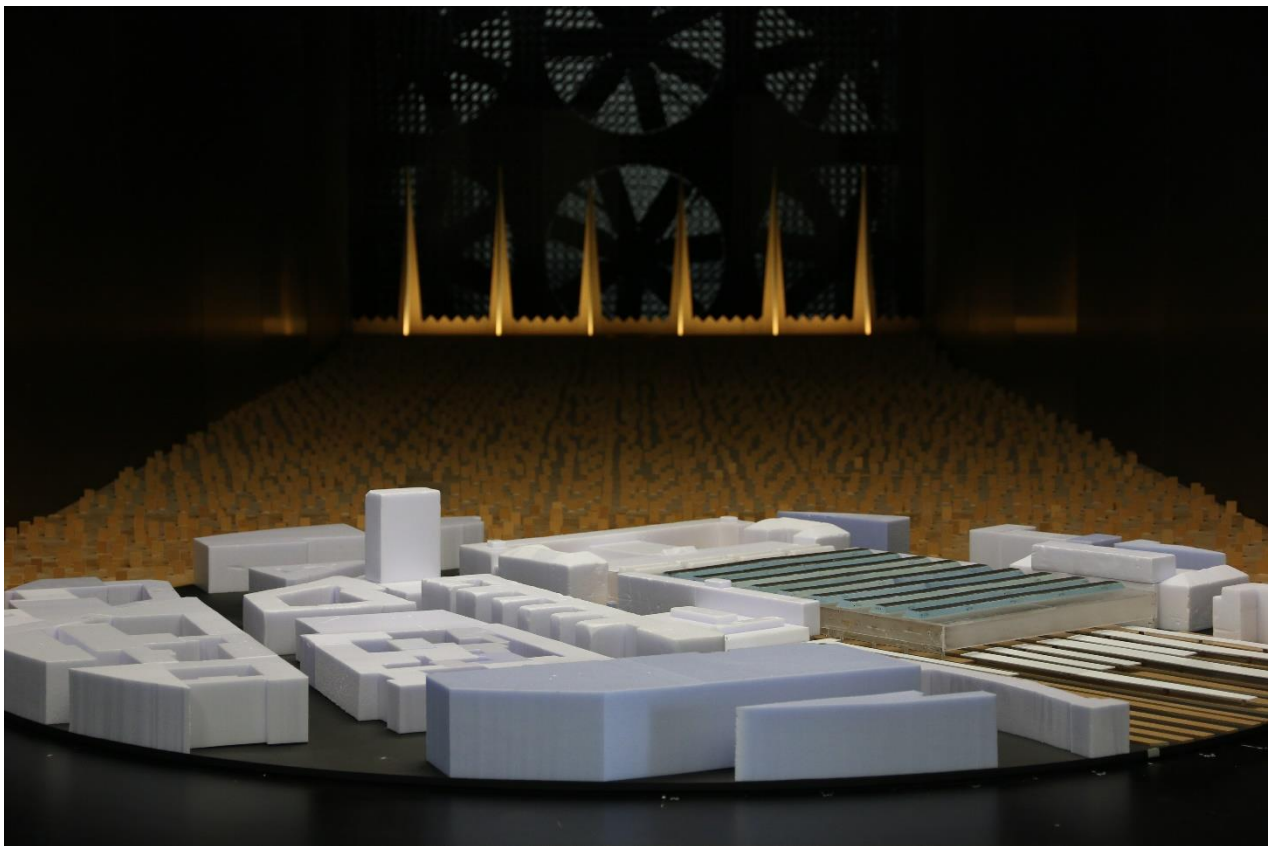
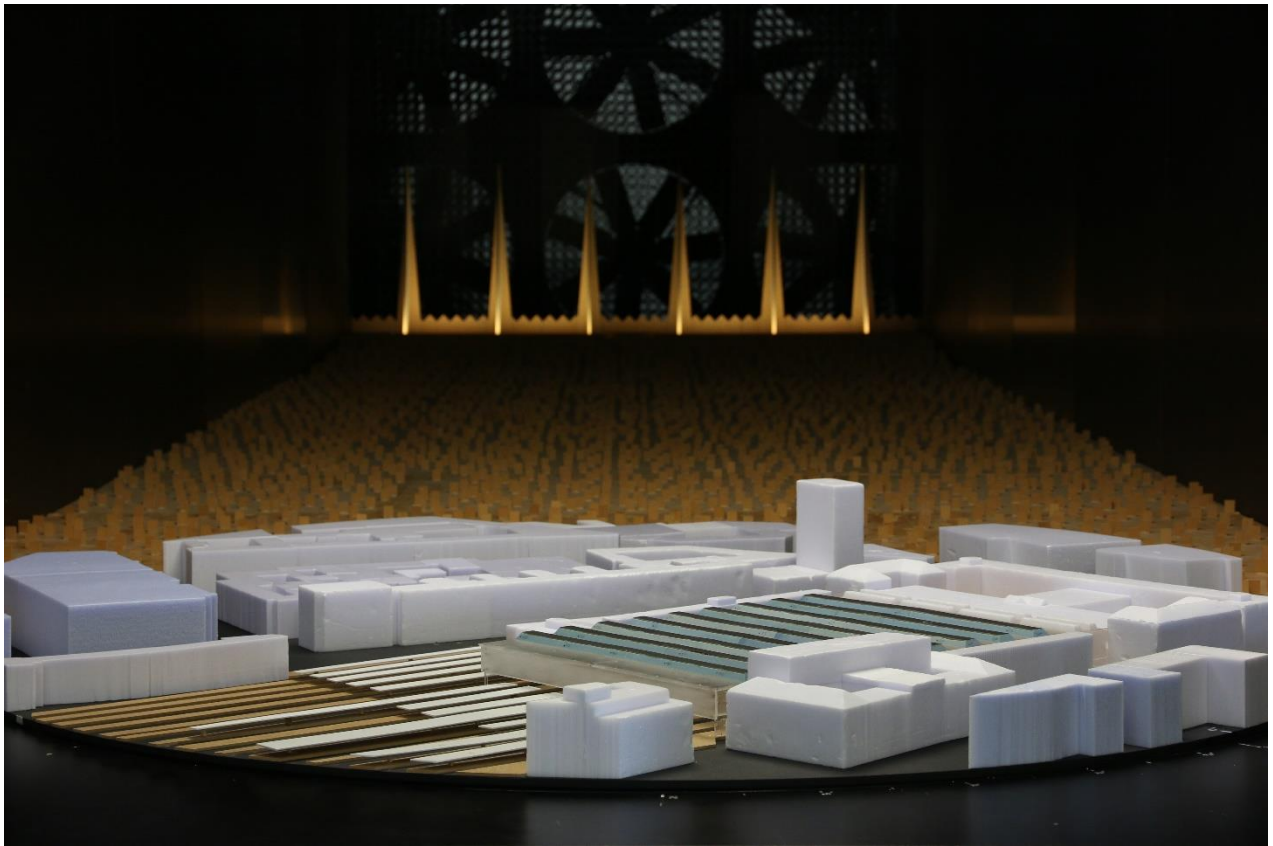
**Konfiguration 2:** SFB mit Umgebungsbebauung mit Neubebauung – ohne Vordach

**Konfiguration 3:** SFB mit Umgebungsbebauung mit Neubebauung – mit Vordach

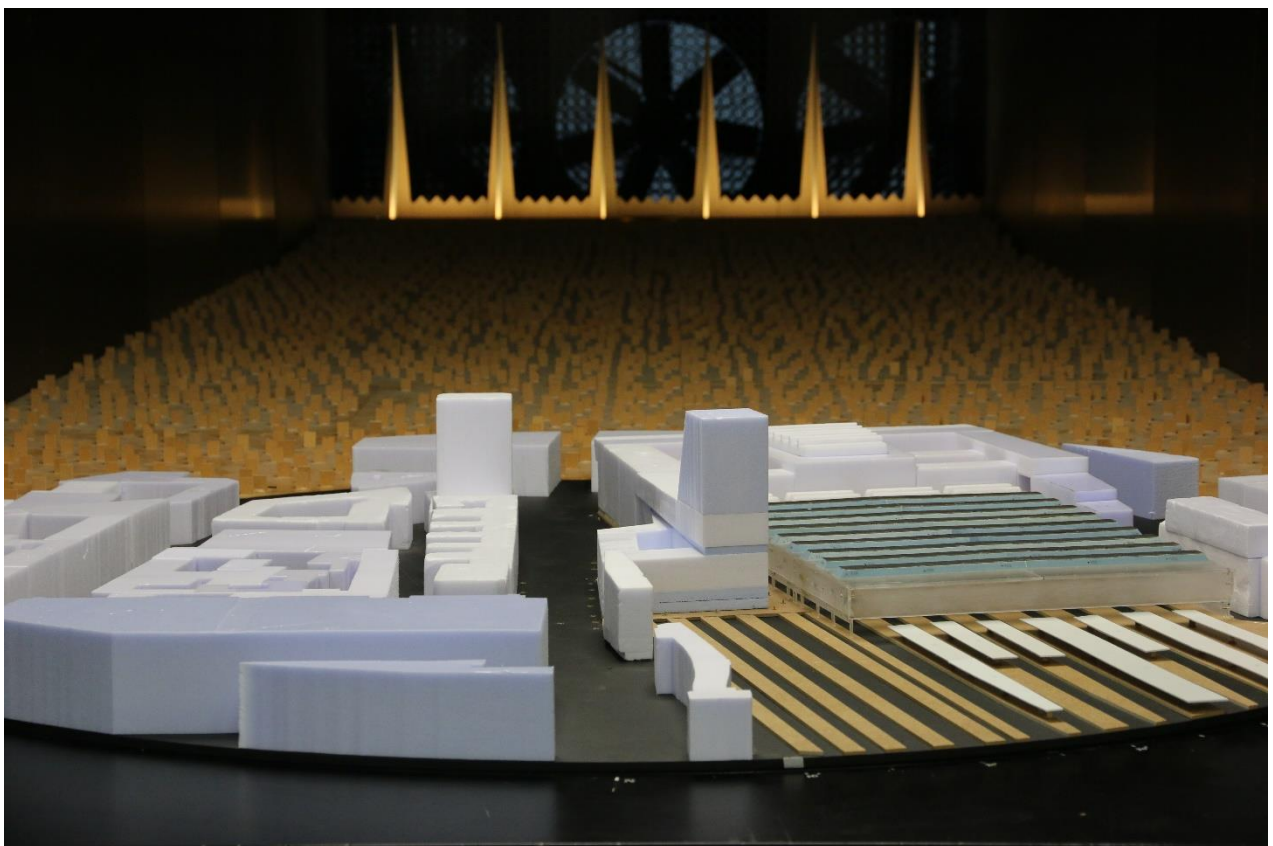
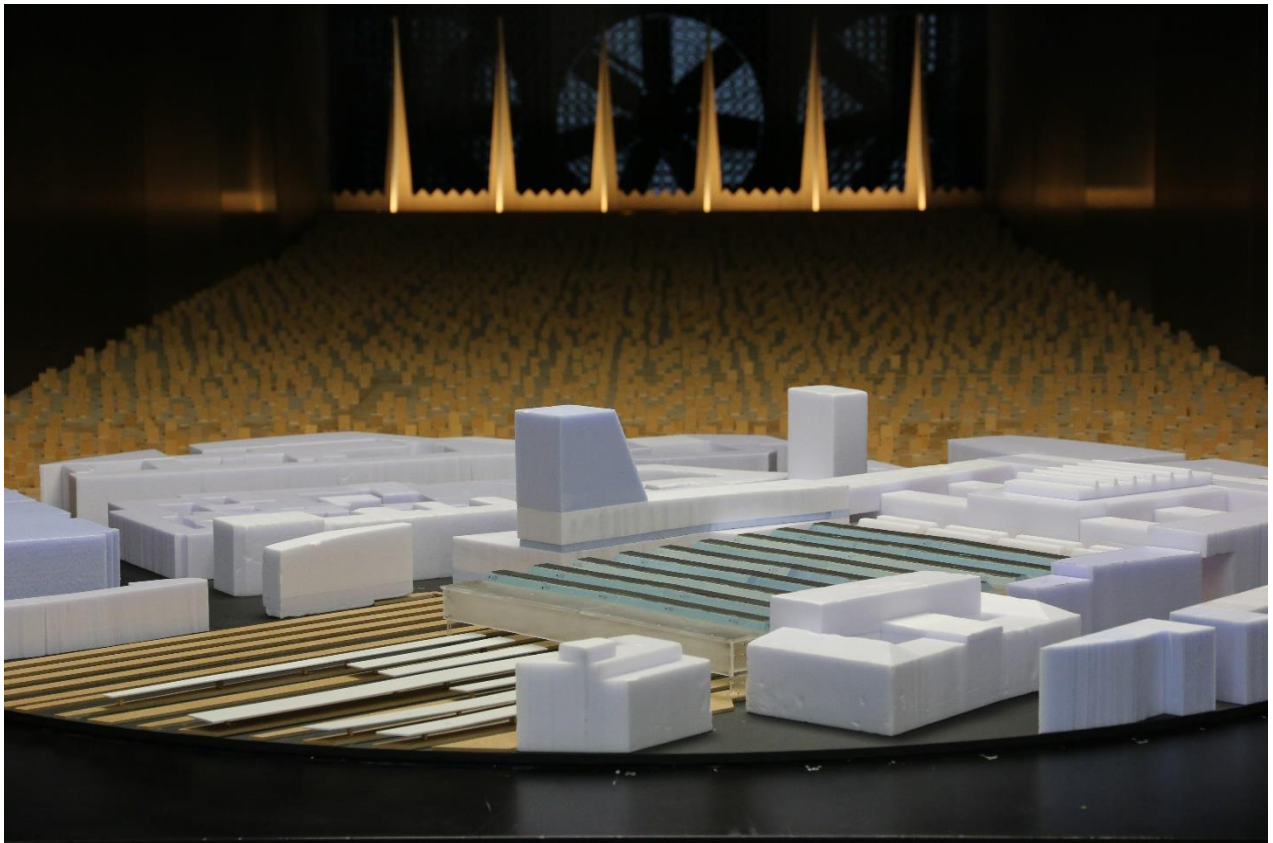
Die Messungen wurden unter Einhaltung der maßgeblichen Ähnlichkeitsgesetze (siehe Plate, 1982) durchgeführt. Die unmittelbare Umgebungsbebauung wurde, soweit sie einen entscheidenden Einfluss auf die Strömungsverhältnisse hat, nachgebildet. Strömungsmechanisch relevante Details wurden berücksichtigt.

Die für das Untersuchungsgebiet repräsentativen atmosphärischen Grenzschichtströmungsverhältnisse, d.h. die höhenabhängige Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeit und der Windböen (Turbulenz), werden mit Hilfe von Rauigkeitselementen auf dem Windkanalboden und sogenannten Vortex-Generatoren (Wirbelerzeugern) am Beginn der Windkanalteststrecke erzeugt. Das Modell ist auf einem Drehteller zur Simulation unterschiedlicher Windrichtungen angebracht.



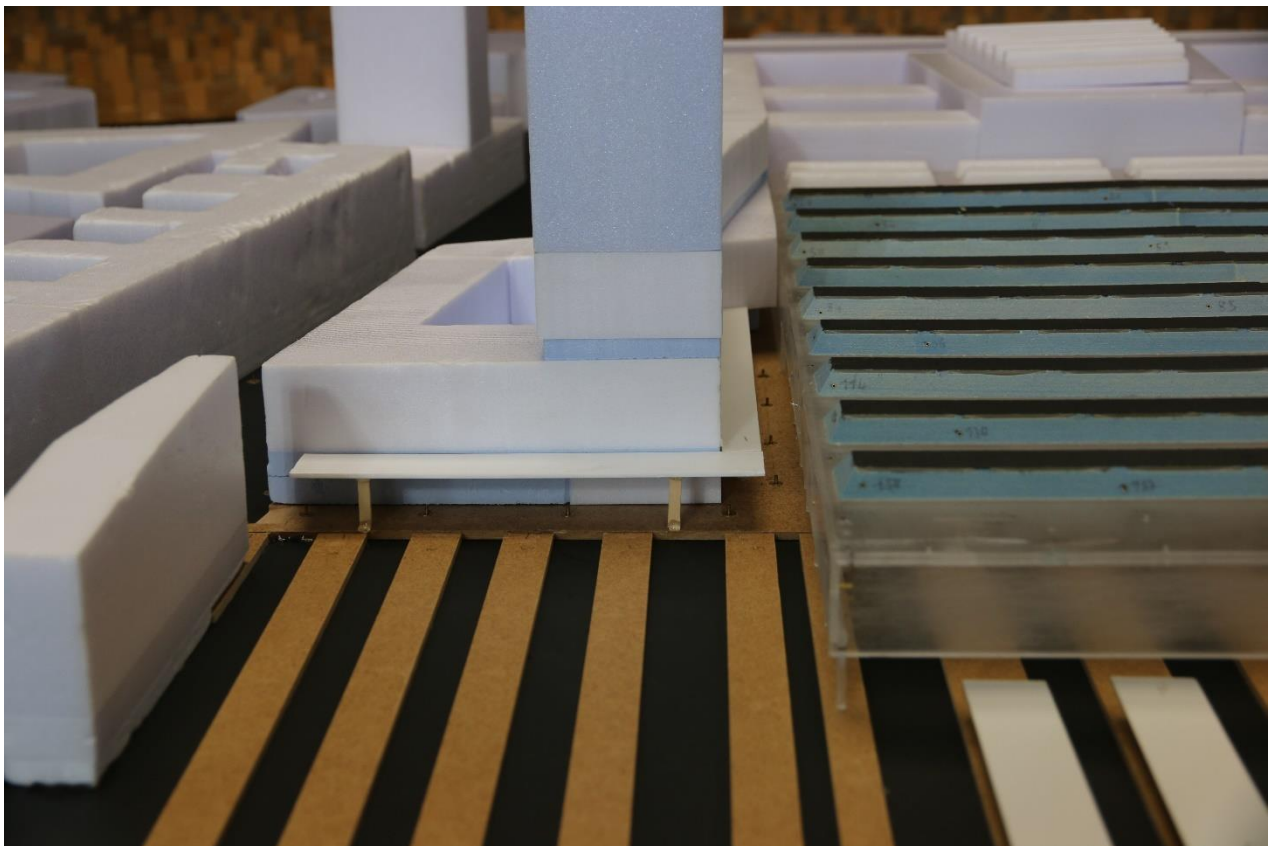
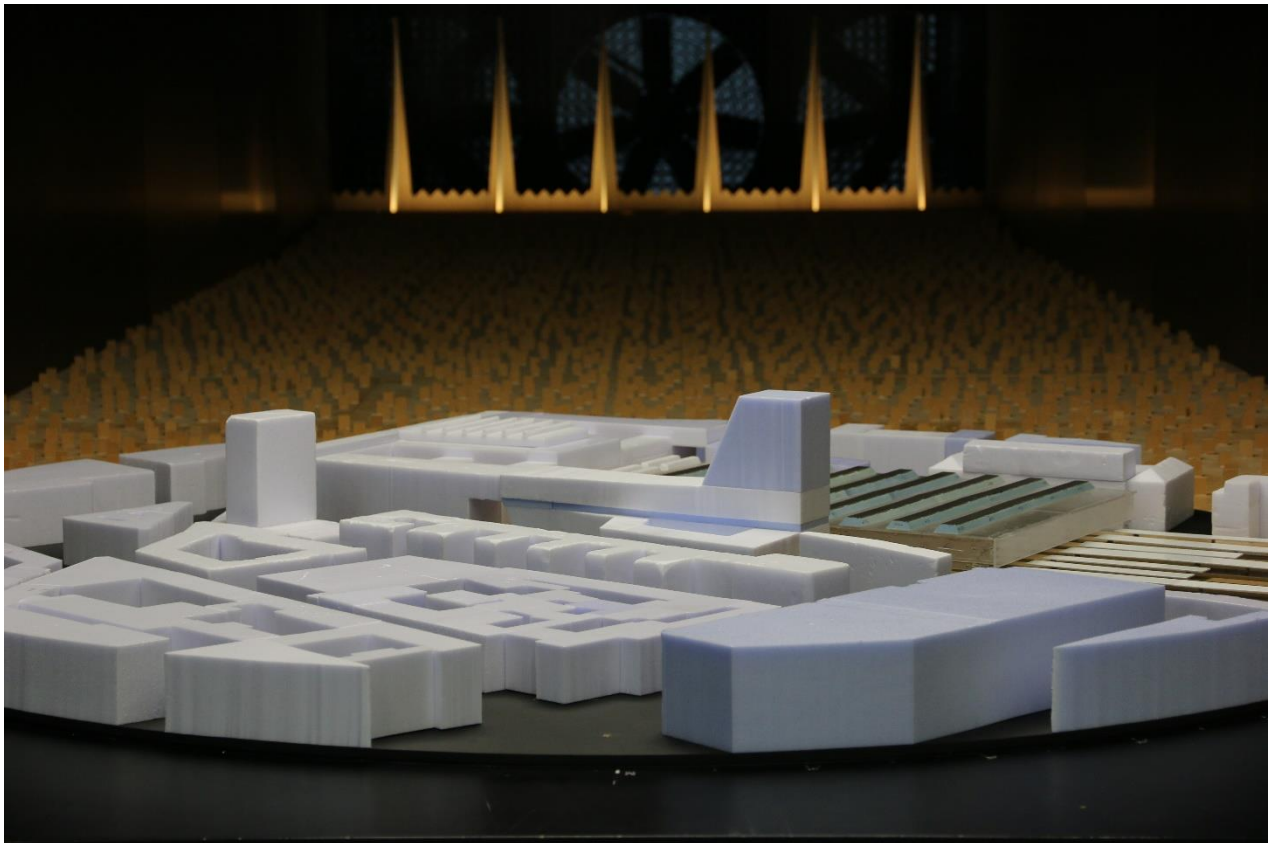


**Abb. 2.1:** Windkanalmodell des Starnberger Flügelbahnhofs am Hauptbahnhof München (Maßstab 1:300) im Grenzschichtwindkanal – Konfiguration 1: Istzustand



**Abb. 2.2:** Windkanalmodell des Starnberger Flügelbahnhofs am Hauptbahnhof München (Maßstab 1:300) im Grenzschichtwindkanal – Konfiguration 2: Neubebauung – ohne Vordach





**Abb. 2.3:** Windkanalmodell des Starnberger Flügelbahnhofs am Hauptbahnhof München (Maßstab 1:300) im Grenzschichtwindkanal – Konfiguration 3: Neubebauung – mit Vordach

## **2.1 Windklima am Standort**

Für die Bewertung des Windkomforts wurden langjährige Windklimadaten der Wetterstation München-Flughafen verwendet. Es wurden aus den Klimadaten spezifische Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten erstellt (Abb. 2.4 bis Abb. 2.6). Hierbei handelt es sich um durchschnittliche Häufigkeitsverteilungen. Es ist daher zu beachten, dass es in einzelnen Jahren zu Abweichungen vom Durchschnitt kommen kann.

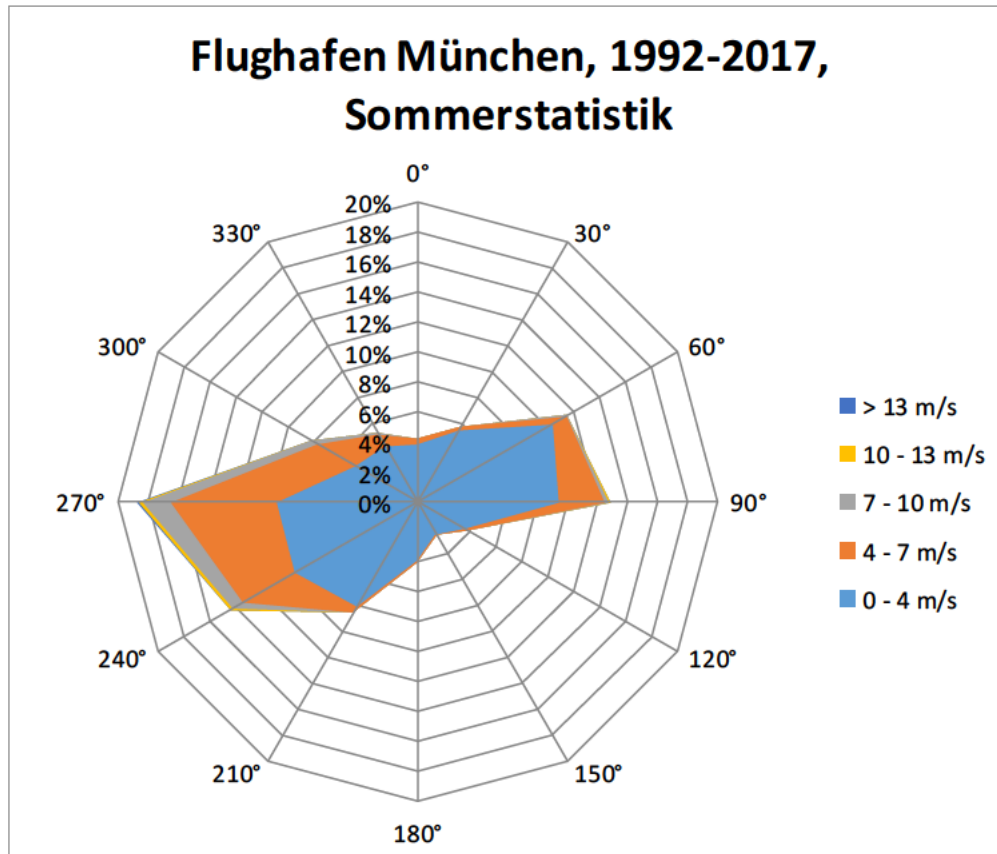
Für die Bewertung des Windkomforts im bodennahen Außenbereich des Gebäudes wurde eine Aufteilung der Windinformation in eine Sommer- und eine Winterstatistik (Abb. 2.4 und Abb. 2.5) durchgeführt. Für die Bewertung der Windsicherheit wurde die ganzjährige Windstatistik verwendet (Abb. 2.6).

Das Sommer- und Winterhalbjahr sind wie folgt definiert:

**Sommerhalbjahr:** Monate April – September

**Winterhalbjahr:** Monate Oktober - März

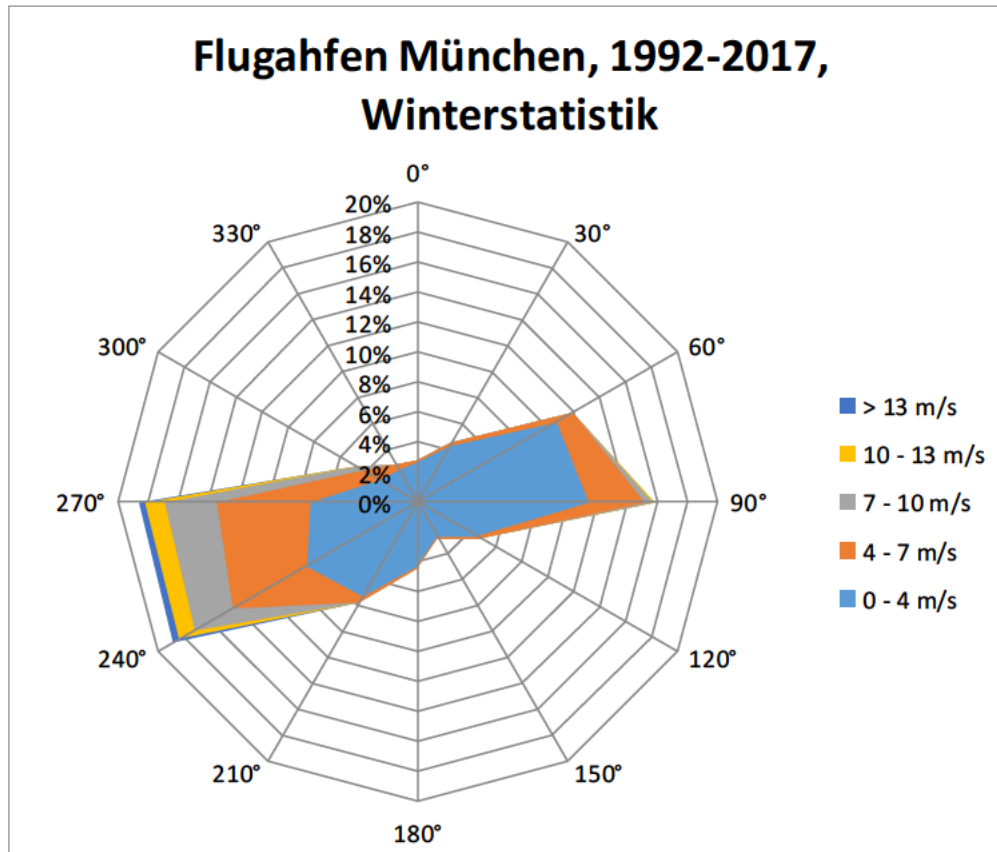
Für die Anwendung der Statistik wird der Einfluss der unterschiedlichen Bodenrauigkeiten von Messstation und Projektstandort nach DIN EN 1991-1-4/NA (2010) berücksichtigt.



Wind- richtung	Überschreitungshäufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten - Sommerjahresstatistik											
	0 m/s	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	13 m/s
0°	4.24%	3.27%	1.90%	0.82%	0.35%	0.10%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30°	5.79%	4.56%	2.49%	0.91%	0.31%	0.08%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60°	11.58%	9.97%	5.79%	2.67%	1.20%	0.47%	0.18%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
90°	12.85%	11.41%	8.13%	5.33%	3.36%	1.79%	0.92%	0.39%	0.17%	0.07%	0.02%	0.00%
120°	3.85%	2.79%	1.17%	0.46%	0.21%	0.08%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
150°	2.51%	1.65%	0.51%	0.14%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
180°	3.97%	2.97%	1.21%	0.43%	0.15%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
210°	8.52%	7.20%	3.50%	1.16%	0.46%	0.16%	0.05%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
240°	14.40%	13.47%	11.00%	7.42%	5.06%	3.05%	1.88%	1.07%	0.61%	0.33%	0.17%	0.02%
270°	18.63%	17.94%	16.11%	12.74%	9.29%	6.07%	3.95%	2.25%	1.28%	0.64%	0.33%	0.03%
300°	8.17%	7.52%	6.28%	4.68%	3.31%	2.00%	1.14%	0.53%	0.24%	0.11%	0.04%	0.00%
330°	5.32%	4.58%	3.33%	1.94%	1.00%	0.45%	0.19%	0.06%	0.03%	0.02%	0.01%	0.00%
Gesamt:	99.84%	87.32%	61.40%	38.70%	24.75%	14.29%	8.41%	4.39%	2.35%	1.19%	0.57%	0.06%

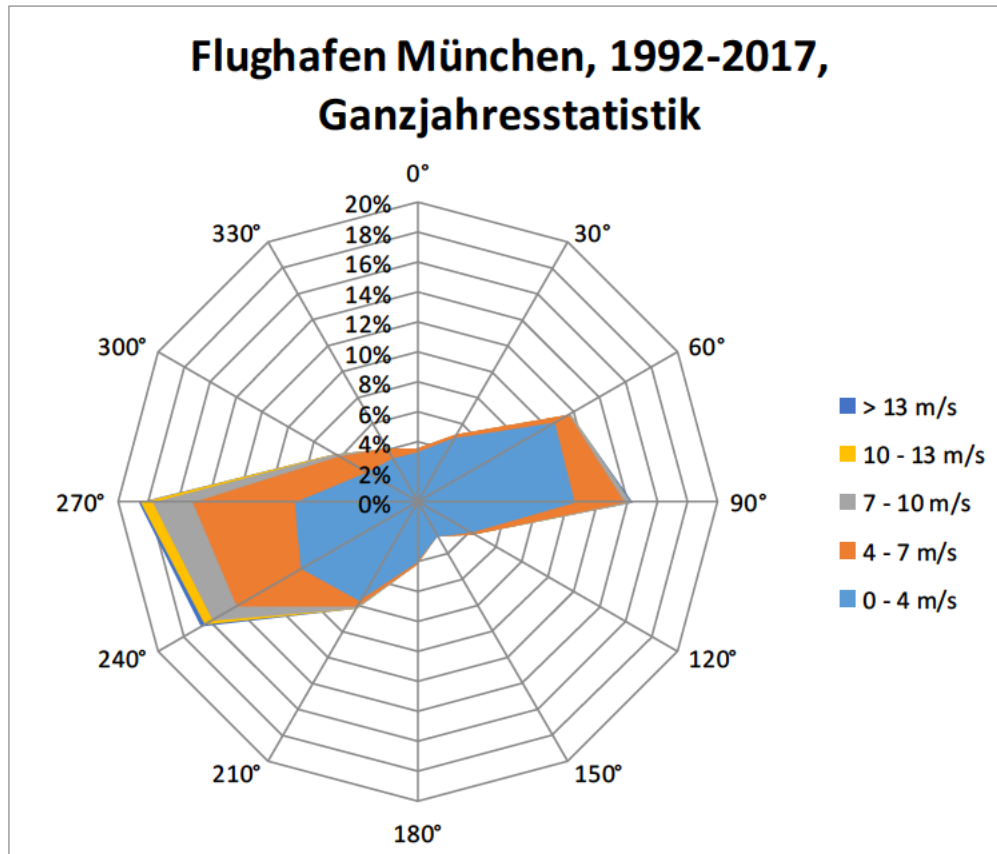
**Abb. 2.4:** Summenhäufigkeit in [%] für verschiedene mittlere Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen an der meteorologischen Station Frankfurt-Flughafen; Sommerhalbjahr April – September





Wind- richtung	Überschreitungshäufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten - Winterjahresstatistik											
	0 m/s	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	13 m/s
0°	2.80%	1.99%	1.07%	0.47%	0.21%	0.07%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30°	4.57%	3.54%	1.82%	0.70%	0.25%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60°	12.01%	10.60%	6.43%	2.92%	1.29%	0.48%	0.21%	0.08%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%
90°	15.80%	14.34%	10.49%	6.82%	4.31%	2.38%	1.29%	0.62%	0.31%	0.15%	0.08%	0.00%
120°	4.73%	3.59%	1.57%	0.62%	0.23%	0.08%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
150°	2.76%	1.82%	0.60%	0.17%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
180°	4.44%	3.39%	1.54%	0.49%	0.14%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
210°	7.74%	6.54%	3.43%	1.32%	0.53%	0.20%	0.07%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
240°	18.78%	17.88%	15.75%	12.78%	10.31%	7.83%	6.07%	4.53%	3.39%	2.41%	1.68%	0.49%
270°	18.57%	17.90%	16.38%	13.99%	11.54%	9.00%	7.07%	5.18%	3.80%	2.57%	1.75%	0.42%
300°	4.77%	4.23%	3.39%	2.55%	1.87%	1.24%	0.85%	0.53%	0.34%	0.20%	0.12%	0.02%
330°	2.87%	2.25%	1.48%	0.86%	0.48%	0.22%	0.10%	0.04%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%
Gesamt:	99.85%	88.08%	63.95%	43.69%	31.23%	21.62%	15.76%	11.03%	7.89%	5.35%	3.64%	0.93%

Abb. 2.5: Summenhäufigkeit in [%] für verschiedene mittlere Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen an der meteorologischen Station Frankfurt-Flughafen; Winterhalbjahr Oktober-März



Wind- richtung	Überschreitungshäufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten - Ganzjahresstatistik											
	0 m/s	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	13 m/s
0°	3.52%	2.64%	1.48%	0.65%	0.28%	0.09%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
30°	5.18%	4.05%	2.16%	0.81%	0.28%	0.07%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60°	11.80%	10.28%	6.11%	2.79%	1.25%	0.47%	0.19%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%
90°	14.32%	12.87%	9.31%	6.07%	3.83%	2.08%	1.10%	0.51%	0.24%	0.11%	0.05%	0.00%
120°	4.29%	3.19%	1.37%	0.54%	0.22%	0.08%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
150°	2.63%	1.73%	0.55%	0.15%	0.05%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
180°	4.21%	3.18%	1.38%	0.46%	0.14%	0.03%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
210°	8.13%	6.87%	3.47%	1.24%	0.50%	0.18%	0.06%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%
240°	16.58%	15.67%	13.36%	10.09%	7.67%	5.43%	3.96%	2.79%	1.99%	1.36%	0.92%	0.25%
270°	18.60%	17.92%	16.24%	13.36%	10.41%	7.53%	5.50%	3.71%	2.53%	1.60%	1.04%	0.23%
300°	6.48%	5.88%	4.84%	3.62%	2.59%	1.63%	1.00%	0.53%	0.29%	0.16%	0.08%	0.01%
330°	4.10%	3.42%	2.41%	1.40%	0.75%	0.34%	0.15%	0.05%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%
<b>Gesamt:</b>	<b>99.84%</b>	<b>87.70%</b>	<b>62.67%</b>	<b>41.18%</b>	<b>27.97%</b>	<b>17.94%</b>	<b>12.06%</b>	<b>7.69%</b>	<b>5.10%</b>	<b>3.26%</b>	<b>2.10%</b>	<b>0.49%</b>

**Abb. 2.6:** Summenhäufigkeit in [%] für verschiedene mittlere Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen an der meteorologischen Station Frankfurt-Flughafen;  
**Ganzjahresstatistik**

## 2.2 Quantitative Ermittlung des Windkomforts

Die Fußgänger-Behaglichkeit, der sogenannte Windkomfort, wird in der Literatur in der Regel über die Häufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten am Untersuchungsstandort quantifiziert. Bei der Bewertung müssen daher das regionale Windklima sowie lokale Beschleunigungs- und Abschattungseffekte bedingt durch die umgebende Bebauung berücksichtigt werden.

Zur Quantifizierung des Windkomforts entwickelten Gandemer und Guyot (1976) den Geschwindigkeitsfaktor  $X_i$ :

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

mit  $\overline{U}$ : zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit;  $\sigma$ : Standardabweichung der Windgeschwindigkeitsschwankungen und  $\gamma$ : Wichtungsfaktor.

$X_i$  ist der Quotient der lokalen, durch die Bebauung beeinflussten Windgeschwindigkeit (Index „mB“) und der ungestörten Bezugsgeschwindigkeit ohne Bebauung (Index „oB“) an derselben Stelle auf Fußgängerniveau (etwa 1.5 m über Boden). Über die Standardabweichung  $\sigma$  und den Wichtungsfaktor  $\gamma$  kann die Böigkeit des Windes berücksichtigt werden. In der Literatur schwanken die Werte für den Wichtungsfaktor  $\gamma$  zwischen 1 und 4 (z.B. Gandemer, 1982). Zur Beurteilung des Windkomforts werden in aller Regel Wichtungsfaktoren zwischen 0 und 1.5, zur Beurteilung der Windsicherheit Werte zwischen 3 und 3.5 gewählt. Beide Bezugsgeschwindigkeiten können im Windkanalmodell z.B. mit Hitzdrahtsonden, Laser-Doppler-Anemometern oder Irwin-Sensoren gemessen werden. Dabei werden die zeitlich gemittelten Windgeschwindigkeiten und die Windgeschwindigkeitsschwankungen am Messpunkt (mit Bebauung) und in ungestörter Strömung (ohne Bebauung) auf Fußgängerniveau 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. Die  $X_i$ -Faktoren werden anhand von Messungen im Windkanal bestimmt.

Im Anschluss werden die Geschwindigkeitsfaktoren mit dem Windklima am Standort gekoppelt. Das Windklima wird dabei anhand einer statistischen Auswertung von langjährigen Messreihen (z.B. von Flughäfen) ermittelt. Daraus können dann Aussagen darüber getroffen werden, wie häufig eine bestimmte Geschwindigkeit am Messpunkt überschritten wird.

### **2.3 Komfortkriterien**

Bei vorliegendem Projekt wurden Messpunkte im bodennahen Außenbereich des Starnberger Flügelbahnhof angeordnet. Im Folgenden werden die für das Umfeld des Gebäudes relevanten Kriterien erläutert.

Je nach geplanter Nutzung der Außenbereiche werden unterschiedliche Anforderungen an den Windkomfort gestellt. Bei einem Café sollte längeres Sitzen möglich sein und dementsprechend geringere Windgeschwindigkeiten vorherrschen. Auf reinen Verkehrsflächen werden hingegen höhere Windgeschwindigkeiten weniger als störend empfunden. Aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien und aus langjähriger Erfahrung in der Bearbeitung von Windkomfort-Fragestellungen wurden daher die in Tab. 2.1 aufgeführten Windkomfort-Kriterien erstellt, anhand derer der Komfort für unterschiedliche Aktivitäten bewertet wird. Diese Kriterien erfüllen u.a. auch die Anforderungen der holländischen Norm (NEN 8100, 2005), die als bisher einzige Windkomfort-Norm im europäischen Raum eingeführt wurde.

Für einen Bereich, in dem ein Café entstehen soll, wäre demnach die Klasse 1 erstrebenswert. Zu beachten ist, dass die Bewertung des Windkomforts stets ein subjektives Empfinden ist. Die Kriterien wurden jedoch so gewählt, dass die Bewertung für einen Großteil der Passanten zutrifft.

Da manche Aktivitäten eher in den Sommermonaten stattfinden (etwa Aufenthalt in Cafés oder auf Spielplätzen), kann die Klassifizierung des Windkomforts getrennt für das Sommer- und Winterhalbjahr ermittelt werden.

Neben dem Windkomfort wird stets auch das Sicherheitskriterium (Klasse 6) überprüft. Das Sicherheitskriterium besagt, dass eine mittlere Geschwindigkeit von  $> 15$  m/s in weniger als 26 h pro Jahr (entspricht ca. 0,3% der Jahresstunden) auftreten sollte, bzw. eine Böenwindgeschwindigkeit von  $> 25$  m/s in weniger als 9 h pro Jahr (0,1%). Bei so hohen Windgeschwindigkeiten besteht die Gefahr, dass Passanten umgeweht werden. In Bereichen, die in Klasse 6 eingestuft werden, ist diese potenzielle Gefährdung inakzeptabel hoch. Windschutzmaßnahmen sind hier erforderlich. Für die Beurteilung der Gefährdung wird stets die Ganzjahresstatistik herangezogen.

Windkomfortkriterien						Beispiele für mögliche Nutzung
Grenzgeschwindigkeit [m/s]	Überschreitung [% - Jahresstunden]	Klasse	Aktivitäten			
			Durchqueren	Schlendern	Sitzen	
$U_m = 5 \text{ m/s}$	< 2.5	1	Gut	Gut	Gut	Cafés, Sitzplätze
$U_{Böe,eff} = 6 \text{ m/s}$ (4 m/s)*	< 5.0					
$U_m = 5 \text{ m/s}$	2.5 - 5.0	2	Gut	Gut	Moderat	Wartebereiche, Parkanlagen
$U_m = 5 \text{ m/s}$	5.0 - 10.0	3	Gut	Moderat	Schlecht	Einkaufspassagen, Eingänge
$U_m = 5 \text{ m/s}$	10.0 - 20.0	4	Moderat	Schlecht	Schlecht	Gehwege
$U_m = 5 \text{ m/s}$	> 20.0	5	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Windschutz erforderlich
$U_m = 15 \text{ m/s}$	> 0.05					
$U_{Böe,eff} = 13 \text{ m/s}$	> 1.0					
Sicherheitskriterien						
$U_m = 15 \text{ m/s}$	> 0.3	6	pot. Gefährdung			Windschutz erforderlich
$U_{Spitzenböe} = 25 \text{ m/s}$	> 0.1					

\*: bei kalter Witterung

**Tab. 2.1:** Kriterien zur Beurteilung der Windverhältnisse in Außenbereichen (nach Gandemer und Guyot 1976, Hunt 1976, Williams et al. 1990, Ratcliff und Peterka 1990), NEN 8100, 2005, ASCE, 2004

Zu beachten ist, dass für den empfundenen Komfort von Personen neben den Windverhältnissen und der Aktivität noch weitere Parameter eine Rolle spielen, etwa die Temperatur, die Luftfeuchte, die Sonnenstrahlung oder die Bekleidung. Diese werden in der Untersuchung nicht berücksichtigt.

## 2.4 Beschreibung der Versuchsvarianten

Die Bestimmung der Geschwindigkeitsfaktoren  $X_i$  wurden an insgesamt 34 Punkten im bodennahen Umgebungsbereich des Hochhauses durchgeführt. Die Positionen der Messstellen wurden anhand von Erfahrungswerten an besonders gefährdeten Zonen sowie nutzungssensiblen Bereichen gewählt und sind in Abb. 2.7 (Istzustand) und Abb. 2.8 (Neubebauung) definiert. Die Messungen wurden für insgesamt 24 Anströmrichtungen in 15°-Schritten in ca. 1.5 m Höhe (entspricht ca. 5 mm im Modell) über der jeweiligen Bodenoberfläche durchgeführt und erfolgten mit druckbasierten Geschwindigkeitssensoren (Irwin-Sensoren) siehe Abb. 2.9 und Abb. 2.10.



# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich



● Messpositionen



Abb. 2.7: Bezeichnungen und Positionen der Messstellen der Windkomfortmessung im bodennahen Außenbereich – Konfiguration 1: Istzustand

# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich



● Messpositionen

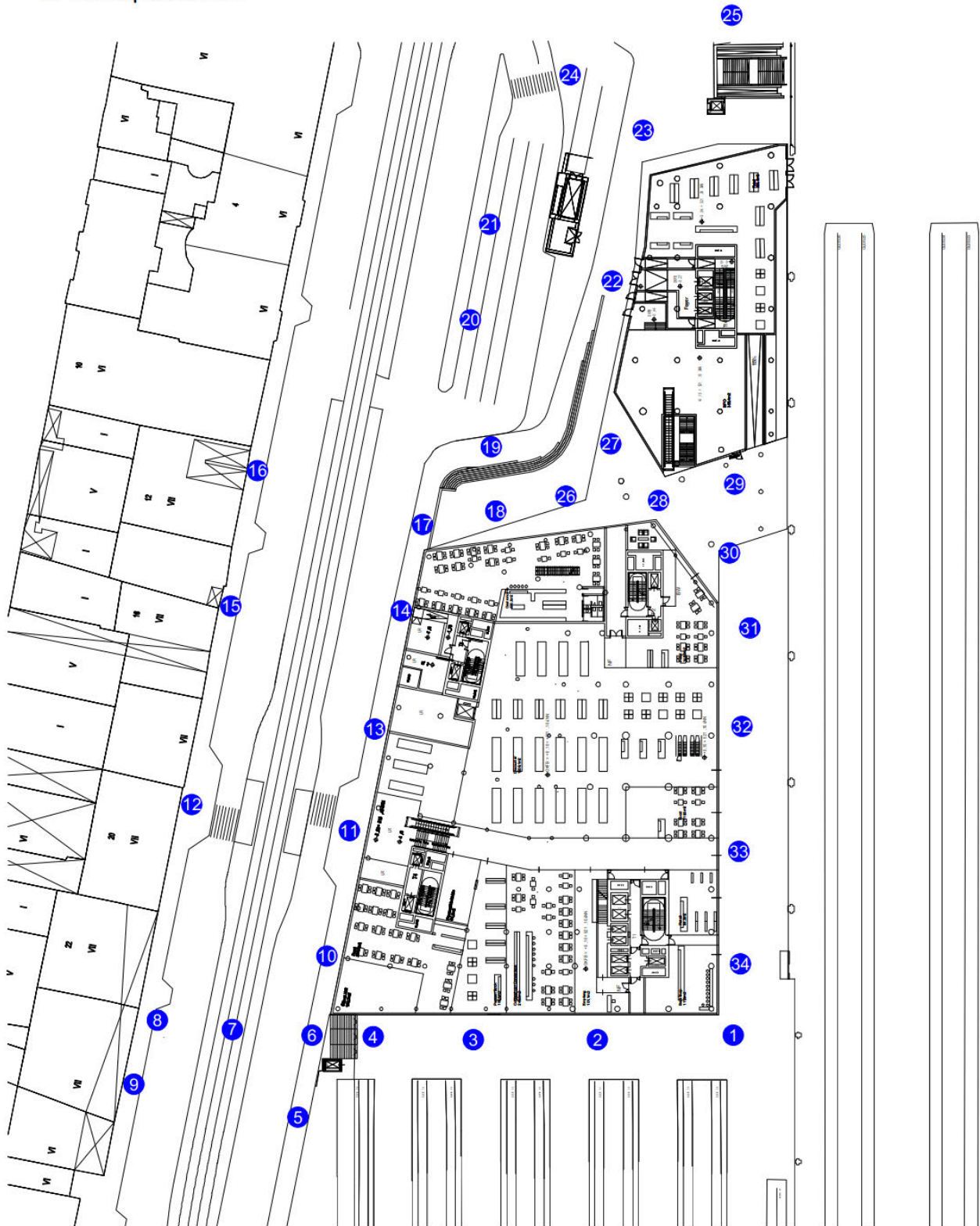
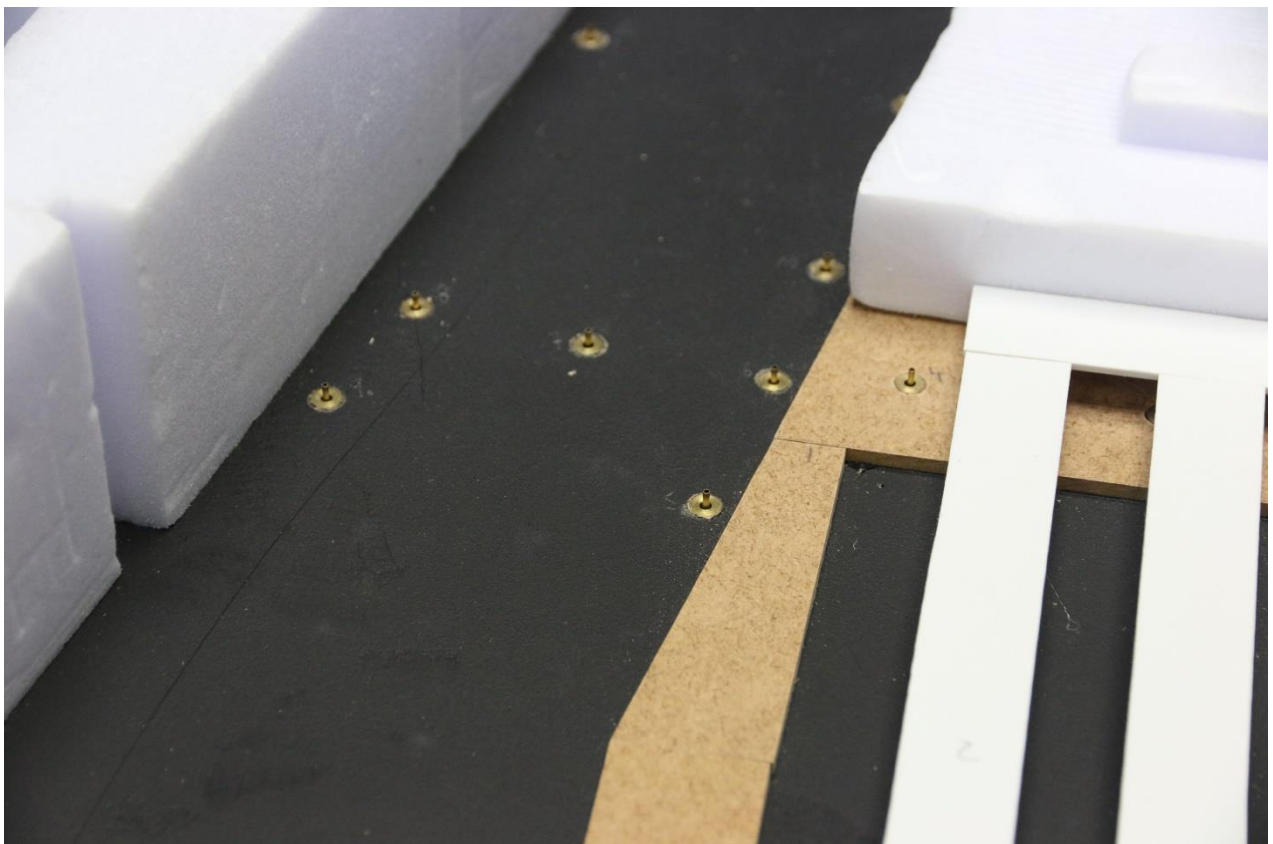
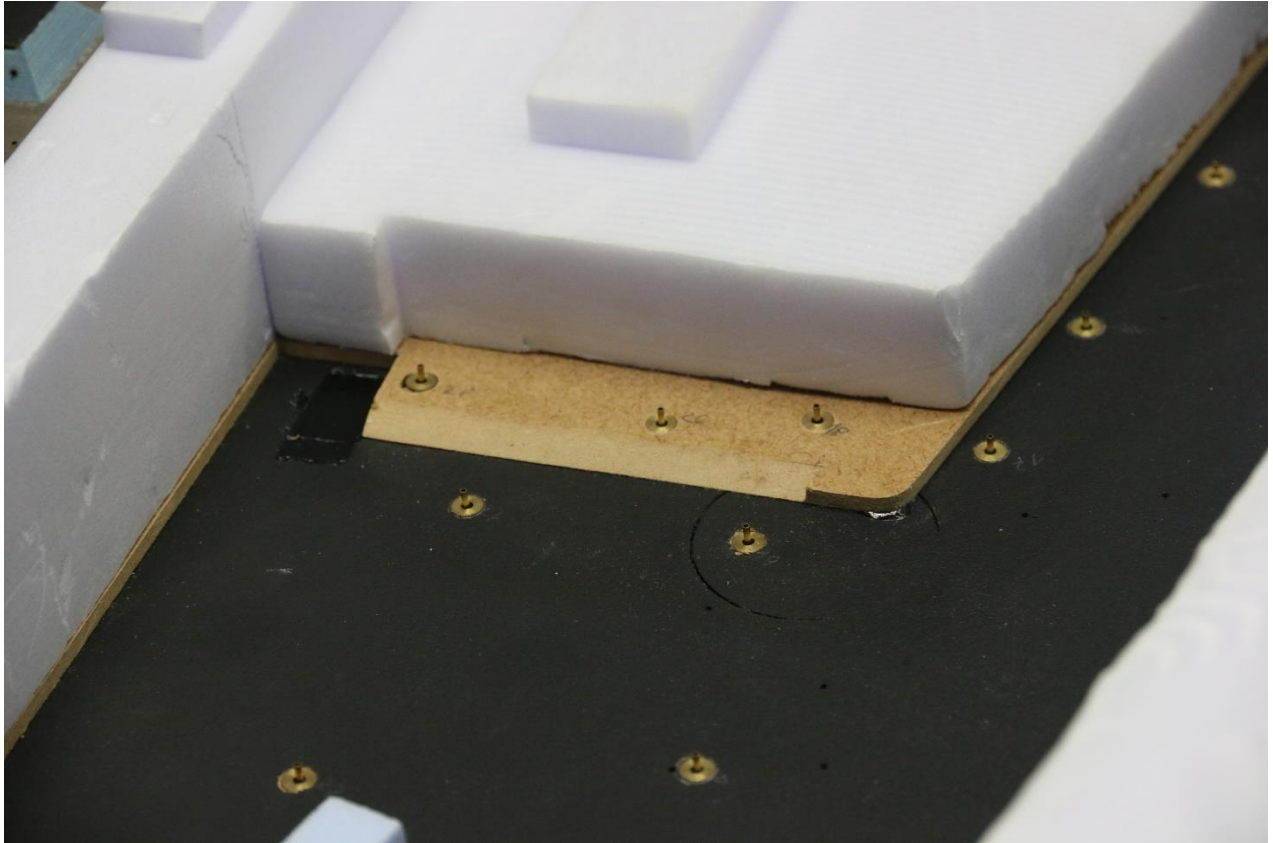
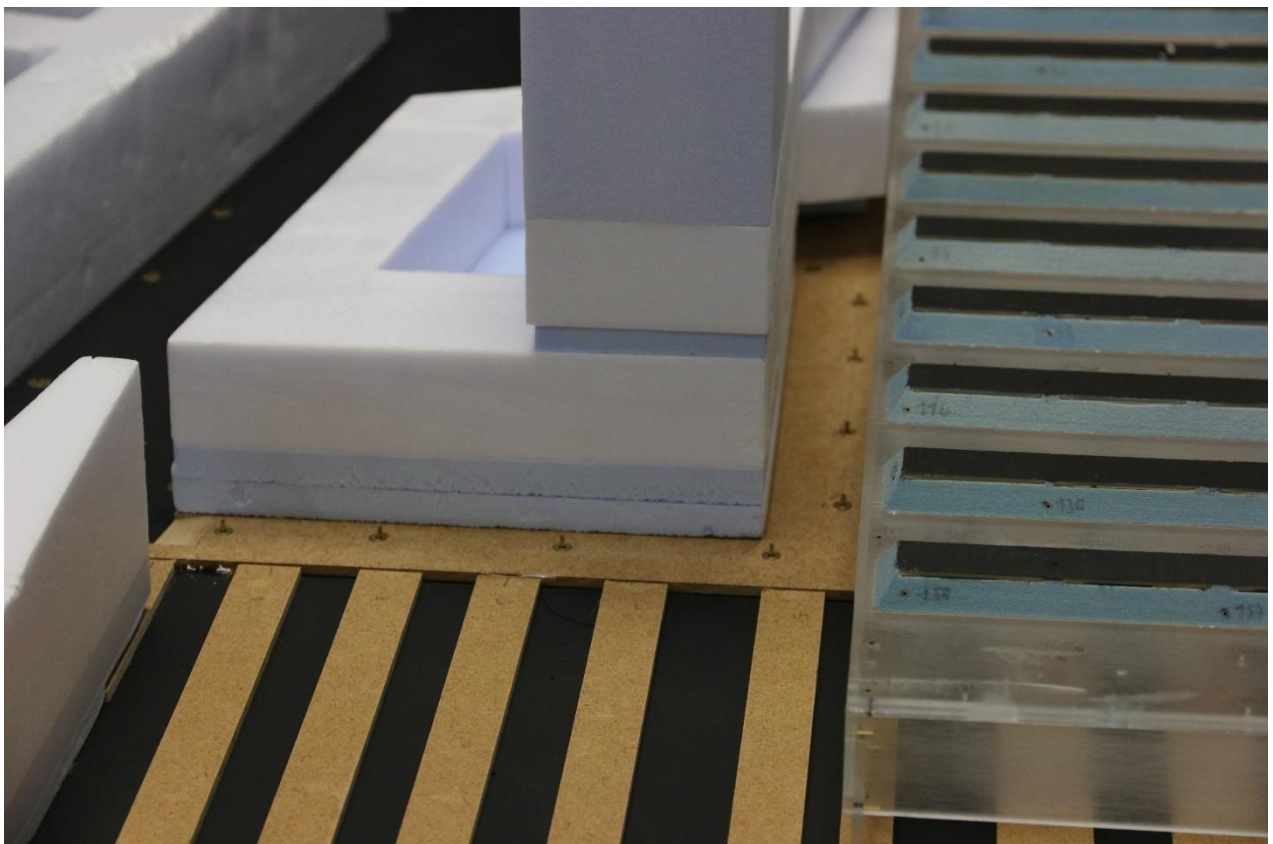
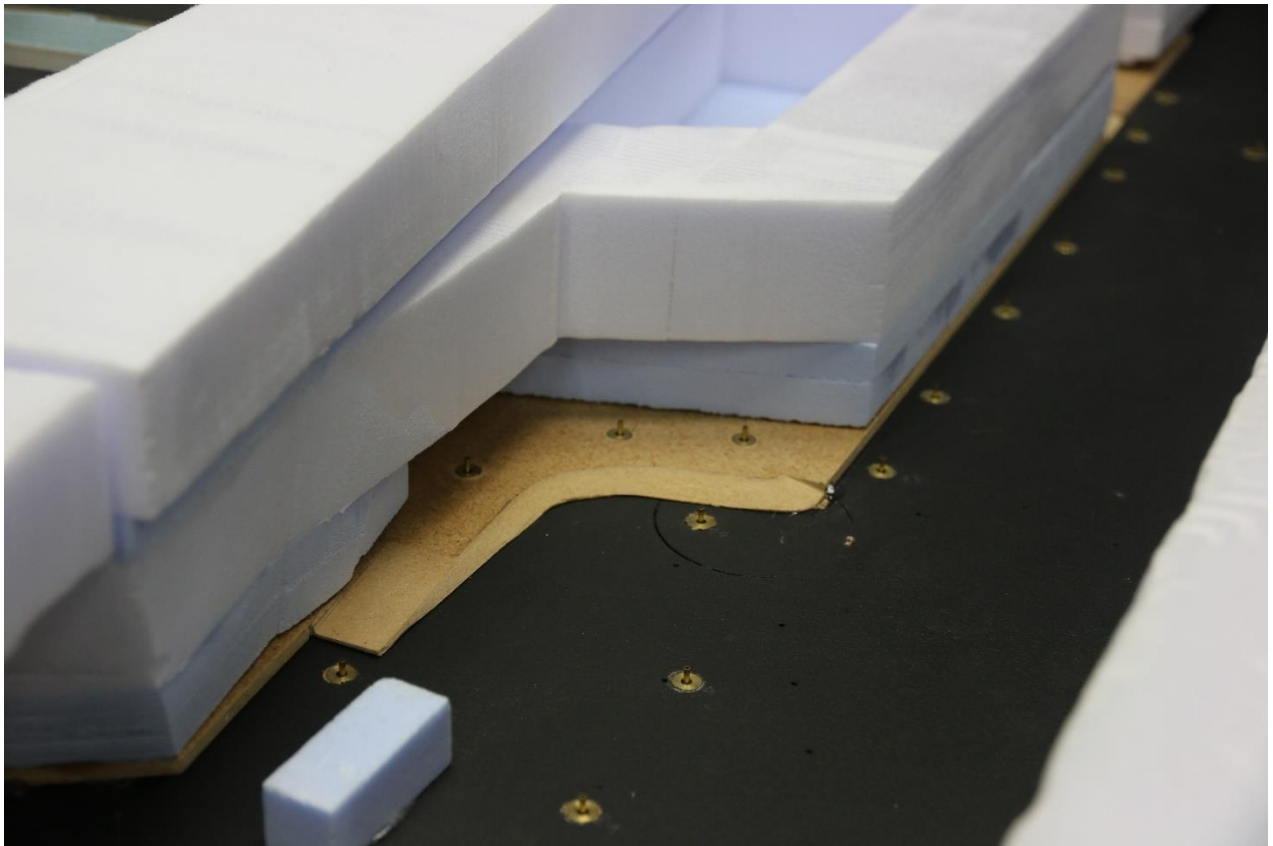


Abb. 2.8: Bezeichnungen und Positionen der Messstellen der Windkomfortmessung im bodennahen Außenbereich – Konfiguration 2 und 3: Neubebauung



**Abb. 2.9:** Windkanalmodell mit Geschwindigkeitssensoren in Bodennähe (Irwin Sonden)





**Abb. 2.10:** Windkanalmodell mit Geschwindigkeitssensoren in Bodennähe (Irwin Sonden)

### **3 ERGEBNISSE DER WINDKOMFORTUNTERSUCHUNGEN**

#### **3.1 Windkomfort am Standort als Referenz**

Die Winddaten der verfügbaren Wetterstation zeigen, dass die häufigsten und größten Windgeschwindigkeiten aus westlichen Windrichtungen zu erwarten sind. Um die nachfolgenden Ergebnisse einschätzen zu können, wurde zunächst der Windkomfort in Fußgängerhöhe  $h = 1.5 \text{ m}$  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, 2010) und ein konstanter Erhöhungsfaktor  $X_i = 1$  aus allen Windrichtungen angenommen.

Im Sommer kann dem Standort ohne Bebauungseinfluss ein gutes Windklima zugeordnet werden, welches sich ohne weitere Windschutzmaßnahmen für Wartebereiche und Parkanlagen eignet. Im Winter stellt sich erwartungsgemäß ein etwas raueres Windklima ein. Dennoch sind am Standort auch in den Monaten zwischen Oktober und März gute bis moderate Verhältnisse für Aktivitäten in Bewegung zu erwarten.

#### **3.2 Windkomfort im bodennahen Außenbereich, Situation 1: Istzustand**

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 Erhöhungsfaktoren  $X_i$  für sämtliche Windrichtungen und Messpunkte sind in Tab. 3.1 (Konfiguration 1: Istzustand) 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 %.

Aus der Kopplung der windrichtungsabhängigen Erhöhungsfaktoren mit der Windstatistik werden die Häufigkeiten bestimmt, mit denen bestimmte Grenzgeschwindigkeiten überschritten werden. Hierbei wird die Auswertung für das Sommerhalbjahr und das Winterhalbjahr getrennt bewertet, da der Nutzungsschwerpunkt der Außenanlagen üblicherweise im Sommer liegt. Jeder Messpunkt wird anhand dieser Häufigkeiten nach den Komfortkriterien in die entsprechenden Windkomfortstufen eingeordnet.

Für die vorliegende Konfiguration ist nur selten mit Windbeschleunigungen gegenüber dem unbebauten Fall zu rechnen. Die höchsten Beschleunigungen für Konfiguration 1 treten am nördlichen Eingang zur Bahnhofshalle (MP 24) auf. Maßgebend für die Bewertung des



Windkomforts ist aber auch, wie häufig mit den Windrichtungen zu rechnen ist, an denen die größten Erhöhungsfaktoren auftreten. Für andere Windrichtungen dagegen hat die Bebauung einen abschattenden Effekt, was zu einer Verlangsamung der Luftströmung und damit zu günstigeren Windverhältnissen führt.

$X_i$ ( $\gamma = 1.5$ )												
Messpunkt	Windrichtung $\beta$ [°] (0° = Nord)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	0.44	0.38	0.34	0.29	0.31	0.35	0.36	0.40	0.43	0.44	0.44	0.46
2	0.42	0.35	0.32	0.30	0.37	0.44	0.45	0.46	0.44	0.42	0.41	0.47
3	0.48	0.38	0.34	0.30	0.38	0.48	0.45	0.40	0.35	0.38	0.50	0.52
4	0.56	0.41	0.35	0.36	0.40	0.47	0.46	0.44	0.43	0.49	0.59	0.62
5	0.47	0.34	0.42	0.58	0.63	0.54	0.54	0.61	0.66	0.61	0.48	0.61
6	0.32	0.26	0.45	0.63	0.67	0.56	0.54	0.61	0.63	0.59	0.46	0.52
7	0.51	0.39	0.53	0.69	0.79	0.75	0.79	0.92	0.91	0.87	0.65	0.67
8	0.35	0.35	0.52	0.60	0.73	0.66	0.70	0.84	0.89	0.94	0.54	0.42
9	0.48	0.44	0.52	0.59	0.71	0.63	0.64	0.71	0.80	0.91	0.51	0.46
10	0.29	0.29	0.48	0.65	0.70	0.55	0.54	0.66	0.79	0.79	0.58	0.49
11	0.32	0.33	0.54	0.66	0.70	0.56	0.51	0.57	0.59	0.55	0.48	0.44
12	0.39	0.43	0.58	0.63	0.76	0.67	0.67	0.84	0.92	0.92	0.60	0.47
13	0.31	0.33	0.49	0.58	0.66	0.55	0.49	0.56	0.57	0.54	0.49	0.41
14	0.32	0.35	0.45	0.55	0.68	0.56	0.50	0.60	0.61	0.57	0.51	0.39
15	0.43	0.52	0.58	0.62	0.81	0.72	0.67	0.77	0.86	0.81	0.56	0.43
16	0.38	0.48	0.48	0.54	0.80	0.72	0.60	0.72	0.83	0.79	0.55	0.40
17	0.31	0.39	0.57	0.63	0.66	0.56	0.52	0.61	0.59	0.54	0.46	0.33
18	0.60	0.63	0.65	0.62	0.62	0.55	0.54	0.60	0.48	0.34	0.35	0.41
19	0.55	0.59	0.62	0.58	0.58	0.55	0.64	0.71	0.57	0.42	0.40	0.44
20	0.60	0.65	0.86	0.82	0.82	0.79	0.70	0.80	0.70	0.60	0.53	0.55
21	0.67	0.72	0.93	0.87	0.84	0.86	0.74	0.87	0.77	0.65	0.59	0.66
22	0.80	0.74	0.77	0.63	0.50	0.49	0.50	0.65	0.61	0.49	0.52	0.72
23	0.91	0.79	0.87	0.77	0.65	0.58	0.44	0.45	0.52	0.48	0.58	0.83
24	0.99	1.05	1.10	0.93	0.83	0.83	0.65	0.65	0.66	0.58	0.65	0.82
25	0.55	0.53	0.42	0.37	0.33	0.37	0.42	0.38	0.43	0.55	0.71	0.70
26	0.56	0.61	0.57	0.53	0.57	0.50	0.55	0.74	0.63	0.39	0.36	0.42
27	0.63	0.65	0.59	0.54	0.48	0.43	0.52	0.73	0.64	0.47	0.48	0.55
28	0.56	0.61	0.54	0.54	0.57	0.46	0.39	0.43	0.35	0.29	0.35	0.45
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	0.44	0.26	0.23	0.23	0.22	0.21	0.21	0.22	0.21	0.26	0.41	0.49
33	0.62	0.32	0.25	0.25	0.27	0.27	0.28	0.21	0.17	0.30	0.60	0.70
34	0.62	0.37	0.32	0.32	0.34	0.29	0.27	0.29	0.38	0.46	0.60	0.71

Tab. 3.1: Erhöhungsfaktoren  $X_i$  an den in Abb. 2.7 angegebenen Messpunkten im bodennahen Außenbereich im Vergleich zur unbebauten Referenzsituation (Konfiguration 1: Istzustand). Maxima sind orange hervorgehoben.

Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr (April - September):

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

Für alle untersuchten Punkte am Starnberger Flügelbahnhof kann für das Sommerhalbjahr die Windkomfortstufe 1 prognostiziert werden. Dies entspricht einer sehr guten Windkomfortsituation und stellt eine Verbesserung zur Referenzwindsituation am Standort dar.

Begründet werden kann dies durch die abschattende Wirkung der benachbarten Gebäude und der Tatsache, dass sich keine höheren Gebäude in der unmittelbaren Umgebung befinden welche eine Vermischung der Luftmassen begünstigen würden.

Prognose Windkomfort im Winterhalbjahr (Oktober - März):

Während des Winterhalbjahres sind die in Abb. 3.2 angegebenen Komfortstufen zu erwarten. Erwartungsgemäß sind die Windkomfortbedingungen im Winterhalbjahr ungünstiger als in den Sommermonaten.

Im Vergleich zum Sommerhalbjahr verschlechtern sich die Windkomfortbedingungen großflächig um etwa eine Komfortstufe. Dies liegt unter anderem an dem deutlich windintensiveren Windklima sowie des herabgestuften Komfortkriteriums für östliche Windrichtungen während der Wintermonate.

Grundsätzlich ist in allen Bereichen auch in den Wintermonaten ein problemloses Fortbewegen und somit die Nutzung als Verkehrsfläche gewährleistet. Lediglich im Bereich der nördlichen Gebäudeecken können rauere Windverhältnisse auftreten.

Prognose Windsicherheit:

Das in Kap. 2.3 definierte Sicherheitskriterium für öffentlich zugängliche Bereiche wird ganzjährig überall eingehalten. Eine potentielle Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern im Sinne der Komfortkriterien konnte daher in den untersuchten Nahbereichen des Gebäudes nicht festgestellt werden.

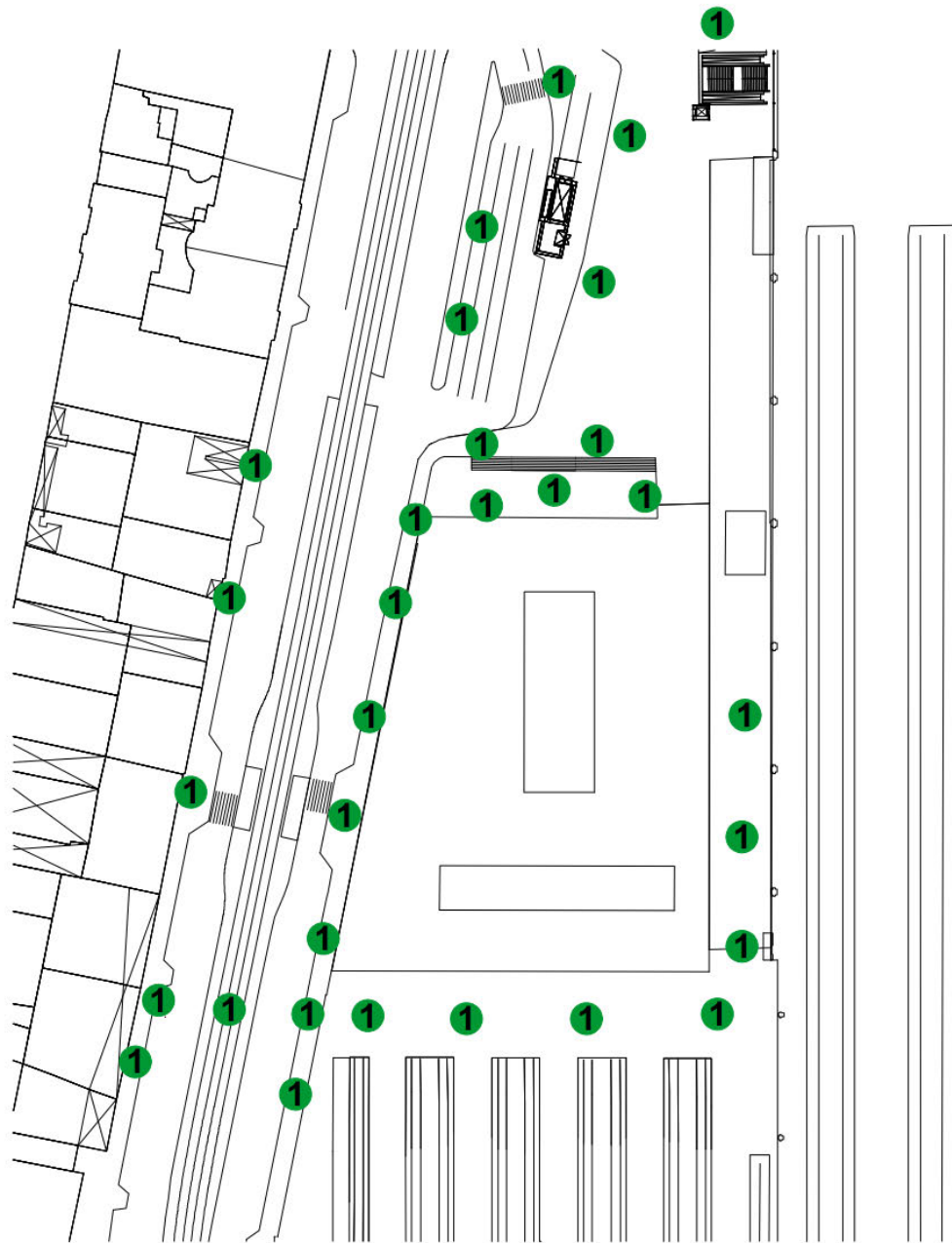
**Hinweis:** Bei der Anwendung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Einordnung in die verschiedenen Komfortstufen aufgrund von langjährigen Klimazeitreihen vorgenommen wurde, d.h. die oben getroffenen Aussagen bezüglich der Häufigkeiten sind repräsentativ für Durchschnittsjahre. In einzelnen Jahren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

# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

## Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich - Konfiguration 1



Sommerhalbjahr (April - September)



Klasse	Aktivitäten			Beispiele für mögliche Nutzung
	Durchqueren	Schlendern	Sitzen	
1	Gut	Gut	Gut	Cafés, Sitzplätze
2	Gut	Gut	Moderat	Wartebereiche, Parkanlagen
3	Gut	Moderat	Schlecht	Einkaufspassagen, Eingänge
4	Moderat	Schlecht	Schlecht	Gehwege
5	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Windschutz erforderlich
6	pot. Gefährdung			

**Abb. 3.1:** Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten an den einzelnen Messpunkten im bodennahen Außenbereich auf Basis der Klimadaten am Standort.

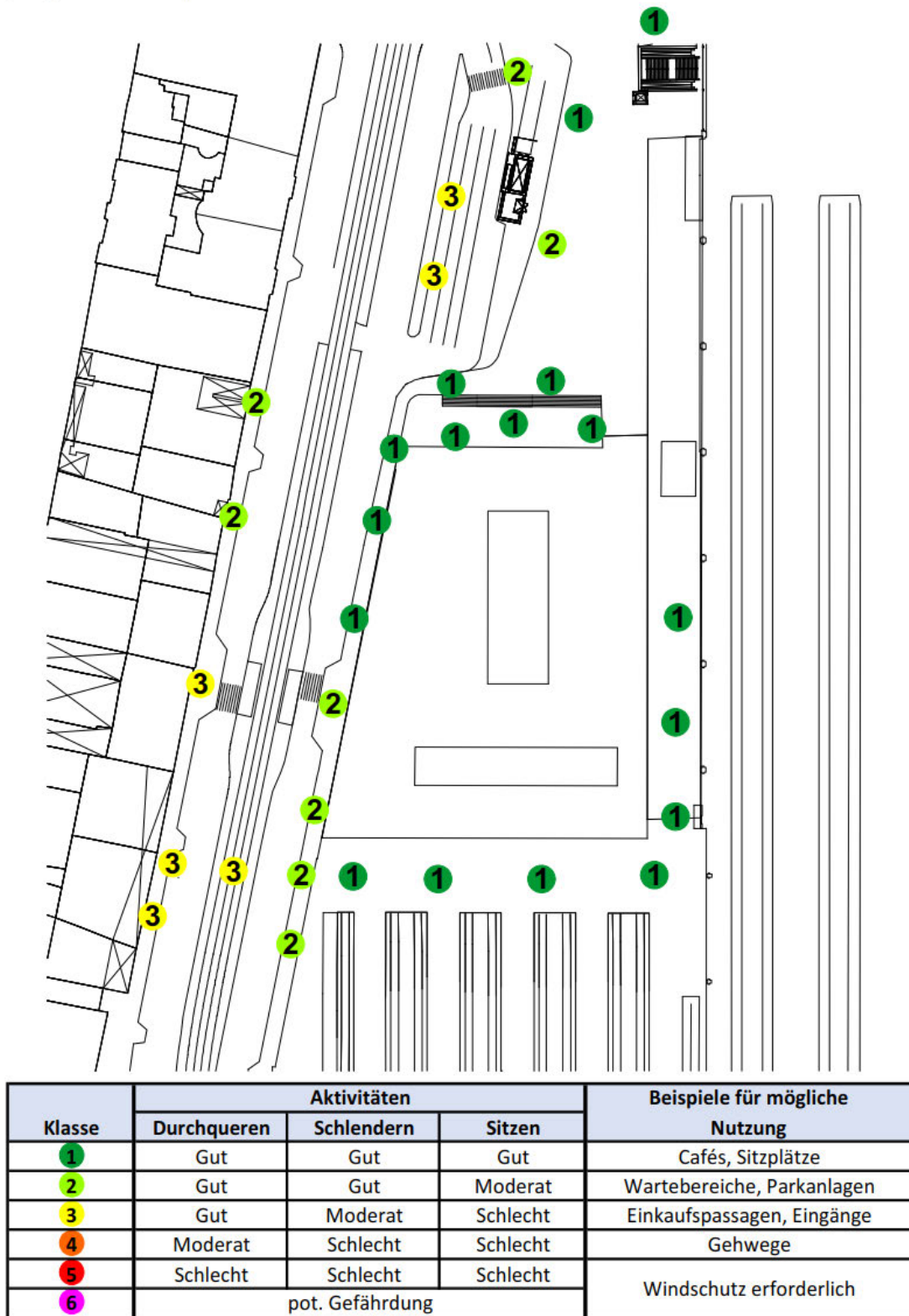
**Sommerhalbjahr (April - September)**

# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

## Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich - Konfiguration 1



Winterhalbjahr (Oktober - März)



**Abb. 3.2:** Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten an den einzelnen Messpunkten im bodennahen Außenbereich auf Basis der Klimadaten am Standort Winterhalbjahr (Oktober - März)

### 3.3 Windkomfort im bodennahen Außenbereich, Situation 2: Neubebauung ohne Vordach

Die Erhöhungsfaktoren  $X_i$  für sämtliche Windrichtungen und Messpunkte sind in Tab. 3.2 (Konfiguration 2: Neubebauung – ohne Vordach) dargestellt.

Für die vorliegende Konfiguration ist nur selten mit Windbeschleunigungen gegenüber dem unbebauten Fall zu rechnen. Die höchsten Beschleunigungen für Konfiguration 2 treten an den westlichen Gebäudeecken (MP 34 und MP 4) auf. Auch in der geplanten Passage (MP 28) kommt es aufgrund der Verengung (Düseneffekt) teilweise zu Beschleunigung der Strömung. Maßgebend für die Bewertung des Windkomforts ist aber auch, wie häufig mit den Windrichtungen zu rechnen ist, an denen die größten Erhöhungsfaktoren auftreten. Für andere Windrichtungen dagegen hat die Bebauung einen abschattenden Effekt, was zu einer Verlangsamung der Luftströmung und damit zu günstigeren Windverhältnissen führt.

Messpunkt	Windrichtung $\beta$ [°] (0° = Nord)											
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
1	0.98	0.71	0.56	0.70	1.01	1.11	0.98	0.78	0.75	0.91	0.96	0.98
2	0.76	0.85	0.60	0.46	0.47	0.62	0.81	0.73	0.56	0.46	0.47	0.60
3	0.72	0.79	0.76	0.48	0.46	0.67	0.76	0.83	0.88	0.79	0.70	0.69
4	0.75	0.74	0.64	0.44	0.46	0.55	0.76	1.07	1.17	1.09	0.93	0.81
5	0.99	0.76	0.71	0.55	0.58	0.56	0.56	0.57	0.53	0.45	0.45	0.84
6	0.93	0.78	0.83	0.73	0.78	0.71	0.79	1.00	1.08	1.02	0.87	0.93
7	0.96	0.75	0.72	0.60	0.76	0.78	0.79	0.97	0.98	0.87	0.76	0.96
8	0.72	0.59	0.65	0.60	0.73	0.67	0.69	0.89	1.00	0.95	0.59	0.65
9	0.66	0.64	0.70	0.63	0.74	0.74	0.83	0.98	0.95	0.87	0.52	0.57
10	0.71	0.51	0.64	0.59	0.66	0.52	0.40	0.58	0.67	0.64	0.48	0.76
11	0.52	0.52	0.60	0.61	0.71	0.57	0.42	0.54	0.58	0.53	0.49	0.55
12	0.61	0.59	0.77	0.71	0.84	0.70	0.71	0.89	1.01	0.99	0.70	0.60
13	0.48	0.45	0.46	0.53	0.67	0.56	0.39	0.48	0.51	0.48	0.55	0.59
14	0.50	0.46	0.52	0.61	0.73	0.58	0.41	0.44	0.47	0.51	0.63	0.66
15	0.49	0.60	0.72	0.70	0.86	0.74	0.49	0.69	0.74	0.75	0.59	0.52
16	0.56	0.59	0.54	0.57	0.81	0.73	0.46	0.67	0.72	0.75	0.66	0.62
17	0.53	0.55	0.64	0.61	0.61	0.51	0.36	0.38	0.41	0.47	0.61	0.64
18	0.55	0.67	0.83	0.68	0.59	0.61	0.64	0.72	0.66	0.41	0.39	0.47
19	0.61	0.73	0.72	0.53	0.47	0.51	0.46	0.56	0.59	0.39	0.46	0.65
20	0.85	0.90	0.86	0.67	0.67	0.67	0.44	0.47	0.54	0.56	0.67	0.77
21	0.92	0.95	1.01	0.77	0.76	0.85	0.56	0.44	0.50	0.53	0.65	0.84
22	0.57	0.77	0.87	0.60	0.44	0.48	0.40	0.36	0.39	0.36	0.39	0.49
23	0.82	0.95	1.02	0.69	0.51	0.50	0.59	0.56	0.44	0.37	0.48	0.73
24	0.89	1.09	1.13	0.81	0.72	0.80	0.65	0.56	0.61	0.49	0.57	0.76
25	0.74	0.71	0.68	0.50	0.38	0.43	0.63	0.76	0.78	0.64	0.58	0.72
26	0.49	0.57	0.66	0.55	0.55	0.57	0.61	0.70	0.65	0.41	0.39	0.46
27	0.71	0.83	0.86	0.60	0.45	0.48	0.53	0.69	0.70	0.47	0.51	0.65
28	0.87	0.97	1.04	0.84	0.61	0.79	1.05	1.18	1.09	0.62	0.52	0.74
29	0.28	0.29	0.31	0.27	0.30	0.41	0.49	0.53	0.48	0.36	0.29	0.28
30	0.77	0.86	0.94	0.76	0.57	0.66	0.76	0.82	0.75	0.51	0.50	0.65
31	0.64	0.63	0.73	0.65	0.61	0.71	0.74	0.74	0.65	0.59	0.59	0.66
32	0.45	0.43	0.55	0.61	0.68	0.74	0.80	0.85	0.77	0.52	0.47	0.48
33	0.77	0.46	0.47	0.52	0.65	0.72	0.72	0.76	0.77	0.75	0.77	1.10
34	1.16	0.79	0.58	0.64	0.87	0.95	0.91	0.84	0.84	1.01	1.07	1.21

Tab. 3.2: Erhöhungsfaktoren  $X_i$  an den in Abb. 2.8 angegebenen Messpunkten im bodennahen Außenbereich im Vergleich zur unbebauten Referenzsituation (Konfiguration 2: Neubebauung – ohne Vordach). Maxima sind orange hervorgehoben.



Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr (April - September):

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

Gerade an den westlichen Gebäudeecken des Starnberger Flügelbahnhofs (MP 1, 4, 6, 34) können vermehrt rauere Windgeschwindigkeiten auftreten. Auch in der geplanten Passage (MP 28) kommt es durch Beschleunigungseffekte zu einer schlechteren Windkomfortsituation.

Mit Ausnahme der oben angesprochenen Bereiche kann allen untersuchten Punkten die Windkomfortstufe 2 oder besser zugeordnet werden, was einer guten Windkomfortsituation für öffentlich zugängliche Bereiche entspricht und bereichsweise eine Verbesserung zur Referenzwindsituation am Standort darstellt.

Prognose Windkomfort im Winterhalbjahr (Oktober - März):

Während des Winterhalbjahres sind die in Abb. 3.4 angegebenen Komfortstufen zu erwarten. Erwartungsgemäß sind die Windkomfortbedingungen im Winterhalbjahr ungünstiger als in den Sommermonaten.

Im Vergleich zum Sommerhalbjahr verschlechtern sich die Windkomfortbedingungen im Winterhalbjahr deutlich. Dies liegt unter anderem an dem deutlich windintensiveren Windklima aus westlicher Windrichtung.

Gerade für die Nahbereiche westlich und südlich des Starnberger Flügelbahnhofs muss vermehrt mit rauerem Windverhältnisse gerechnet werden. Für die nordöstliche Gebäudeecke sowie die Passage (MP 28) wird eine schlechte Windkomfortsituation prognostiziert.

Prognose Windsicherheit:

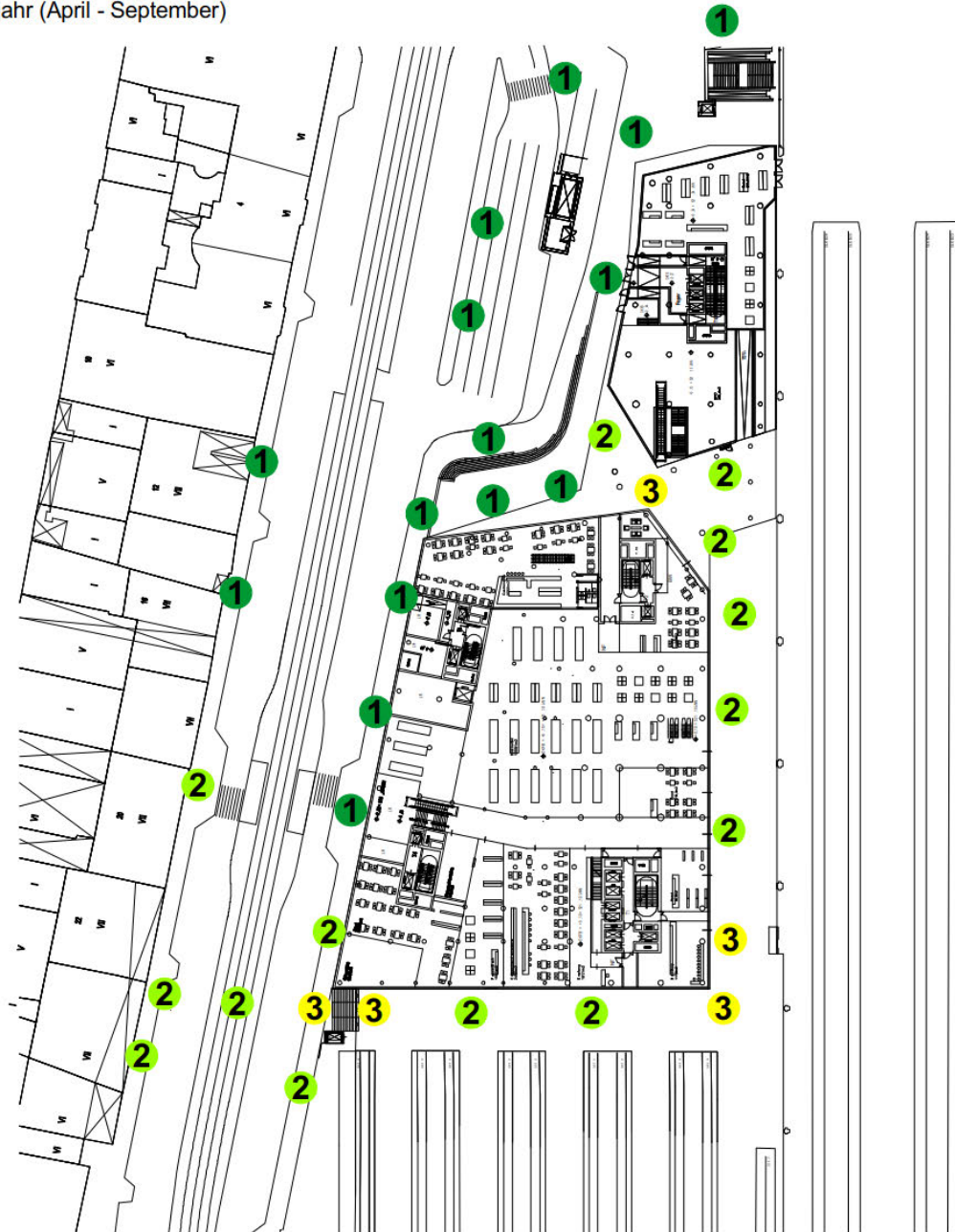
Das in Kap. 2.3 definierte Sicherheitskriterium für öffentlich zugängliche Bereiche wird ganzjährig überall eingehalten. Eine potentielle Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern im Sinne der Komfortkriterien konnte daher in den untersuchten Nahbereichen des Gebäudes nicht festgestellt werden.

**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 Häufigkeiten sind repräsentativ für Durchschnittsjahre. In einzelnen Jahren kann es zu Abweichungen vom Durchschnitt kommen.

# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

## Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich - Konfiguration 2

Sommerhalbjahr (April - September)



Klasse	Aktivitäten			Beispiele für mögliche Nutzung
	Durchqueren	Schlendern	Sitzen	
1	Gut	Gut	Gut	Cafés, Sitzplätze
2	Gut	Gut	Moderat	Wartebereiche, Parkanlagen
3	Gut	Moderat	Schlecht	Einkaufspassagen, Eingänge
4	Moderat	Schlecht	Schlecht	Gehwege
5	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Windschutz erforderlich
6	pot. Gefährdung			

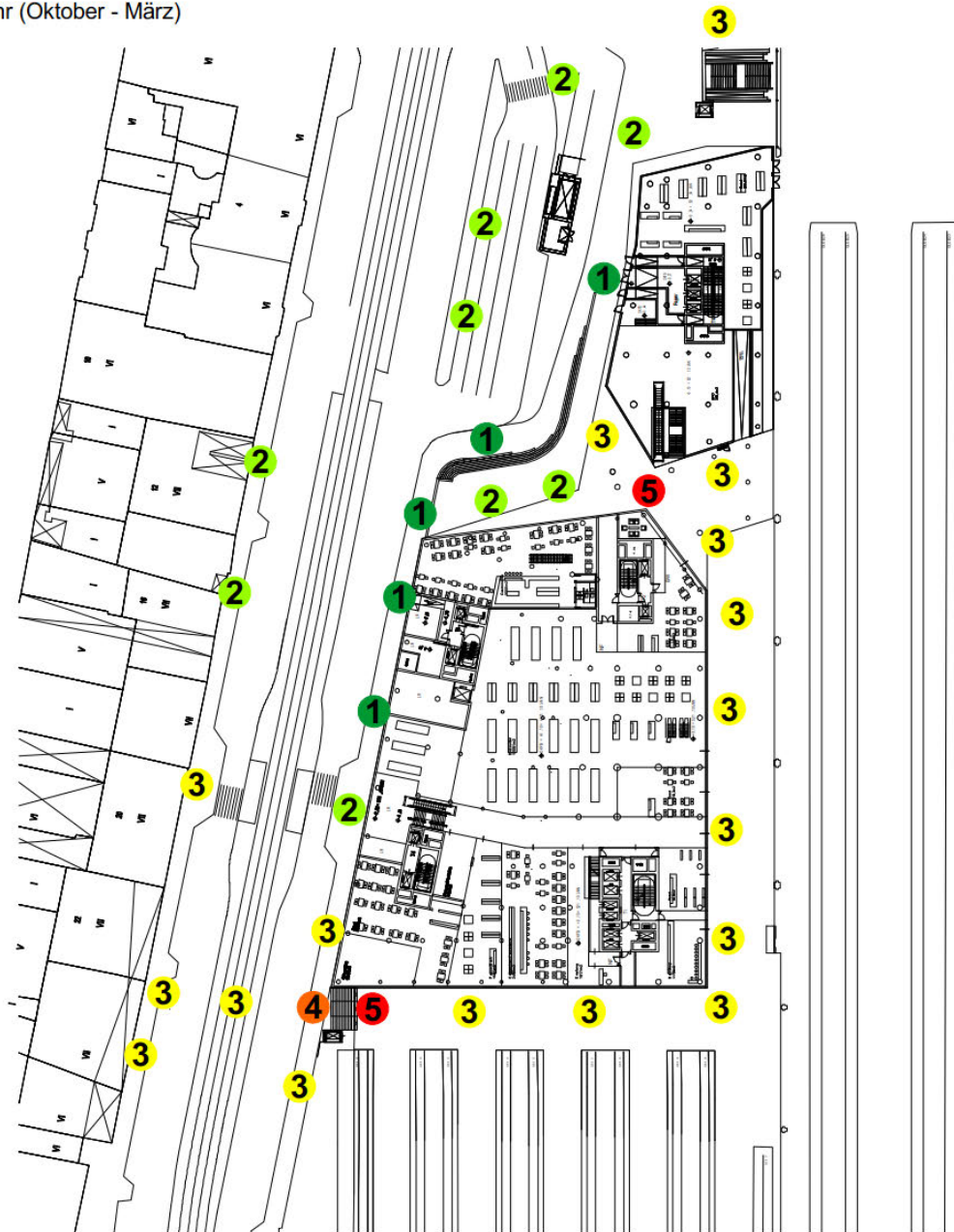
Abb. 3.3: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten an den einzelnen Messpunkten im bodennahen Außenbereich auf Basis der Klimadaten am Standort.

Sommerhalbjahr (April - September)

# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich - Konfiguration 2

Winterhalbjahr (Oktober - März)



Klasse	Aktivitäten			Beispiele für mögliche Nutzung
	Durchqueren	Schlendern	Sitzen	
1	Gut	Gut	Gut	Cafés, Sitzplätze
2	Gut	Gut	Moderat	Wartebereiche, Parkanlagen
3	Gut	Moderat	Schlecht	Einkaufspassagen, Eingänge
4	Moderat	Schlecht	Schlecht	Gehwege
5	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Windschutz erforderlich
6	pot. Gefährdung			

**Abb. 3.4:** Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten an den einzelnen Messpunkten im bodennahen Außenbereich auf Basis der Klimadaten am Standort Winterhalbjahr (Oktober - März)

3.4 Windkomfort im bodennahen Außenbereich, Situation 3: Neubebauung – mit Vordach

Die Erhöhungsfaktoren  $X_i$  für sämtliche Windrichtungen und Messpunkte sind in Tab 3.3 (Konfiguration 3: Neubebauung – mit Vordach) dargestellt.

Für die vorliegende Konfiguration ist nur selten mit Windbeschleunigungen gegenüber dem unbebauten Fall zu rechnen. Die höchsten Beschleunigungen für alle Konfigurationen treten am nördlichen Eingang zur Bahnhofshalle (MP 24) auf. Maßgebend für die Bewertung des Windkomforts ist aber auch, wie häufig mit den Windrichtungen zu rechnen ist, an denen die größten Erhöhungsfaktoren auftreten. Für andere Windrichtungen dagegen hat die Bebauung einen abschattenden Effekt, was zu einer Verlangsamung der Luftströmung und damit zu günstigeren Windverhältnissen führt.

$X_i (\gamma = 1.5)$		Windrichtung $\beta$ [°] (0° = Nord)											
Messpunkt	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
1	0.69	0.51	0.49	0.38	0.34	0.39	0.47	0.55	0.58	0.64	0.64	0.75	
2	0.51	0.47	0.38	0.37	0.39	0.47	0.58	0.51	0.50	0.49	0.48	0.45	
3	0.57	0.46	0.47	0.44	0.51	0.59	0.58	0.52	0.53	0.57	0.60	0.64	
4	0.71	0.58	0.47	0.41	0.49	0.54	0.66	0.81	0.84	0.86	0.77	0.76	
5	0.99	0.79	0.70	0.54	0.57	0.54	0.55	0.58	0.51	0.43	0.42	0.81	
6	0.90	0.77	0.82	0.70	0.76	0.70	0.79	0.92	0.94	0.88	0.73	0.86	
7	0.94	0.75	0.72	0.59	0.76	0.77	0.80	0.97	0.94	0.82	0.71	0.93	
8	0.74	0.62	0.65	0.59	0.75	0.66	0.66	0.98	1.08	0.96	0.60	0.63	
9	0.65	0.65	0.70	0.61	0.75	0.72	0.80	1.02	0.98	0.88	0.52	0.55	
10	0.68	0.48	0.61	0.55	0.64	0.50	0.36	0.59	0.72	0.63	0.51	0.72	
11	0.55	0.56	0.63	0.62	0.73	0.61	0.46	0.60	0.64	0.59	0.54	0.57	
12	0.58	0.58	0.76	0.68	0.84	0.70	0.69	0.85	0.97	0.97	0.69	0.57	
13	0.46	0.46	0.48	0.52	0.67	0.57	0.40	0.51	0.56	0.50	0.54	0.58	
14	0.50	0.47	0.52	0.60	0.73	0.58	0.42	0.50	0.54	0.51	0.60	0.64	
15	0.44	0.59	0.72	0.67	0.87	0.74	0.47	0.68	0.75	0.76	0.60	0.50	
16	0.53	0.60	0.55	0.55	0.82	0.75	0.50	0.71	0.79	0.78	0.67	0.59	
17	0.52	0.53	0.64	0.59	0.60	0.50	0.36	0.45	0.49	0.46	0.57	0.62	
18	0.59	0.70	0.86	0.69	0.62	0.62	0.48	0.46	0.48	0.44	0.44	0.49	
19	0.61	0.71	0.73	0.49	0.43	0.47	0.36	0.40	0.39	0.32	0.37	0.56	
20	0.84	0.87	0.87	0.66	0.68	0.69	0.47	0.53	0.66	0.58	0.66	0.78	
21	0.92	0.95	1.01	0.76	0.77	0.88	0.57	0.44	0.55	0.53	0.60	0.82	
22	0.57	0.75	0.87	0.59	0.46	0.52	0.44	0.40	0.41	0.38	0.40	0.47	
23	0.81	0.95	1.02	0.68	0.52	0.50	0.56	0.52	0.40	0.39	0.48	0.68	
24	0.89	1.08	1.15	0.81	0.73	0.83	0.69	0.57	0.58	0.50	0.56	0.74	
25	0.75	0.70	0.69	0.52	0.42	0.42	0.59	0.73	0.73	0.67	0.63	0.72	
26	0.49	0.55	0.65	0.52	0.53	0.50	0.44	0.55	0.59	0.50	0.44	0.46	
27	0.68	0.79	0.83	0.56	0.41	0.41	0.32	0.34	0.37	0.38	0.44	0.55	
28	0.67	0.76	0.88	0.71	0.55	0.40	0.45	0.57	0.61	0.58	0.54	0.48	
29	0.36	0.36	0.40	0.35	0.36	0.42	0.46	0.43	0.40	0.38	0.37	0.35	
30	0.47	0.59	0.73	0.62	0.50	0.36	0.34	0.46	0.55	0.57	0.54	0.40	
31	0.45	0.55	0.70	0.62	0.54	0.38	0.34	0.48	0.54	0.54	0.52	0.37	
32	0.38	0.44	0.58	0.51	0.42	0.35	0.32	0.31	0.35	0.46	0.50	0.42	
33	0.58	0.43	0.47	0.41	0.35	0.34	0.33	0.35	0.44	0.64	0.68	0.66	
34	0.79	0.54	0.54	0.47	0.40	0.41	0.36	0.34	0.43	0.68	0.73	0.83	

Tab. 3.3: Erhöhungsfaktoren  $X_i$  an den in Abb. 2.8 angegebenen Messpunkten im bodennahen Außenbereich im Vergleich zur unbebauten Referenzsituation (Konfiguration 3: Neubebauung – mit Vordach). Maxima sind orange hervorgehoben.



Prognose Windkomfort im Sommerhalbjahr (April - September):

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

Mit Ausnahme des nordöstlichen Bereichs des Starnberger Flügelbahnhofes kann allen untersuchten Punkten die Windkomfortstufe 1 zugeordnet werden, was einer guten Windkomfortsituation für öffentlich zugängliche Bereiche entspricht.

Insbesondere im Nahbereich des Bahnhofes wird durch das Vordach eine abschattende Wirkung erzielt. Dadurch kann eine sehr gute Windkomfortsituation prognostiziert. Eine Nutzung als Café, Park, Wartebereich oder Spielplatz kann somit ohne weitere Windschutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden.

Prognose Windkomfort im Winterhalbjahr (Oktober - März):

Während des Winterhalbjahres sind die in Abb. 3.6 angegebenen Komfortstufen zu erwarten. Erwartungsgemäß sind die Windkomfortbedingungen im Winterhalbjahr ungünstiger als in den Sommermonaten.

Im Vergleich zum Sommerhalbjahr verschlechtern sich die Windkomfortbedingungen nur im nördlichen Bereich des Starnberger Flügelbahnhofes um etwa eine Komfortstufe. Dies liegt unter anderem an dem deutlich windintensiveren Windklima.

Grundsätzlich ist in allen Bereichen auch in den Wintermonaten ein problemloses Fortbewegen und somit die Nutzung als Verkehrsfläche gewährleistet.

Prognose Windsicherheit:

Das in Kap. 2.3 definierte Sicherheitskriterium für öffentlich zugängliche Bereiche wird ganzjährig überall eingehalten. Eine potentielle Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern im Sinne der Komfortkriterien konnte daher in den untersuchten Nahbereichen des Gebäudes nicht festgestellt werden.

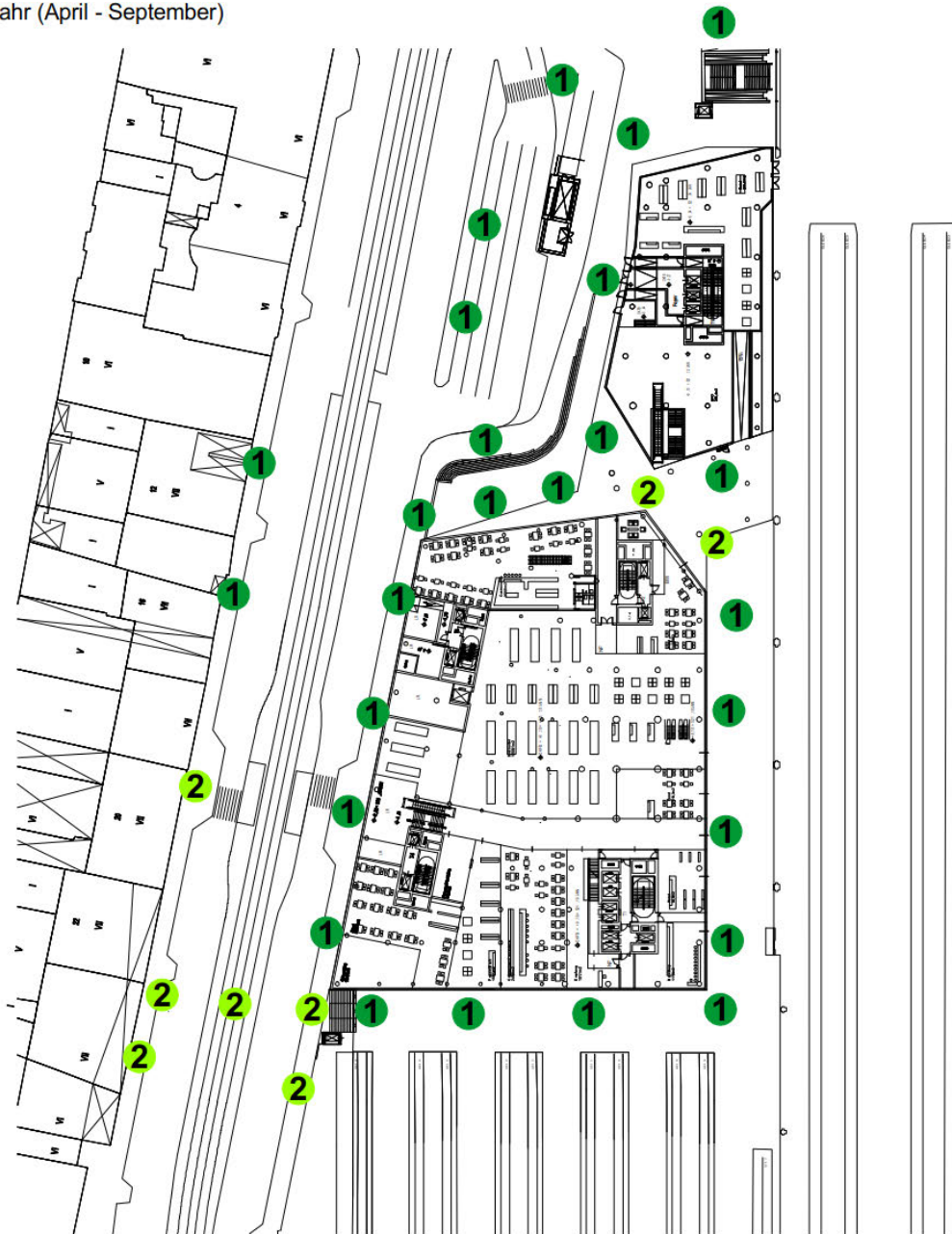
**Hinweis:** Bei der Anwendung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Einordnung in die verschiedenen Komfortstufen aufgrund von langjährigen Klimazeitreihen vorgenommen wurde, d.h. die oben getroffenen Aussagen bezüglich der Häufigkeiten sind repräsentativ für Durchschnittsjahre. In einzelnen Jahren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



# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

## Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich - Konfiguration 3

Sommerhalbjahr (April - September)



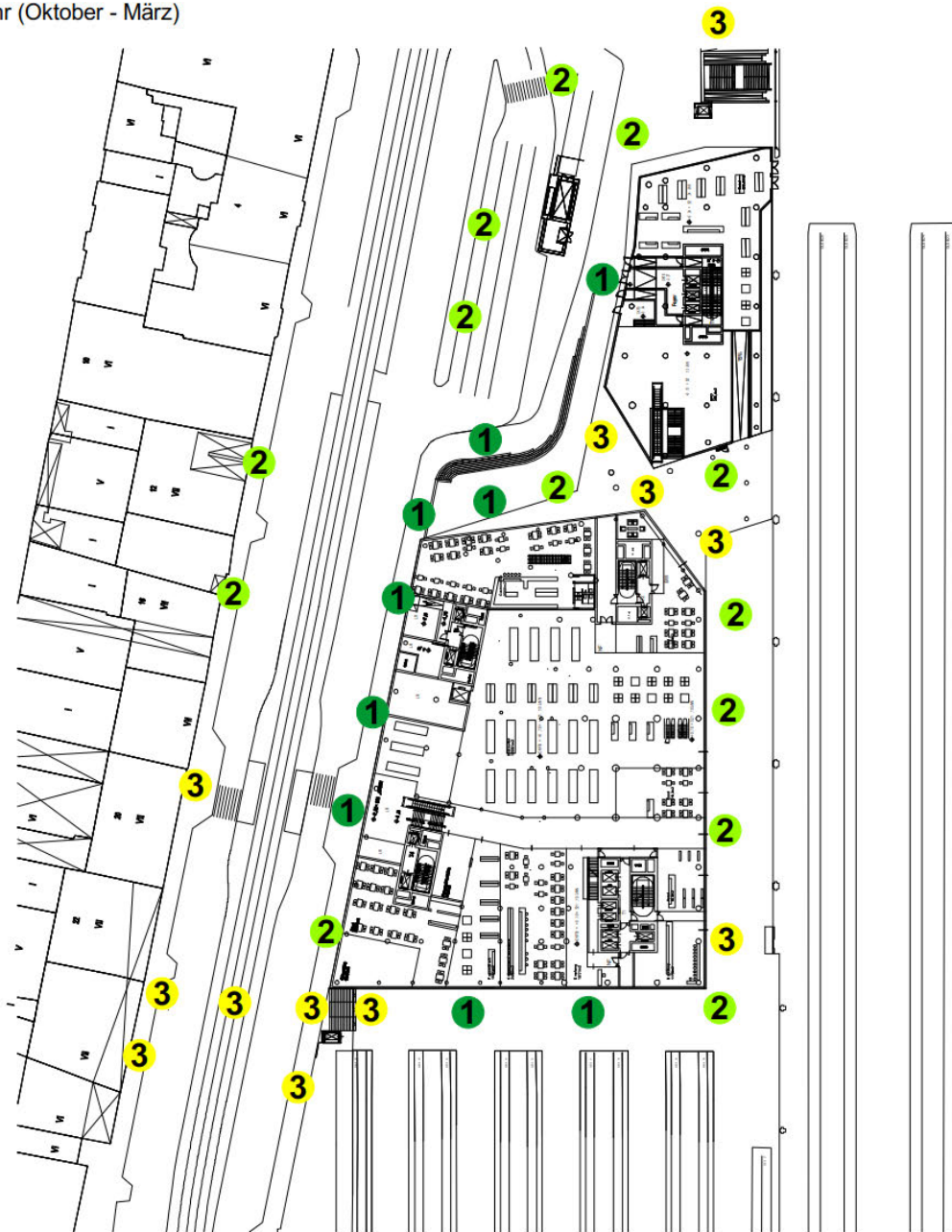
Klasse	Aktivitäten			Beispiele für mögliche Nutzung
	Durchqueren	Schlendern	Sitzen	
1	Gut	Gut	Gut	Cafés, Sitzplätze
2	Gut	Gut	Moderat	Wartebereiche, Parkanlagen
3	Gut	Moderat	Schlecht	Einkaufspassagen, Eingänge
4	Moderat	Schlecht	Schlecht	Gehwege
5	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Windschutz erforderlich
6	pot. Gefährdung			

**Abb. 3.5:** Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten an den einzelnen Messpunkten im bodennahen Außenbereich auf Basis der Klimadaten am Standort.  
Sommerhalbjahr (April - September)

# HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

## Windkomfortuntersuchung - bodennaher Außenbereich - Konfiguration 3

Winterhalbjahr (Oktober - März)



Klasse	Aktivitäten			Beispiele für mögliche Nutzung
	Durchqueren	Schlendern	Sitzen	
1	Gut	Gut	Gut	Cafés, Sitzplätze
2	Gut	Gut	Moderat	Wartebereiche, Parkanlagen
3	Gut	Moderat	Schlecht	Einkaufspassagen, Eingänge
4	Moderat	Schlecht	Schlecht	Gehwege
5	Schlecht	Schlecht	Schlecht	Windschutz erforderlich
6	pot. Gefährdung			

Abb. 3.6: Prognose der Komfortstufen bzw. Nutzungsmöglichkeiten an den einzelnen Messpunkten im bodennahen Außenbereich auf Basis der Klimadaten am Standort Winterhalbjahr (Oktober - März)

### **3.5 Fazit**

Grundsätzlich stellt sich im untersuchten bodennahen Außenbereich des Starnberger Flügelbahnhofs ein unauffälliges Windklima ein. Dabei kann ganzjährig eine potentielle Gefährdung von Fußgängern oder Radfahrern im Sinne des Sicherheitskriteriums ausgeschlossen werden.

Insgesamt muss dennoch festgehalten werden, dass es durch die Neubebauung, insbesondere aufgrund des Höhenunterschieds zur derzeitigen Bebauung, zu einer deutlich schlechteren Windkomfortsituation kommt. Begründet werden kann dies durch die Verdrängung von Luftmassen aus dem höher gelegenen Hochhausbereich, welche in den bodennahen Bereich eingemischt werden. Was wiederum aus Kontinuitätsgründen zu einer Beschleunigung der Strömung führt. Besonders bemerkbar macht sich die an den Gebäudeecken und verengten Bereichen (Düseneffekt).

Durch die Installation eines Vordaches im südlichen Bereich des Starnberger Flügelbahnhofs sowie zur Gleishaupthalle hin, kann diese Situation deutlich verbessert werden. Im Sommerhalbjahr kann dadurch Windkomfortstufe 2 oder besser prognostiziert werden. Im Vergleich zur Referenzsituation am Standort Frankfurt ist somit keine Verschlechterung der Windkomfortsituation durch die geplante Bebauung zu erwarten. Grundsätzlich sind nahezu alle Flächen im Nahbereich des Starnberger Flügelbahnhofs für einen längerfristigen Aufenthalt geeignet. Lediglich die Verkehrsflächen an der Arnulfstraße müssen etwas schlechter eingestuft werden, was aber immer noch einer sehr guten Windkomfortsituation entspricht.

Während des windintensiveren Winterhalbjahres reduziert sich der Windkomfort wodurch häufiger mit etwas höheren Windgeschwindigkeiten zu rechnen ist. Dies kann neben der bebauungsbedingten Geschwindigkeitszunahme auch auf das vorherrschende winterliche Windklima zurückgeführt werden. Wie im Sommerhalbjahr stellt dies im Vergleich zur Referenzsituation größtenteils jedoch keine Verschlechterung der Windkomfortsituation durch die geplante Bebauung dar.

Auf Basis der gewonnen Erkenntnisse durch die Untersuchung der drei verschiedenen Situationen empfehlen wir bei einer Umsetzung des aktuellen Entwurfs des Starnberger Flügelbahnhofs die Installation eines Vordaches in der weiteren Planung zu berücksichtigen. Um eine Verbesserung der Windkomfortsituation zu gewährleisten empfehlen wir die in Abb. 3.7 dargestellte Ausdehnung. Eine Erweiterung des Vordaches im nordöstlichen Bereich des Flügelbahnhofs (Treppe zur Arnulfstraße) hat einen geringen Einfluss auf die Windkomfortsituation und ist dem Planungsteam überlassen. Folgende gestalterische Eigenschaften sollten jedoch berücksichtigt werden:

- Höhe über Grund 5m bis 10m
- Breite 5m (siehe Abbildung)

## HBF München, Starnberger Flügelbahnhof

Windkomfortuntersuchung - bodennahe Außenbereich

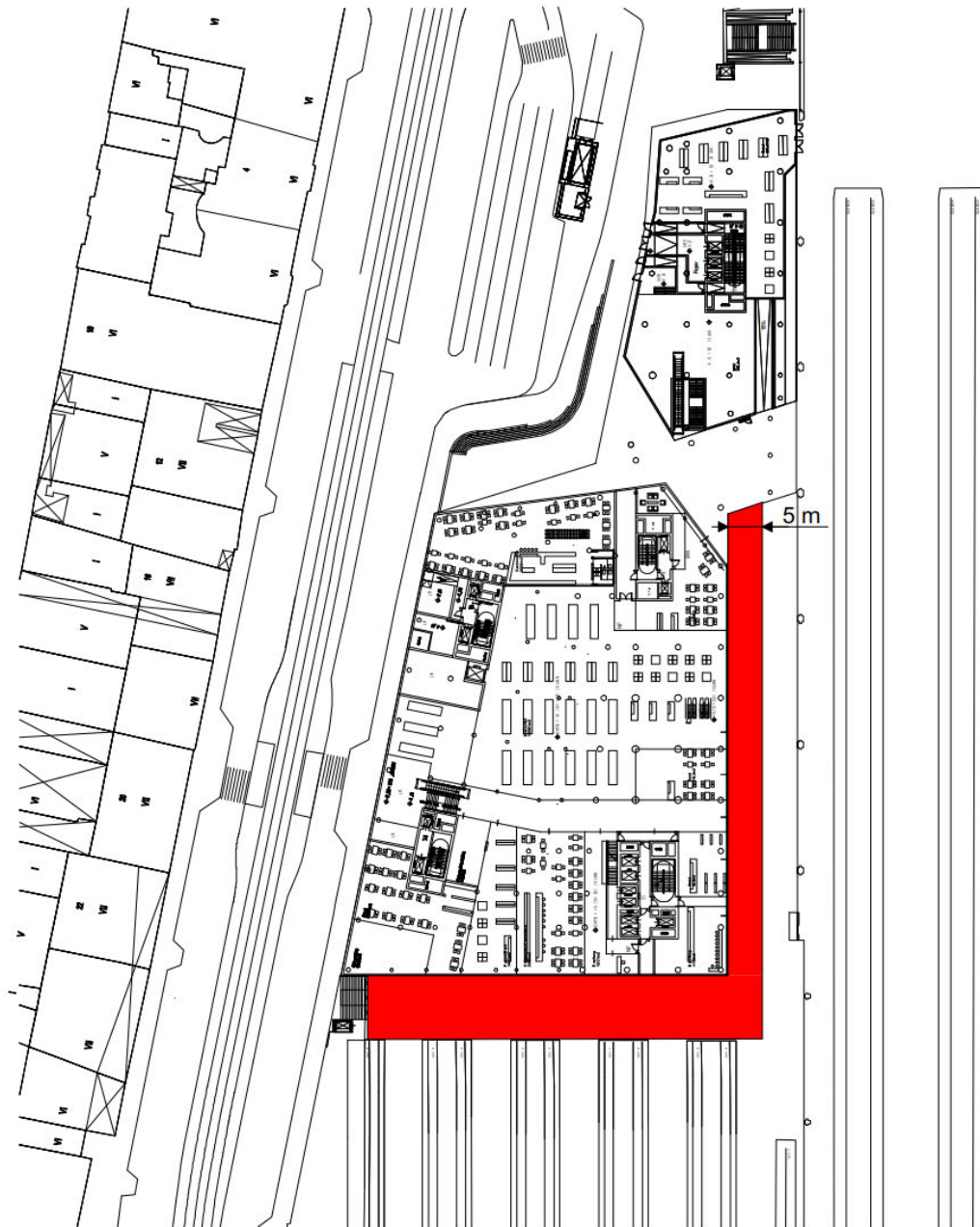


Abb. 3.7: Installationsempfehlung des Vordaches im Bereich des Starnberger Flügelbahnhofes

#### **4 VERWENDETE DOKUMENTE**

**ASCE, 2004:** "Outdoor Human Comfort And Its Assessment – State of the art". American Society of Civil Engineers, USA.

**DIN EN 1991-1-4, 2010:** Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke – Teil1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten;

**DIN EN 1991-1-4/NA, 2010:** Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkung auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten;

**AW 2018:** " Pläne und Informationen zum BV Starnberger Flügelbahnhof, München", Auer Weber Architekten BDA, München Stuttgart.

**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.

**NEN 8100:2006:** "Nederlandse Norm: Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving“, Nederlands Normalisatie-instituut.

**Plate, E.J., 1982:** "Wind tunnel modeling of wind effects in engineering". In E.J. Plate (ed.), Engineering Meteorology, Chapter 13, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York, pp. 573-639;

**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.

**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.

**Abb. 2.1 - 2.3, 2.9 + 2.10:** "Windkanalmodelle" Wacker Ingenieure 2017