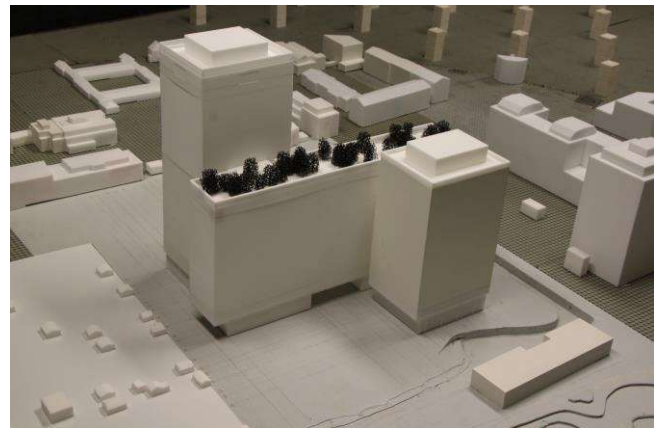
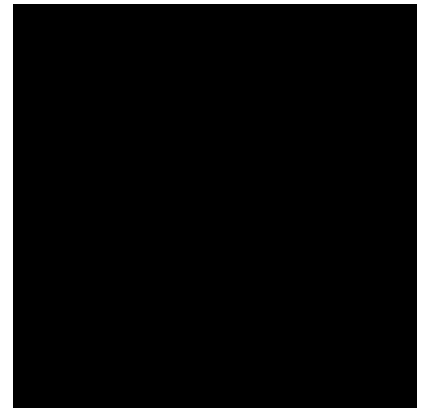
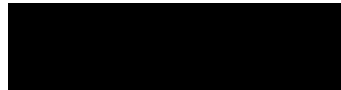


RS 76, München



**RS76**


**Richard-Strauss-Straße 76  
81679 München**

**Windkanalstudie**

Windkomfort auf Freiflächen, Terrasse Skybar  
und Dach des Riegels



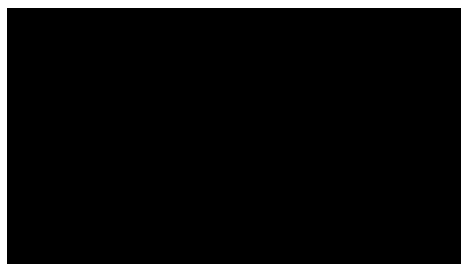
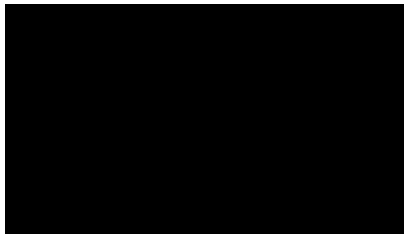
November 2020

Im Auftrag der 

Dieser Untersuchungsbericht umfasst 67 Seiten.  
Er wurde angefertigt durch die



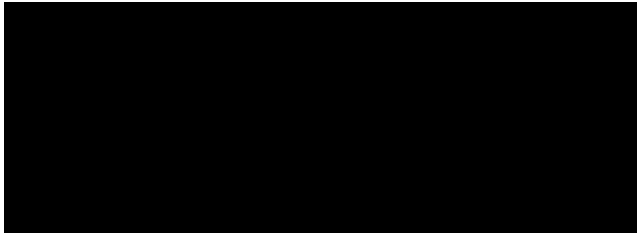
München, den 16. November 2020





## INHALT

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>WINDSTATISTIK .....</b>	<b>6</b>
2.1	Windstatistik an nahe gelegener Messstation.....	6
2.2	Orientierung der Gebäude zur Windrichtung .....	10
<b>3</b>	<b>VERSUCHSTECHNIK.....</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Simulation des Windfeldes .....</b>	<b>11</b>
3.1.1	Atmosphärische Grenzschichtströmung .....	11
3.1.2	Beschreibung des Windkanals.....	12
3.1.3	Die simulierte Grenzschicht.....	13
3.1.4	Modellierung des Gebäudekomplexes und der näheren Umgebung.....	15
3.1.5	Untersuchungsvarianten zur Gegenüberstellung des Fußgängerkomforts.....	17
3.1.6	Untersuchungsvarianten Skybar im 24.OG.....	21
3.1.7	Untersuchungsvarianten auf Dachterrasse Riegel.....	24
<b>3.2</b>	<b>Messverfahren .....</b>	<b>27</b>
3.2.1	Messung von Strömungsgeschwindigkeiten .....	27
3.2.2	Quantifizierung des Windkomforts .....	27
<b>4</b>	<b>WINDKOMFORT AUF FREIFLÄCHEN .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeines.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Bewertungskriterien.....</b>	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Ergebnisse aus den Geschwindigkeitsmessungen .....</b>	<b>31</b>
4.3.1	Geschwindigkeiten im Fußgängerbereich .....	31
4.3.2	Geschwindigkeiten auf der Terrasse der Skybar .....	47
4.3.3	Geschwindigkeiten auf Dach Riegel.....	54
<b>4.4</b>	<b>Bewertung des Windkomforts auf den Freiflächen .....</b>	<b>60</b>
4.4.1	Windkomfort im Fußgängerbereich.....	60
4.4.2	Windkomfort auf der Terrasse der Skybar .....	61
4.4.3	Windkomfort auf dem Dach des Riegels.....	61
<b>5</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>67</b>



## 1 Zusammenfassung

Die [REDACTED] entwickelt im Auftrag der [REDACTED] das Areal an der Richard-Strauss-Straße 76 in München. Der Gebäudeentwurf der [REDACTED] sieht die Errichtung von zwei Hochhaustürmen und einem Riegel als Verbindungsbau vor. Im 24.OG des ca. 96m hohen Turms ist eine Terrasse der Skybar mit einer sensiblen Nutzung geplant. Auch das Dach des Riegels ist für eine Freiflächennutzung vorgesehen. Im EG-Bereich des Riegels ist ein Durchgang zum Park wesentlicher Bestandteil des architektonischen Entwurfes.

Im Zuge des zu erstellenden Bebauungsplanverfahrens sollten die Auswirkungen der Neubauten auf das bodennahe Windfeld hinsichtlich einer geplanten und typischen Freiflächennutzung überprüft und eine Windkomfortanalyse erstellt werden.

Für diese Analyse sollte eine Windkanaluntersuchung zur Überprüfung der Windkomfortverhältnisse auf den Freiflächen durchgeführt werden. Aufgrund der Höhe der Neubauten ist in den Fußgängerbereichen eine Komfortbeeinträchtigung durch Windböen bei den in München vorherrschenden Starkwindlagen nicht ohne weiteres auszuschließen. Aus diesem Grunde wurden bereits auch Schutzmaßnahmen als Untersuchungsvarianten für die im Vorfeld als kritisch beschriebenen Zonen mit einbezogen.

Es wurde ein Modell des gesamten Areals im Maßstab 1:250 eingesetzt. Unter Berücksichtigung der örtlichen Bebauungsverhältnisse in der weiteren und näheren Umgebung wurden im Grenzschichtwindkanal der TU München Strömungsverhältnisse eingestellt, welche hinsichtlich der Vertikalprofile von Windgeschwindigkeit und Turbulenz maßstäblich die realen Windverhältnisse am Standort nachbilden; ein entsprechender Nachweis der Ähnlichkeit wurde erbracht.

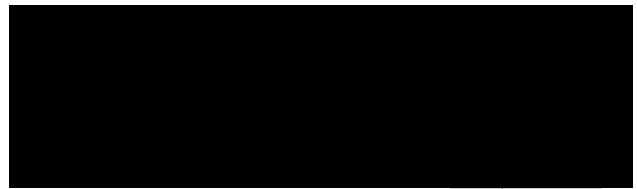
Für zwölf Windrichtungen wurde das bodennahe Strömungsfeld auf dem gesamten Gelände detailliert vermessen. Unter Berücksichtigung der Windstatistik für den Standort wurde eine Einteilung der umliegenden Freiflächen in Windkomfortklassen vorgenommen und daraus Nutzungsempfehlungen abgeleitet. In Kapitel 4.4 sind die erzielbaren Windkomfortklassen grafisch dargestellt und dabei die in den Außenbereichen besonders dem Wind ausgesetzten aber auch die wind geschützten Bereiche aufgezeigt. Eine als inakzeptabel definierte Schwelle der zu erwartenden Böengeschwindigkeiten wurde für die als Referenzfall beschriebene Ausgangssituation an mehreren Stellen erreicht oder überschritten.

Diese Schwelle der zu erwartenden Böengeschwindigkeiten wurde im Durchgangsbereich unter dem Riegel dabei z.T. deutlich überschritten. Die Ursache hierfür liegt vorrangig an windbedingten Druckausgleichsströmungen zwischen der Westfassade und der Ostfassade des Riegels bei den am Standort vorherrschenden Starkwindlagen aus südwestlichen und vor allem aus westlichen Richtungen. Auch im weiteren Umfeld des Durchgangs und in den Eckbereichen der Türme ergeben sich sehr hohe Böengeschwindigkeiten, die der geplanten Nutzung entgegenstehen.

Die intensive Begrünung in Lichtung A und in Lichtung B sowie im näheren Umfeld der Hochhäuser nach Vorschlag vom [REDACTED] führen zu einer weit reichenden Reduzierung der bodennahen Böenwindgeschwindigkeiten. Die als inakzeptabel definierte Schwelle der zu erwartenden Böengeschwindigkeiten wurde hier an keiner der untersuchten Stellen mehr überschritten. In weiten Bereichen kann die geplante Nutzung (z.B. Freianlage Kita) ohne Einbußen angestrebt werden. Hier ist anzumerken, dass die Abmessungen der untersuchten Bepflanzung bereits ein mehrjähriges Wachstum beinhalten.

Da jedoch die Bäume und Büsche weder im Durchgangsbereich noch in unmittelbarer Fassadennähe der Türme eingesetzt sind, verbleiben allerdings immer noch größere Zonen, an denen die geplante Nutzung nicht erzielbar ist. Sowohl im Durchgangsbereich unter dem Riegel als auch in den ausgewiesenen Eingangszonen werden sich die Nutzer mit den zu erwartenden Windkomfortverhältnissen nicht zufrieden geben.

Im Rahmen von Optimierungsversuchen wurden im Anschluss verschiedene Schutzmaßnahmen entwickelt, die einen wesentlichen Einfluss auf die bei Westwind sich einstellenden Druckausgleichsströmungen bewirken sollten. Wesentlich sind hierbei die fassadennahen Windströmungen, die aus größerer Höhe (deutlich über der Bepflanzungshöhe) nach unten abgelenkt und der bodennahen Strömung (hier insbesondere in den Durchgangsbereich gerichtet) überlagert werden.



Bei Einsatz einer Glasschürze an der West- und Ostseite des Durchgangs mit einer verbleibenden Durchfahrtshöhe von 3,5m werden die Windkomfortverhältnisse sowohl im Durchgangs- als auch Eingangsbereich von H60 deutlich verbessert. In den Hauptverkehrswegen werden die für Durchgangs- und Eingangszonen definierten Mindestanforderungen uneingeschränkt erfüllt. Gegenüber der Variante ohne Schutzmaßnahme im Durchgang wird eine Komforterhöhung um etwa eine Windkomfortstufe erreicht.

Für die weiteren Planungen wird die Variante „beide Schürzen um 1,5m von der Vorderkante nach innen gerückt“ empfohlen. Die alternative Variante „ beide Schürzen jeweils bündig mit der Fassade“ zeigt keine wesentlichen Unterschiede und kann demzufolge ebenso weiter verfolgt werden.

Eine Planfortschreibung für die Begrünung der Außenanlagen wurde bei der Durchführung aller Optimierungsversuche berücksichtigt. Es kommen hochstämmige Bäume im Bereich der Lichtung A zum Einsatz, die bis zu einer Höhe von 4m entastet sind. Auch hier wurden aus der Zusammenstellung der verwendeten Baumarten jeweils die Baumgrößen nach 10 Jahren ausgewählt.

Aus dieser Fortschreibung ergibt sich eine veränderte Bepflanzungsdichte und Verteilung im Umfeld der Hochhäuser. In den Hochhaus-Eckzonen ist daher mit bereichsweise höheren Komforteinschränkungen zu rechnen. Diese können im vorliegenden Fall akzeptiert werden, da in der aktuellen Planung hier weder Aufenthaltszonen noch Hauptverkehrswege vorgesehen sind.

Für die Terrasse der Skybar im 24.OG wurden vier Untersuchungsvarianten vergleichend gegenübergestellt.


Die für den Referenzfall beschriebene Attika mit einer Höhe von 1,3m führt auf der gesamten Terrasse zu sehr starken Einschränkungen des Windkomforts. Die als inakzeptabel definierte Schwelle der zu erwartenden Böengeschwindigkeiten wurde auch hier an zwei Messpositionen überschritten.

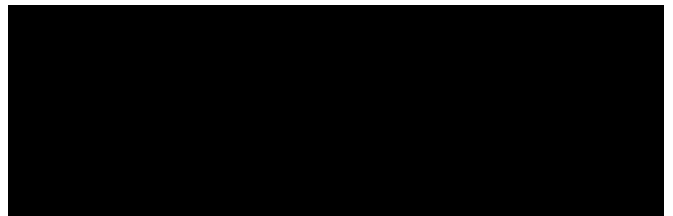
Bei einer Erhöhung des Windschutzes auf 3m werden auf der gesamten Terrasse ca. um eine Windkomfortklasse ruhigere Verhältnisse vorgefunden. Weite Bereiche der Terrasse sind für ein längeres Sitzen im Freien jedoch nicht als geeignet zu bezeichnen.

Noch stärkere Einschränkungen wurden bei Variante mit einer ebenso hohen Windschutzwand und einem darüber gelagerten Technikgeschoss vorgefunden.

Bei der Variante mit Loggien ohne Prallplatte sind dagegen sehr ruhige Verhältnisse zu erwarten. Hier sind keine weiteren Schutzmaßnahmen für die geplante Nutzung der Terrasse Skybar erforderlich.

Auch auf dem Dach des Riegels wurden die Ergebnisse von vier Vergleichsvarianten gegenübergestellt. Während bei der Variante mit einer Attika von 1,1m größere Einschränkungen des Windkomforts gegeben sind, führt eine Erhöhung der Attika auf 2,5m zu einer deutlichen Beruhigung.

Für die weitere Planung wird jedoch empfohlen, eine Begrünung nach dem Vorschlag des  zu verfolgen. Sowohl die Variante niedrige Begrünung als auch die Variante hohe Begrünung wird bei den Nutzern als ausreichende Windschutzmaßnahme akzeptiert werden.



## 2 Windstatistik

### 2.1 Windstatistik an nahe gelegener Messstation

Als Grundlage für die Bewertung der Windverhältnisse standen aus den Publikationen des Deutschen Wetterdienstes [Deutscher Windatlas, 2. Auflage Version 5, 2010] statistische Daten am Flughafen München-Erding zur Verfügung. Aus den veröffentlichten Beobachtungen des DWD an der Messstation wird beispielsweise der Tagesgang deutlich (siehe Abb. 2.1), dem die Windgeschwindigkeit im Winter, im Sommer und im Jahresdurchschnitt unterliegt. Es ist ersichtlich, dass tages- und jahreszeitlich ausgeprägte Schwankungen auftreten: Der Jahresmittelwert der Windigkeit am Flughafen beträgt demnach in 10m Höhe 3,0m/s.

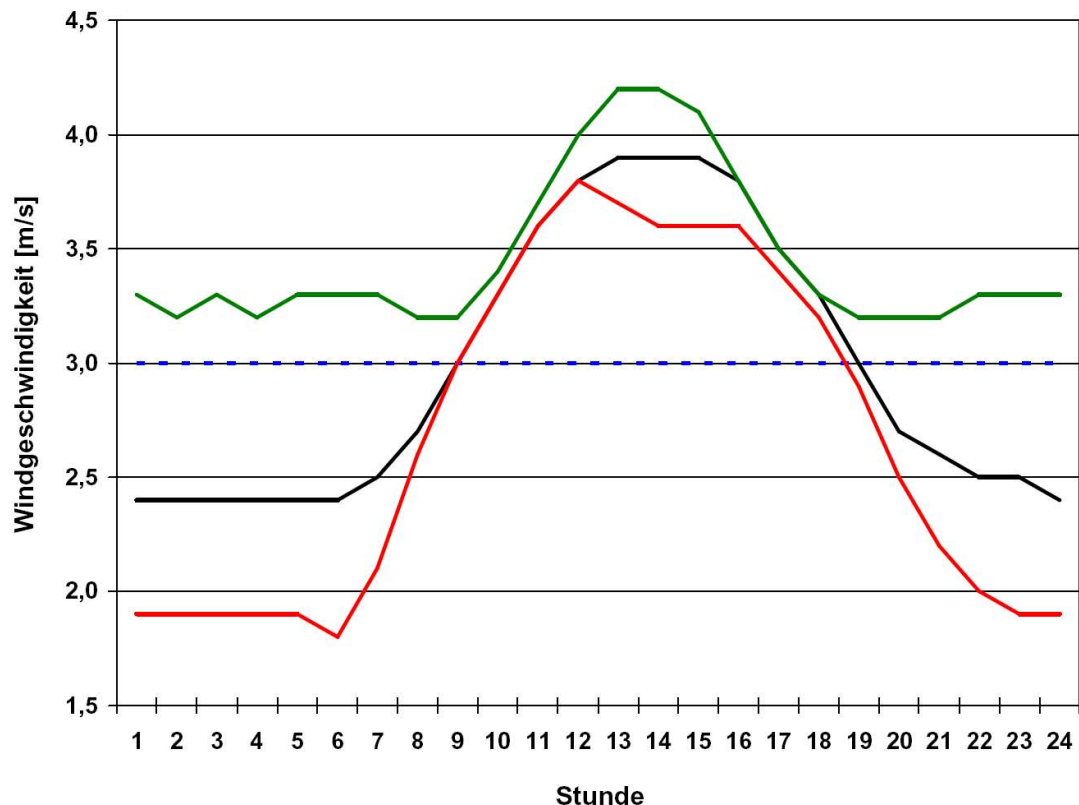


Abb. 2.1: Aus mehrjährigen Messreihen (1.1.1993 - 31.12.2000) ermittelter Tagesgang der Windgeschwindigkeit an der Messstation des deutschen Wetterdienstes am Flughafen München in einer Höhe von 10 m über freiem Gelände (schwarz: gesamter Jahresverlauf, grün im Januar, rot im Juli, blau gestrichelt: mehrjähriger Mittelwert von 3,0m/s)

Die Abb. 2.2 auf der nächsten Seite zeigt die prozentuale relative Häufigkeit der Windrichtungen basierend auf den Datensätzen des Deutschen Windatlases auf einer Bezugshöhe von 50 m über Grund bereits angepasst für den Standort in München Fürstenried-West. Hierzu ist die Windrichtungsskala in zwölf 30°-Sektoren eingeteilt, wobei z.B. Windrichtung aus West dem Sektor 270° entspricht, der den Bereich von 255° bis 285° repräsentiert. Die Summe der aufgetragenen Häufigkeiten für die 12 Sektoren beträgt 100%. In Abb. 2.3 sind die Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten aufgetragen, woraus sich der Jahresmittelwert der in dieser Höhe an diesem Standort herrschenden Windgeschwindigkeit zu 4,0 m/s errechnet.

Für die Bewertung der windklimatischen Verhältnisse ist die statistische Verteilung der auftretenden Windstärken insbesondere die Häufigkeit der Starkwindlagen wesentlich. Für die einzelnen Windstärken nach Beaufort werden in Abb. 2.4 die Häufigkeiten der Windrichtungen dargestellt. Bei einer Überlagerung der sechs Einzelbilder ergibt sich wiederum Abb. 2.2 (beachte abweichende Skalierung in den einzelnen Häufigkeits-Achsen).

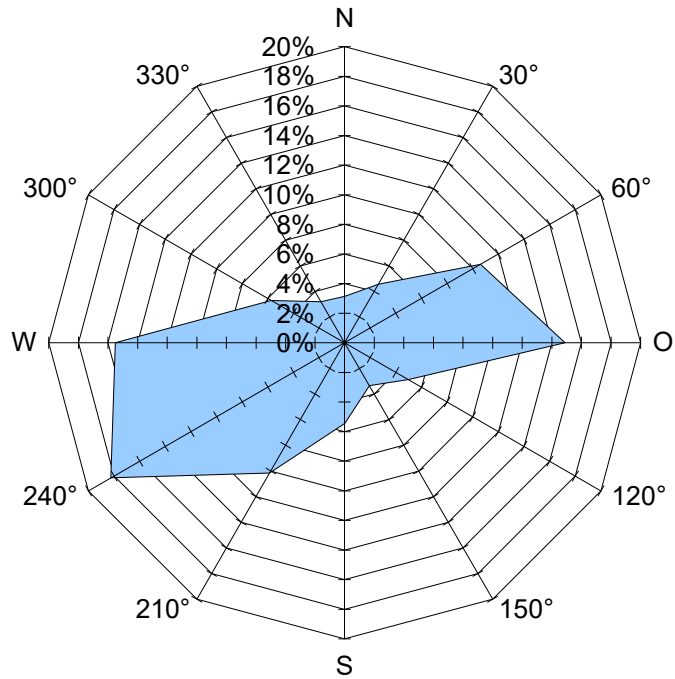
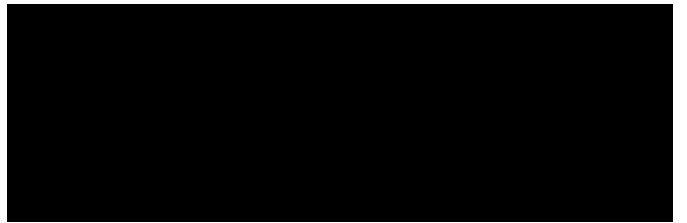


Abb. 2.1: Langjähriges Mittel der relativen prozentualen Häufigkeit der Windrichtungen am Standort der Hochhäuser an der Richard-Strauß-Straße 76 in München in 96 m Höhe über Grund

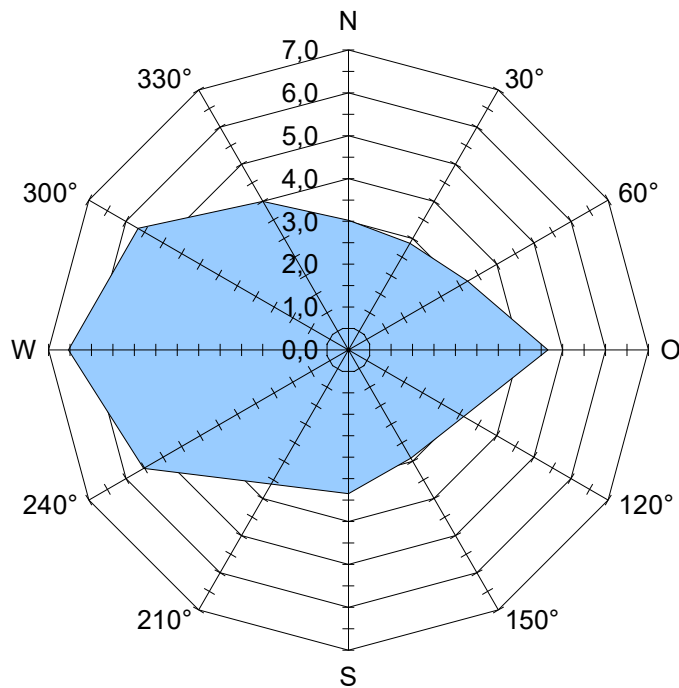
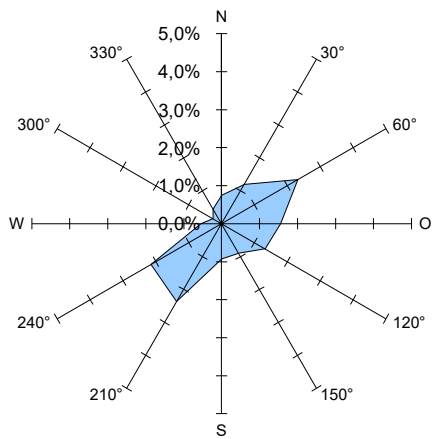
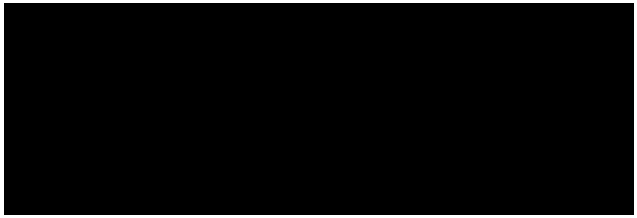
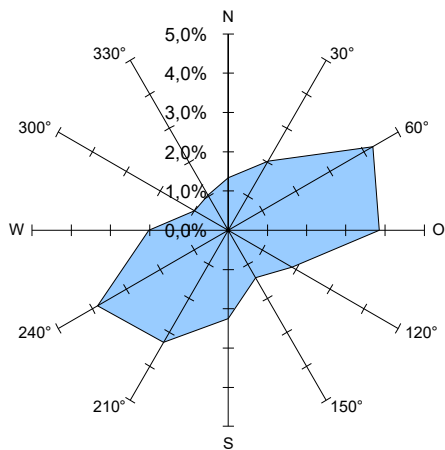


Abb.2.2: Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten in m/s in Abhängigkeit von der Windrichtung am Standort der Hochhäuser in einer Höhe von 96 m über Grund

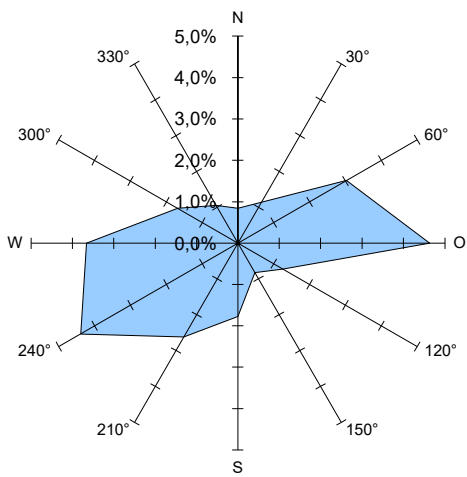
# RS 76, München



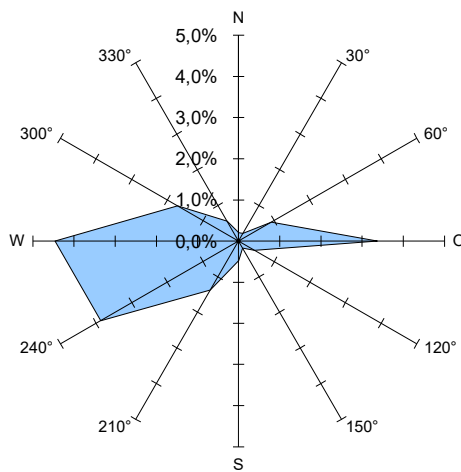
a) Stärke 1 - leiser Zug (0.3-1.8 m/s)



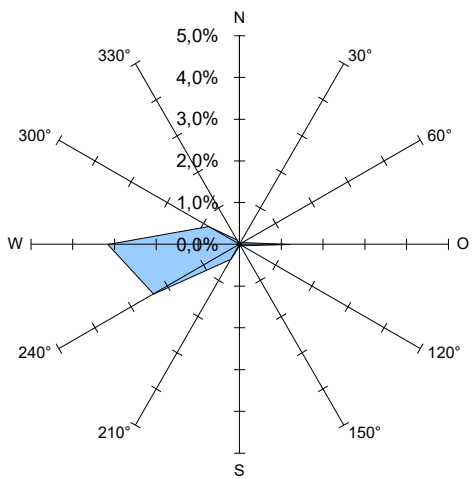
b) Stärke 2 - leichter Wind (1.8-3.6 m/s)



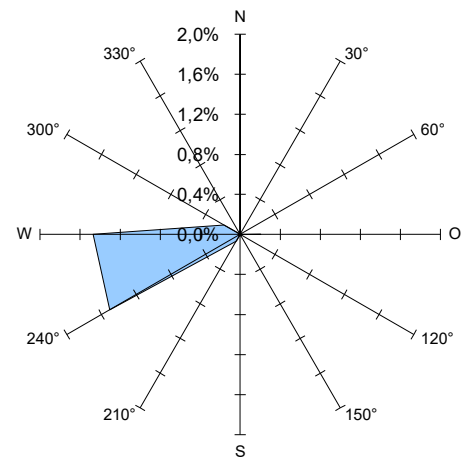
c) Stärke 3 - schwacher Wind (3.6-5.6 m/s)



d) Stärke 4 - mäßiger Wind (5.6-7.9 m/s)



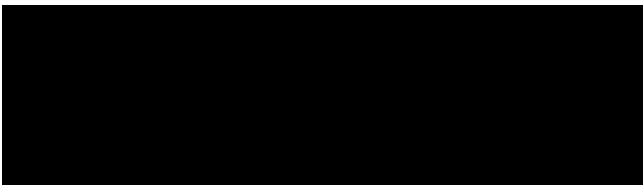
e) Stärke 5 - frischer Wind (7.9-10.4 m/s)



f) ≥Stärke 6 - starker Wind (≥10.4 m/s)

Abb. 2.3: Windrichtungsverteilung für verschiedene Windstärken nach Beaufort angepasst an den Standort der Hochhäuser RS76 in München in 96 m Höhe über Grund.





Die relative Häufigkeit von Stundenmittelwerten gibt an, wie oft eine bestimmte Windgeschwindigkeit im langjährigen Mittel zu erwarten ist. In der Abb. 2.4 ist die Häufigkeitsverteilung über das gesamte Jahr für den Standort in einer Höhe von 96 m angegeben.

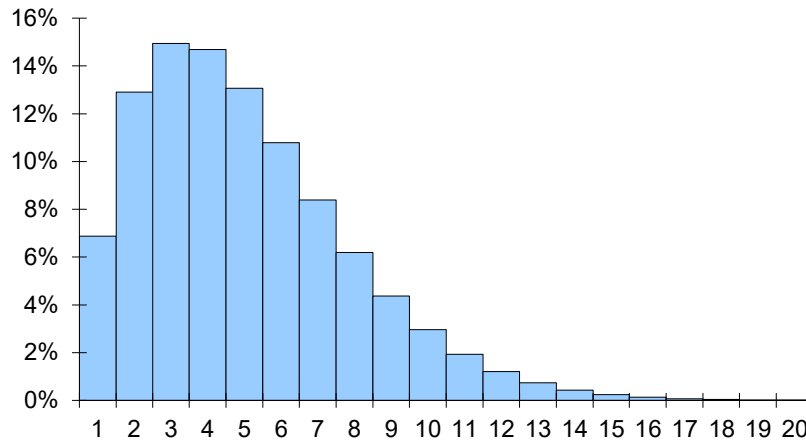


Abb.2.4: Relative Häufigkeitsverteilung auftretender Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit für das ganze Jahr am Gebäudestandort in einer Höhe von 96 m.

Die Summenhäufigkeit lässt eine Aussage zu, wie häufig mit der Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes der stunden gemittelten Windgeschwindigkeit zu rechnen ist. In der Abb. 2.5 ist die Summenhäufigkeit über dem Stundenmittelwert für das ganze Jahr aufgetragen. Abzulesen ist, dass in 96 m Höhe über dem Standort im Jahresdurchschnitt zu 0.28% der Zeit eine stündlich gemittelte Windgeschwindigkeit von 15 m/s überschritten wird und dass zu 82% der Zeit mittlere Windgeschwindigkeiten unter 7 m/s zu erwarten sind.

Über die Häufigkeit, mit welcher kurze Windböen (z. B. 5s-Böen) bestimmte Geschwindigkeiten überschreiten macht diese Kurve keine Aussage, sie gilt ausschließlich für die stündlichen Mittelwerte.

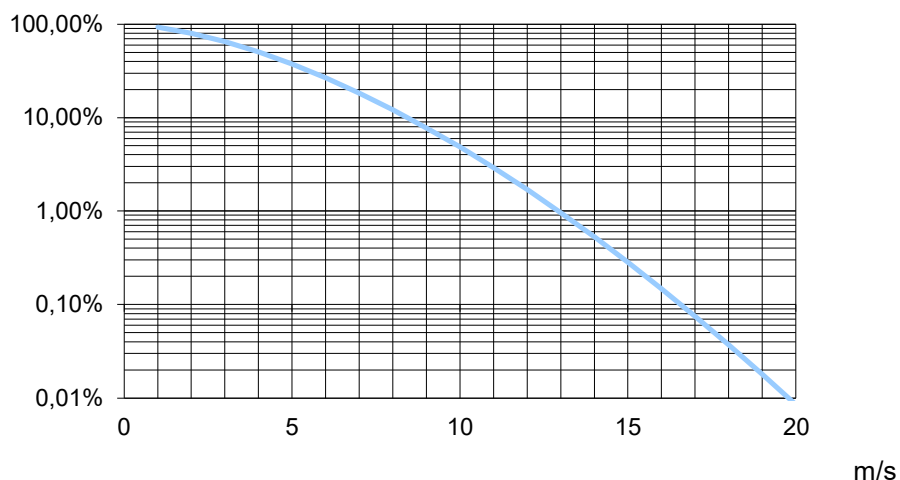
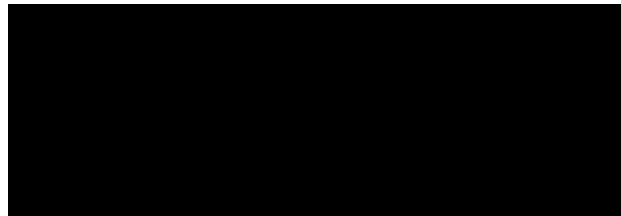


Abb.2.5: Überschreitenshäufigkeit der Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit am Gebäudestandort in einer Höhe von 96 m. Ablesebeispiel: Eine mittlere Windgeschwindigkeit von 11 m/s wird zu etwa 2,9% der Zeit überschritten und zu 97,1% der Zeit nicht erreicht.



## 2.2 Orientierung der Gebäude zur Windrichtung

In Abb. 2.6 ist eine Windrichtungsskala mit einer 360°-Einteilung zur Erläuterung der Windrichtungen über einen Lageplan projiziert.

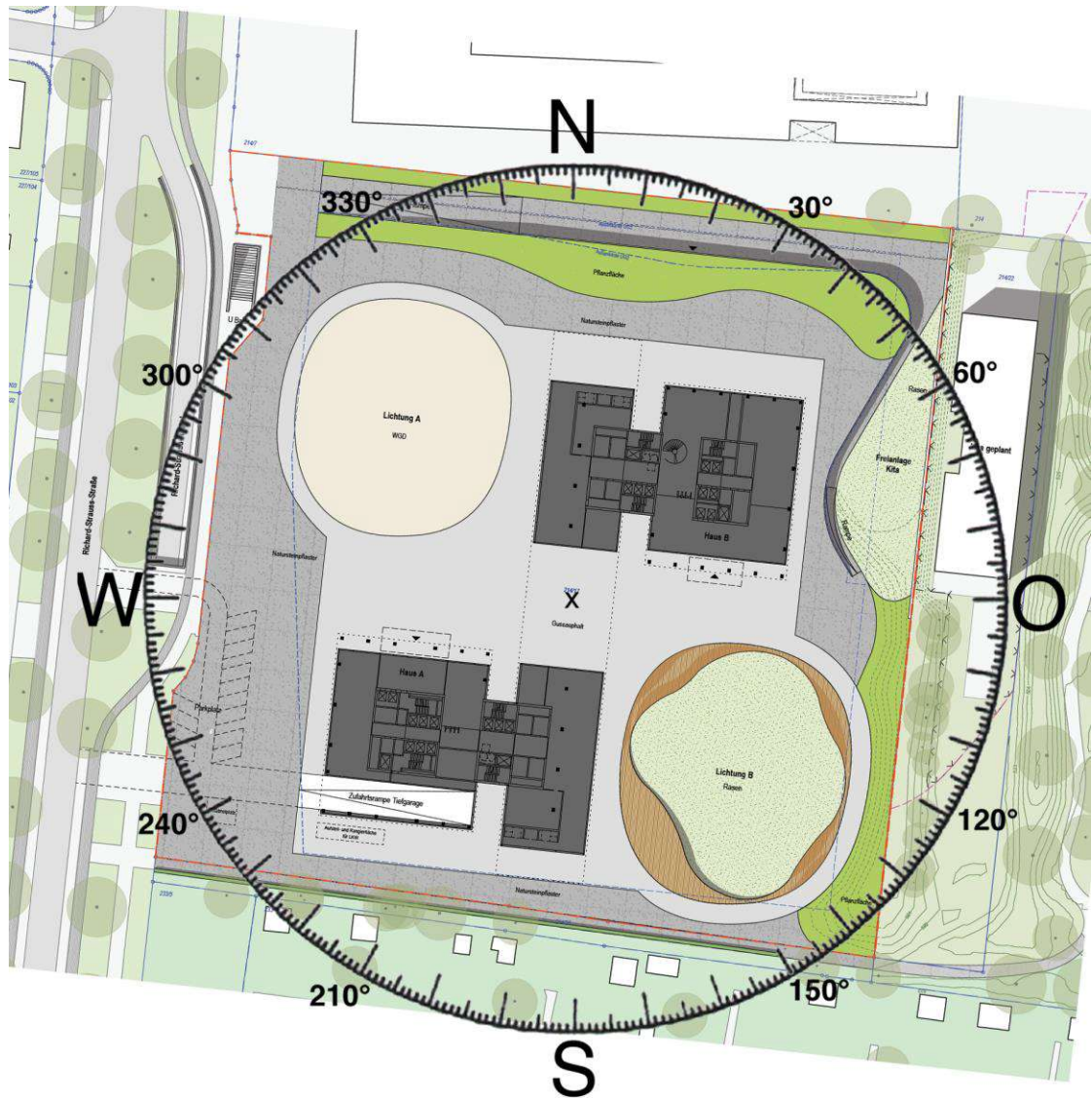


Abb.2.6: Lageplan der Hochhäuser RS76 mit Windrichtungsskala

Abbildung Gutachter

## 3 Versuchstechnik

### 3.1 Simulation des Windfeldes

#### 3.1.1 Atmosphärische Grenzschichtströmung

Das in der Natur vorherrschende Windströmungsfeld wird durch die Bodenbeschaffenheit, d.h. durch die Rauigkeit sowie die topografischen Verhältnisse der Oberfläche beeinflusst. Maßgebend sind hier Bebauungsdichte, Höhe und Form der Gebäude. Hieraus resultiert eine Geschwindigkeitsverteilung über der Höhe, bei der mit zunehmendem Abstand vom Boden eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit verbunden ist. In Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit wird auch die Turbulenz der Windströmung, d.h. die lokalen Schwankungen von Windrichtung und Windgeschwindigkeit ausgebildet.

Von der Oberflächenrauigkeit unbeeinflusste Windverhältnisse stellen sich über einer städtischen Bebauung in einer Höhe von mehreren hundert Metern ein. Für den untersuchten Stadtteil Bogenhausen in München wird hier eine Höhe von ca. 450m – 500m zugrunde gelegt. Innerhalb dieser Höhe bildet sich eine Grenzschichtströmung aus, die für die durchzuführenden Versuche bis zu einer Höhe von ca. 200 m mit einer hinreichenden Genauigkeit nachzubilden ist.

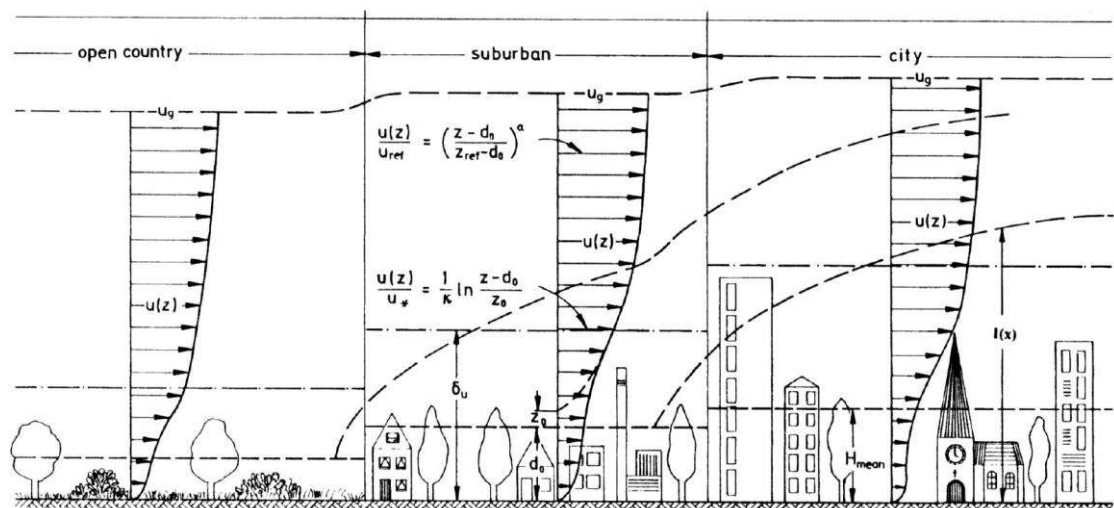


Abb. 3.1 Städtisches Windprofil für neutrale Grenzschichtströmung nach [Plate 1993]

Für das Höhenprofil der Windgeschwindigkeit, das durch ein Potenzgesetz bzw. ein logarithmisches Gesetz beschrieben werden kann, werden typische Verteilungen (vgl. Abb. 3.1) aus der Literatur herangezogen. Diese Profile gelten für die neutral geschichtete Atmosphäre, welche im Windkanalversuch mit guter Genauigkeit nachgebildet werden kann. Bei der Simulation der Anströmbedingungen ist vor allem die maßstäblich korrekte Einhaltung der Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit und der Turbulenzstruktur einzuhalten.

### 3.1.2 Beschreibung des Windkanals

Die Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit und die sich in der Natur bei einem solchen Windprofil einstellende Turbulenzstruktur werden durch eine von [Counihan 1973] beschriebene Methode in einem Grenzschicht-Windkanal maßstäblich verkleinert nachgebildet.

Für die Untersuchungen wurde ein Modellmaßstab von 1:250 mit dem Ziel einer möglichst hohen Auflösung gewählt. Durch Einbau der Gebäude- und Umgebungsmodelle darf eine Versperrung der frei durchströmten Querschnittsfläche von 5% nicht überschritten werden. Die Einhaltung der Ähnlichkeitsbedingung (eine von der Re-Zahl unabhängige Gebäudeumströmung) soll schon bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten erreicht werden können.

Die Modellversuche werden im Grenzschichtwindkanal des Lehrstuhls für Aerodynamik und Strömungsmechanik der Technischen Universität München durchgeführt. Der Aufbau des Windkanals ist in Abb. 3.2 schematisch dargestellt.

Es handelt sich hier um einen Windkanal der Bauart 'Eiffel' mit geschlossener Messstrecke. Die Abmessungen der Testsektion betragen  $L \times B \times H = 6,0\text{m} \times 2,7\text{m} \times 1,8\text{m}$ . Zur Einstellung verschiedener Anströmrichtungen wird das Gebäudemodell einschließlich seiner näheren Umgebung auf einer motorgesteuerten, stufenlos verstellbaren Drehplatte aufgebaut. Zur Erzeugung einer der natürlichen Windströmung entsprechenden Turbulenzstruktur sind Wirbelgeneratoren und eine Barriere nahe dem Einlauf angeordnet. Die nachfolgenden Rauigkeitselemente am Boden, bestehend aus im wechselnden Rhythmus aufgebauten Blöcken, dienen zur Stabilisierung der turbulenten Grenzschichtströmung und zur Einstellung des in Gl. 3.1 bzw. Gl. 3.2 beschriebenen Geschwindigkeitsprofils. Durch Reibungsverluste an den Windkanalwänden ergibt sich ein Energieverlust in Strömungsrichtung. Durch eine geneigte und höhenverstellbare Decke wird vermieden, dass sich in Strömungsrichtung ein in der Natur nicht vorhandener Druckgradient ausbildet. Die erforderlichen Strömungsgeschwindigkeiten werden durch ein stufenlos regelbares Axialgebläse eingestellt.

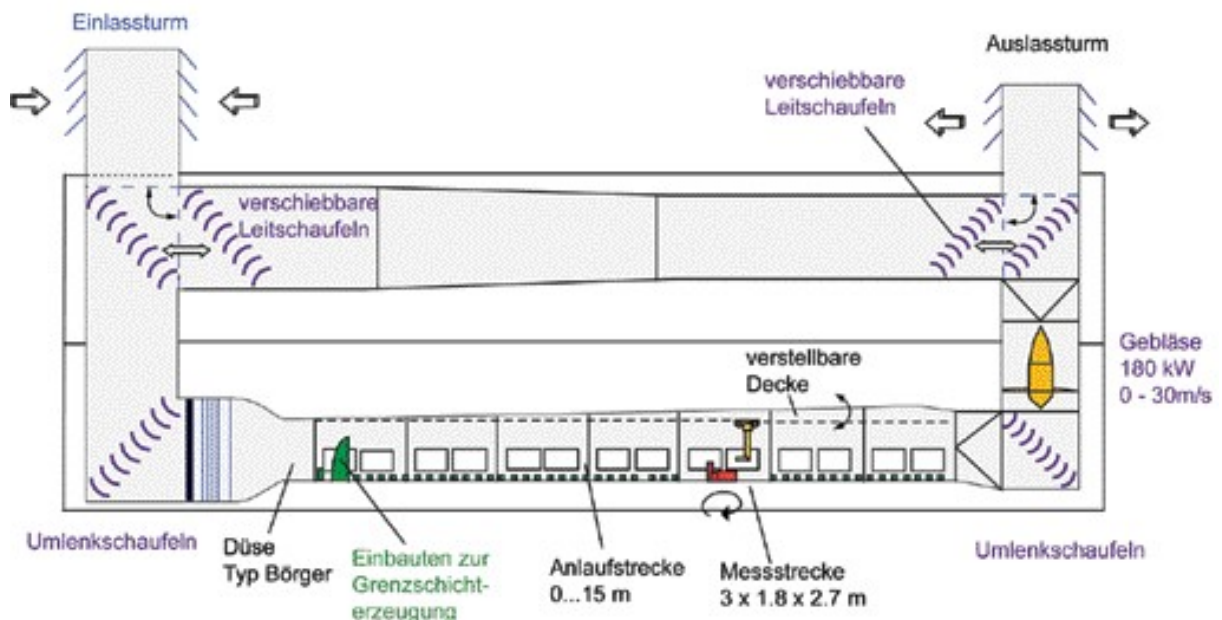


Abb. 3.2: Schematische Ansicht des Grenzschichtwindkanals

Abbildung Gutachter



### 3.1.3 Die simulierte Grenzschicht

Da das Umfeld des geplanten Standortes insbesondere in Richtung der Hauptwindlagen unterschiedlich dicht bebaut ist, wird bei der Simulation des Windprofils für den Untersuchungsbereich ein mittlerer Profilexponent  $\alpha = 0,24$  angenommen. Anhand dieses Profilexponenten kann mit dem Potenzgesetz der Form

$$\frac{u(z)}{u_{bez}} = \left( \frac{z - d_o}{z_{bez} - d_o} \right)^\alpha \quad (3.1)$$

ausgehend von einer Bezugshöhe  $z_{bez}$ , bei der die Bezugsgeschwindigkeit  $u_{bez}$  bekannt ist, für eine Höhe  $z > d_o$  über dem Boden die örtliche Windgeschwindigkeit  $u(z)$  berechnet werden. Als Verdrängungsschichtdicke  $d_o$  kann näherungsweise das 0,5- bis 0,7-fache der durchschnittlichen Höhe der Umgebungsbebauung angenommen werden.

Im unteren Bereich der atmosphärischen Grenzschicht in einer Höhe zwischen 10m und 100m gilt ebenso das logarithmische Gesetz der Form

$$\frac{u(z)}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \frac{z - d_o}{z_o} \quad (3.2)$$

mit

$u_*$	Schubspannungsgeschwindigkeit
$\kappa$	Kármánsche Konstante ( $\kappa = 0,4$ )
$d_o$	Verdrängungsschichtdicke
$z_o$	Rauhigkeitshöhe

Zur Überprüfung der Ähnlichkeit der Anströmung wurde das Geschwindigkeits- und Turbulenzprofil der Modellgrenzschicht sowie das Leistungsspektrum der Turbulenz mit Hilfe einer Dreidraht-Hitzdrahtsonde ermittelt und mit Naturmessungen [ESDU 1991] verglichen.

Das Profil der mittleren Geschwindigkeit wurde durch den Potenzansatz nach Gl. 3.1 approximiert. Eine der natürlichen Windsituation ähnliche Modellströmung wird im Windkanalversuch bei einer maßstabsgetreuen Nachbildung von  $d_o$  sowie bei Übereinstimmung des Profilexponenten  $\alpha$  erreicht.

Das Profil mit den approximierten Werten  $\alpha = 0,24$  und  $d_o = 5,5\text{m}$  ergibt sich bei einer städtischen Bebauung mit Gebäudehöhen in der Größenordnung von 10 bis 18 m.

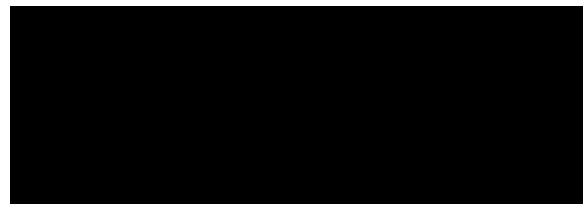
Die Turbulenzintensität, als ein Maß für die Böigkeit des Windes, wird definiert zu Standardabweichungen der Geschwindigkeitsschwankungen bezogen auf die mittlere lokale Windgeschwindigkeit

$$Tu = \frac{\sqrt{\overline{u'^2}}}{\bar{u}} \quad (3.3)$$

mit  $\overline{u'^2}$  als Varianz der Geschwindigkeitsschwankungen und  $\bar{u}$  als Mittelwert der lokalen Windgeschwindigkeit.

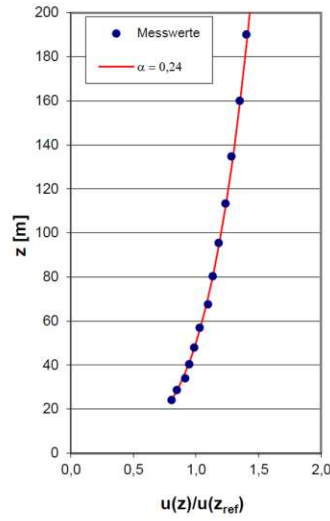
Die Daten der simulierten Grenzschicht finden sich in Abb. 3.3. Der zeitliche Verlauf der in der Messstrecke des Windkanals gemessenen Windgeschwindigkeit wurde einer Frequenzanalyse unterzogen. Das Ergebnis ist in normierter Form als Turbulenzspektrum in 45m Höhe zum Vergleich mit den aus den Naturmessungen verfügbaren Vergleichsdaten aufgetragen.



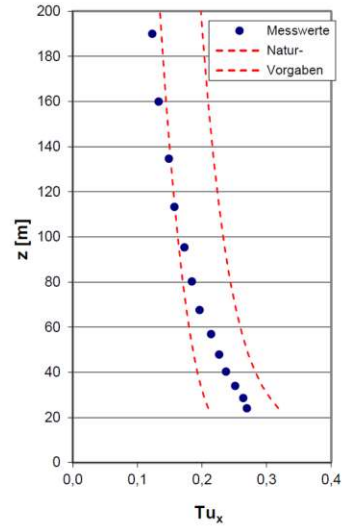


Potenzgesetz:

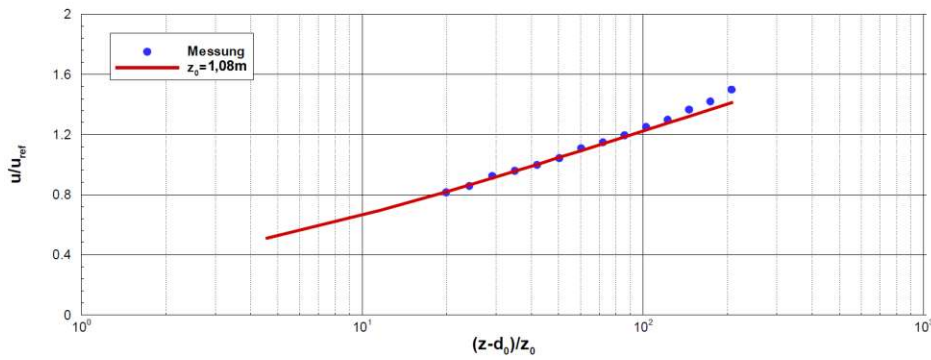
$$\frac{u(z)}{u(z)_{ref}} = \left( \frac{z - d_0}{z_{ref} - d_0} \right)^\alpha$$



a) Zeitgemittelttes Geschwindigkeitsprofil nach dem Potenzgesetz



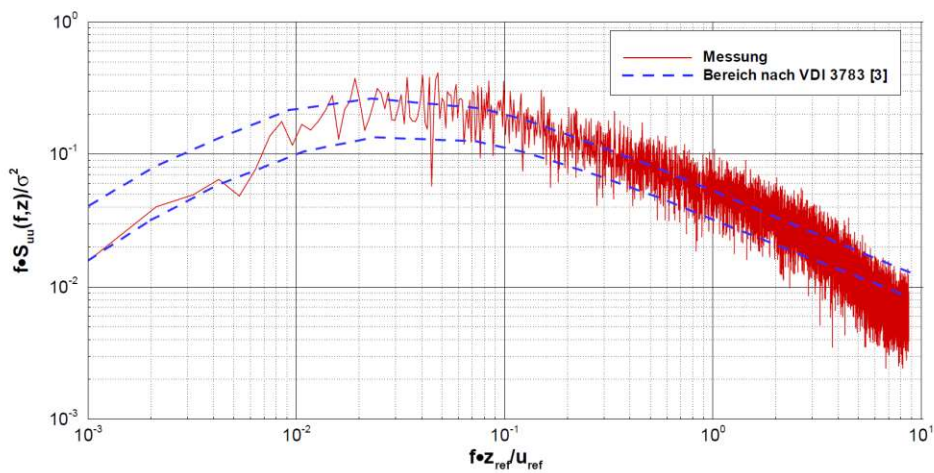
b) Profil der Turbulenzintensität



log. Gesetz:

$$\frac{u(z)}{u_\tau} = \frac{1}{\kappa} \ln \left( \frac{z - d_0}{z_0} \right)$$

c) Zeitgemittelttes Geschwindigkeitsprofil nach dem logarithmischen Gesetz



d) Turbulenzspektrum in 45m Höhe

Abb. 3.3: Daten der simulierten Grenzschicht



### 3.1.4 Modellierung des Gebäudekomplexes und der näheren Umgebung

Da die Windströmung durch die Umgebungsbebauung des zu untersuchenden Gebäudekomplexes stark beeinflusst wird (vgl. Abb. 3.1), sind neben den zu betrachteten Neubauten die umgebenden Gebäude maßstabsgetreu nachzubilden. Hierbei wird es im vorliegenden Fall als ausreichend angesehen, den Umgebungsbereich bis in eine Entfernung von ca. 275m zu modellieren. Mit zunehmender Entfernung zu den zu untersuchenden Gebäudekomplexen ist ein geringerer Detaillierungsgrad der Gebäude angemessen.

Für die Nachbildung der Neubaukomplexe wurden von den [REDACTED] ein 3d-Modell mit Stand Mitte April 2020 zur Verfügung gestellt. Während des Modellbaus wurde ein aktualisierter Plansatz als Vorabzug Stand 8.5.2020 übermittelt. Die im Rahmen des Windkomforts zu untersuchenden Varianten betreffen die Skybar im 24.OG, die Dachterrasse Riegel sowie die Außenanlagen im EG. Hierzu wurden von den [REDACTED] Architekten Modellvarianten vorgeschlagen und von den Landschaftsarchitekten [REDACTED] Bepflanzungsvarianten für die Außenanlagen und die dachterrasse Riegel mit Stand 19.3.2020 bereit gestellt.

Für die Anordnung und Modellierung der Umgebungs- bzw. Bestandsgebäude wurden der bereit gestellte Lageplan im LoD2-Format sowie weitere detaillierte Luftbildaufnahmen verwendet.

Nahe dem Zentrum der Drehplatte werden die einzelnen Modelle der drei Hochhäuser an der Richard-Strauß-Straße 76 installiert. Die angrenzenden Gebäude werden jeweils auf der Drehplatte gemäß Lageplan zugeordnet und fixiert. Die Abb. 3.4 zeigt das Modell mit Blickrichtung in die Anlaufstrecke des Windkanals für den projektierten Planzustand mit den Hochhäusern im Zentrum. Abb. 3.5 und Abb. 3.6 ist eine Detailansicht des Hochhauskomplexes mit Blickrichtung aus Südost und aus Nordwest zu entnehmen.

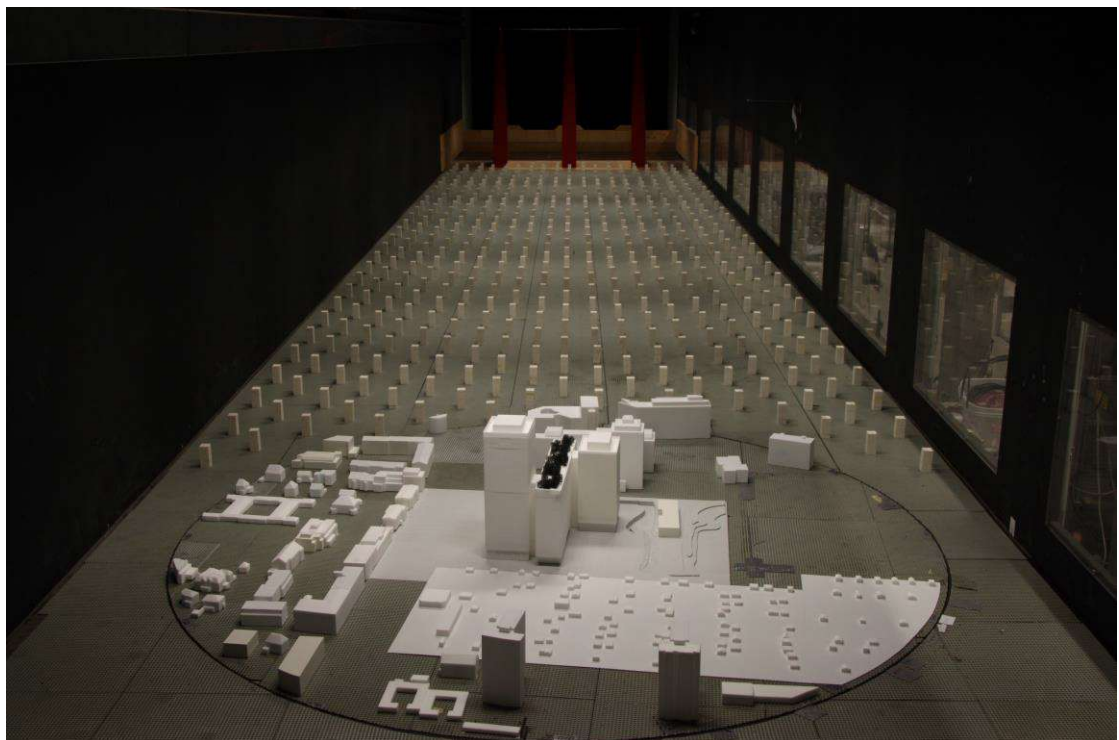


Abb. 3.5: Modellaufbau der Hochhäuser Rs76 mit Blick in die Windkanal-Anlaufstrecke

Eigene Aufnahme

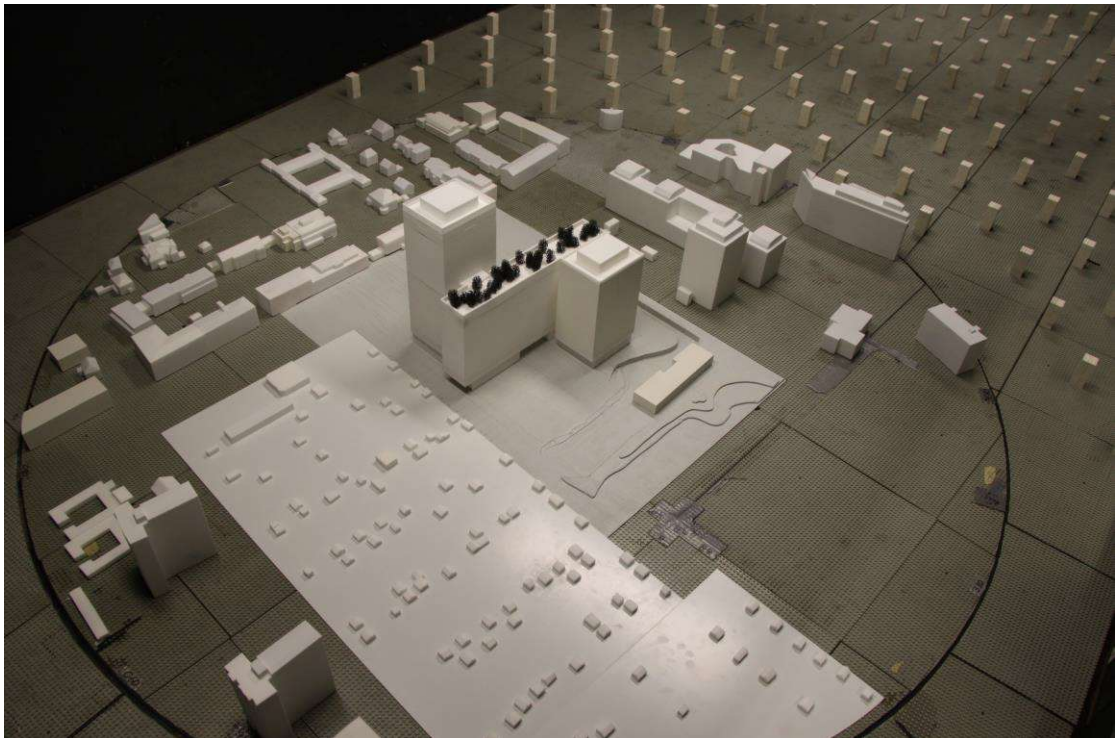


Abb. 3.6: Detailansicht des Hochhauskomplexes RS76 mit Blickrichtung aus Südost

Eigene Aufnahme

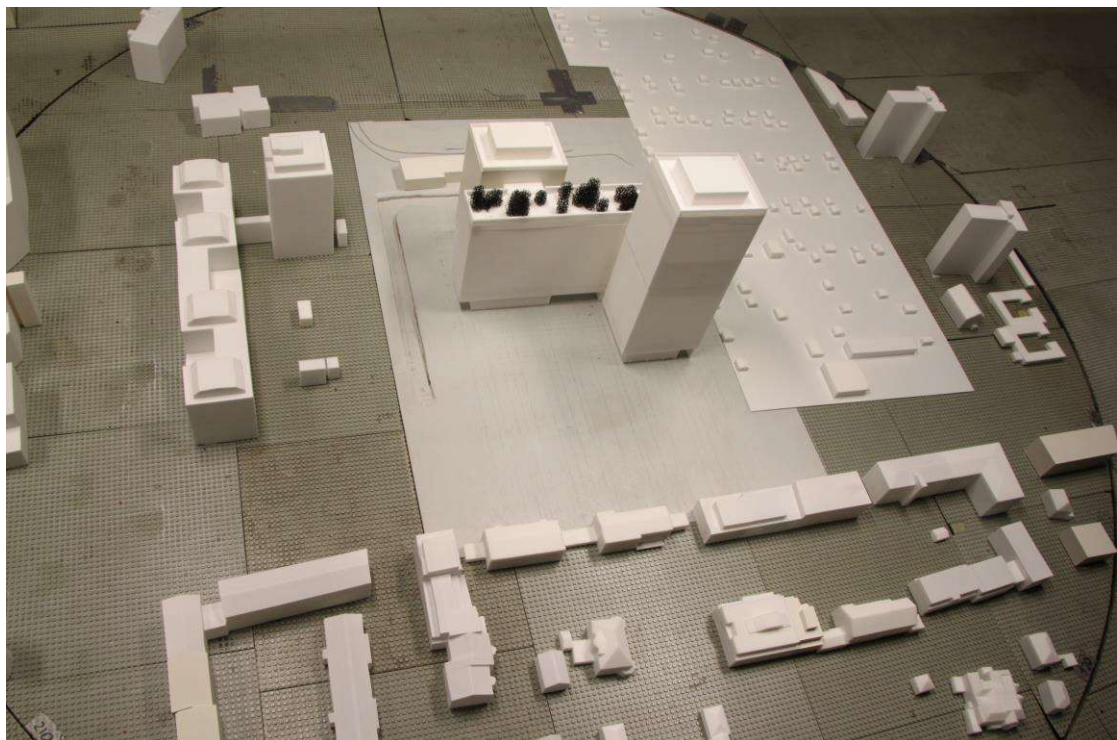
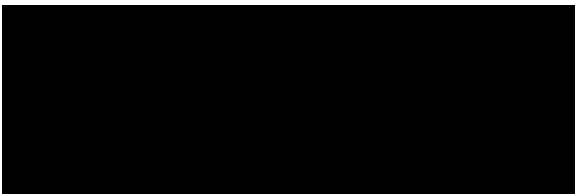


Abb. 3.7: Detailansicht von RS76 mit Blickrichtung aus Nordwest

Eigene Aufnahme





### 3.1.5 Untersuchungsvarianten zur Gegenüberstellung des Fußgängerkomforts

Für den Modellversuch wurden verschiedene Varianten der Außenanlagen EG nach dem Konzept [redacted] vorbereitet, so dass ein unmittelbarer Vergleich der erzielbaren Windkomfortverhältnisse untersucht werden kann.

Als Variante 1 bzw. als Referenz ist in Abb. 3.8 der Grundriss EG mit Lichtung A und Lichtung B ohne Bäume beschrieben.



Abb. 3.8a: Modellvariante 1 der Außenanlagen EG nach Konzept [redacted]

Abbildung Gutachter

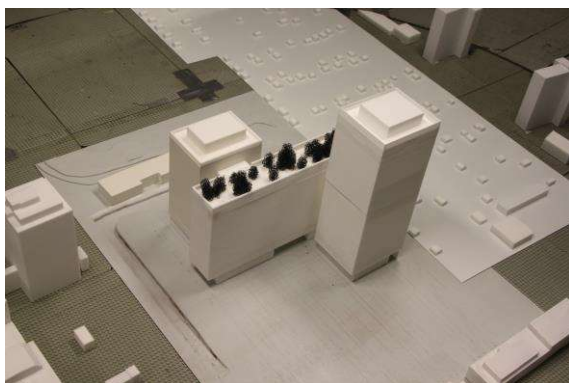


Abb. 3.8b: Variante 1: Außenbereich Nordwest  
Eigene Aufnahme



Variante 1: Außenbereich Südost  
Eigene Aufnahme

## RS 76, München

Im Weiteren wird Variante 2 mit hochstämmigen Bäumen und Variante 3 mit hochstämmigen Bäumen und einer zusätzlichen Strauchbepflanzung unterschieden. Abb. 3.9 zeigt Variante 3 mit hochstämmigen Bäumen und einer zusätzlichen Strauchbepflanzung nach dem Konzept [REDACTED]. Hier werden Bäume mit ca. 7-15m Höhe, aufgeastet bis ca. 4m, vorgeschlagen. Die Strauchbepflanzung hat eine Höhe von ca. 4m. Grundlage für die Modellierung der mit ca. 7-15m angegebenen Höhe der Bäume ist die Zusammenstellung der verwendeten Baumarten nach [REDACTED], wobei insbesondere für die einzelnen Laub- und Nadelbäume die Größe bei Bepflanzung und die Größe nach 10 Jahren (Höhe, Kronenbreite und Kronenansatz) unterschieden wird.



Abb. 3.9a: Modellvariante 3 der Außenanlagen EG nach Konzept [REDACTED].

Abbildung Gutachter

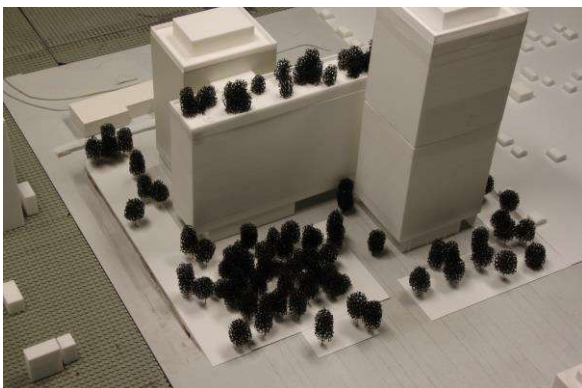
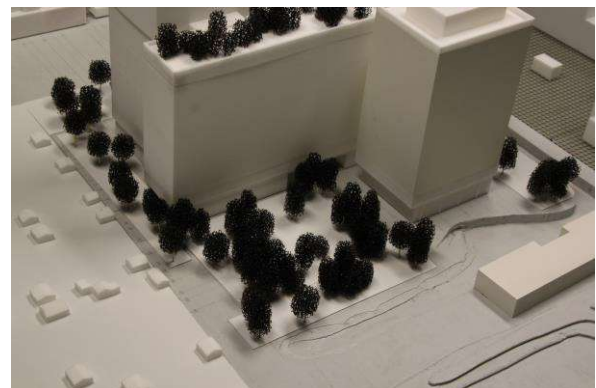


Abb. 3.9b: Variante 3: Außenbereich Nordwest



Variante 3: Außenbereich Südost

Eigene Aufnahme

Eigene Aufnahme



Im Rahmen der Planfortschreibung wurde vom [redacted] die Begrünung der Außenanlagen überarbeitet. In Abb. 3.10 ist der Planstand vom 14.7.2020 als Modellvariante Außenanlagen Hochstämmige Bäume – zusätzliche Bäume (Hochstamm) zu entnehmen. Hier sind nicht unerhebliche Abweichungen gegenüber der im Juni 2020 untersuchten Variante 3 enthalten Für weiter führende Untersuchungen wurde die neu geplante Begrünung der Außenanlagen im Windkanalmodell angepasst. Dabei wurden wiederum aus der Zusammenstellung der verwendeten Baumarten jeweils die Baum- und Strauchgrößen nach 10 Jahren ausgewählt.



Abbildung Gutachter

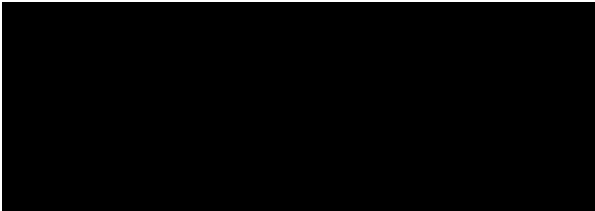
Abb. 3.10a: Außenanlagen EG nach Konzept [redacted] (Stand 14.7.2020) für die Variante 4, 5 und 6



Abb. 3.10b: Variante 5b: Außenbereich Nordwest



Variante 5b: Außenbereich Südost



Neben der überarbeiteten Begrünung wurden von den Architekten [Redacted] Schutzmaßnahmen in Form von Schürzen an der West- und Ostseite des Durchgangs vorgeschlagen (vgl. Abb. 3.10c). Diese Maßnahmen zielten auf eine Verringerung der windbedingten Druckausgleichsströmungen zwischen der Westfassade und der Ostfassade des Riegels bei den am Standort vorherrschenden Starkwindlagen aus südwestlichen und vor allem aus westlichen Richtungen ab. Die Varianten 4A, 5A und 6A beinhalten Schürzen aus Glas abgehängt von der Decke, wobei eine Durchfahrtshöhe von 3,5m erhalten bleibt. Bei der Variante 4 und 6 sind die Schürzen jeweils bündig mit der Fassade angeordnet, bei der Variante 5 sind beide Schürzen 1,5m von der Vorderkante nach innen gerückt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde auf die Variante 5A gelegt. Ergänzend wurden mit der Bezeichnung Variante B verschiebbare Einzelsegmente im unteren Bereich überprüft, die hier nicht näher aufgeführten Ergebnisse sind in einem Zwischenbericht vom 18.9.2020 enthalten.

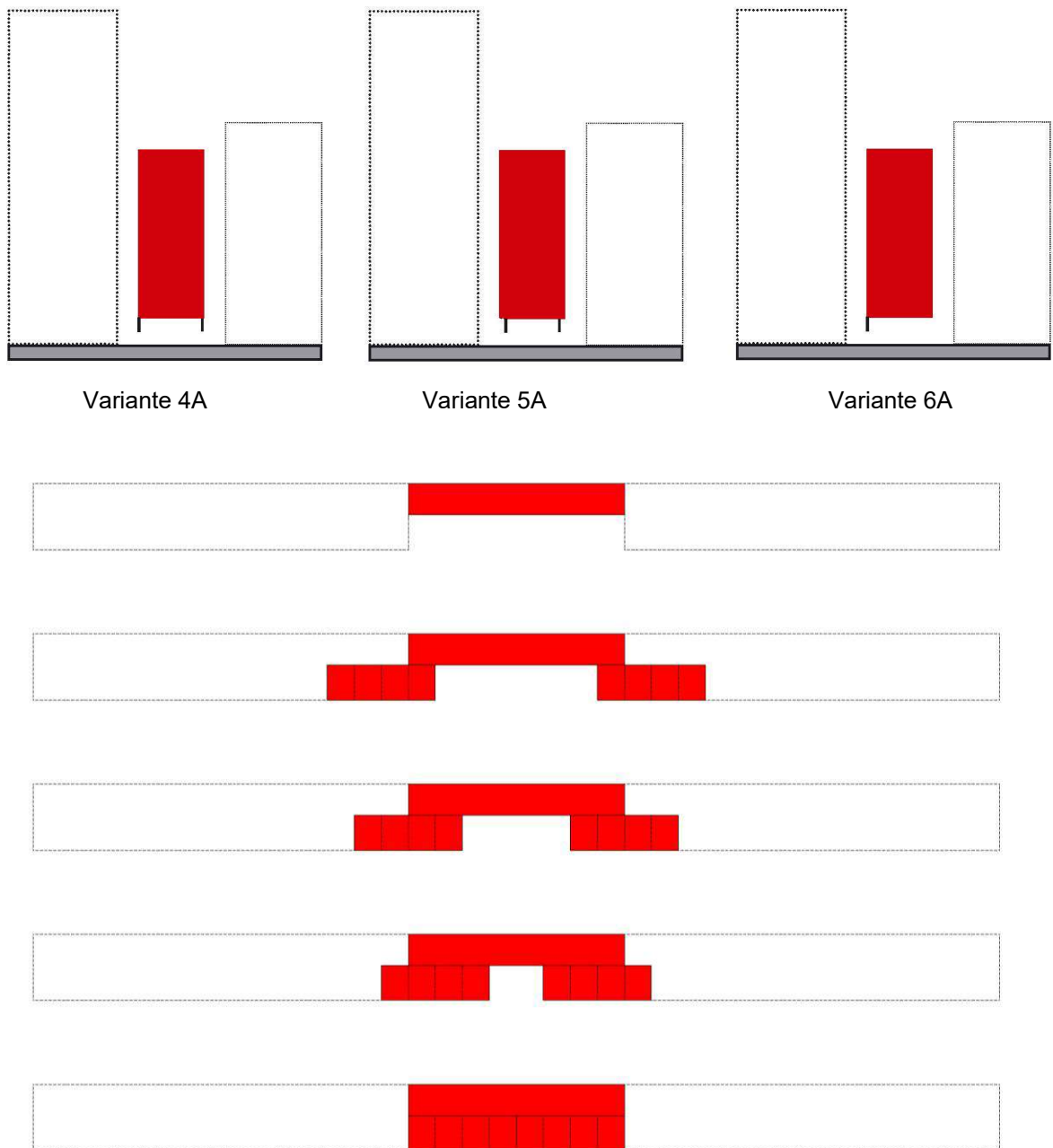
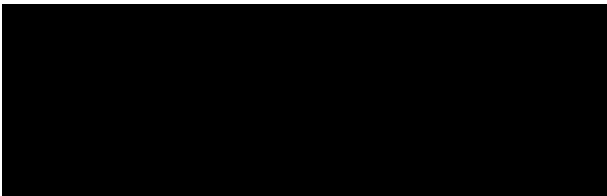


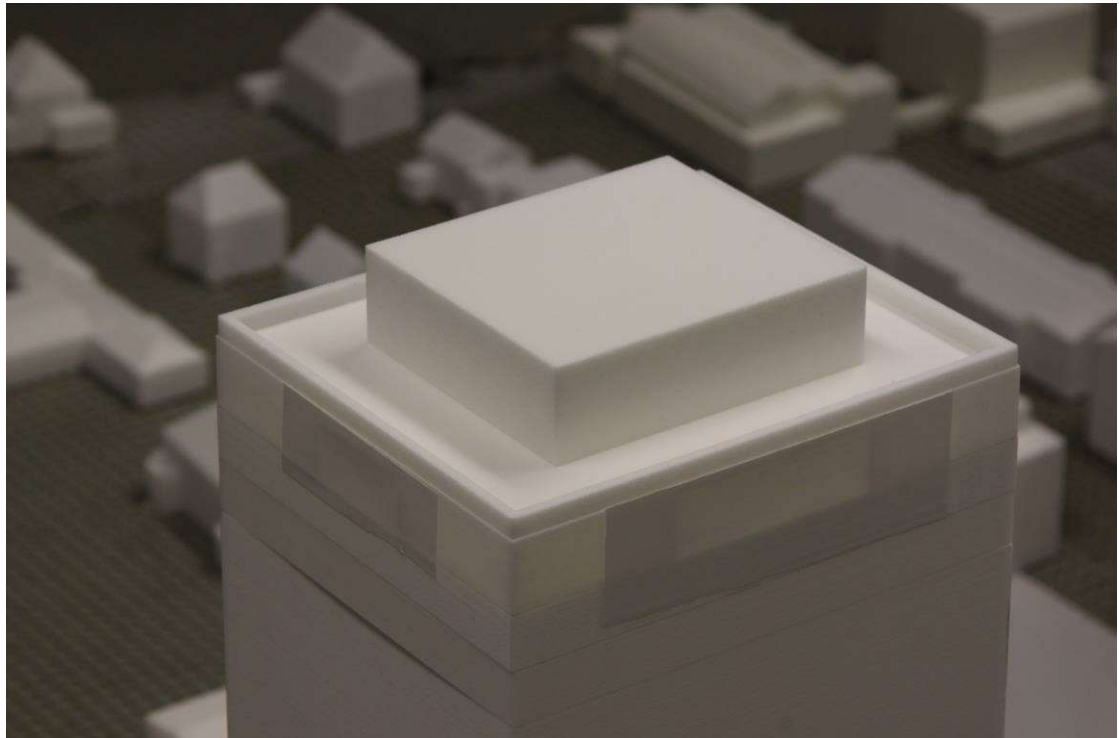
Abb. 10c: Schürzen an West- und/oder Ostseite aus Glas oder teildurchlässig (ca. 50%)  
 Variante A: Schürze mit verbleibender Durchfahrtshöhe 3,5m  
 Variante B: Schürze plus verschiebbare Einzelsegmente – 3,5m hoch (Glas oder teildurchlässig)



### 3.1.6 Untersuchungsvarianten Skybar im 24.OG

Im 24.OG des Hochhauses sollen verschiedene Schutzmaßnahmen für die Terrasse der Skybar vergleichend untersucht werden. Nachfolgend sind die von den [redacted] Architekten vorgeschlagenen Modellvarianten Skybar aufgelistet.

Die Variante 1 (Referenz) beschreibt die Terrasse der Skybar auf dem Dach (vgl. Abb. 3.11), die Attika weist hier eine Höhe von 1,3m auf.



Eigene Aufnahme

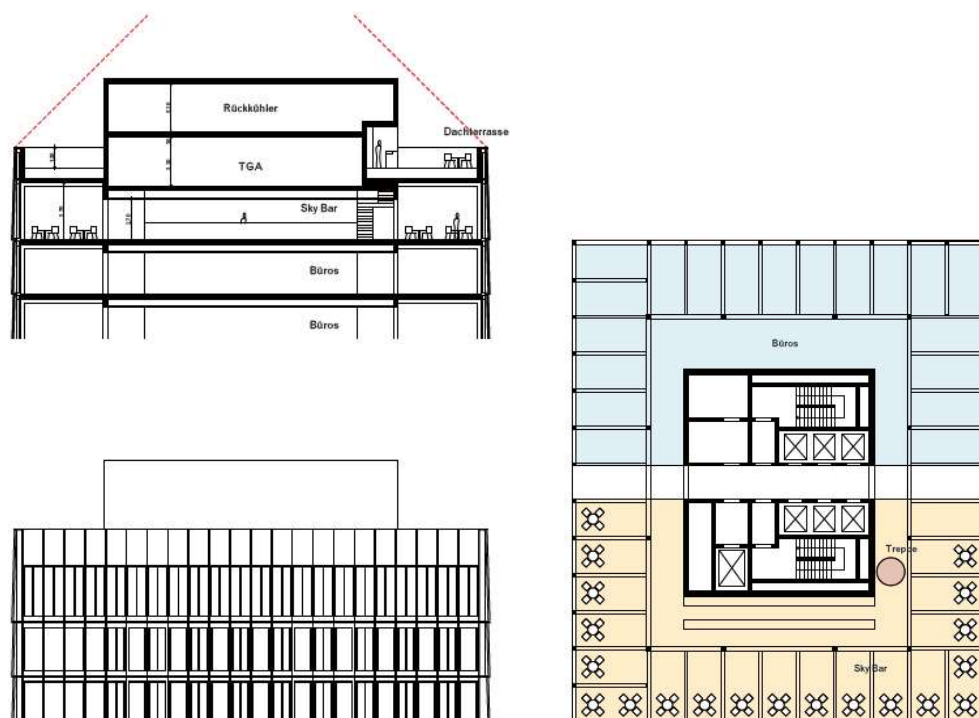


Abb. 3.11: Modellvariante 1, Terrasse der Skybar auf dem Dach, Höhe Attika 1,3m





Bei der Variante 1a befindet sich die Terrasse der Skybar ebenso auf dem Dach, die Attika besitzt jedoch einen 3m hohen Windschutz (vgl. Abb. 3.12). Bei Variante 1b ist ein zusätzliches Technikgeschoss auf dem Dach. Die Terrasse der Skybar befindet sich auf dem Dach unmittelbar hinter dem 3m hohen Windschutz (vgl. Abb. 3.13)

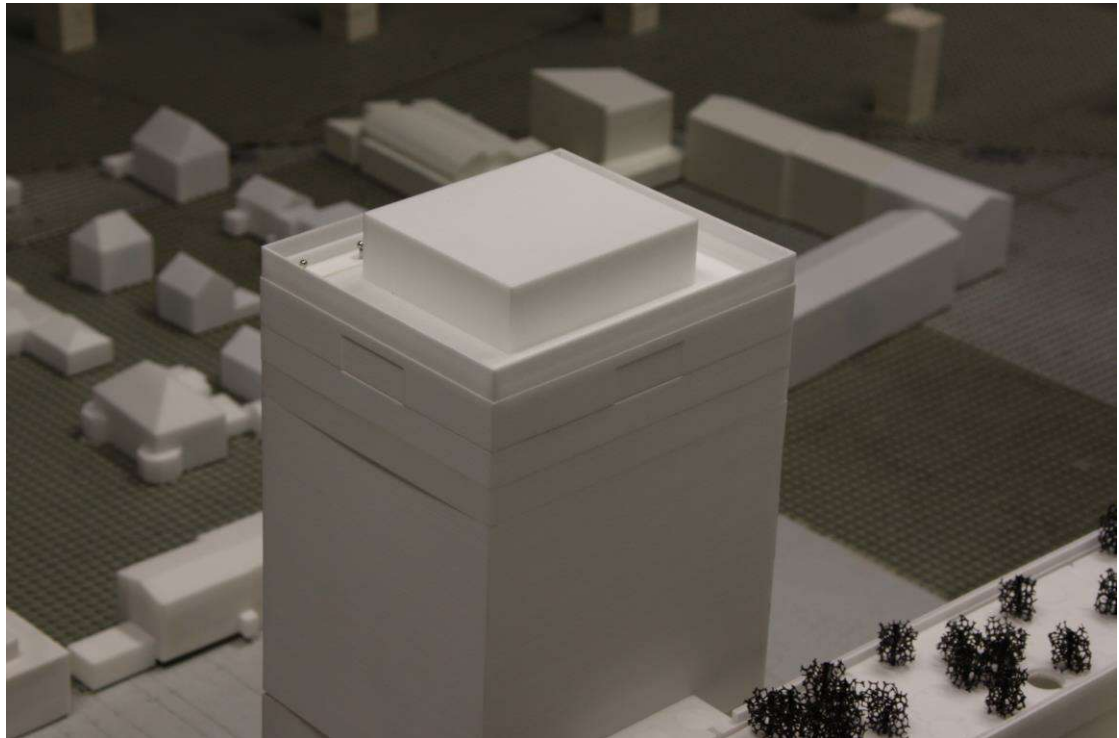


Abb. 3.12: Modellvariante 1a, Terrasse der Skybar auf dem Dach, Höhe Windschutz 3m

Eigene Aufnahme

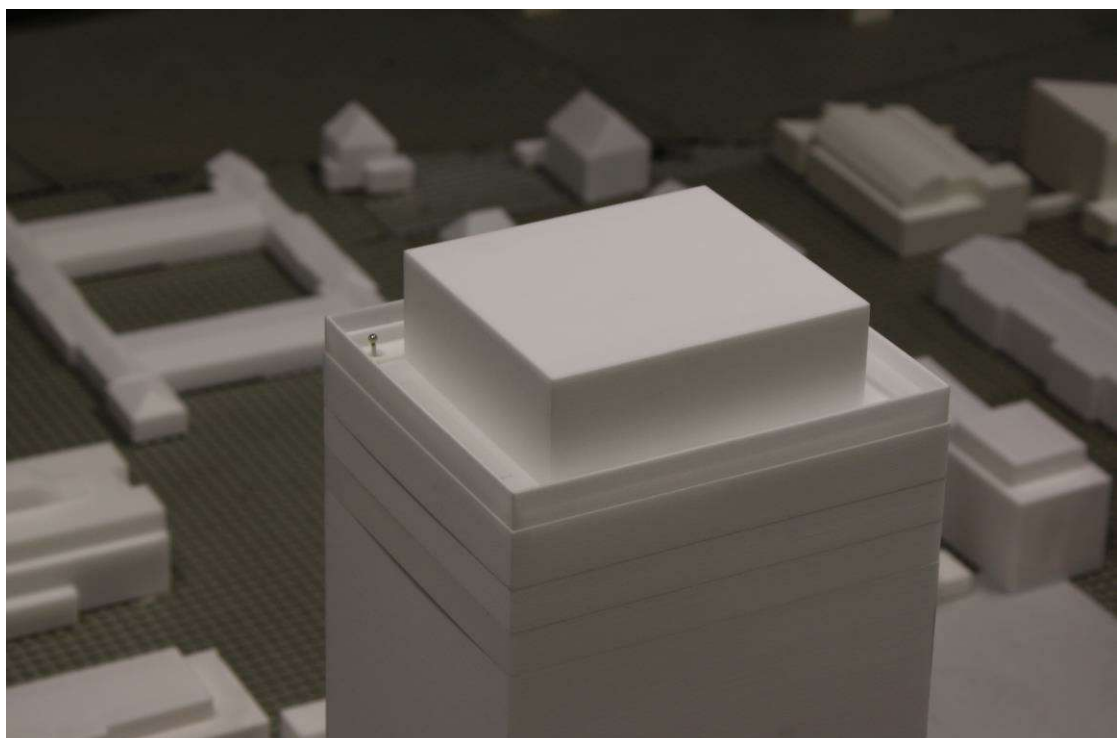
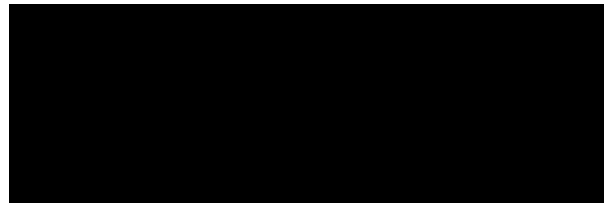


Abb. 3.13: Modellvariante 1b, Terrasse der Skybar auf dem Dach, Technikgeschoss darüber, Höhe Windschutz 3m

Eigene Aufnahme



Bei Variante 2 und Variante 3 sind Loggien als Außenraum vorgesehen. Die Skybar orientiert sich mit der Terrasse (ohne Prallscheiben) nach Richtung Westen, Süden und Osten sowie u.U. nach Norden, das Dach ist geschlossen (vgl. Abb. 3.14).

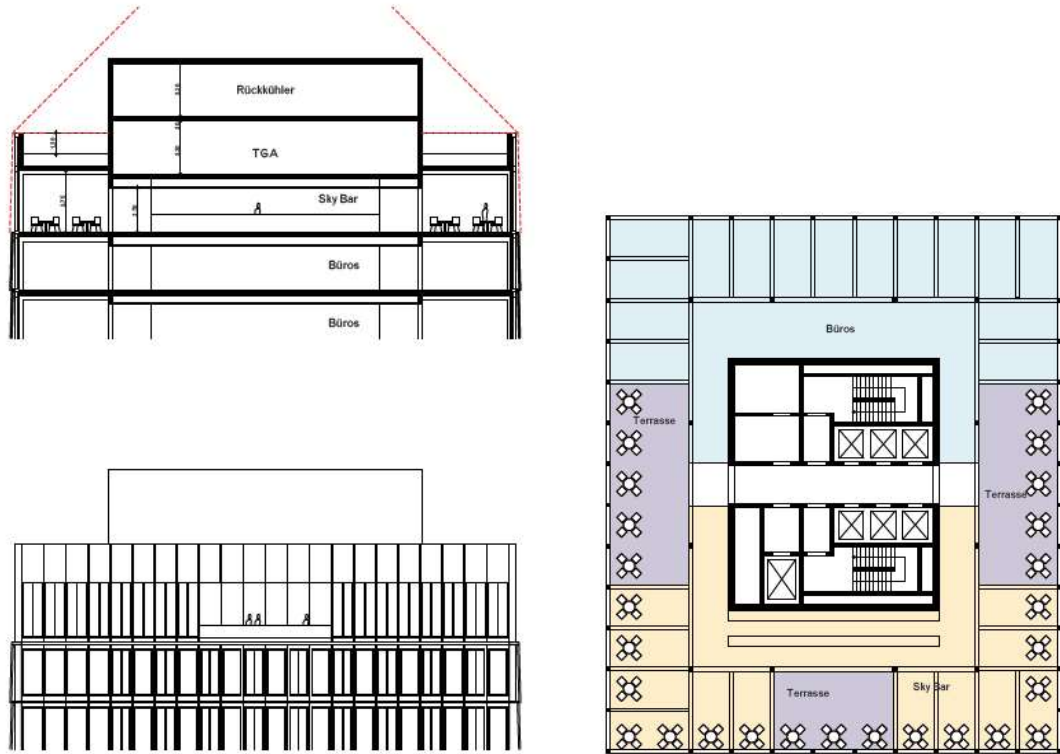


Abbildung Gutachter

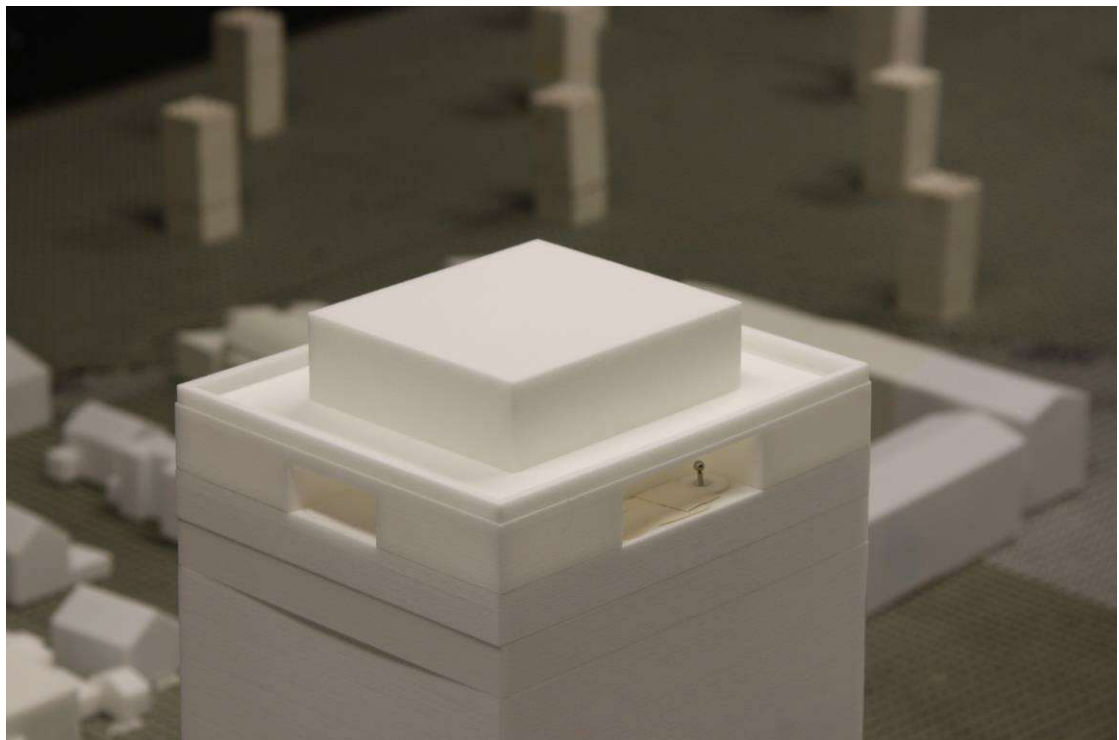
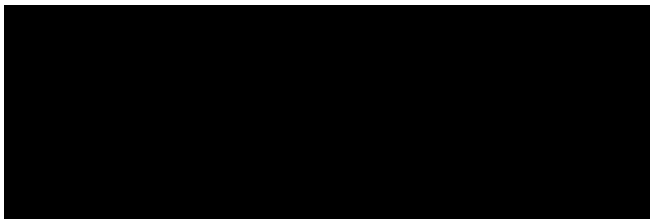


Abb. 3.14: Modellvariante 2: Loggia nord- und südseitig, Modellvariante 3: Loggia west- und ostseitig, das Dach ist geschlossen  
Eigene Aufnahme



### 3.1.7 Untersuchungsvarianten auf Dachterrasse Riegel

Die Dachterrasse im 14. Obergeschoss des Riegels soll für eine Freilächennutzung ausreichend windgeschützt gestaltet werden. Hierzu sollen verschiedene Schutzmaßnahmen vergleichend untersucht werden. Bei der Referenzsituation (Variante 1) wird die Attika mit 1,10m ausgebildet. In Abb. 3.15 sind die von den Architekten vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen skizziert.

Bei Variante 2 wird die Attika mit einem 2,50m hohen Windschutz ausgestattet.

Variante 3 sieht eine intensive Begrünung vor, wobei Variante 3a eine niedrige Begrünung mit ca. 3m bis 4m hohen Stammbüschen und Variante 3b eine hohe Begrünung mit ca. 5m – 7m hohen Stammbüschen beschreibt. Die Abb. 3.16 bis Abb. 3.19 zeigen Modellfotos der zu untersuchenden Varianten.

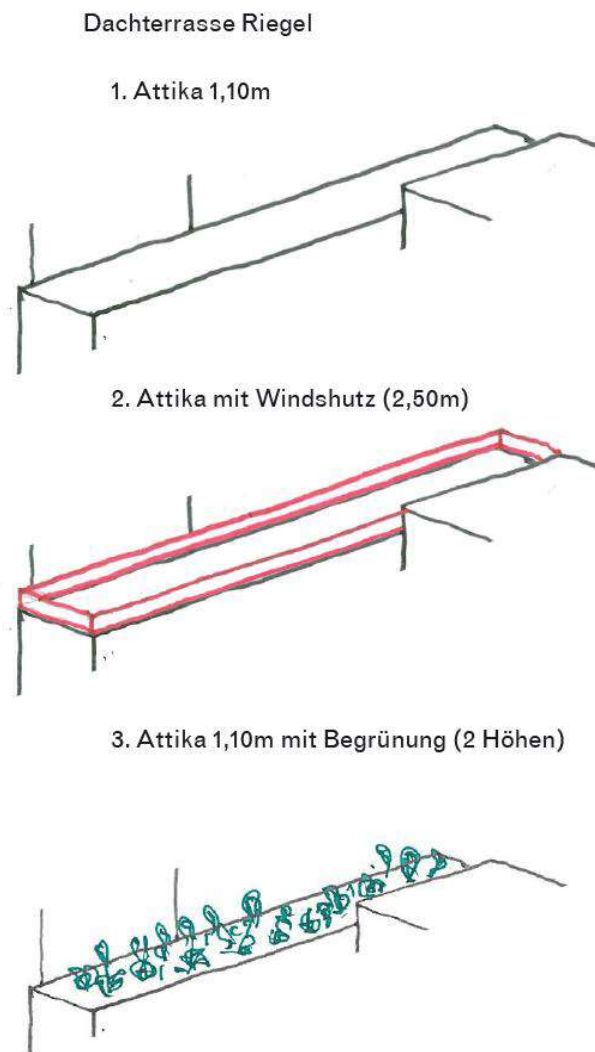


Abb. 3.15: Modellvarianten Dachterrasse Riegel nach Vorschlag .

Abbildung Gutachter



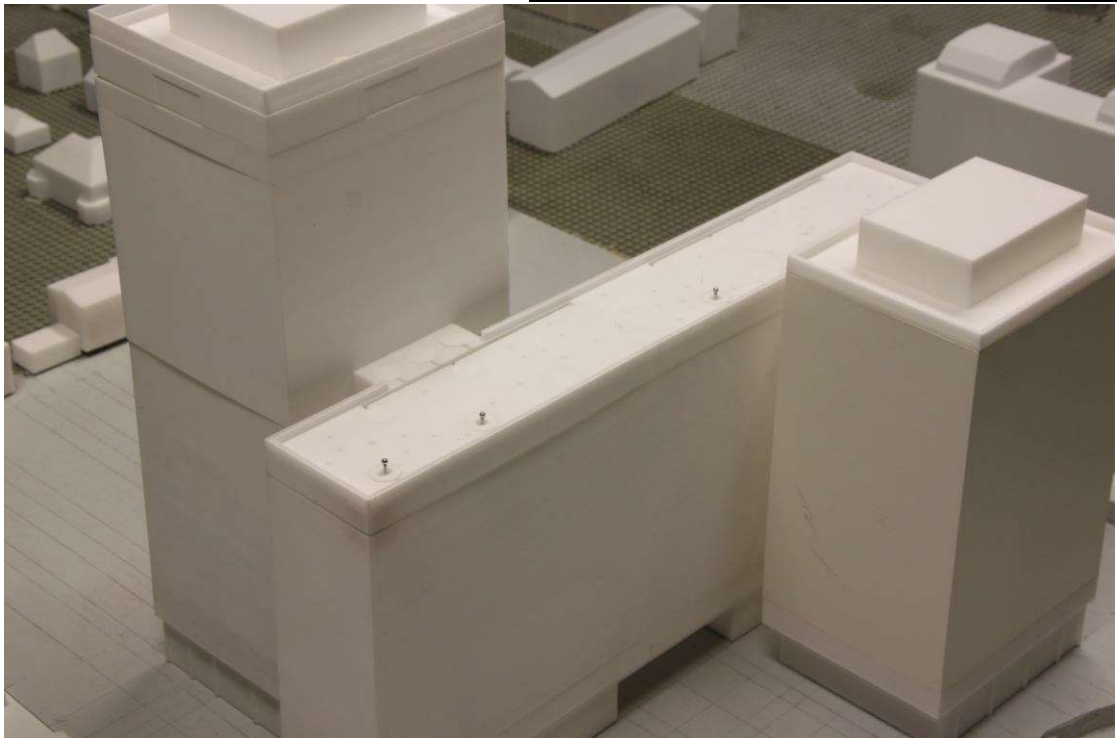
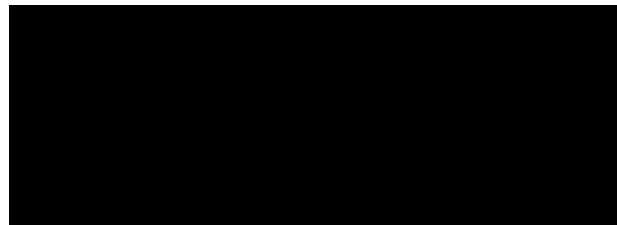


Abb. 3.16: Dachterrasse Riegel, Modellvariante 1: Attika 1,10m hoch

Eigene Aufnahme

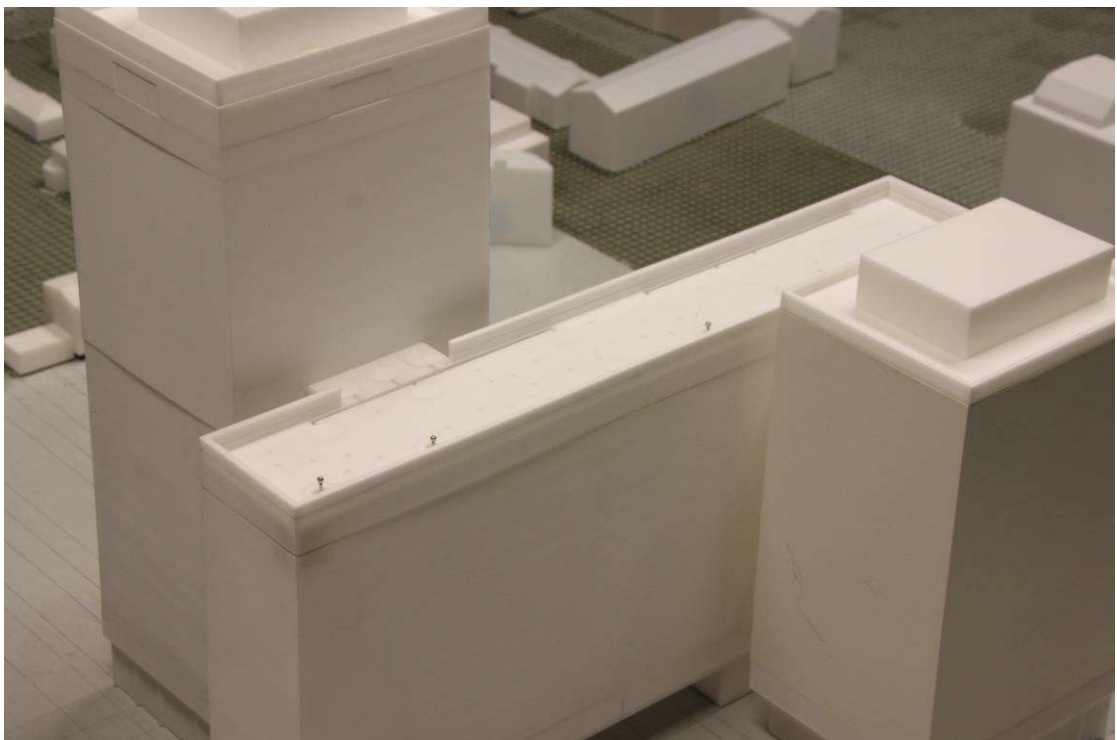


Abb. 3.17: Dachterrasse Riegel, Modellvariante 2: Attika 2,50m hoch

Eigene Aufnahme

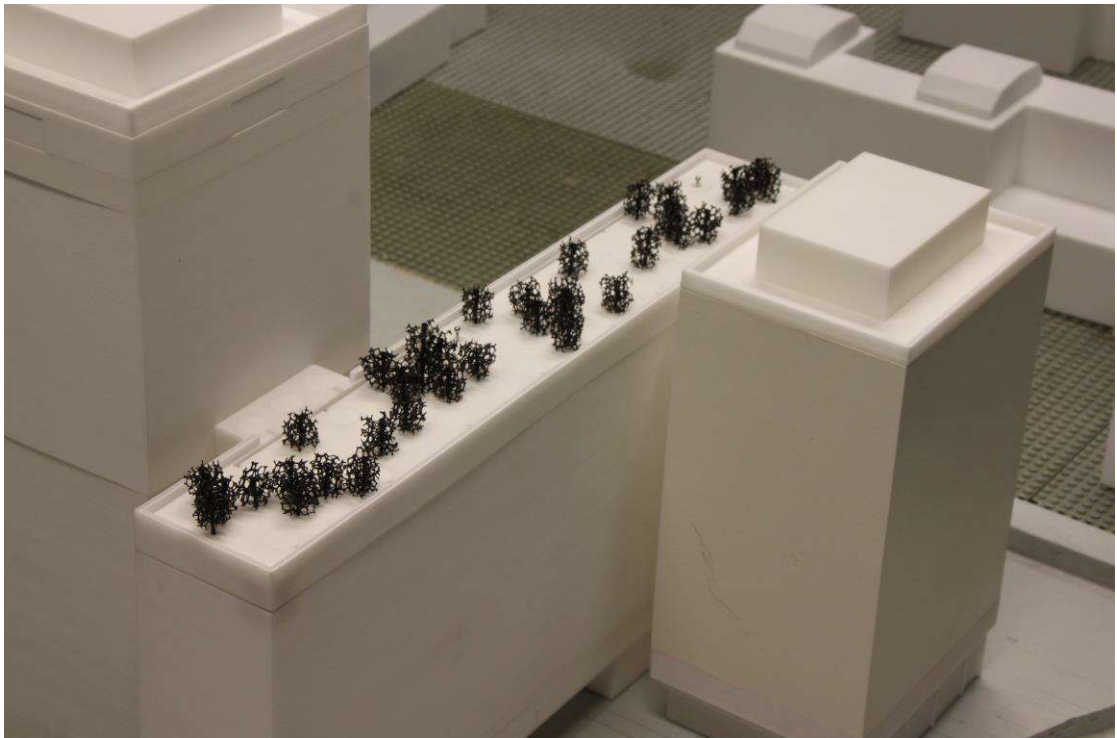


Abb. 3.18: Dachterrasse Riegel, Modellvariante 3a: niedrige Begrünung – Stammbüsche mit Höhe ca. 4m (Attika 1,10m hoch)

Eigene Aufnahme

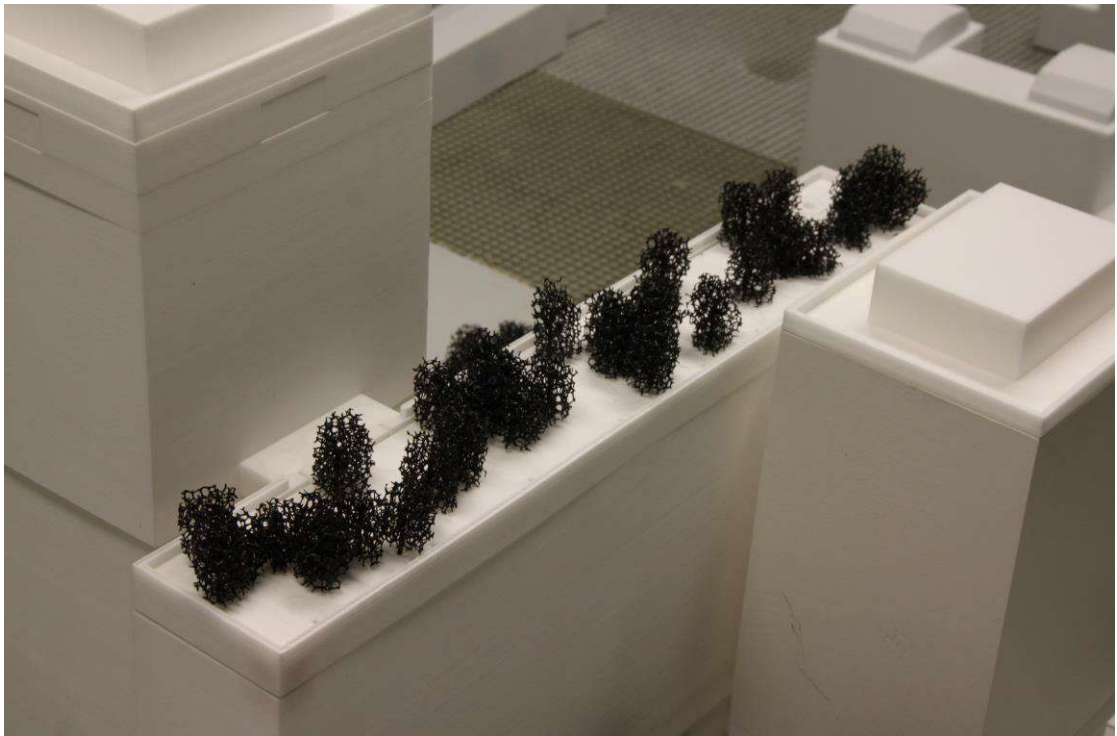
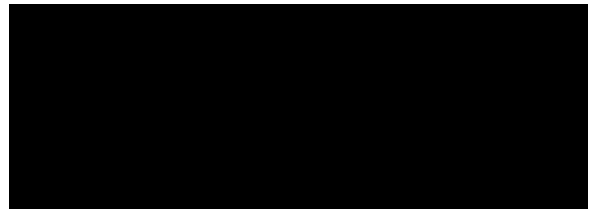


Abb. 3.19: Dachterrasse Riegel, Modellvariante 3b: hohe Begrünung – Stammbüsche mit Höhe ca. 7m (Attika 1,10m hoch)

Eigene Aufnahme



## 3.2 Messverfahren

### 3.2.1 Messung von Strömungsgeschwindigkeiten

Im Einflussbereich von größeren Gebäuden sind stets sehr turbulente Strömungsverhältnisse zu erwarten. Hieraus resultieren starke Geschwindigkeitsschwankungen und häufige Strömungsrichtungsänderungen. Daher werden zeitlich hoch auflösende, richtungsunabhängige Geschwindigkeitssonden eingesetzt.

#### 3.2.1.1 Thermische Anemometrie

Auf der Basis der Konstant-Temperatur-Anemometrie werden Kugelsonden auf eine konstant zu haltende Temperatur von ca. 60°C beheizt. Bei Umströmung der Sonde tritt eine Abkühlung an der Oberfläche auf, die mit Hilfe eines thermischen Anemometers kompensiert wird. Der Sondenkopf weist einen Durchmesser von 2 mm auf. Beheizt wird hierbei nur ein sehr dünner Film an der Oberfläche, woraus sehr geringe Ansprechzeiten bei Geschwindigkeitsänderungen resultieren. Durch die Form der Sonde ist eine hinreichend genaue Richtungsunabhängigkeit gegeben.

Die Abhängigkeit des erforderlichen Heizstromes von der Strömungsgeschwindigkeit wird in einem Kalibrierverfahren vor den Messungen ermittelt. Die bei der Kalibrierung herrschende Umgebungstemperatur ist maßgebend für die Ermittlung der Geschwindigkeitswerte. Bei Abweichungen gegenüber dieser Temperatur bei den Versuchen wird eine entsprechende Temperaturkorrektur durchgeführt.

Die Ausgangsspannung des Anemometers und die Umgebungstemperatur werden für die einzelnen Messpunkte über eine Datenerfassung aufgezeichnet. Die Umrechnung in Geschwindigkeitswerte erfolgt anhand der erfassten Kalibrierkurven. Die Aufzeichnungsrate wird an die Anforderungen für eine statistische Signalanalyse angepasst.

#### 3.2.1.2 Auswertung zeitlicher Geschwindigkeitsverläufe

Die höhenabhängige, zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit  $\bar{u}$  in der ungestörten Anströmung wird als arithmetischer Mittelwert der Momentangeschwindigkeiten  $u$  für einen Messzeitraum von 100 s erfasst. Die Intensität der Windgeschwindigkeitsschwankungen (Böigkeit) wird durch den Effektivwert (Standardabweichung) des zeitlichen Geschwindigkeitsverlaufes beschrieben

$$\sigma = \sqrt{u'^2} \quad \text{mit} \quad (3.4)$$

$$u' = u - \bar{u} \quad (3.5)$$

Die Turbulenzintensität  $Tu$  an einem Punkt errechnet sich aus dem Quotienten zwischen der Standardabweichung und der örtlichen mittleren Windgeschwindigkeit

$$Tu = \frac{\sigma}{\bar{u}} \quad (3.6)$$

Für die Bewertung des Windkomforts wird die effektive Windgeschwindigkeit  $\hat{u}$ , oder auch Böenwindgeschwindigkeit genannt, in einer Höhe von 1.6 m definiert zu

$$\hat{u} = \bar{u} + 3 \cdot \sigma \quad (3.7)$$

### 3.2.2 Quantifizierung des Windkomforts

Für eine flächenhafte Darstellung des Bodenwindfeldes, d.h. für eine Lokalisierung der Punkte mit besonders hohen oder niedrigen Geschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich von Fußgängern wird ein Geschwindigkeitsmessverfahren mit einem feinmaschigen Messgitter angewendet. Dabei werden je Messpunkt zwölf Windrichtungen in 30° Schritten untersucht.

Zwischen den Geschwindigkeitsmesswerten, die für die verschiedenen Windrichtungen aufgenommen werden und den Aussagen über den lokalen Windkomfort liegt ein Rechenweg, der



die langjährige Windstatistik einer repräsentativen Messstation und die Übertragung dieser Daten auf die lokalen Verhältnisse zu berücksichtigen hat.

Mit diesem Verfahren wird die Böengeschwindigkeit  $\hat{u}$  an den jeweiligen Orten gemessen und ins Verhältnis gesetzt zu einer zeitlich gemittelten Windgeschwindigkeit in einer Bezugshöhe an einem Bezugsort (z.B. in Dachhöhe eines Hochhauses). Für jeden Punkt wird anschließend unter Verwendung der für die Messstation verfügbaren statistischen Daten die Häufigkeit bestimmt, mit der eine bestimmte Böenwindgeschwindigkeit erreicht wird.

Dabei wird die Häufigkeit des Auftretens von Stunden (tagsüber) bestimmt, in denen die Windrichtung  $\varphi$  herrscht und gleichzeitig die lokale Böenwindgeschwindigkeit einen Grenzwert  $\hat{u}_{grenz}$  überschreitet.

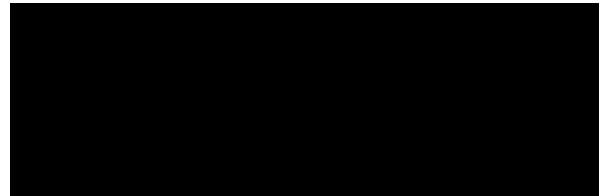
Die Häufigkeit, mit der dieser Grenzwert an dem betrachteten Punkt insgesamt überschritten wird, ergibt sich aus der Summation über alle Windrichtungen:

$$P(\hat{u}_{lokal} \geq \hat{u}_{grenz}) = \sum_{\varphi} P(\hat{u}_{lokal} \geq \hat{u}_{grenz})_{\varphi} \quad (3.8)$$

Die für diese Berechnung nötige Überschreitenshäufigkeit eines bestimmten Mittelwertes  $\bar{u}_{grenz}$  der Windgeschwindigkeit in Dachhöhe folgt einer Weibull-Verteilung, deren windrichtungsabhängige Parameter A und k dem Deutschen Windatlas entnommen und an die Verhältnisse am Standort angepasst werden können:

$$P(\bar{u}_{96m} \geq \bar{u}_{grenz}) = e^{-\left(\frac{\bar{u}_{grenz}}{A}\right)^k} \quad (3.9)$$

Erfasst werden die Böenwindgeschwindigkeiten in einer Höhe von etwa 1,6m über dem Boden mit Hilfe der in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen thermischen Anemometer.



## 4 Windkomfort auf Freiflächen

### 4.1 Allgemeines

Die windklimatischen Verhältnisse im Nahbereich hoher Gebäude unterliegen einer Vielzahl von Einflussfaktoren. Während sich in der Regel auf den windabgewandten Seiten der Gebäude durch Leewirkung eine Windabschwächung einstellt, treten an den Kanten und an den windzugewandten Seiten häufig Geschwindigkeitserhöhungen auf. Im Luvbereich von Gebäuden werden die auftreffenden Luftmassen in einer beschleunigten Bewegung um und über das Gebäude transportiert. Ein beträchtlicher Teil wird dabei auch nach unten abgelenkt und der bodennahen Strömung überlagert. Dies führt gerade bei sehr hohen Gebäuden häufig zu merkbaren Geschwindigkeitserhöhungen in Fußgängerbereichen gegenüber der ungestörten Anströmung und u.U. zu Belästigungen oder auch Gefährdungen von Passanten.

Die folgende Skala nach Beaufort zeigt die Windwirkungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Wind mit Geschwindigkeiten unter 1m/s wird demnach noch nicht wahrgenommen, Geschwindigkeiten von über 3m/s können im Freien die Behaglichkeit z.B. beim Sitzen bereits beeinträchtigen.

Windstärke (Beaufort)	Bezeichnung Windstärke	Äußerung der Windstärke	Geschwindigkeit
0	Windstille	Rauch steigt senkrecht empor Wind nicht bemerkbar	0-0.2 m/s
1	leiser Zug	Rauch steigt fast senkrecht empor, behaglich beim Sitzen	0.3-1.5 m/s
2	leichter Wind	im Gesicht eben spürbar	1.6-3.3 m/s
3	schwacher Wind	bewegt Baumblätter und Fahnen Haare bewegen sich, Kleidung flattert	3.4-5.4 m/s
4	mäßiger Wind	bewegt kleine Zweige, streckt Fahnen Staub und loses Papier wird aufgewirbelt	5.5-7.9 m/s
5	frischer Wind	bewegt größere Zweige, Windkraft auf Körper wird fühlbar, behaglich beim schnellen Gehen, unbehaglich beim Schaufensterbummel	8.0-10.7 m/s
6	starker Wind	als Sausen hörbar, Schirme nur mit Schwierigkeiten nutzbar, Geradeausgehen erschwert	10.8-13.8 m/s
7	steifer Wind	bewegt schwache Stämme, beim Gehen wird Unsicherheit empfunden	13.19-17.1 m/s
8	stürmischer Wind	bewegt Bäume, Vorwärtskommen erschwert, Gleichgewicht in Böen schwer zu halten	17.2-20.7 m/s
9	Sturm	verrückt leichte Gegenstände (Dachziegel), Menschen werden durch Böen umgeworfen	20.8-24.4
10	voller Sturm	wirft Bäume um	24.5-28.4
11	schwerer Sturm	zerstörende Wirkungen schwerer Art	28.5-32.6
12	Orkan	verwüstende Wirkungen	> 32.7



Abhängig von der Ausgesetztheit der von Passanten oder Mitarbeitern genutzten ebenerdigen Freiflächen oder Terrassen auf Dachflächen bieten sich unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten an. Uneingeschränkter Windkomfort ist z.B. dann erwünscht, wenn auf der betrachteten Fläche sich Erholung suchende nicht nur kurzzeitig niederlassen können sollen oder z.B. Ruhebänke, Cafebereiche oder Spielplätze eingerichtet werden sollen. In diesem Zusammenhang sind die Zugänge zu den Gebäuden und die Außenflächen von z.B. Kindertagesstätten oder sonstige Spielplätze wesentlich.

Da bei den in München herrschenden Windverhältnissen nicht ohne weiteres ausgeschlossen werden kann, dass zeitweilig Komforteinbußen auf den genannten Flächen und somit möglicherweise Nutzungseinschränkungen auftreten werden, sollten im Rahmen einer Windkomfortuntersuchung die zu erwartenden Verhältnisse aufgezeigt werden.

## 4.2 Bewertungskriterien

In der einschlägigen Literatur werden verschiedene Bewertungskriterien für den Windkomfort im Fußgängerbereich angegeben. Grundlage ist eine quantitative Erfassung des Bodenwindfeldes insbesondere für die Windrichtungen, bei denen Starkwindlagen sehr häufig auftreten. Ferner liegt diesen Bewertungen zugrunde, dass die Empfindung des Menschen für Wind einerseits von der zeitlich gemittelten Geschwindigkeit beeinflusst wird und andererseits aber auch von der Häufigkeit des Auftretens kurzzeitiger Böen.

Je nach Häufigkeit, mit der bestimmte spürbare Bodenwindgeschwindigkeitsspitzen auftreten, ergeben sich verschiedene Klassen des Windkomforts, die in folgender Tabelle dargestellt sind (nach [Davenport, 1972] und [Beranek, 1978]). Bei den hier angegebenen Schwellenwerten für die periodisch wiederkehrende Böengeschwindigkeit ist die Auftretenswahrscheinlichkeit 'höchstens eine Stunde tagsüber' zugrunde gelegt. Analoge Grenzwerte ergeben sich für die Auftretenswahrscheinlichkeit 'höchstens eine Stunde pro Woche' bzw. 'höchstens eine Stunde pro Monat'. Mit der Definition 'tagsüber' ist die typische Nutzungszeit der Freiflächen zwischen 6 Uhr morgens und 6 Uhr abends charakterisiert.

Windkomfort Klasse	Tätigkeit	Nutzung	Böenschwelle
A	Schnelles Gehen	Bürgersteige, Verkehrsflächen in Industriegebieten	< 11 m/s
B	Stetes Spazierengehen	Parks, Eingänge, Durchgangsbereiche	< 8.5 m/s
C	Bummeln, kurzes Stehen- und Sitzenbleiben	Parks, Einkaufspassagen, Wartebereiche	< 6.5 m/s
D	Ruhen, langes Stehen- und Sitzenbleiben	Parks, Ruhebänke, Spielplätze, Straßencafés	< 5 m/s

Tab.4.1: Windkomfortstufen und Nutzung von Freiflächen

Korrespondierend zu diesen Aussagen kann auch eine Bewertung an Hand von Verteilungsfunktionen gemäß einer von [Beranek, 1978] vorgeschlagenen Auftragung erfolgen, die in Abb. 4.1 dargestellt ist. Die den vorherigen Angaben entsprechende Häufigkeit, mit der Böen einer bestimmten Geschwindigkeitsschwelle auftreten, ist 8.33%. Das bedeutet, während einer Stunde tagsüber treten kurze, z.B. 5 Sekunden andauernde Böen auf, bei denen dieser Schwellenwert überschritten wird.

Zwischen den Werten der Windgeschwindigkeit, die für die verschiedenen Windrichtungen zu messen sind und den Aussagen über den lokalen Windkomfort liegt ein Rechenweg, der die langjährige Windstatistik einer nahe gelegenen Messstation und die Übertragung dieser Daten auf den Standort zu berücksichtigen hat.

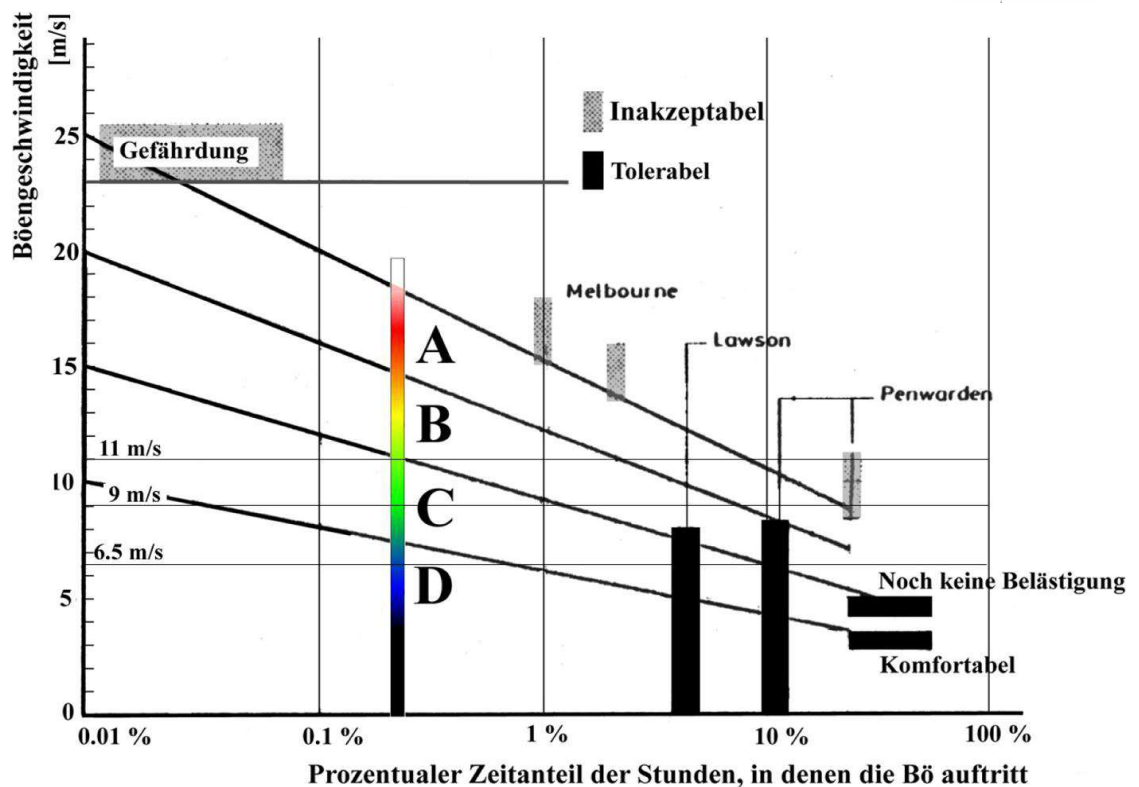


Abb. 4.1: Einteilung der Windkomfortstufen nach [Beranek, 1978]

### 4.3 Ergebnisse aus den Geschwindigkeitsmessungen

#### 4.3.1 Geschwindigkeiten im Fußgängerbereich

Für 12 Windrichtungen sind im bodennahen Fußgängerbereich mit eingesetzten Miniatursonden Messungen der Spitzenwindgeschwindigkeiten ausgeführt worden. Dabei wurde der Windkomfort an besonders dem Wind ausgesetzten sowie an stark frequentierten Orten gemessen.

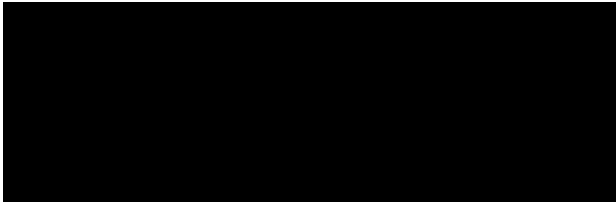
In Abb. 4.2 ist der Grundriss Erdgeschoss zur Erläuterung der gewählten Messpunkte im ebenerdigen Fußgängerbereich dargestellt. Für eine weiter führende Bezeichnung der gewählten Messpunkte werden die seitens der Architekten eingeführten Gitterkoordinaten verwendet. So bezeichnet der Messpunkt 1A die Stelle unmittelbar an der Südwest-Ecke des Hochhauses und der Messpunkt 9L die Position am westlichen Eintritt in den Durchgang Riegel. Messpunkte außerhalb dieser Plankoordinaten, z.B. in der Freianlage Kita werden mit den Bezeichnungen K1, K2 und K3 weiter verwendet.

Die Abb. 4.3a bis Abb. 4.3c zeigen eine windrichtungsabhängige Auftragung der lokal zu erwartenden Böenwindgeschwindigkeiten für die Modellvariante 1 nach Abb. 3.8. Diese sind zu Vergleichszwecken bezogen auf die ungestörte Anströmgeschwindigkeit in 96 m Höhe über Grund (Windgeschwindigkeit  $u_H$  entspricht in etwa der Geschwindigkeit in der Gebäudehöhe des 24 geschossigen Hochhauses).

Aus diesen Daten wurden unter Berücksichtigung der Windstatistik Kennwerte für die einzelnen Messpunkte berechnet. In der nachfolgenden Abb. 4.4 sind die Böenwindgeschwindigkeiten dargestellt, welche im langjährigen Durchschnitt eine Stunde tagsüber erreicht werden (vgl. Tab 4.1). Werte unter 5m/s gelten als sehr komfortabel, Werte über 11m/s als inakzeptabel.

In Abb. 4.5a – Abb. 4.5c sind die lokal zu erwartenden Böengeschwindigkeiten für die Modellvariante 3 nach Abb. 3.9 zu entnehmen. Exemplarisch für Modellvariante 2 durchgeführte





Messungen zeigten in den kritischen Durch- und Eingangsbereichen keine wesentlichen Unterschiede. Auf eine Darstellung der Ergebnisse wird hier verzichtet.

Abb. 4.6 zeigt für Variante 3 die ausgewerteten Böengeschwindigkeiten, welche im langjährigen Durchschnitt eine Stunde tagsüber erreicht werden.

In Abb. 4.7a – Abb. 4.7d sind die lokal zu erwartenden Böengeschwindigkeiten für die Modellvariante 5A nach Abb. 3.10 dargestellt, wobei die Ergebnisse für Messpunkte im Durchgangsbereich von Variante 4A und 6A vergleichend mit eingetragen sind.

Die ausgewerteten Böengeschwindigkeiten, welche im langjährigen Durchschnitt eine Stunde tagsüber erreicht werden, sind für die Modellvariante 5A mit den Vergleichspunkten für 4A und 6A in Abb. 4.8 und Abb. 4.9 gegenübergestellt.

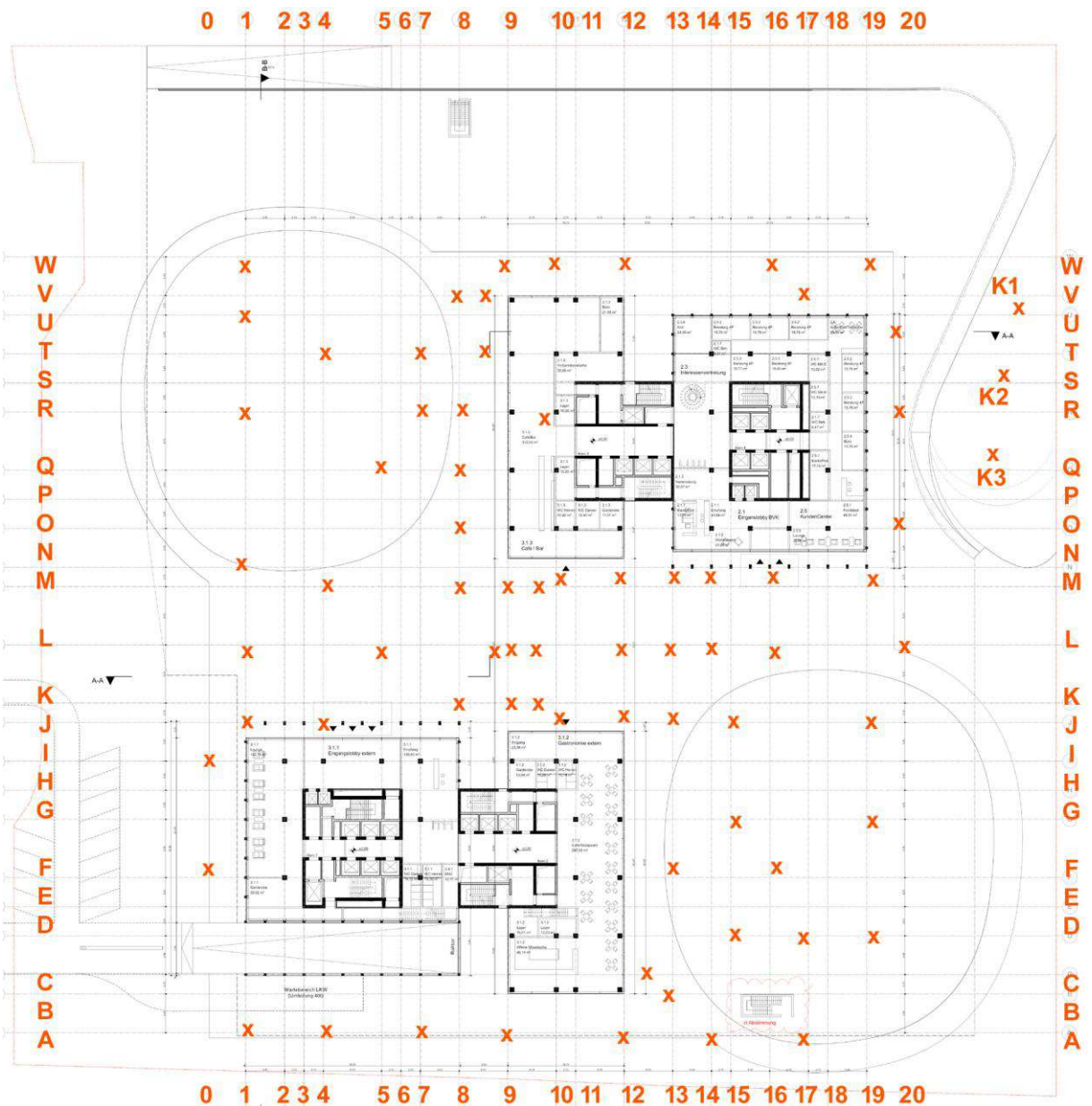


Abb. 4.2: Grundriss Erdgeschoss mit Gitterkoordinaten zur Beschreibung der Messpositionen

Abbildung Gutachter



# RS 76, München

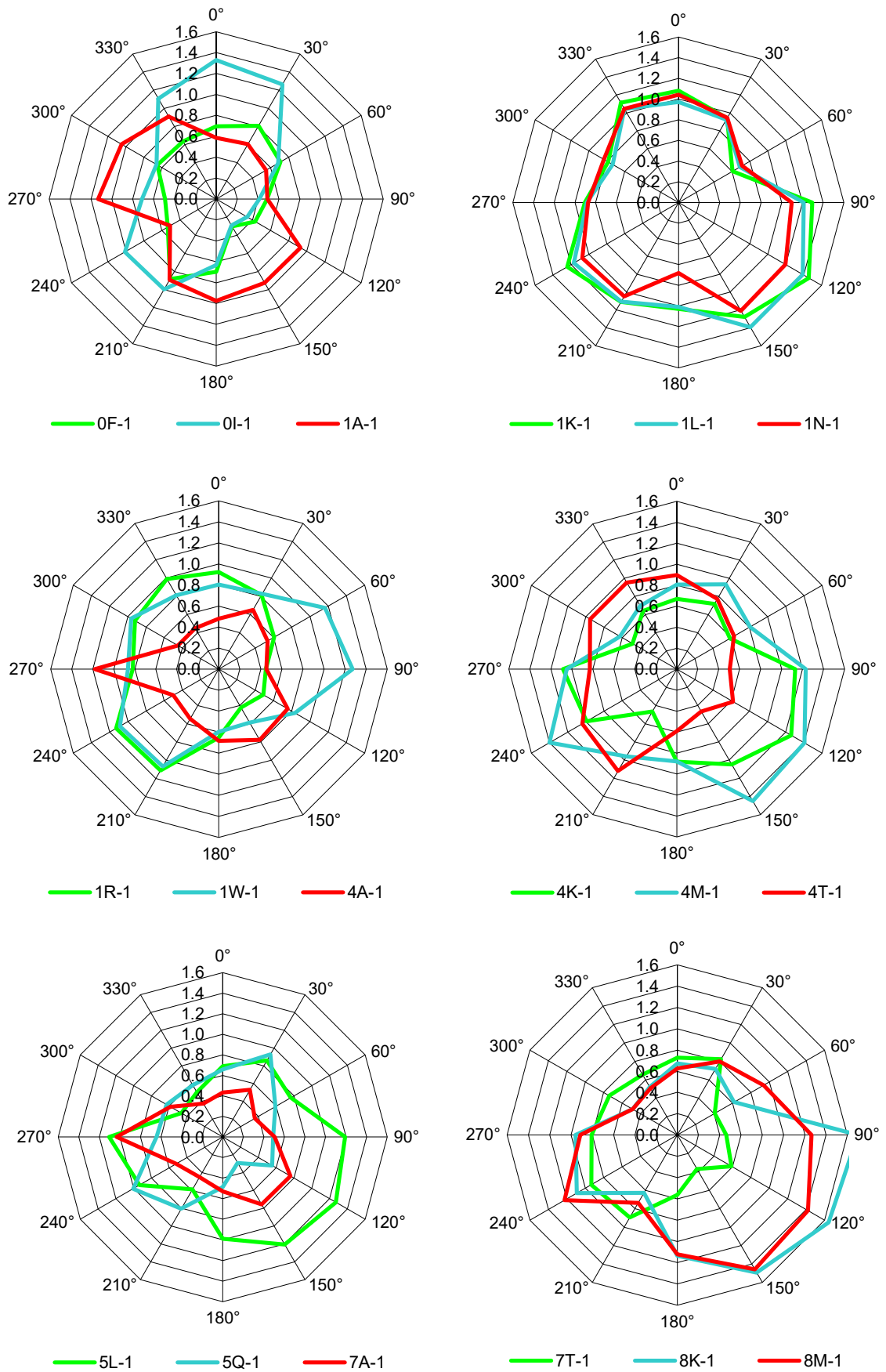


Abb. 4.3a: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 1

# RS 76, München

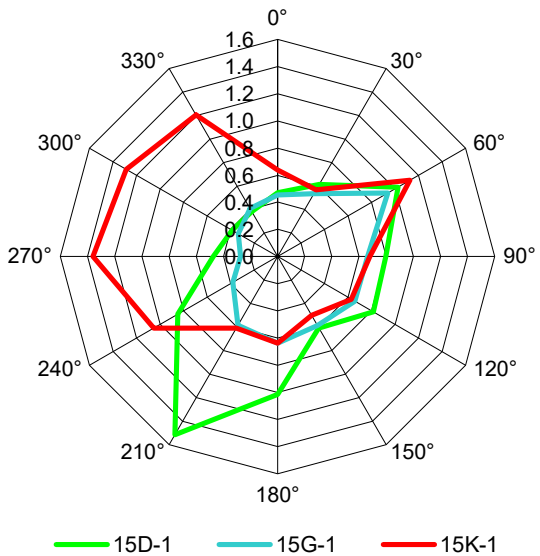
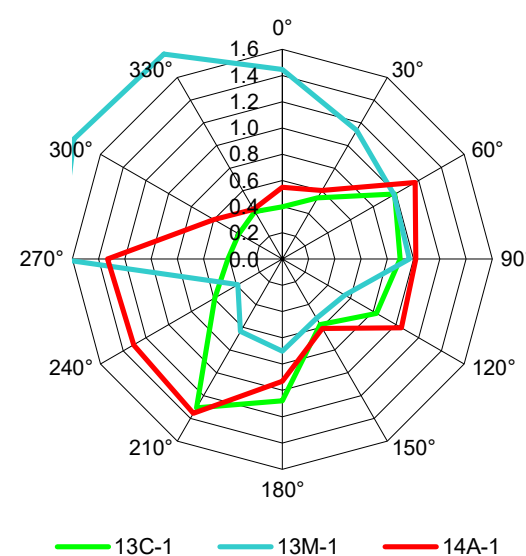
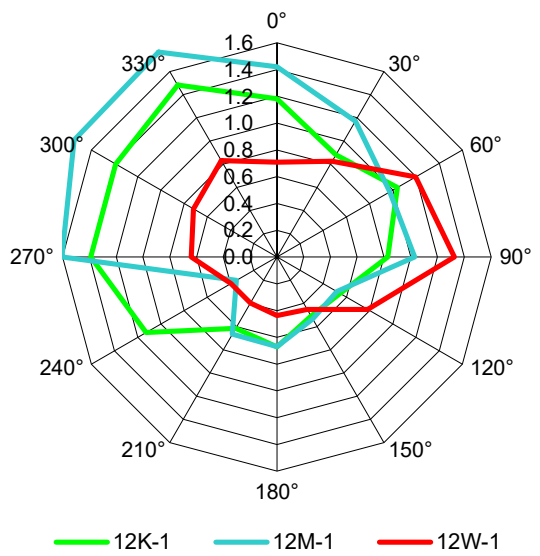
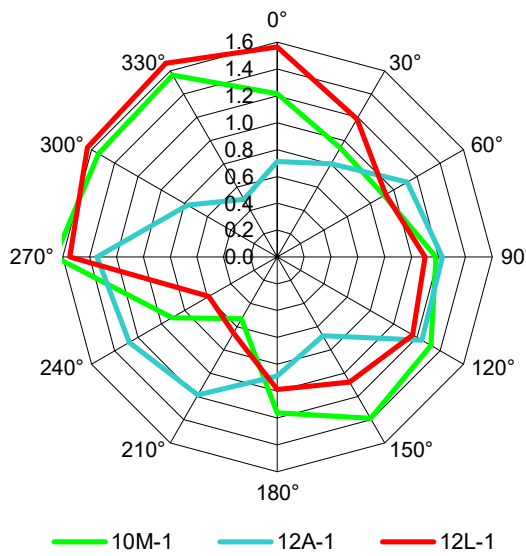
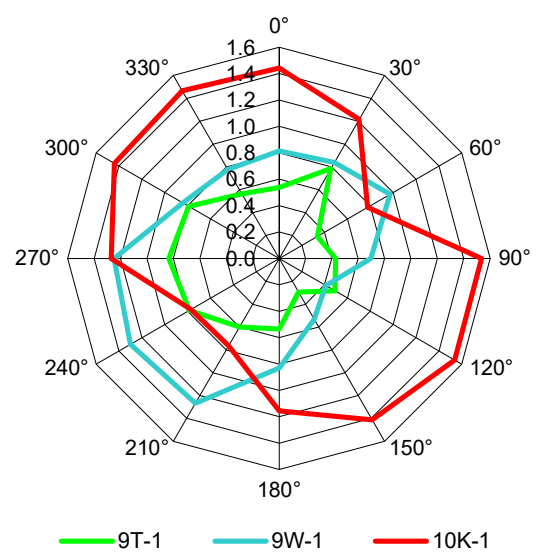
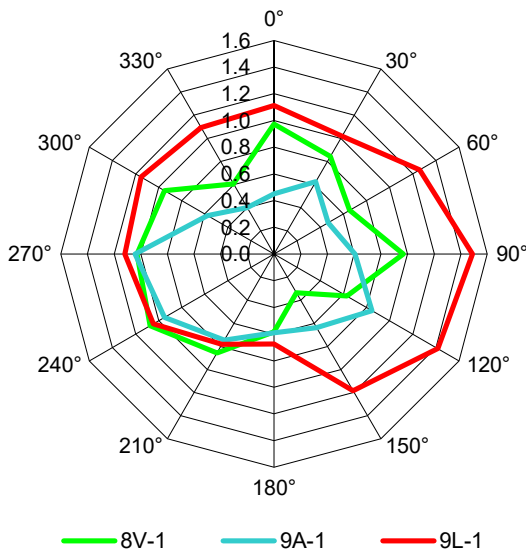
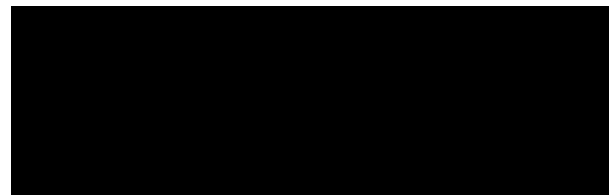


Abb. 4.3b: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 1

# RS 76, München

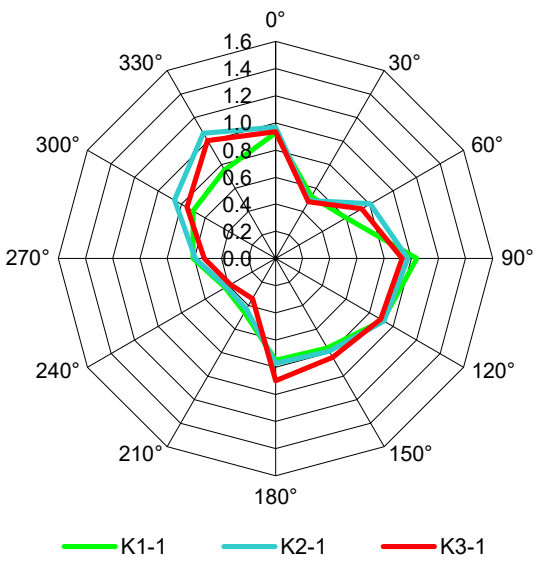
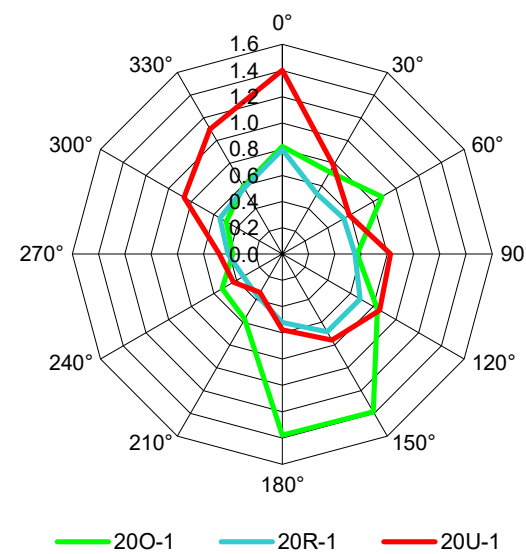
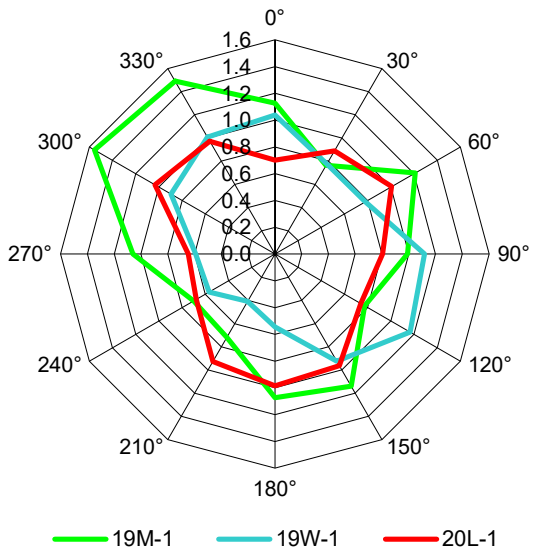
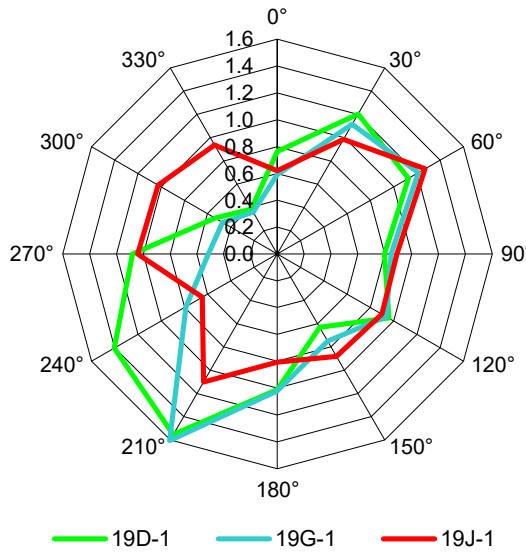
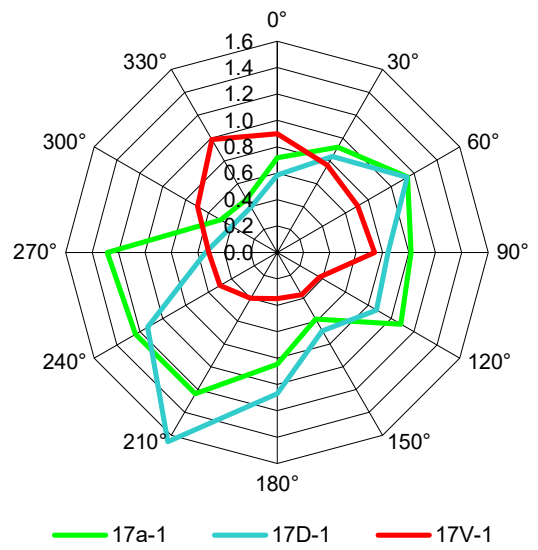
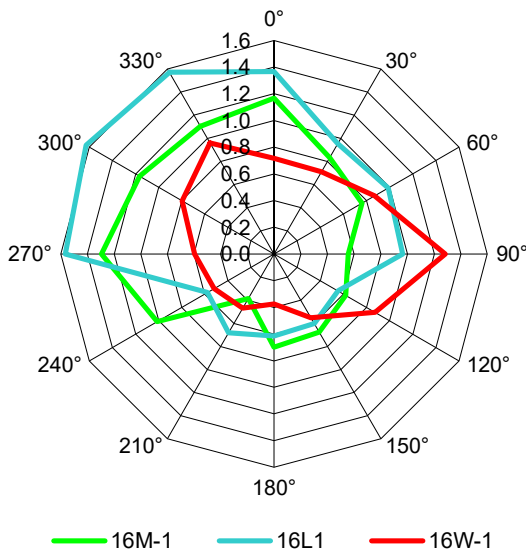


Abb. 4.3c: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 1

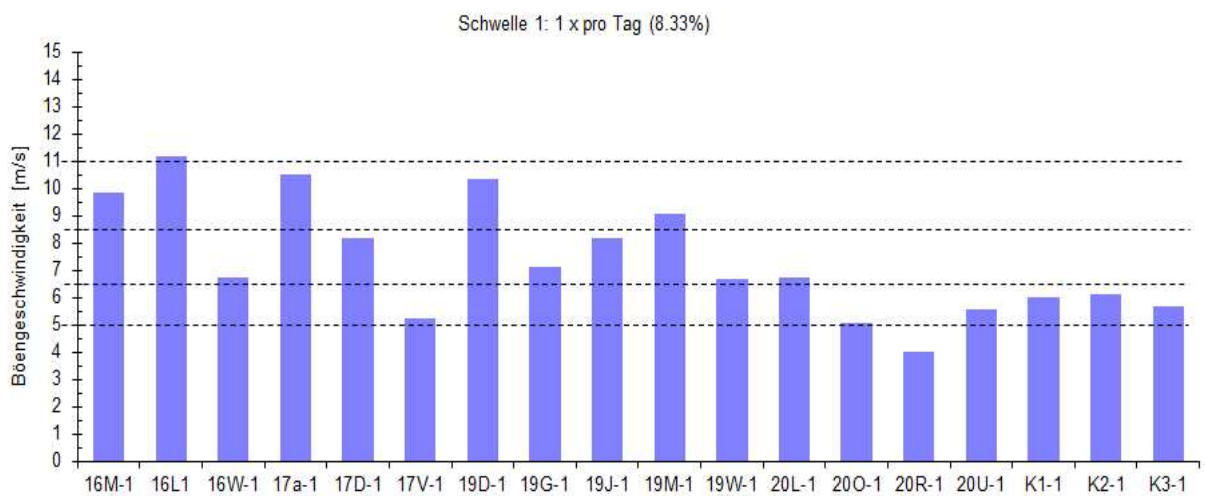
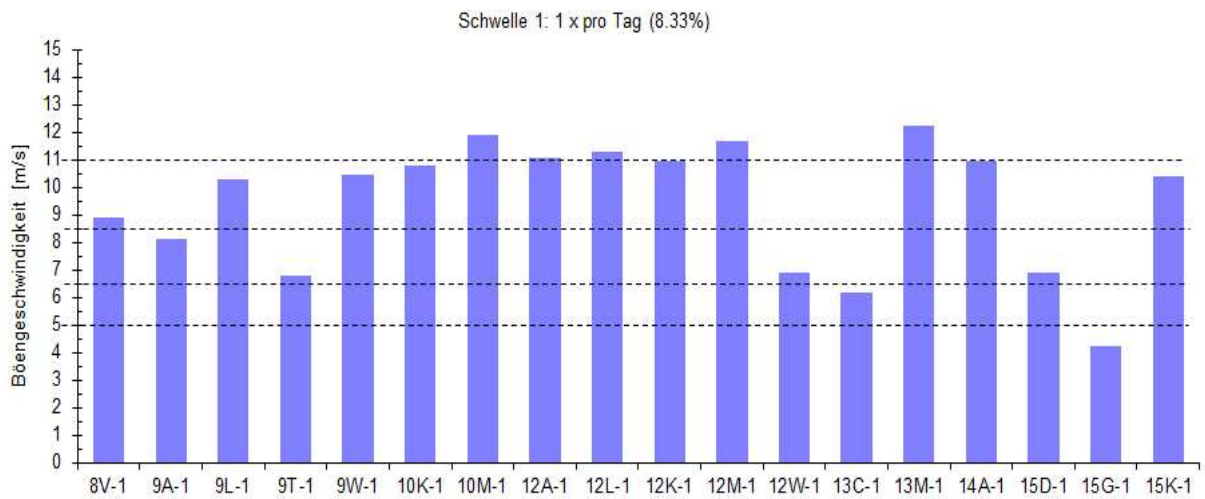
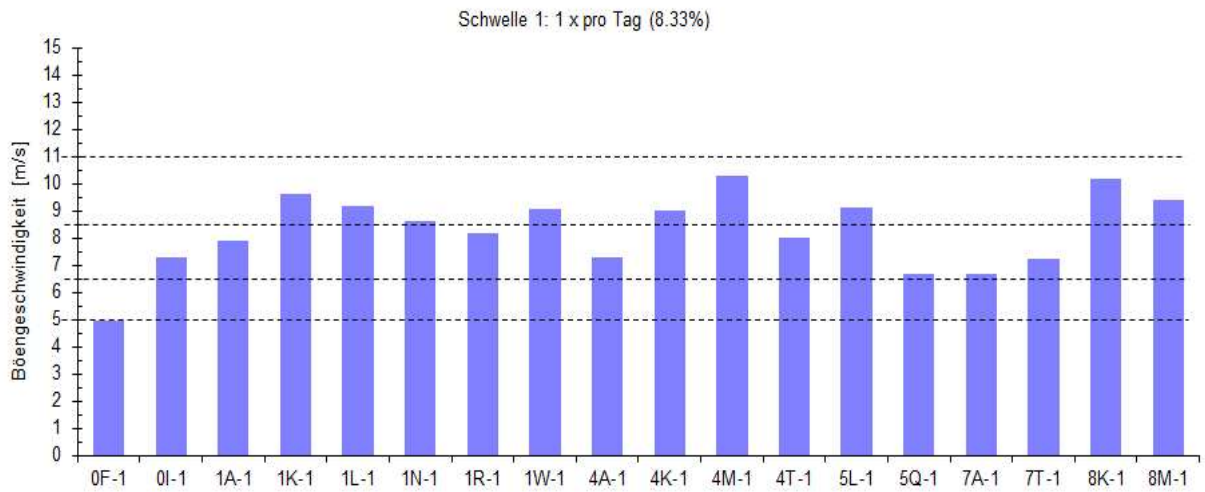
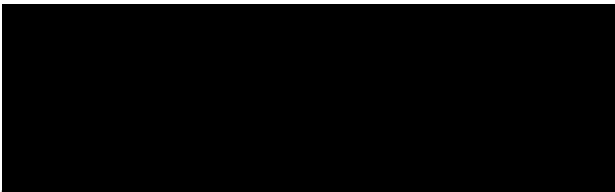


Abb. 4.4: Böengeschwindigkeit an Messpunkten im Fußgängerbereich, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 1).

Abbildung Gutachter

RS 76, München

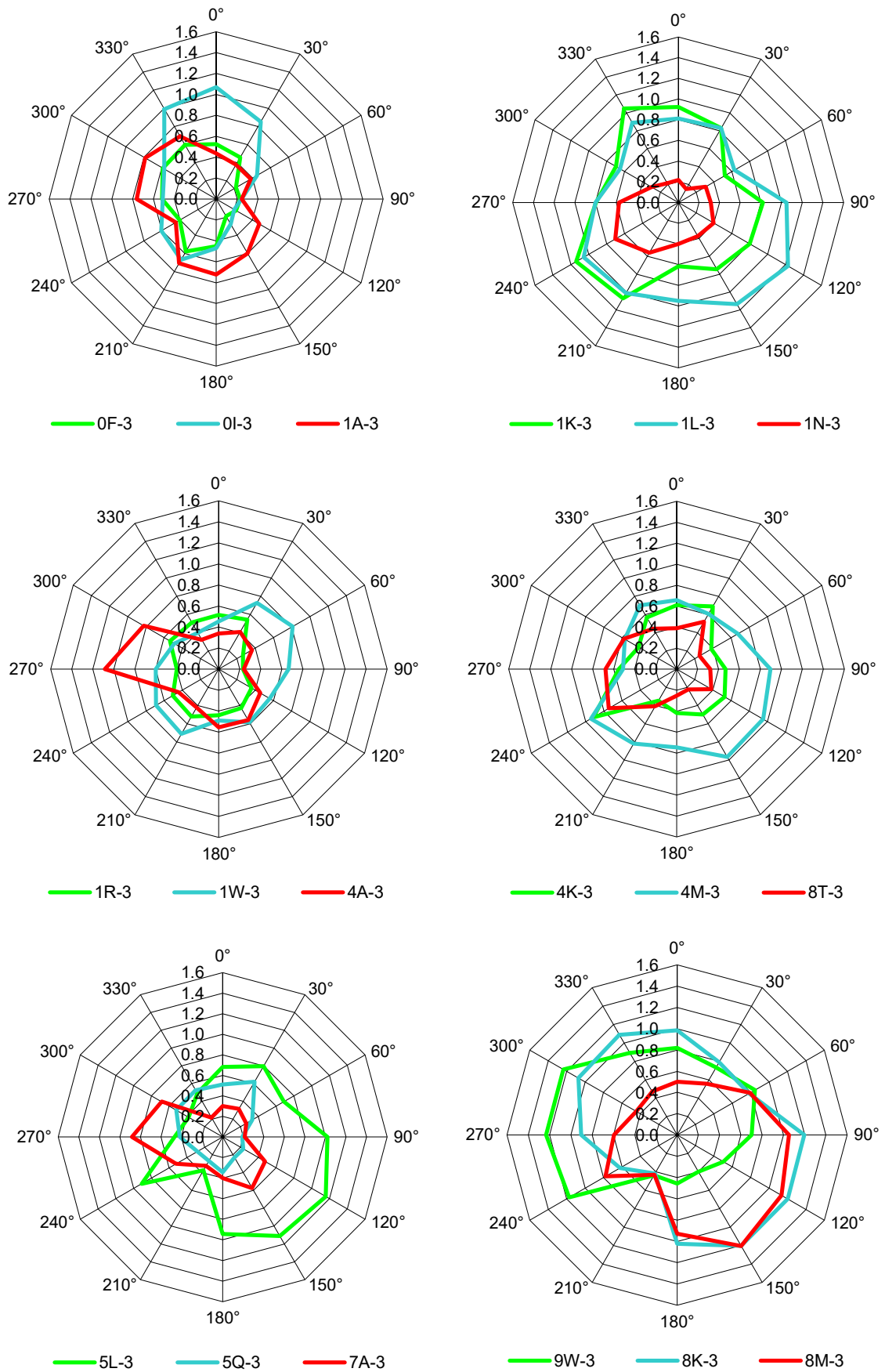


Abb. 4.5a: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 3

# RS 76, München

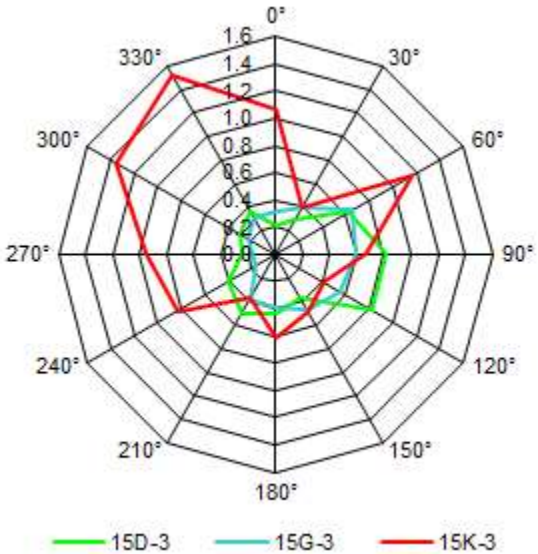
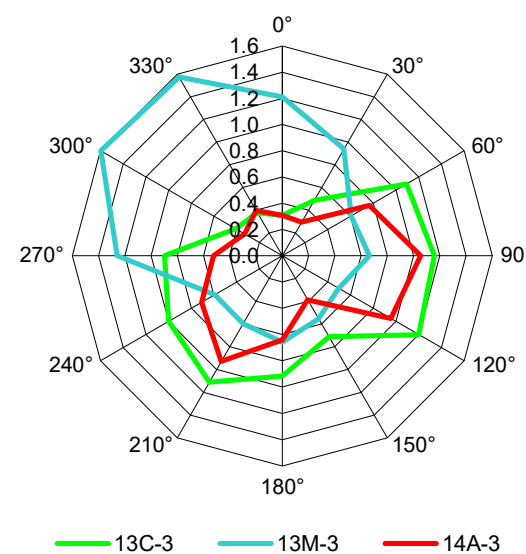
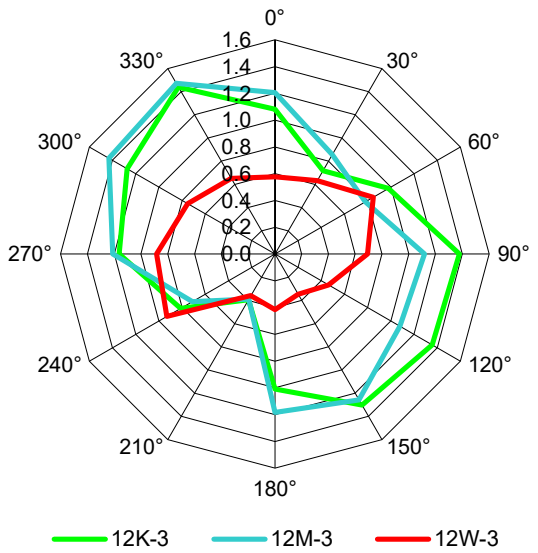
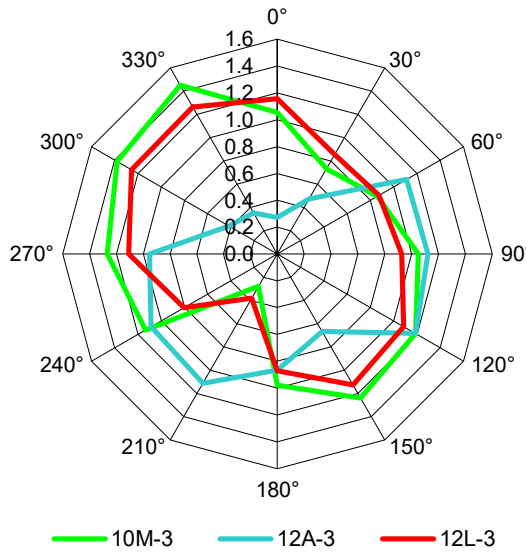
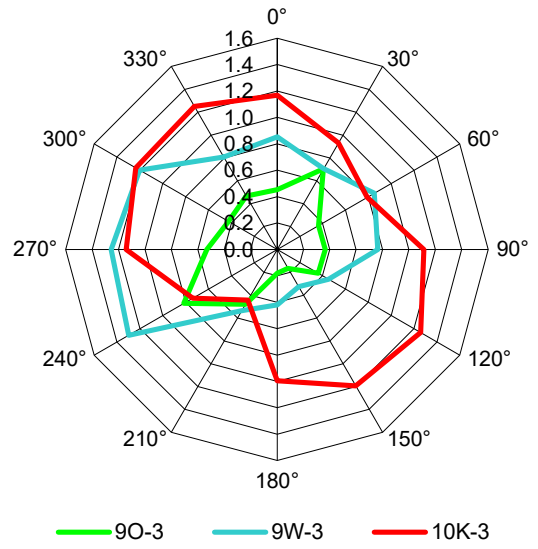
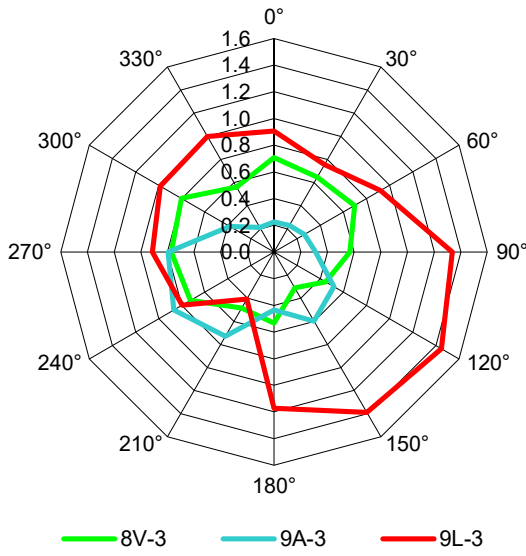


Abb. 4.5b: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 3



RS 76, München

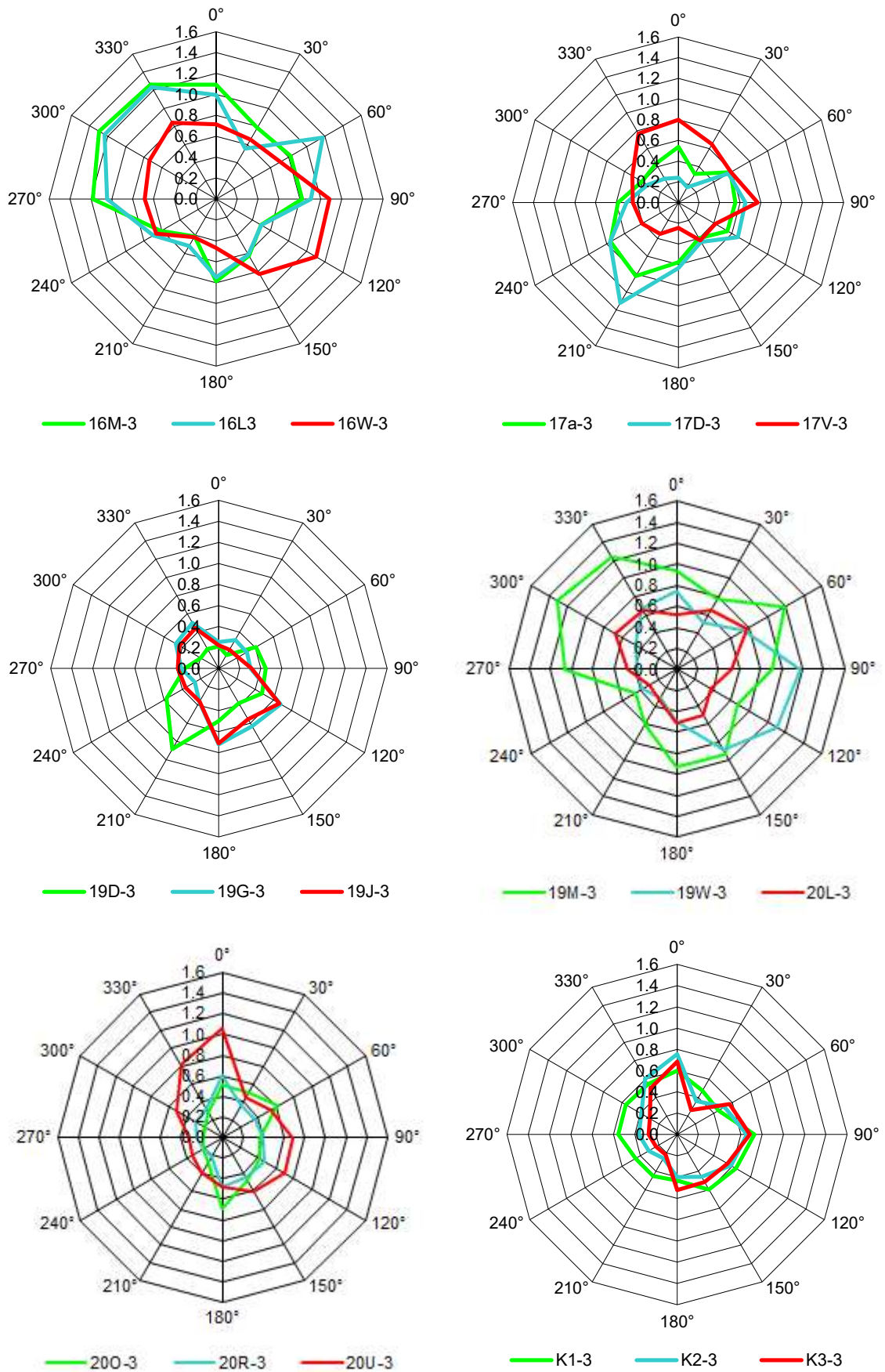
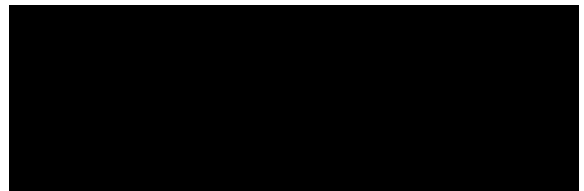


Abb. 4.5c: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 3

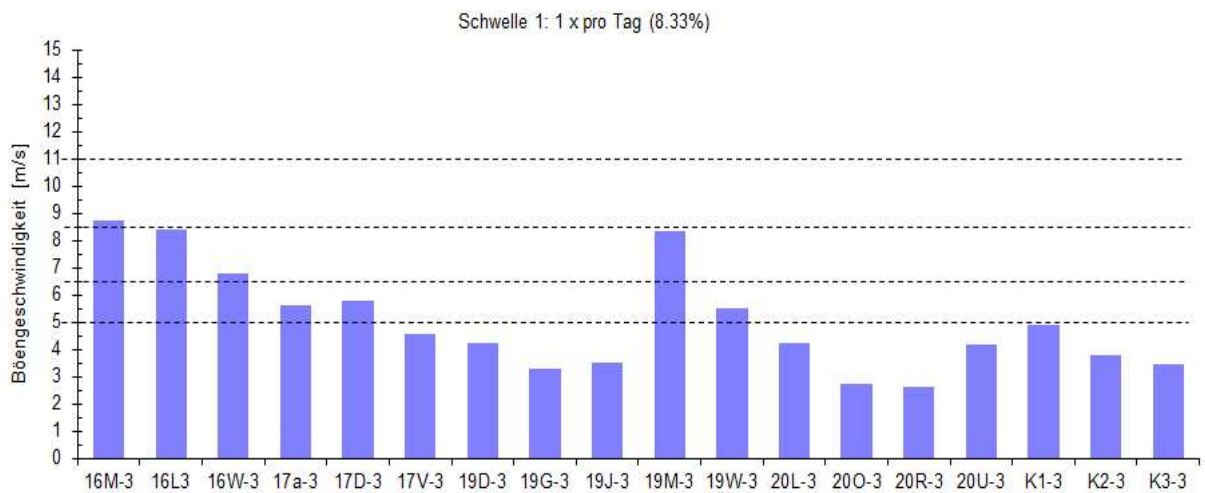
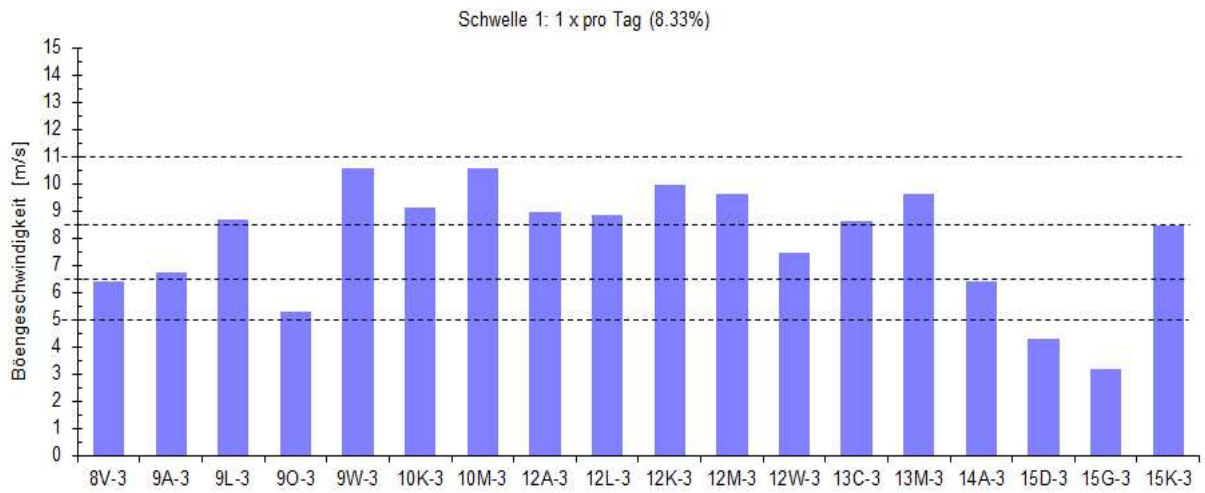
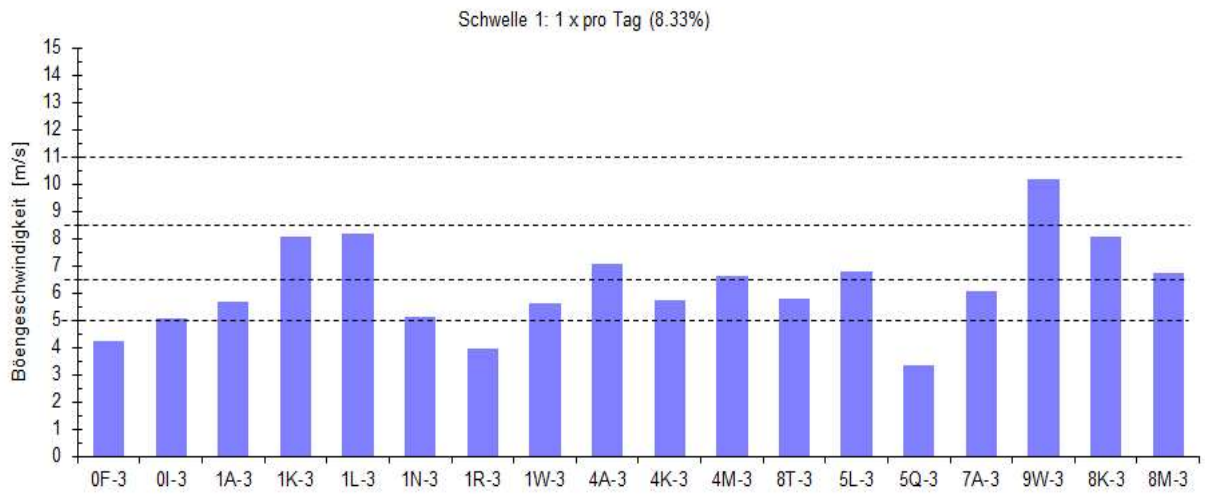


Abb. 4.6: Böengeschwindigkeit an Messpunkten im Fußgängerbereich, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 3).

Abbildung Gutachter



# RS 76, München

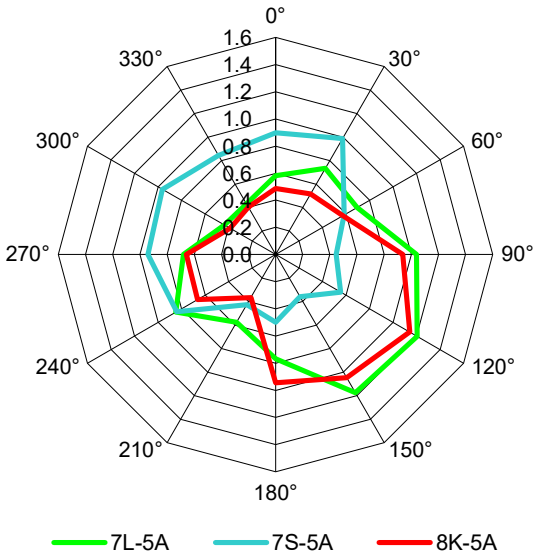
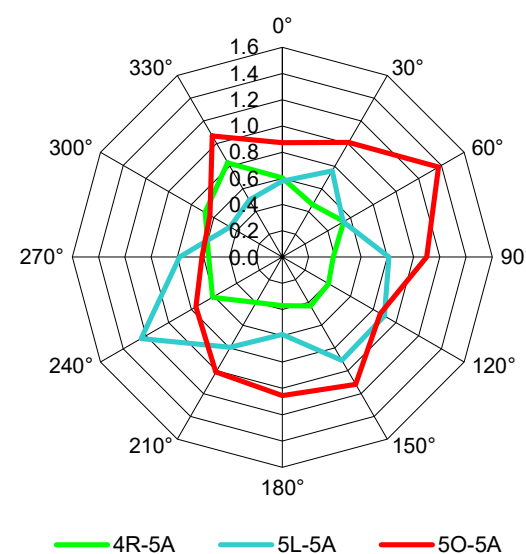
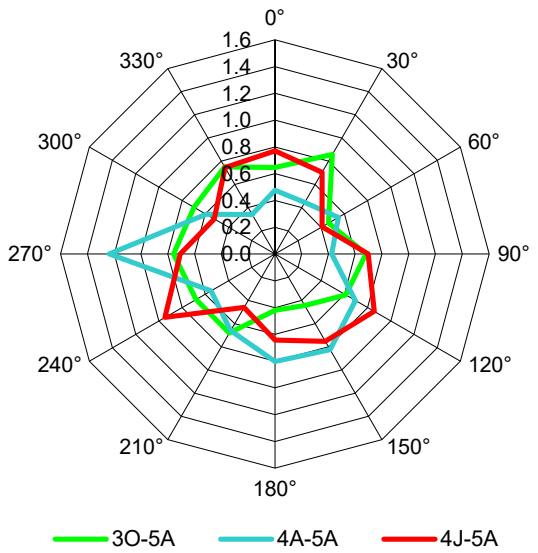
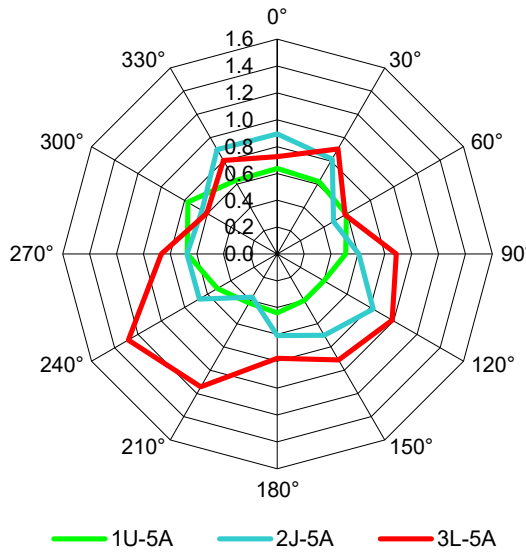
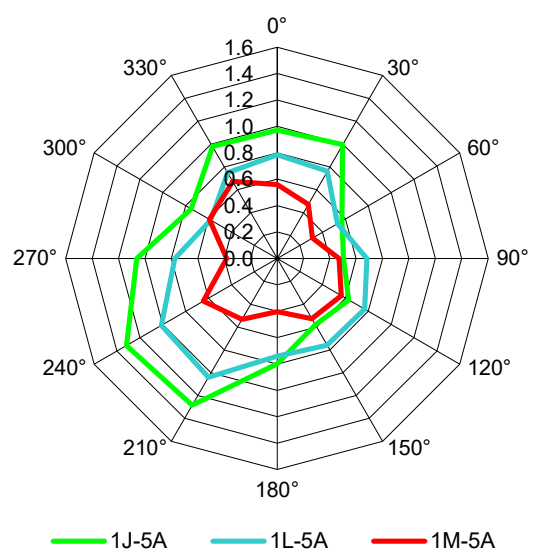
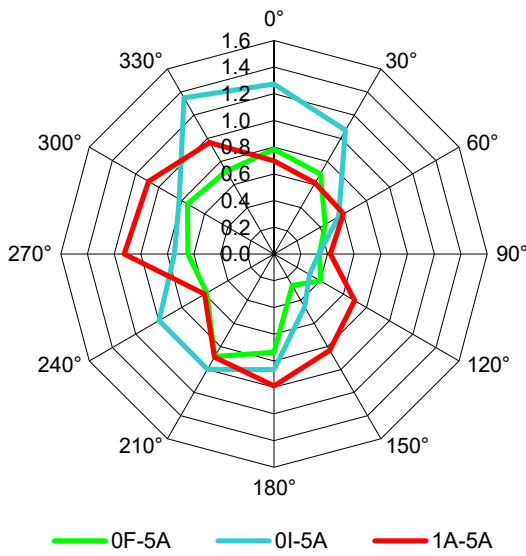


Abb. 4.7a: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 5A

# RS 76, München

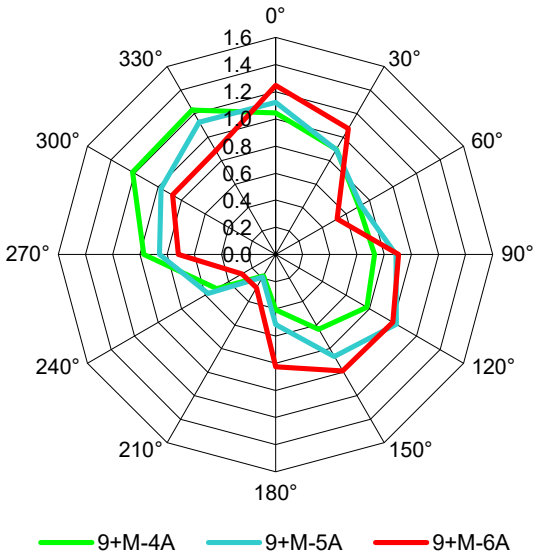
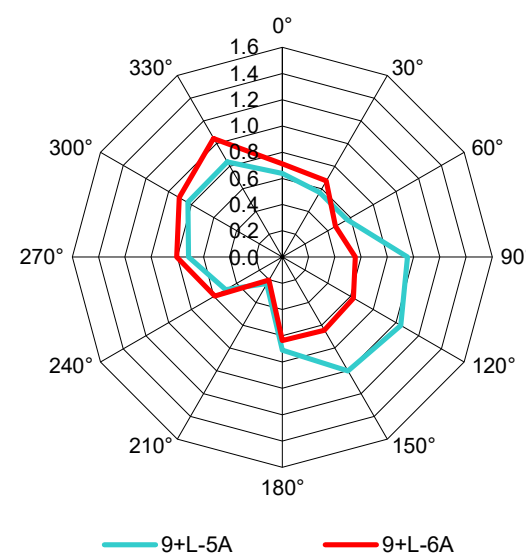
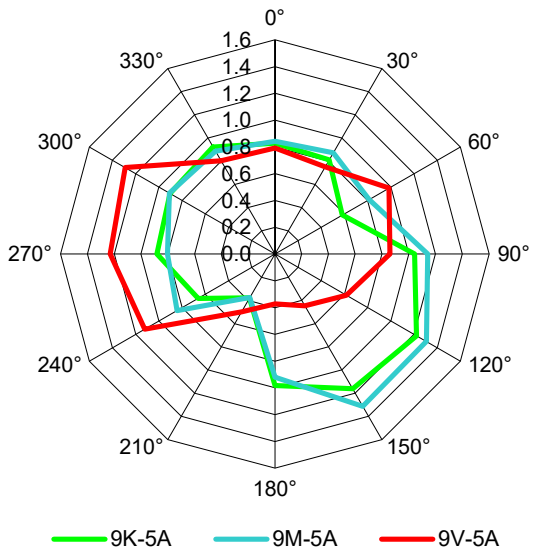
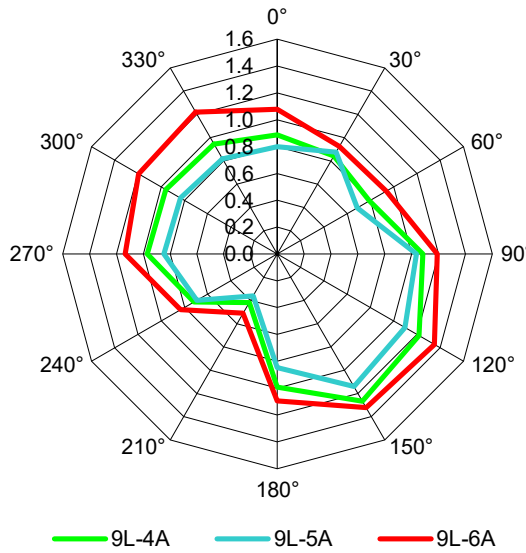
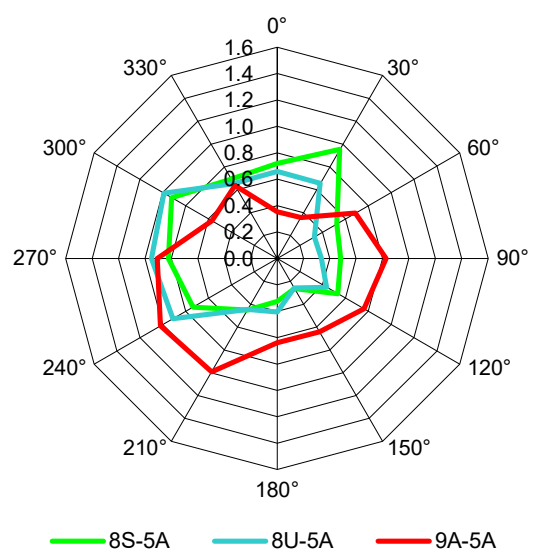
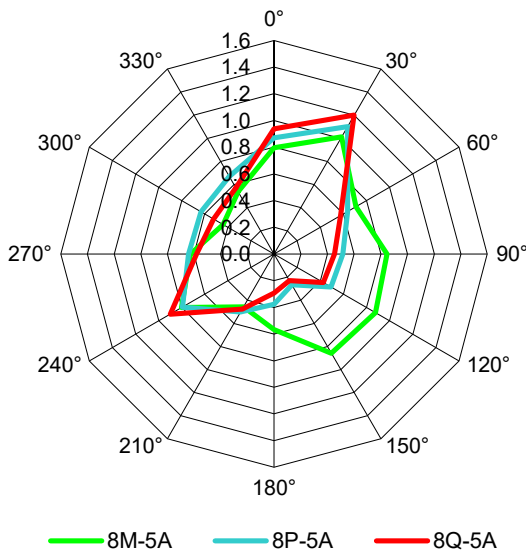


Abb. 4.7b: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 5A

RS 76, München

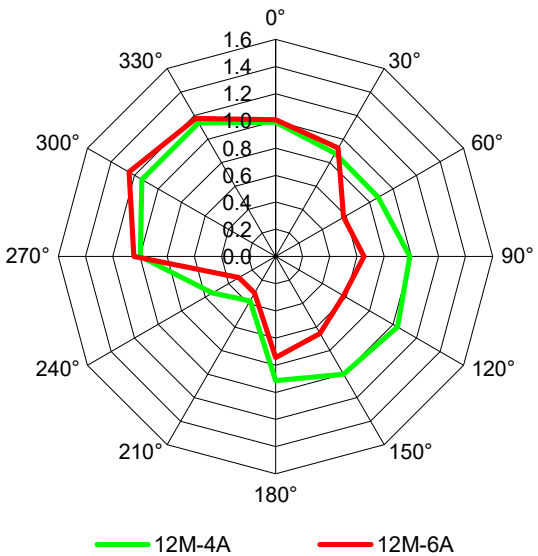
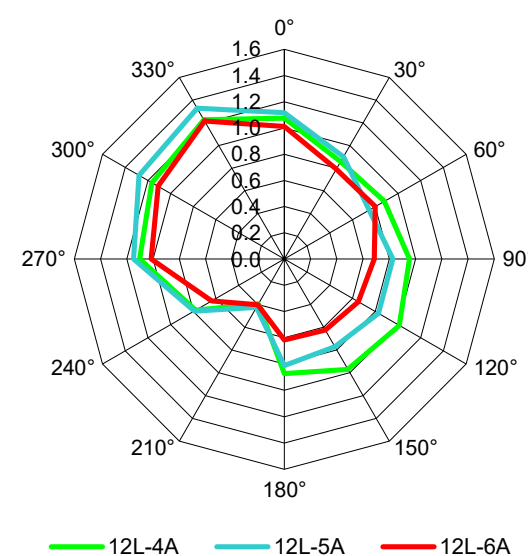
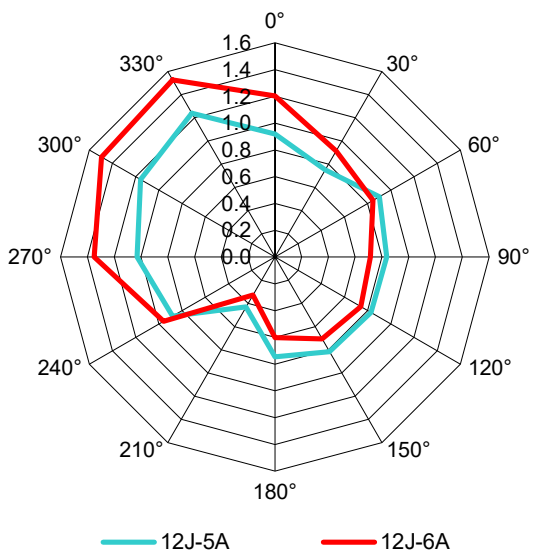
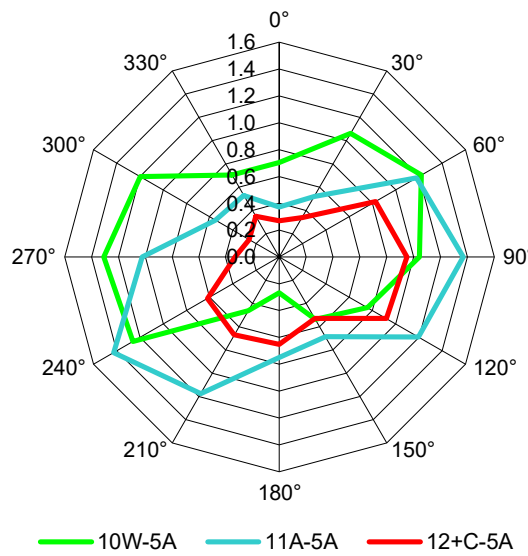
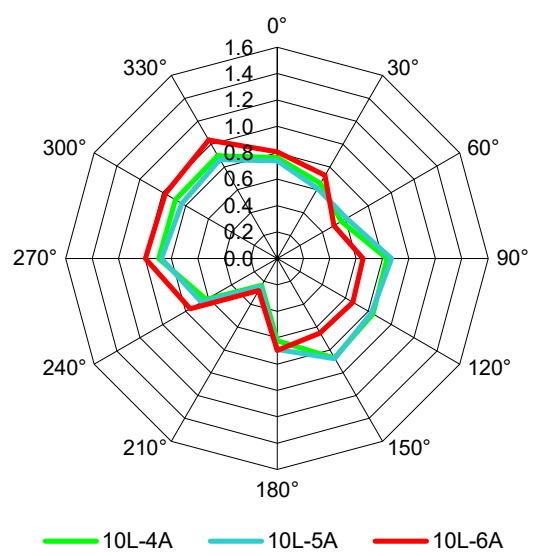
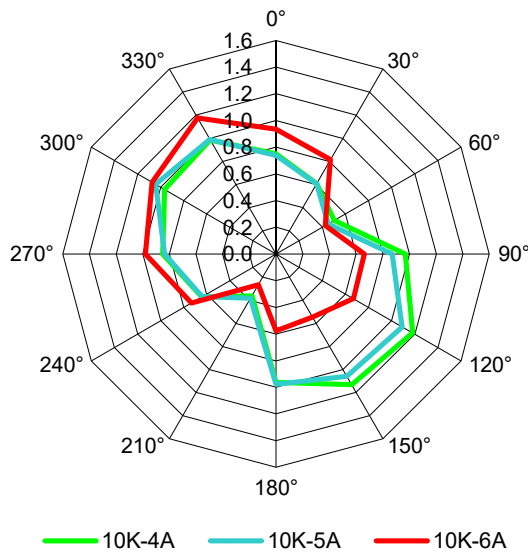


Abb. 4.7c: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 5A

# RS 76, München

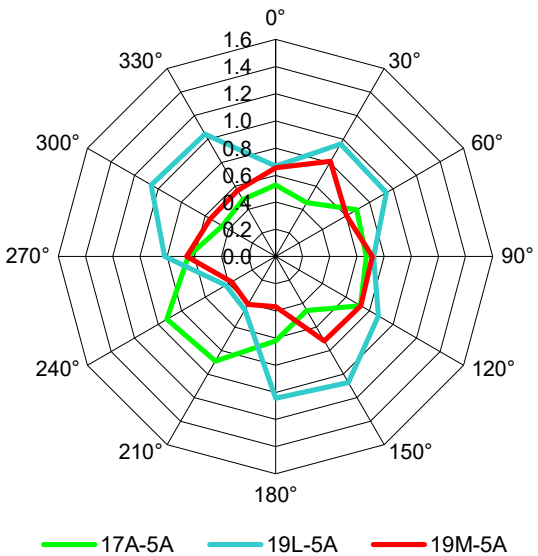
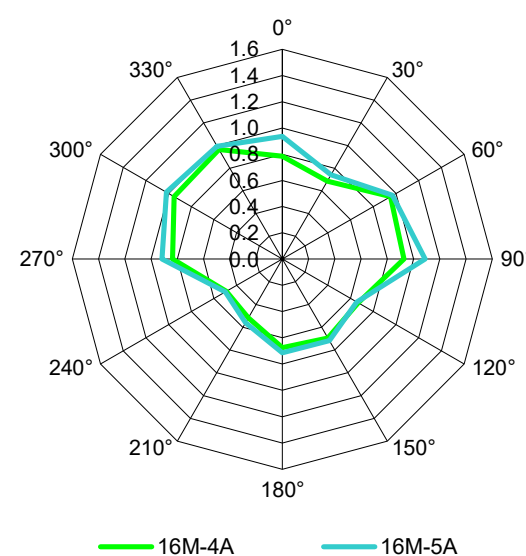
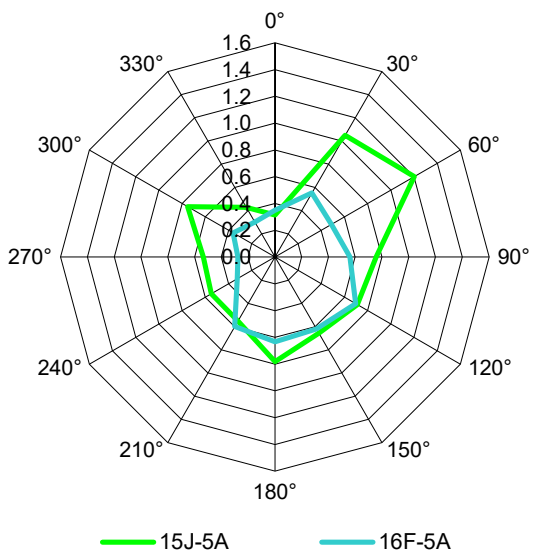
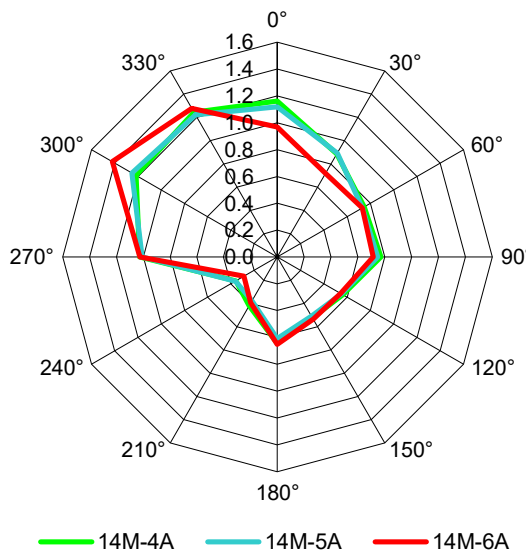
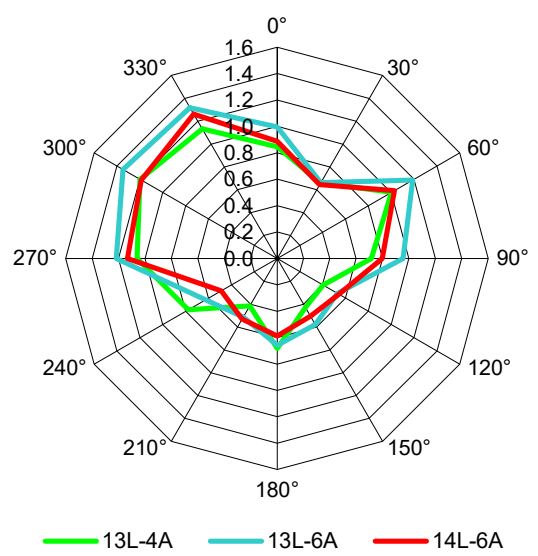
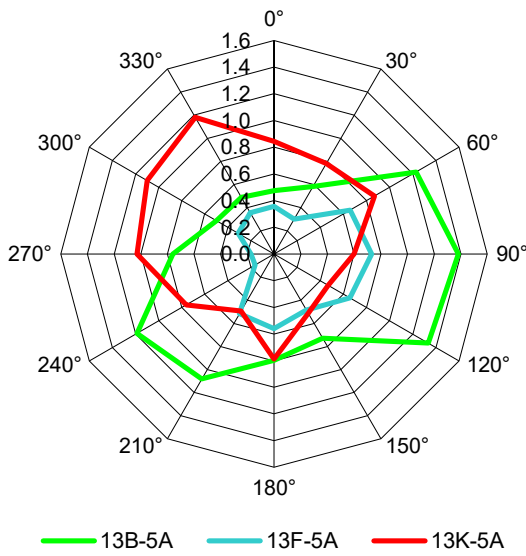
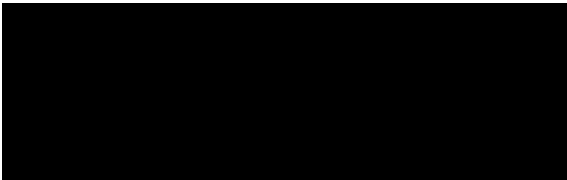


Abb. 4.7d: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit im bodennahen Bereich bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe, Modellvariante 5A

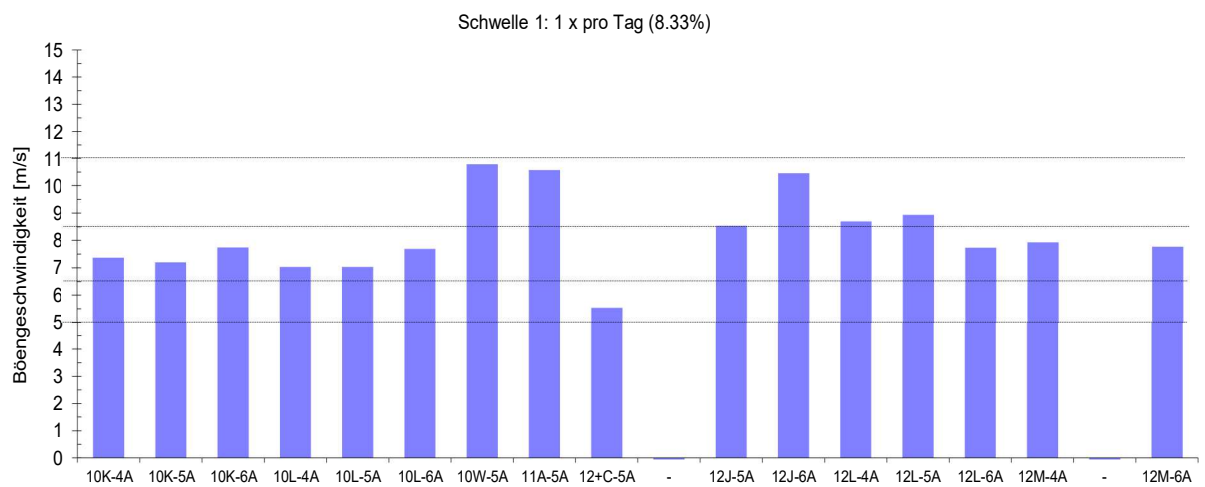
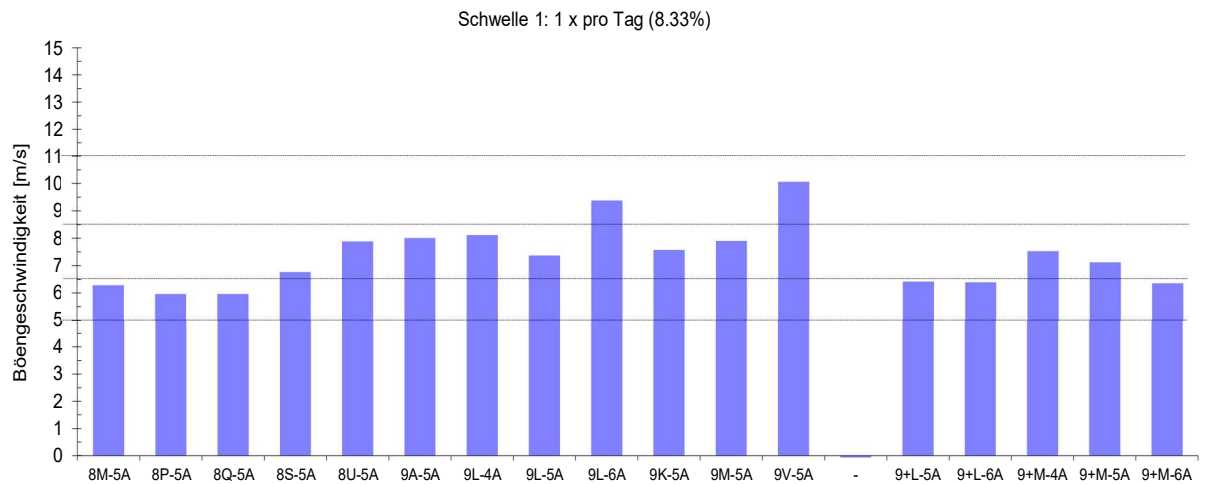
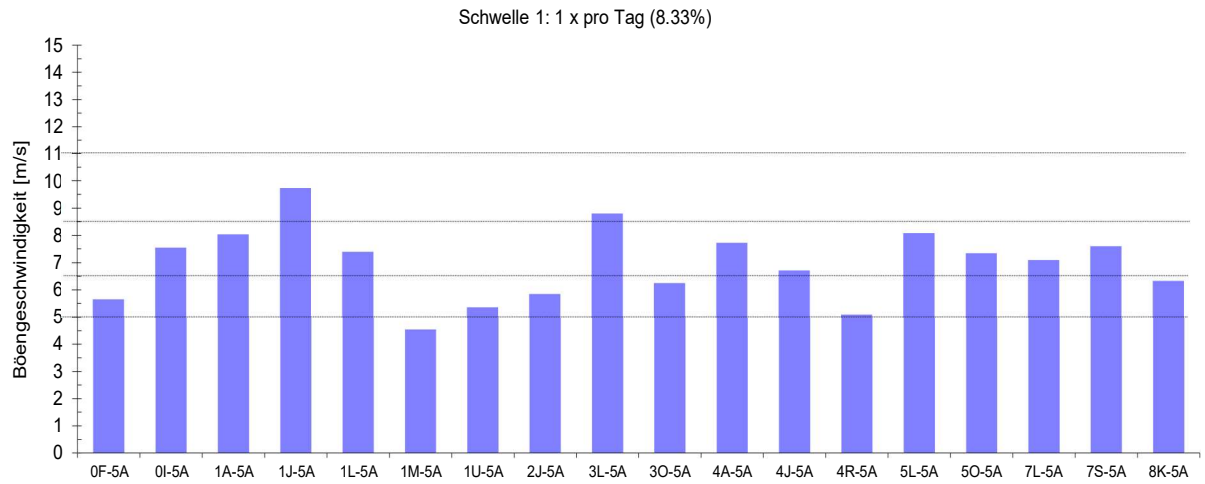


Abb. 4.8: Böengeschwindigkeit an Messpunkten im Fußgängerbereich, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 5A im Vergleich mit Variante 4A und 6A).

Abbildung Gutachter

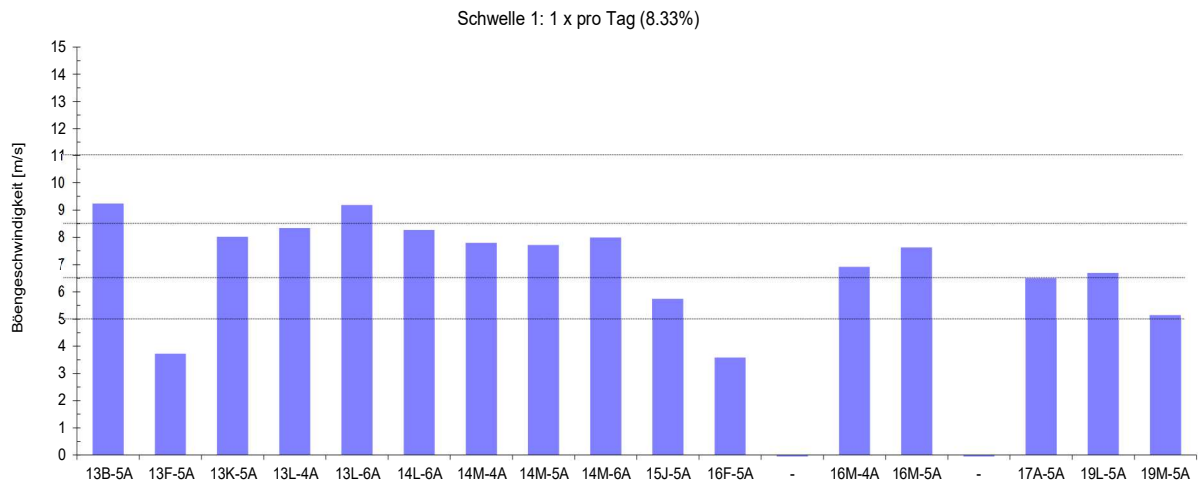
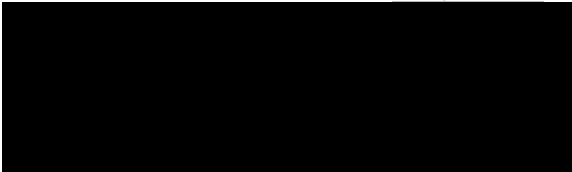


Abb. 4.9: Böengeschwindigkeit an Messpunkten im Fußgängerbereich, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 5A im Vergleich mit Variante 4A und 6A).

Abbildung Gutachter



### 4.3.2 Geschwindigkeiten auf der Terrasse der Skybar

Für 12 Windrichtungen sind im dachnahen Aufenthaltsbereich im 24.OG mit eingesetzten Miniatursonden Messungen der Spitzenwindgeschwindigkeiten ausgeführt worden. Dabei wurde der Windkomfort an den ausgewiesenen Terrassenbereichen für die Skybar vergleichend untersucht.

In Abb. 4.11 ist der Grundriss des 24.OG mit der Terrasse der Skybar für Variante 1 (vgl. Abb. 3.11) bzw. Variante 1a (vgl. Abb. 3.12) zur Beschreibung der gewählten Messpunkte im dachnahen Außenbereich dargestellt.

Abb. 4.12 zeigt den Grundriss mit der Terrasse der Skybar für Variante 1b nach Abb. 3.13. Hier werden 18 Messpunkte auf einer gegebenenfalls umlaufenden Terrasse untersucht.

In Abb. 4.13 sind die Messpunkte auf den Terrassen der west-, süd-, ost- und nordseitigen Loggien ohne Prallplatten (vgl. Abb. 3.14) zu entnehmen.

Die Abb. 4.14 und Abb. 4.15 sowie Abb. 4.19 und Abb. 4.20 zeigen eine windrichtungsabhängige Auftragung der lokal zu erwartenden Böenwindgeschwindigkeiten für die Modellvarianten. Diese sind zu Vergleichszwecken bezogen auf die ungestörte Anströmgeschwindigkeit in 96 m Höhe über Grund.

Aus diesen Daten wurden unter Berücksichtigung der Windstatistik Kennwerte für die einzelnen Messpunkte berechnet. In der nachfolgenden Abb. 4.16 – Abb. 4.19 und Abb. 4.20 sind die Böenwindgeschwindigkeiten dargestellt, welche im langjährigen Durchschnitt eine Stunde tagsüber erreicht werden (vgl. Tab 4.1). Werte unter 5m/s gelten als sehr komfortabel, Werte über 11m/s als inakzeptabel.

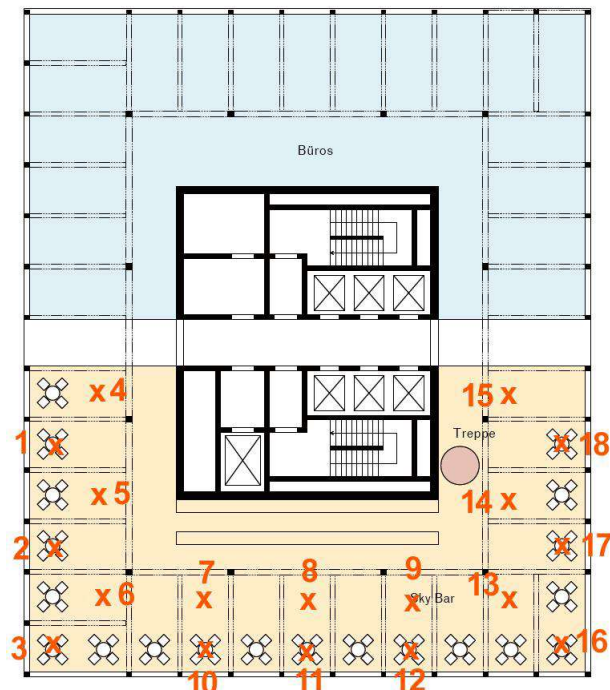


Abb. 4.11: Grundriss 24:OG mit Messpositionen Nr.1 – Nr.18 auf Terrasse der Skybar für Variante 1 bzw. Variante 1a

Abbildung Gutachter



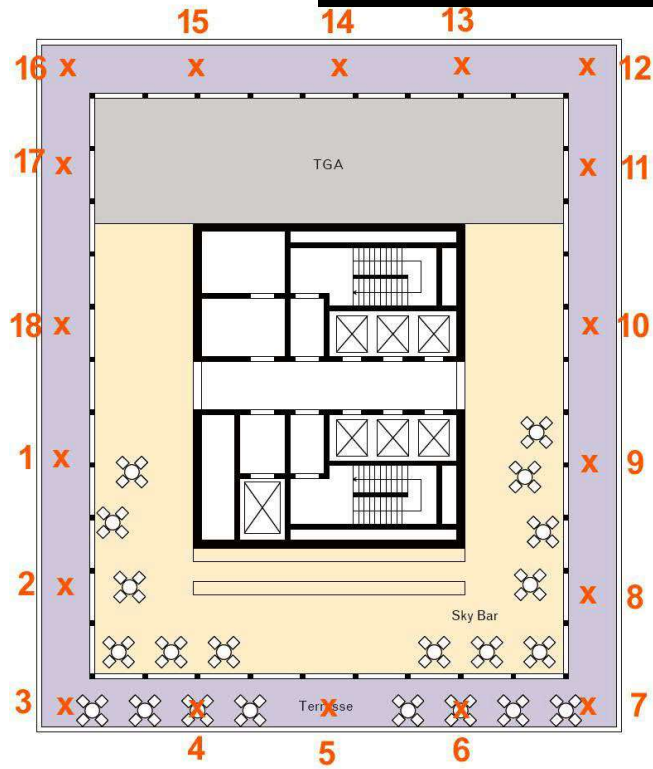


Abb. 4.12: Grundriss 24:OG mit Messpositionen Nr.1 – Nr.18 auf Terrasse der Skybar für Variante 1b

Abbildung Gutachter

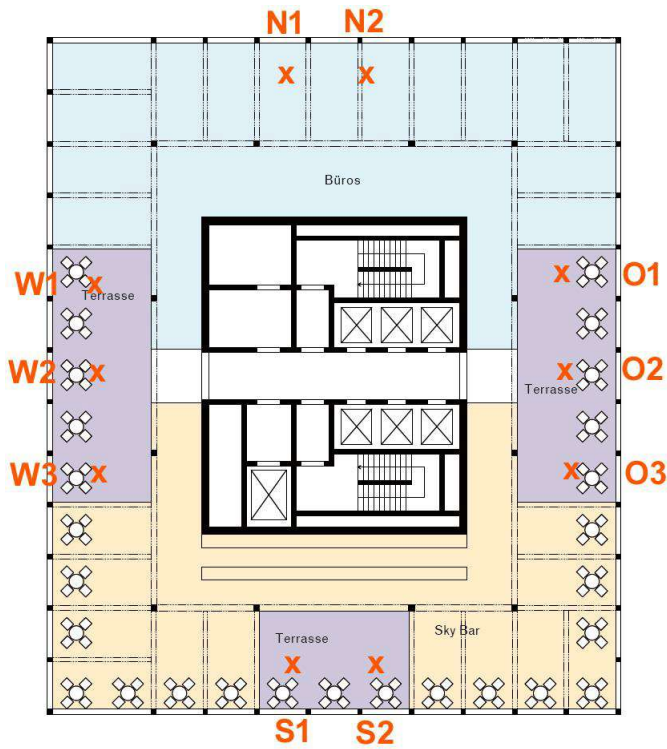


Abb. 4.13: Grundriss 24:OG mit Messpositionen auf den Terrassen im Bereich der Loggien (west-, süd-, ost- und nordseitige Loggien ohne Prallplatte)

Abbildung Gutachter



RS 76, München

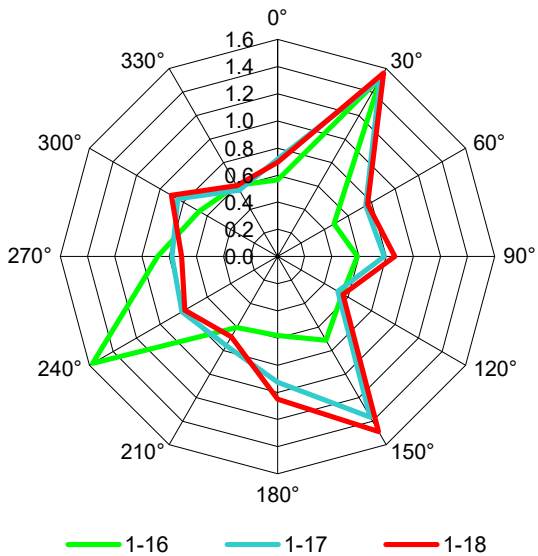
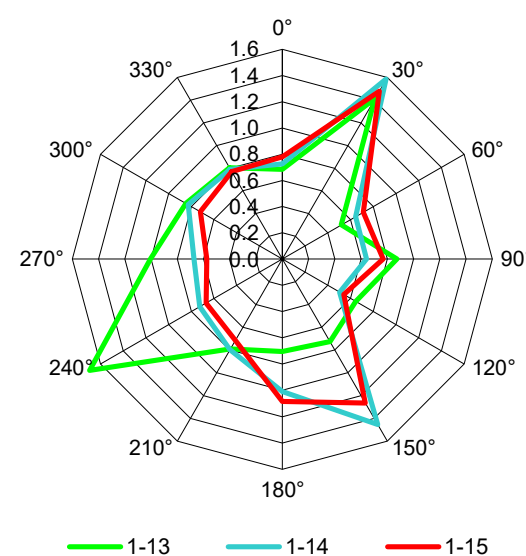
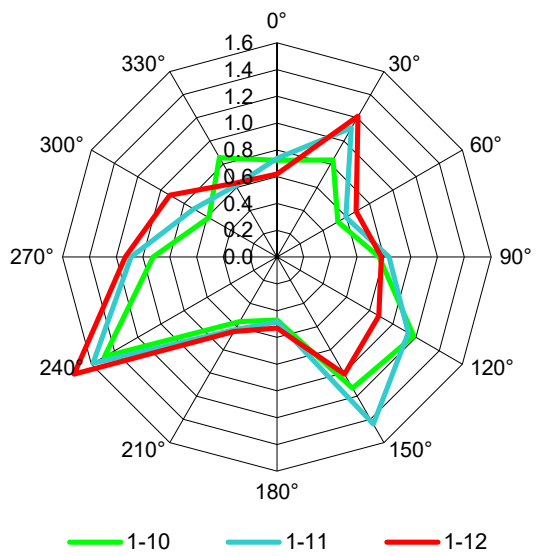
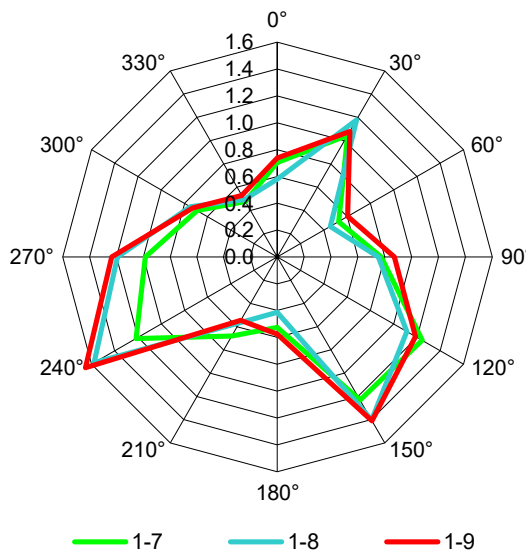
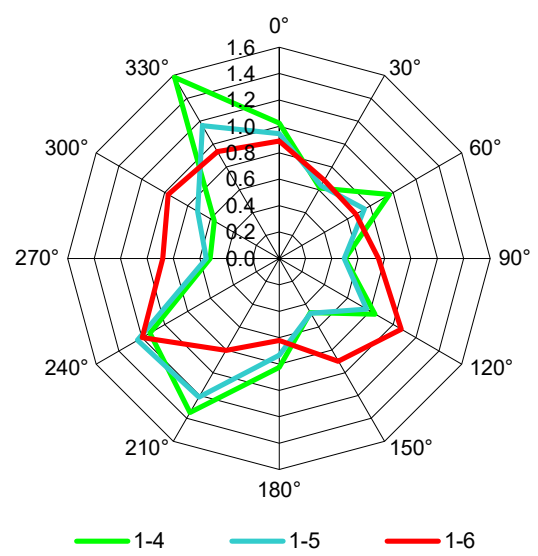
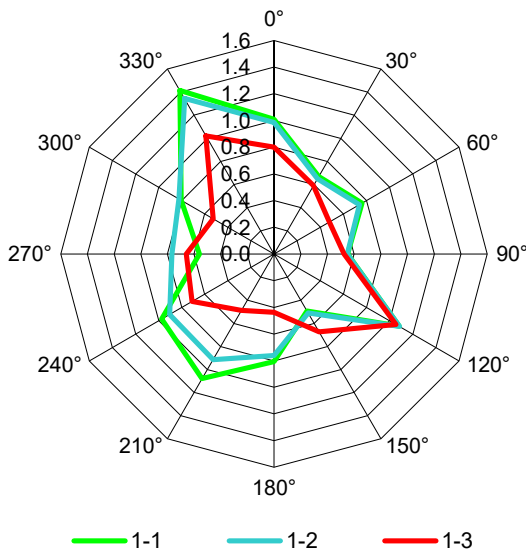
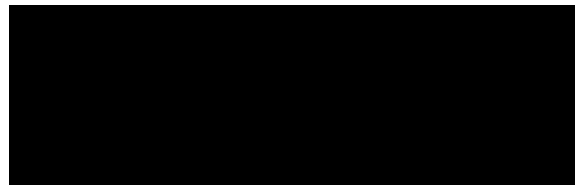


Abb. 4.14: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf Terrasse der Skybar für Variante 1 bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

RS 76, München

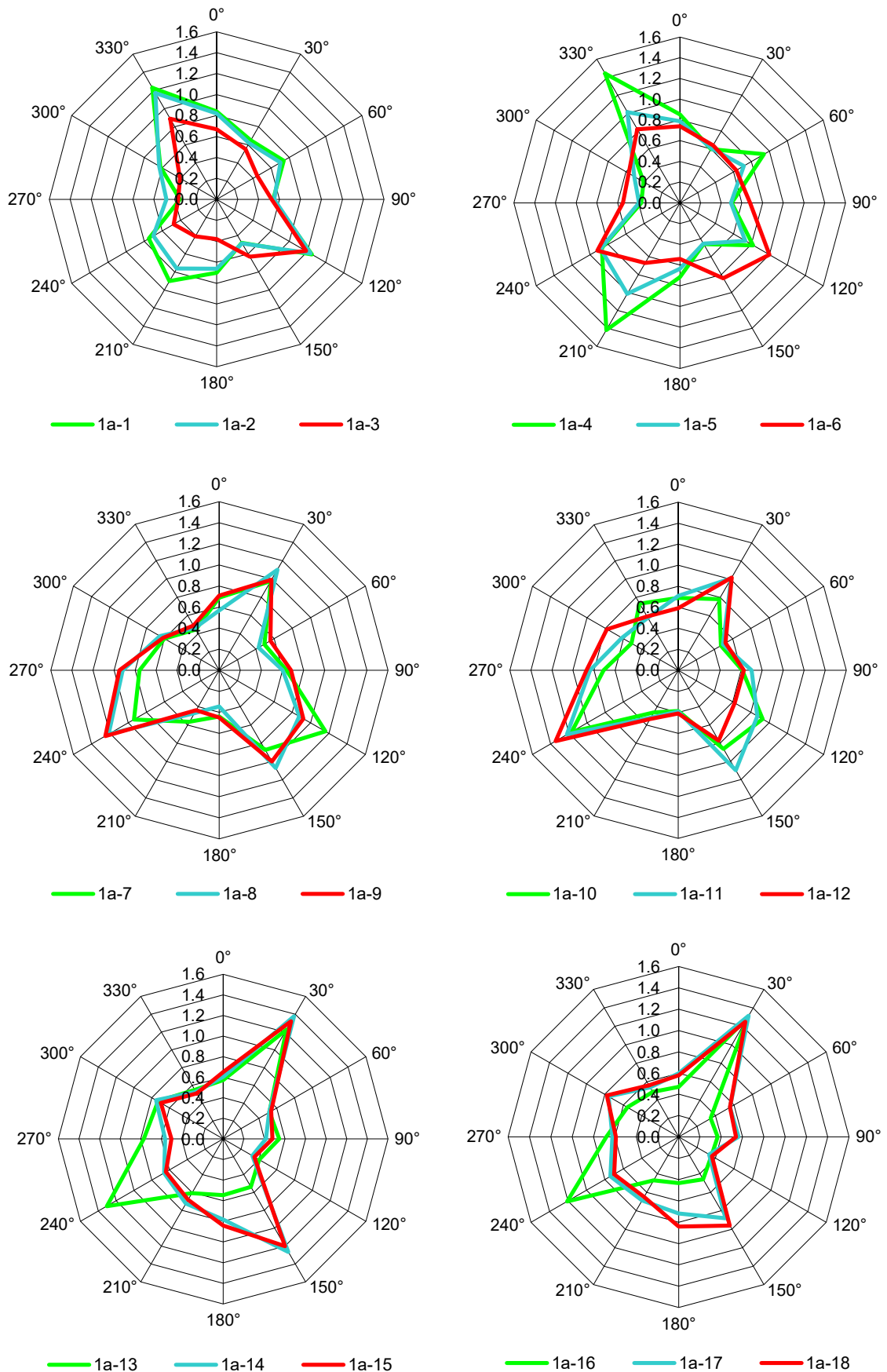


Abb. 4.15: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf Terrasse der Skybar für Variante 1a bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

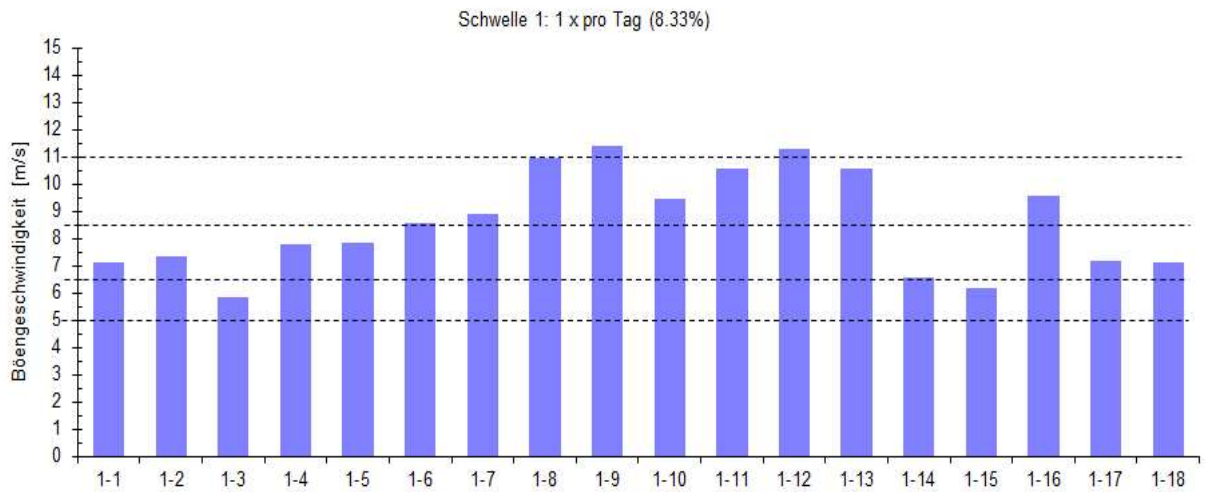


Abb. 4.16: Böengeschwindigkeit auf der Terrasse Skybar, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 1).

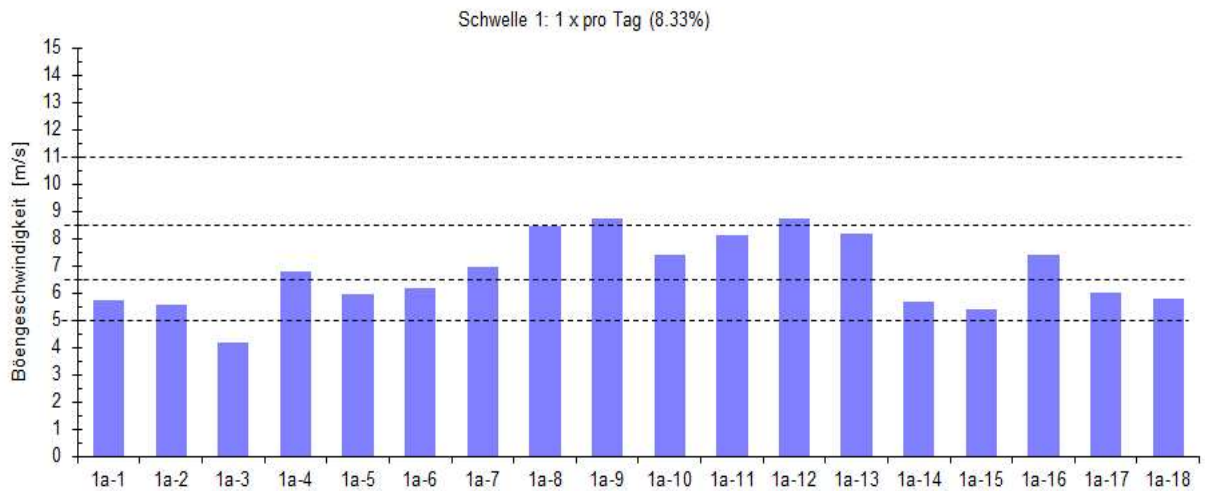


Abb. 4.17: Böengeschwindigkeit auf der Terrasse Skybar, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 1a).

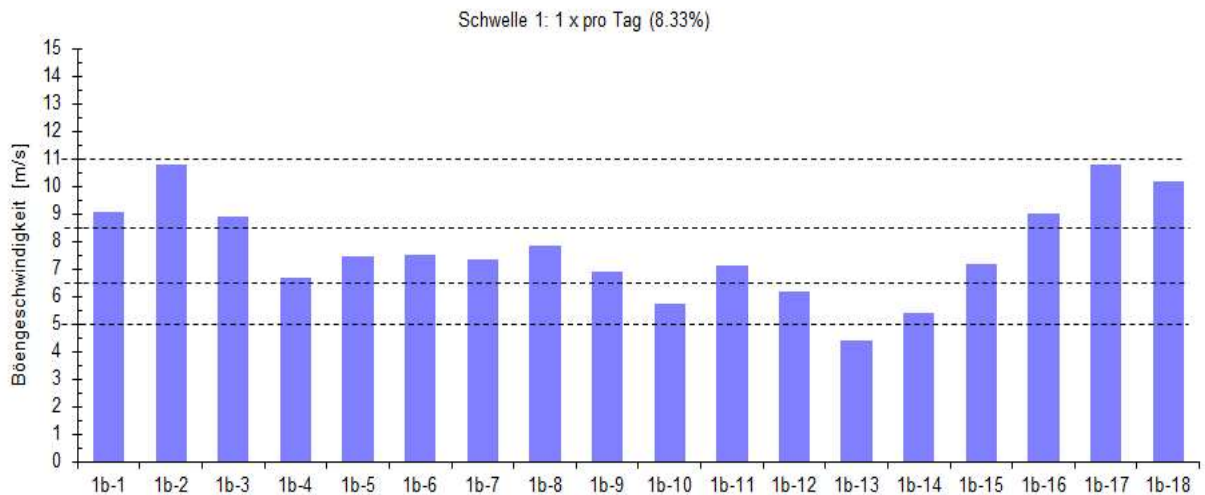


Abb. 4.18: Böengeschwindigkeit auf der Terrasse Skybar, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 1b).

# RS 76, München

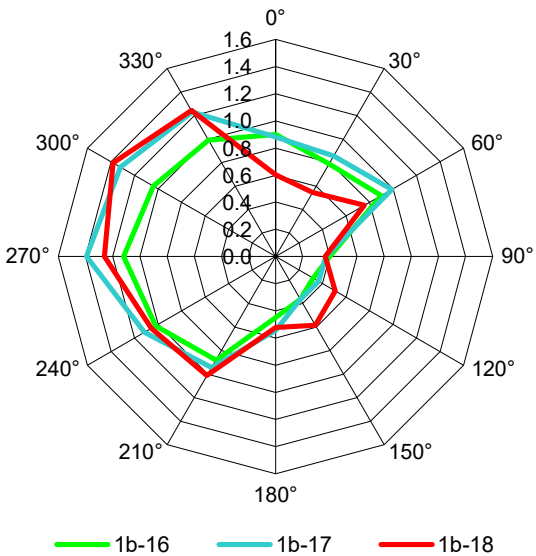
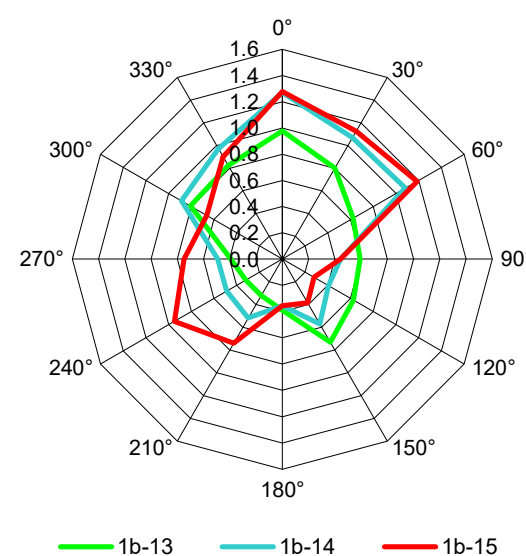
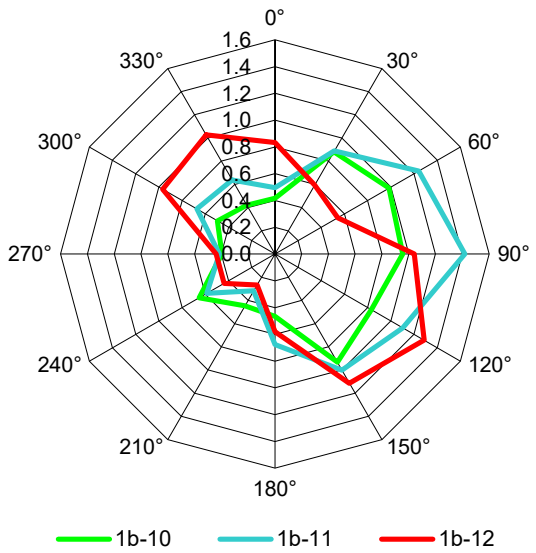
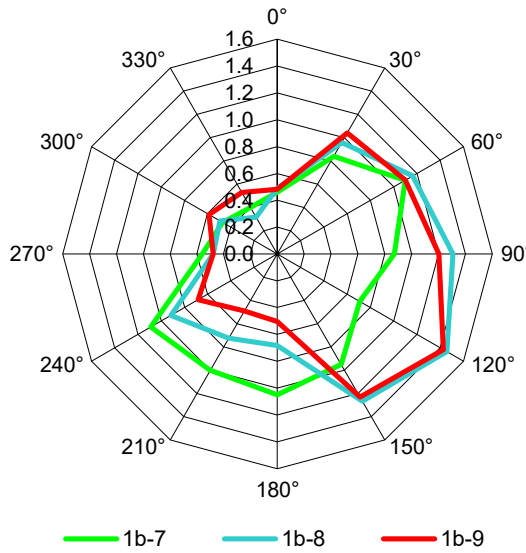
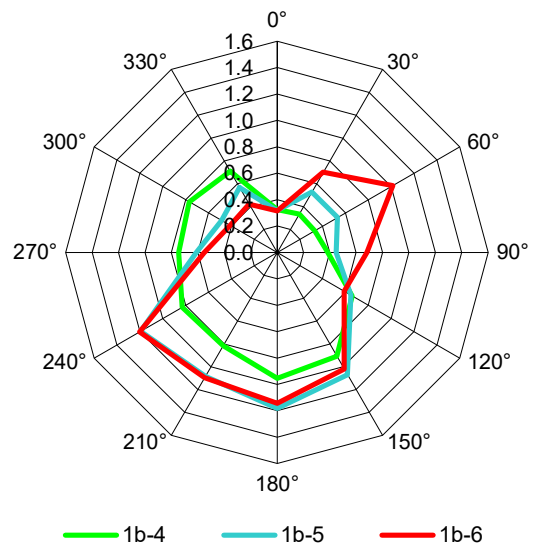
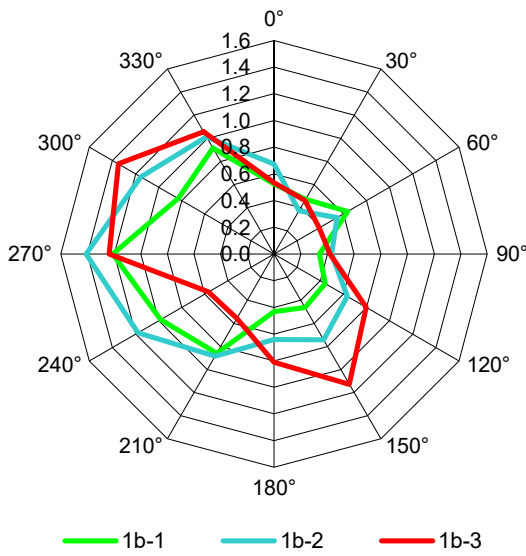
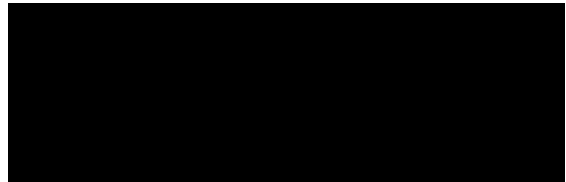


Abb. 4.19: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf Terrasse der Skybar für Variante 1b bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

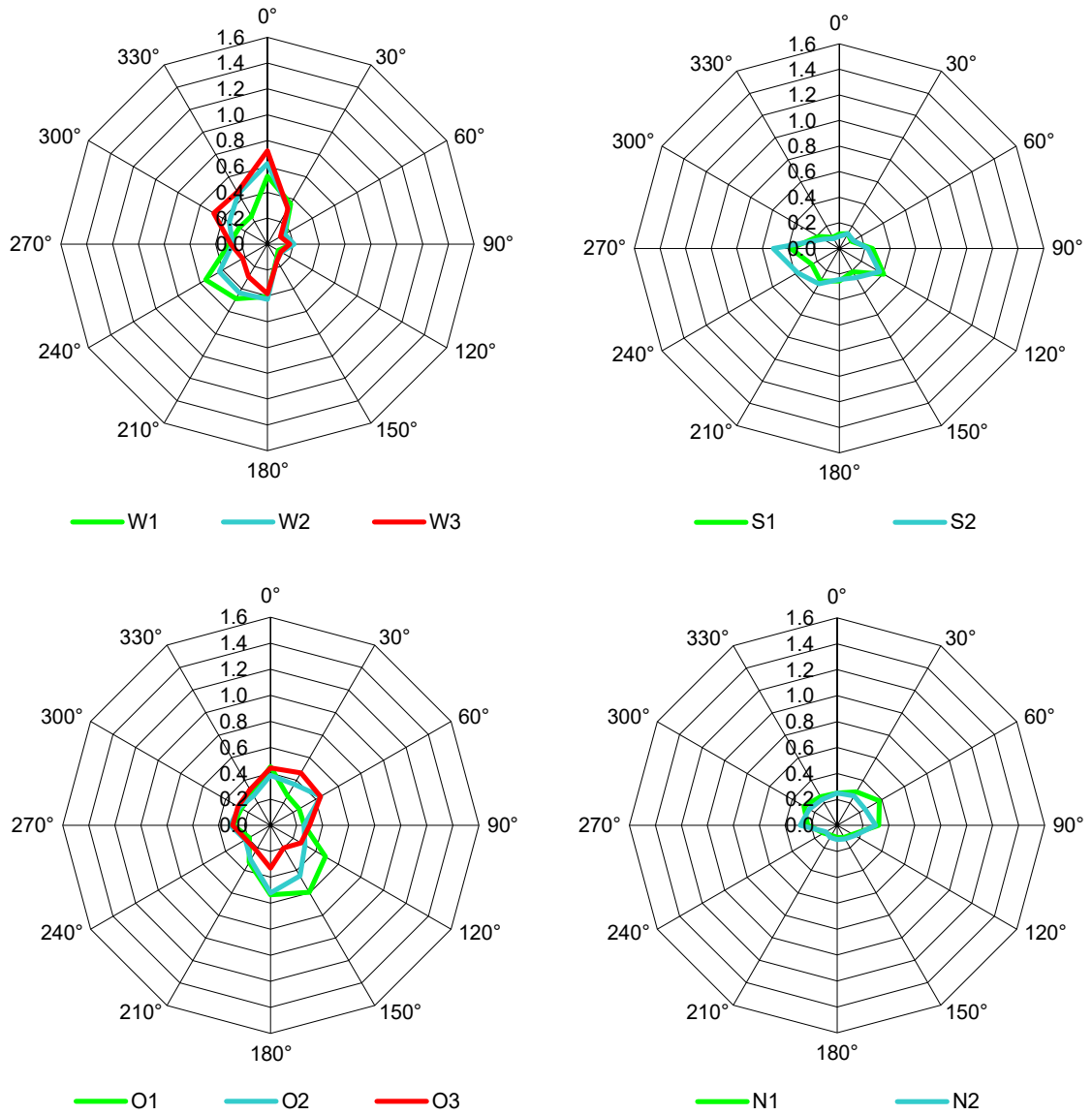


Abb. 4.20: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf Terrasse der Skybar für Variante 2 (Loggien) bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

Abbildung Gutachter

Schwelle 1: 1 x pro Tag (8.33%)

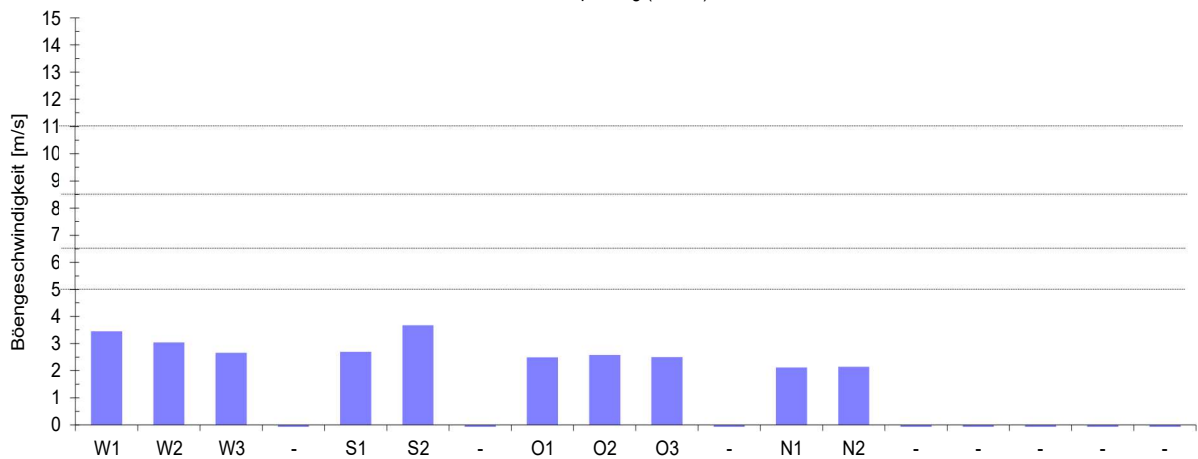


Abb. 4.21: Böengeschwindigkeit auf der Terrasse Skybar, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante Loggien).





### 4.3.3 Geschwindigkeiten auf Dach Riegel

Für 12 Windrichtungen sind im dachnahen Aufenthaltsbereich im 14.OG mit eingesetzten Miniatursonden Messungen der Spitzenwindgeschwindigkeiten ausgeführt worden. Dabei wurde der Windkomfort auf dem gesamten Dach für die Referenzsituation sowie für drei Varianten mit den in Abschnitt 3 beschriebenen Schutzmaßnahmen untersucht.

In Abb. 4.22 ist der Grundriss des 14.OG mit der Dachaufsicht des Riegels und der vom Atelier Loidl vorgeschlagenen Begrünung dargestellt. Mit eingetragen sind die Messpositionen D1 bis D21.

Die Abb. 4.23 bis Abb. 4.26 zeigen eine windrichtungsabhängige Auftragung der lokal zu erwartenden Böenwindgeschwindigkeiten für die vier Modellvarianten 1, 2 3a und 3b. Diese sind zu Vergleichszwecken bezogen auf die ungestörte Anströmgeschwindigkeit in 96 m Höhe.

Aus diesen Daten wurden unter Berücksichtigung der Windstatistik Kennwerte für die einzelnen Messpunkte berechnet. In der nachfolgenden Abb. 4.27 bis Abb. 4.30 sind die Böenwindgeschwindigkeiten dargestellt, welche im langjährigen Durchschnitt eine Stunde tagsüber erreicht werden (vgl. Tab 4.1). Werte unter 5m/s gelten als sehr komfortabel, Werte über 11m/s als inakzeptabel.

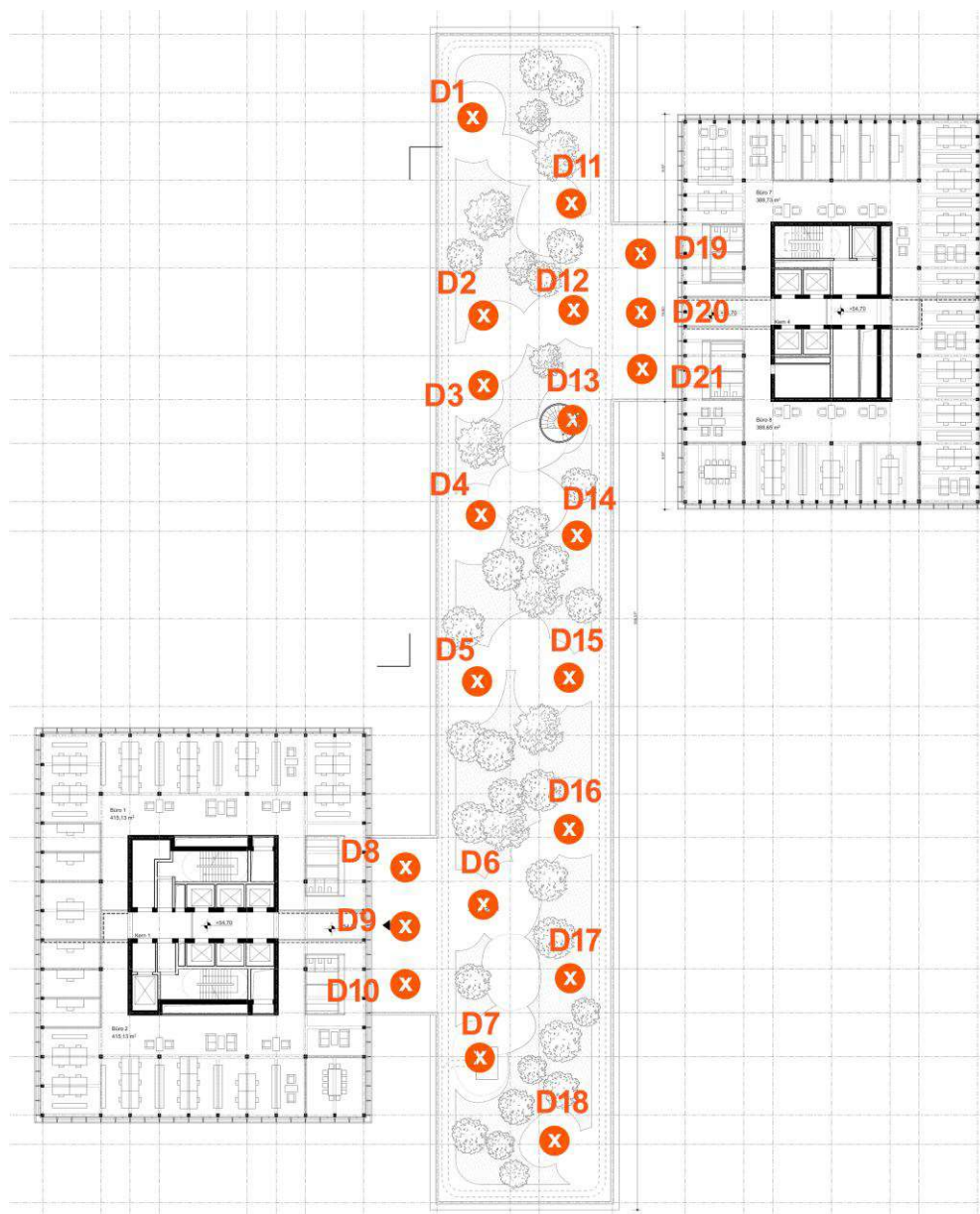


Abb. 4.22: Grundriss 14:OG mit Messpositionen Nr. 1 – Nr.21 auf dem Dach des Riegels gültig für Variante 1, 2 und für Variante 3a und 3b nach Abb. 3.15 bis Abb. 3.19



# RS 76, München

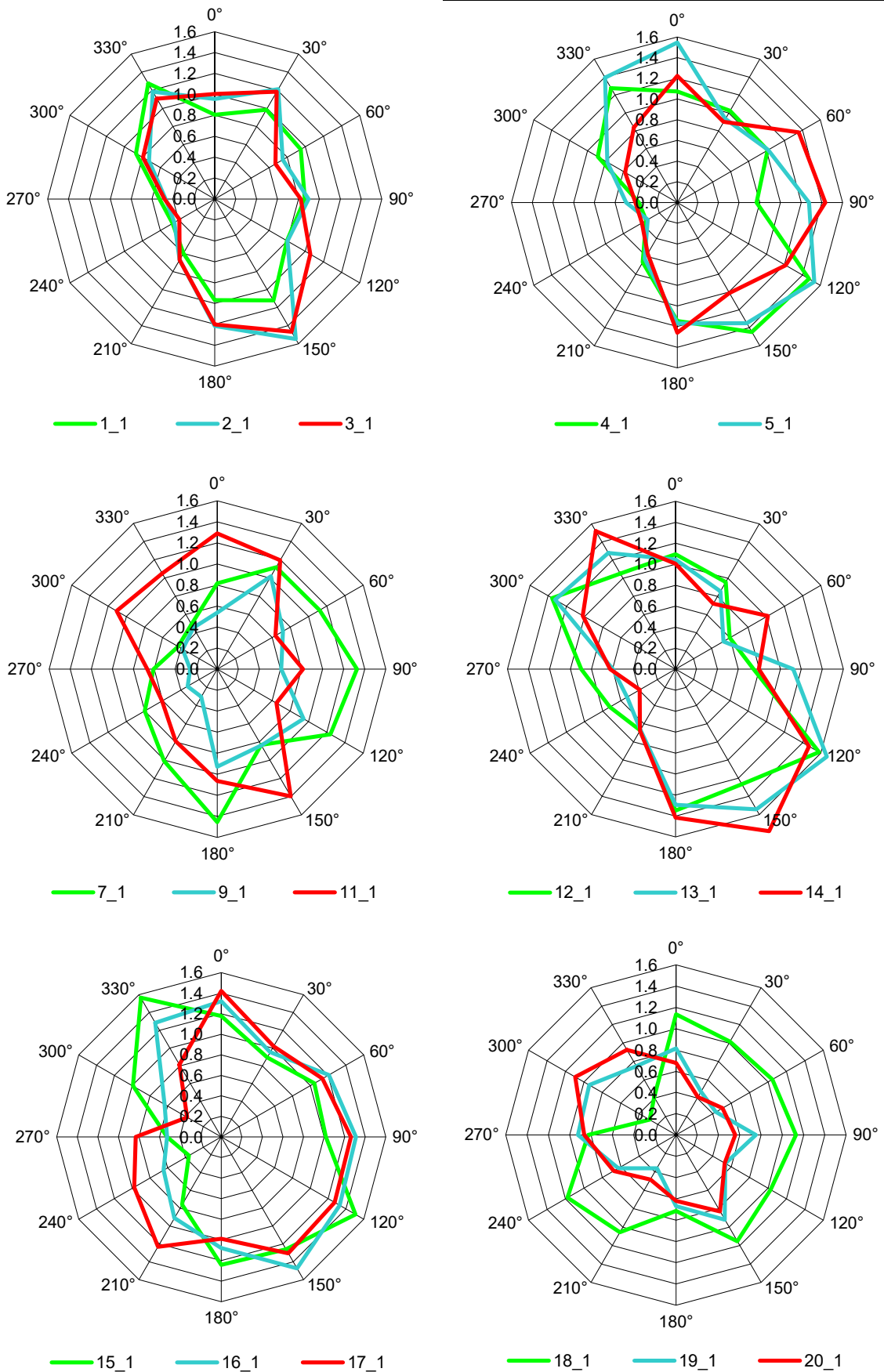


Abb. 4.23: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels für Variante 1 bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

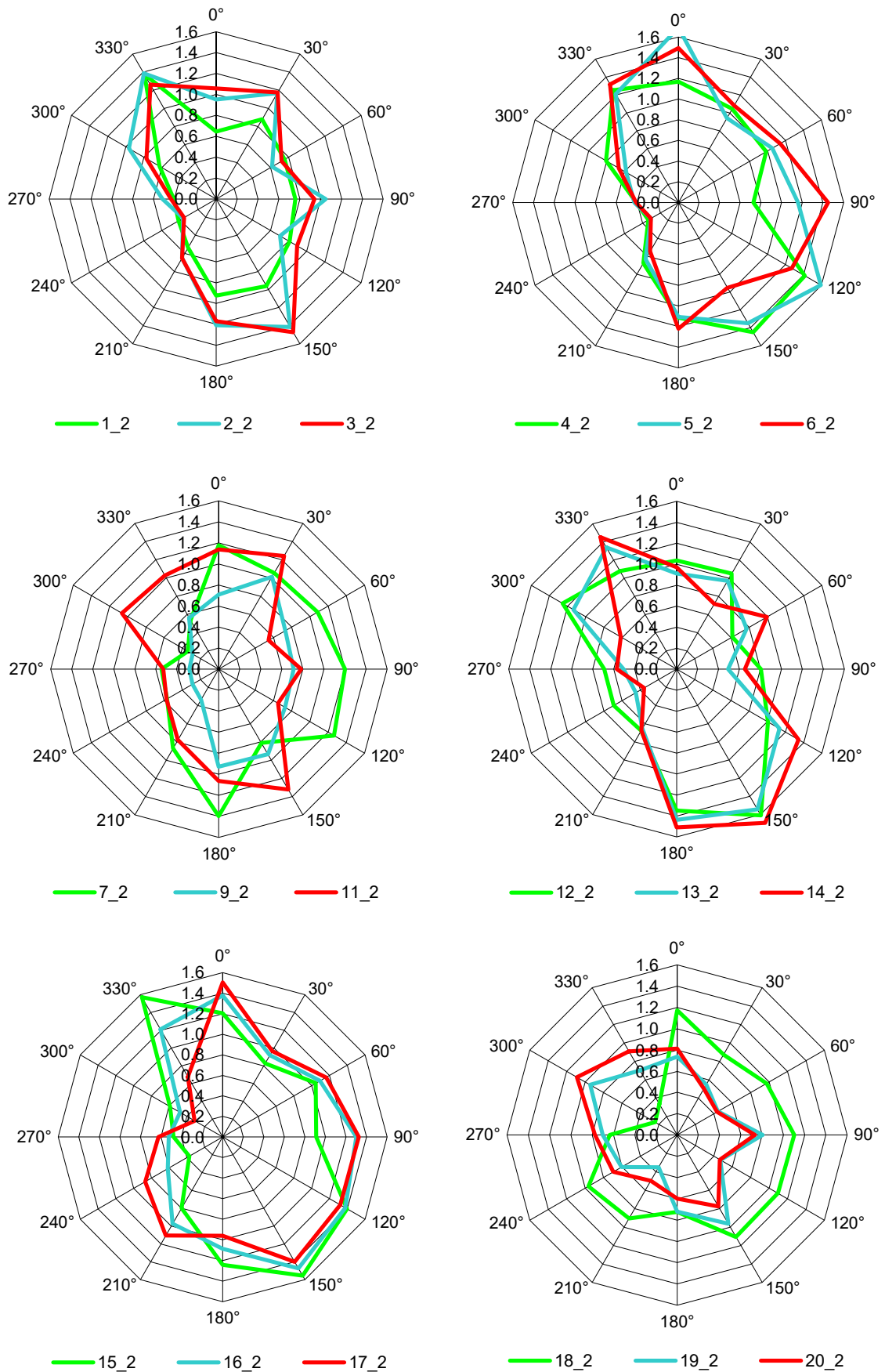


Abb. 4.24: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels für Variante 2 bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

RS 76, München

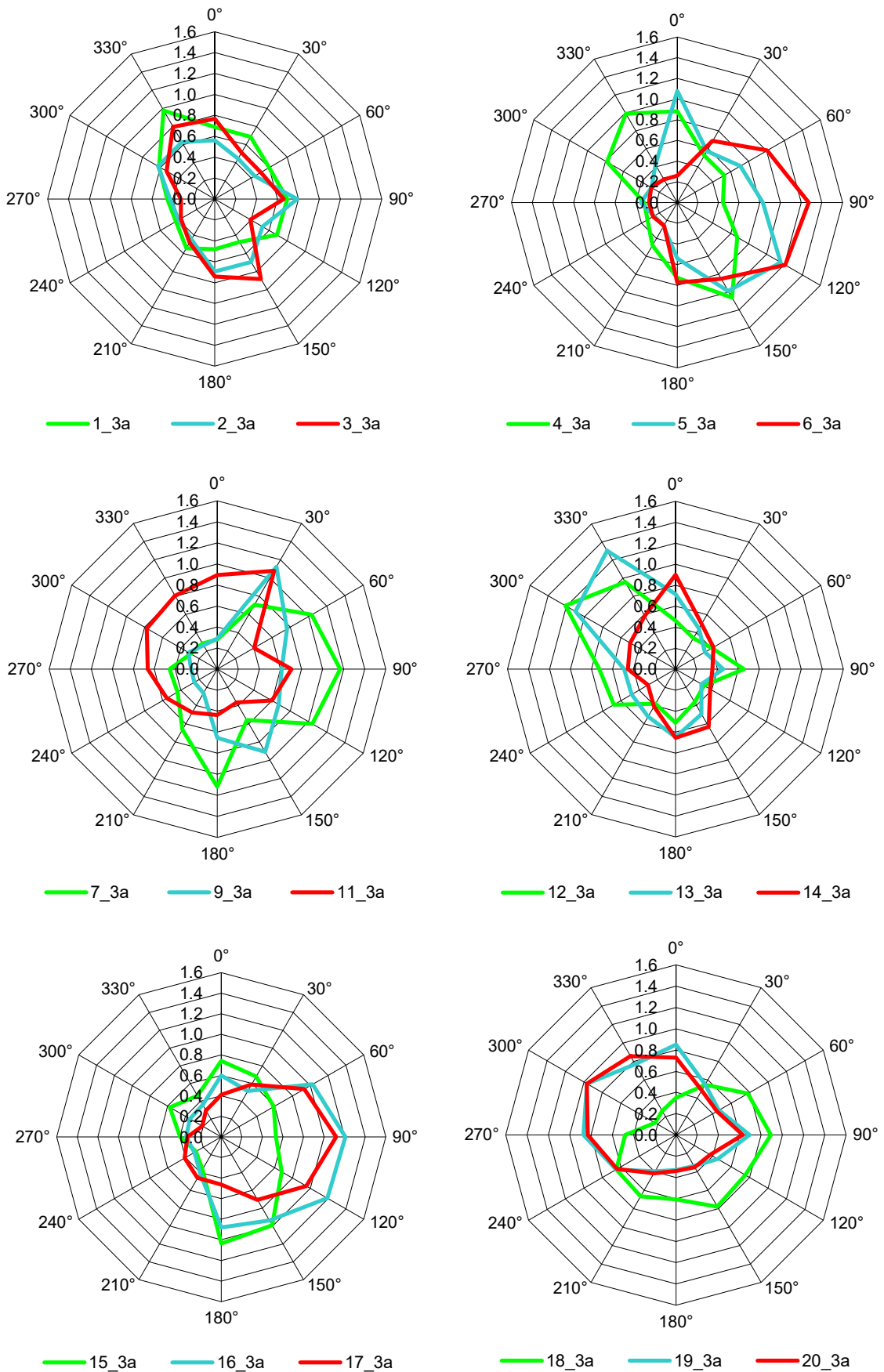
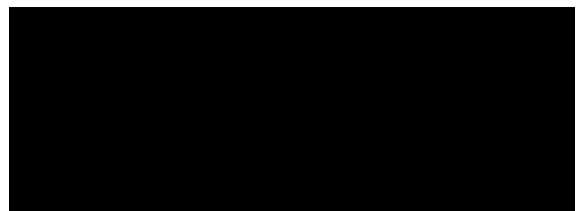


Abb. 4.25: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels für Variante 3a bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

RS 76, München

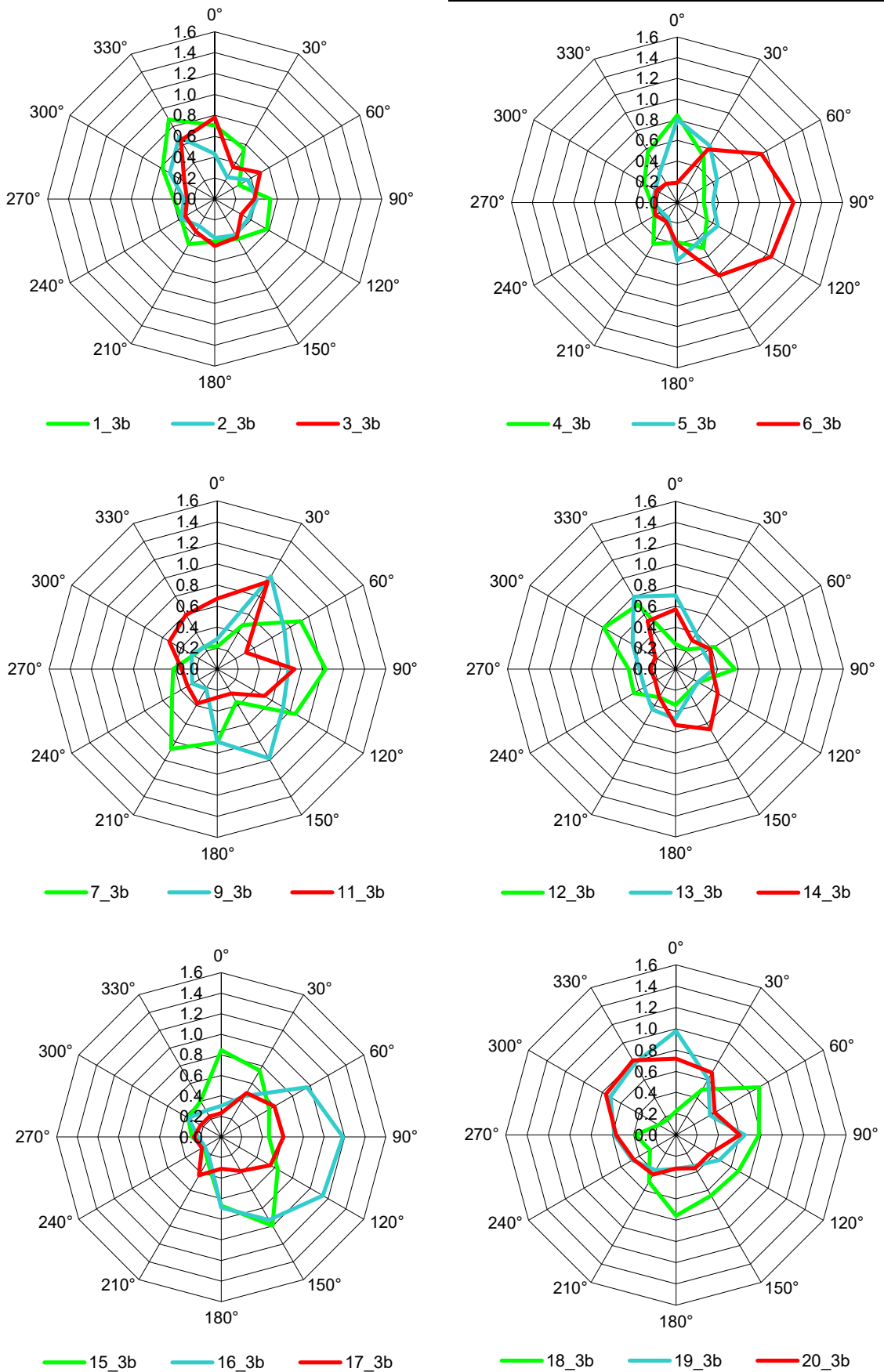


Abb. 4.26: Windrichtungsabhängige Böenwindgeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels für Variante 3b bezogen auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in 96 m Höhe

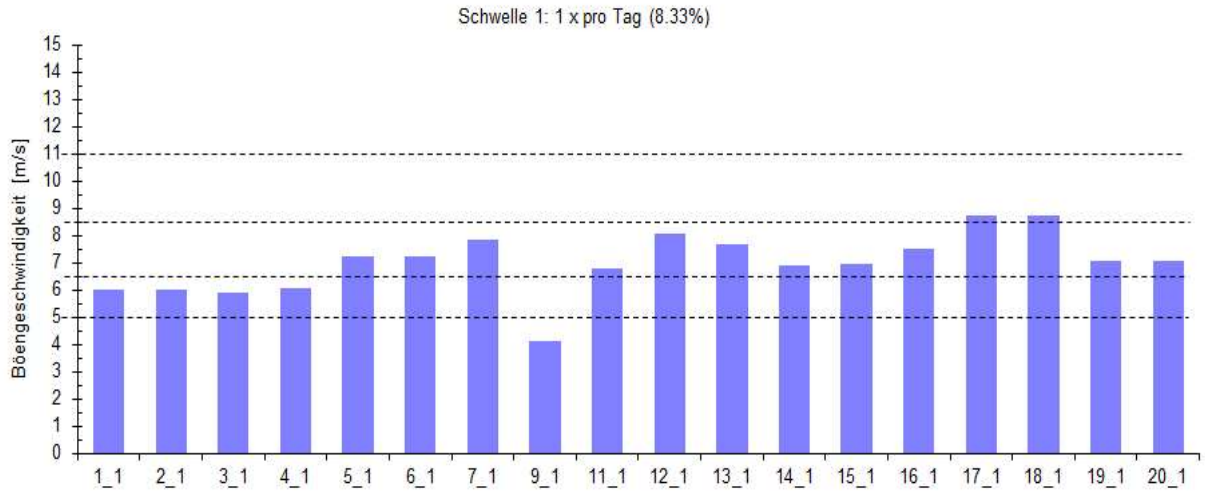


Abb. 4.27: Böengeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels, deren kurzzeitige Überschreitung im lang-jährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 1).

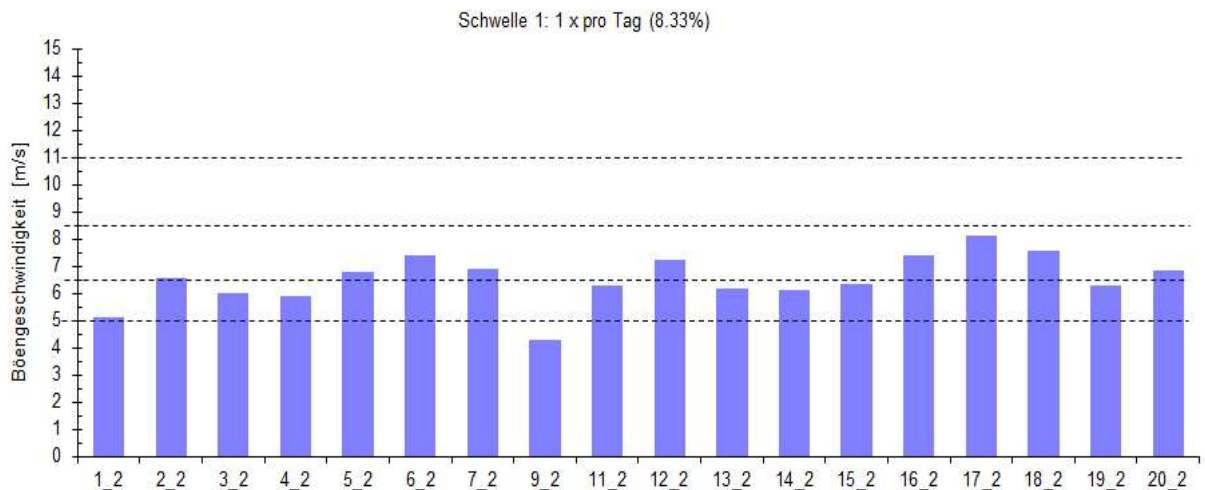


Abb. 4.28: Böengeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels, deren kurzzeitige Überschreitung im lang-jährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 2).

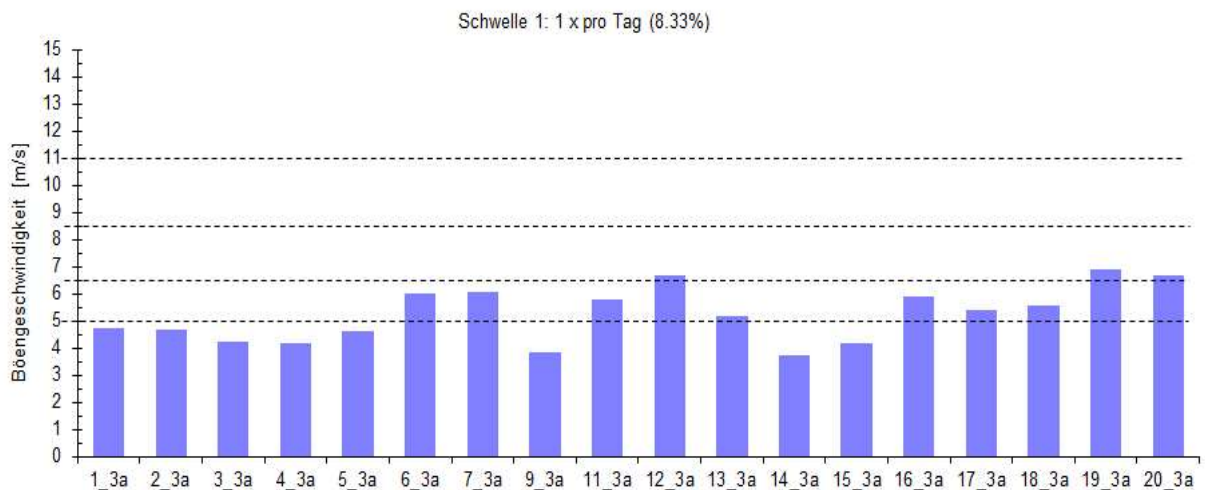


Abb. 4.29: Böengeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels, deren kurzzeitige Überschreitung im lang-jährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 3a).

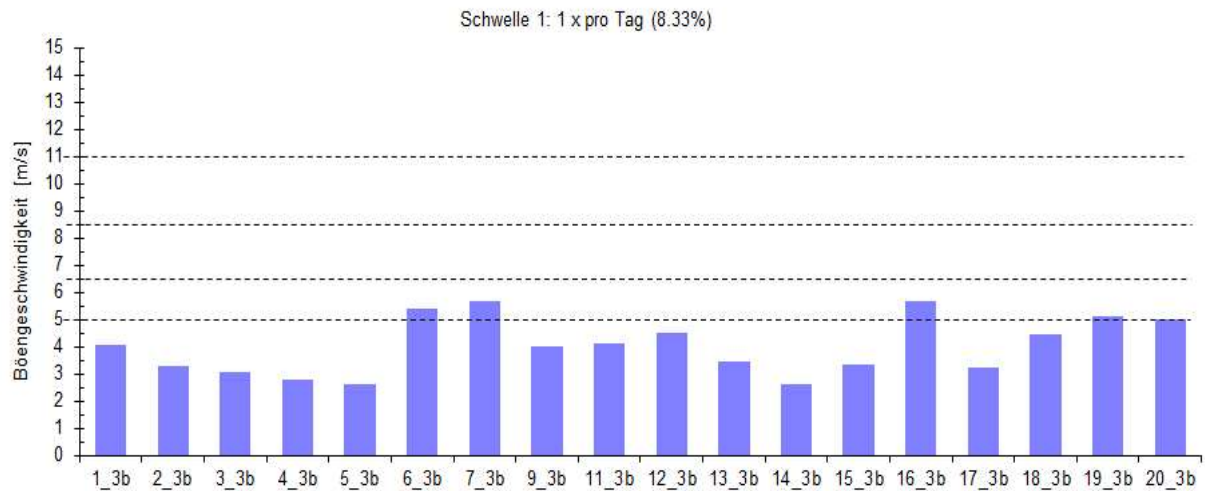
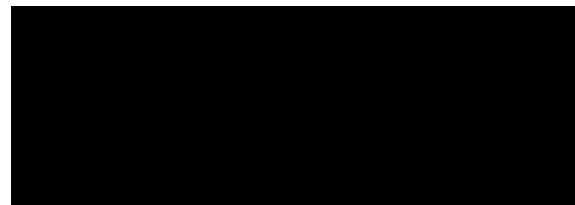


Abb. 430: Böengeschwindigkeit auf dem Dach des Riegels, deren kurzzeitige Überschreitung im langjährigen Mittel etwa innerhalb einer Stunde pro Tag zu erwarten ist (Variante 3b).

Abbildung Gutachter

## 4.4 Bewertung des Windkomforts auf den Freiflächen

Entsprechend Abb. 4.1 bzw. Tab. 4.1 lässt sich aus den vorgenannten Kennwerten eine Einordnung der untersuchten Bereiche in Windkomfortklassen durchführen, woraus eine typische Nutzung abgeleitet werden kann. Bei Überschreiten der Böenschwelle von 8,5m/s erfolgt eine Zuordnung in Komfortklasse A (rote Bereiche), bei Überschreiten der Schwelle von 6,5m/s in Komfortklasse B (gelb) und bei Überschreiten der Schwelle von 5m/s in Komfortklasse C (grün). Das Überschreiten der Böenschwelle von 11m/s führt zu inakzeptablen Verhältnissen außerhalb der definierten Windkomfortklassen. Hierbei ist auch zu überprüfen, ob die Gefährdungsgrenze erreicht oder überschritten wird.

### 4.4.1 Windkomfort im Fußgängerbereich

Abb. 4.31 bis Abb. 4.33 zeigen im Fußgängerbereich die Komfortverhältnisse für den eingangs projektierten und fortgeschriebenen Planstand der Außenanlagen sowie für bauliche Schutzmaßnahmen im Durchgangsbereich des Riegels. Dabei werden die dem Wind mehr ausgesetzten (rot und gelb) aber auch die wind geschützten Bereiche (blau) deutlich.

Ohne Schutzmaßnahmen (Variante 1) wird die als inakzeptabel definierte Schwelle der zu erwartenden Böengeschwindigkeiten im Durchgangsbereich unter dem Riegel z.T. deutlich überschritten. Diese Bereiche sind in den Grafiken grau hinterlegt. Die Ursache hierfür liegt vorrangig an windbedingten Druckausgleichsströmungen zwischen der Westfassade und der Ostfassade des Riegels bei den am Standort vorherrschenden Starkwindlagen aus südwestlichen und vor allem aus westlichen Richtungen.

In dieser als inakzeptabel zu bewertenden Zone wurde auch eine Überschreitung der Gefährdungsgrenze (23m/s entspricht Schwelle einmal pro Jahr) festgestellt. Auch im weiteren Umfeld des Durchgangs unter dem Riegel und in den Eckbereichen der Türme ergeben sich außerordentlich hohe Böengeschwindigkeiten, die der geplanten Nutzung entgegenstehen.

Die intensive Begrünung in Lichtung A und in Lichtung B sowie im näheren Umfeld der Hochhäuser gemäß Variante 3 führen zu einer weit reichenden Reduzierung der bodennahen Böenwindgeschwindigkeiten. Die als inakzeptabel definierte Schwelle der zu erwartenden Böengeschwindigkeiten wurde hier an keiner der untersuchten Stellen mehr überschritten. In wei-





ten Bereichen kann die geplante Nutzung (z.B. Freianlage Kita) ohne Einbußen angestrebt werden. Hier ist anzumerken, dass die Abmessungen der untersuchten Bepflanzung bereits ein mehrjähriges Wachstum beinhalten.

Da die Bäume und Büsche weder im Durchgangsbereich noch in unmittelbarer Fassadenhöhe der Türme eingesetzt sind, verbleiben allerdings immer noch größere Zonen, an denen die geplante Nutzung nicht erzielbar ist. Sowohl im Durchgangsbereich unter dem Riegel als auch in den ausgewiesenen Eingangszonen werden sich die Nutzer mit den zu erwartenden Windkomfortverhältnissen nicht zufrieden geben.

Im Anschluss wurden weiter führende Schutzmaßnahmen entwickelt, die einen wesentlichen Einfluss auf die bei Westwind sich einstellenden Druckausgleichströmungen bewirken können. Wesentlich sind hierbei die fassadennahen Windströmungen, die aus größerer Höhe (deutlich über der Bepflanzungshöhe) nach unten abgelenkt und der bodennahen Strömung (hier insbesondere in den Durchgangsbereich gerichtet) überlagert werden.

Bei Einsatz einer Glasschürze an der West- und Ostseite des Durchgangs mit einer verbleibenden Durchfahrtshöhe von 3,5m werden die Windkomfortverhältnisse sowohl im Durchgangs- als auch Eingangsbereich von H60 um etwa eine Windkomfortstufe verbessert.

Die beiden Varianten 4A (Schürze bündig mit der jeweiligen Fassade) und 5A (beide Schürzen um 1,5m von der Vorderkante nach innen gerückt) zeigen keine wesentlichen Unterschiede. Die Variante 6A (Schürze nur an der Westseite) schneidet etwas schlechter ab; hier wurde eine unsymmetrische Durchströmung des Durchgangs beobachtet mit einseitig erhöhten Böengeschwindigkeiten.

Die in den Hochhaus-Eckzonen von Variante 5A stärker gewordenen Komforteinschränkungen können im vorliegenden Fall akzeptiert werden, da in der aktuellen Planung hier weder Aufenthaltszonen noch Hauptverkehrswege vorgesehen sind. Sie resultieren aus der veränderten Bepflanzungsdichte und Verteilungsstruktur im Umfeld der Hochhäuser.

#### **4.4.2 Windkomfort auf der Terrasse der Skybar**

In Abb. 4.34 sind die Windkomfortklassen auf der Terrasse der Skybar im 24.OG für die vier Untersuchungsvarianten nach Abschnitt 3.1.6 vergleichend gegenübergestellt.

Die für den Referenzfall beschriebene Attika mit einer Höhe von 1,3m führt auf der gesamten Terrasse zu sehr starken Einschränkungen des Windkomforts. Die als inakzeptabel definierte Schwelle der zu erwartenden Böengeschwindigkeiten wurde auch hier an zwei Messpositionen überschritten.

Bei einer Erhöhung des Windschutzes auf 3m werden auf der gesamten Terrasse ca. um eine Windkomfortklasse ruhigere Verhältnisse vorgefunden. Weite Bereiche der Terrasse sind für ein längeres Sitzen im Freien jedoch nicht als geeignet zu bezeichnen (Klasse A rot und Klasse B gelb).

Noch stärkere Einschränkungen wurden bei Variante 1b bei einer ebenso hohen Windschutzwand und mit dem Technikgeschoss darüber vorgefunden.

Bei Variante 2 mit Loggien ohne Prallplatte wurden dagegen sehr ruhige Verhältnisse (Klasse D blau) vorgefunden. Hier sind keine weiteren Schutzmaßnahmen für die geplante Nutzung der Terrasse Skybar erforderlich.

#### **4.4.3 Windkomfort auf dem Dach des Riegels**

Während bei Variante 1 mit einer Attika von 1,1m größere Einschränkungen des Windkomforts zu erwarten sind, führt eine Erhöhung der Attika auf 2,5m zu einer deutlichen Beruhigung (vgl. Abb. 4.35).

Für die weitere Planung wird jedoch empfohlen, eine Begrünung nach dem Vorschlag des Ateliers Loidl zu verfolgen. Sowohl die Variante 3a (niedrige Begrünung) als auch die Variante 3b (hohe Begrünung) wird bei den Nutzern als ausreichende Windschutzmaßnahme akzeptiert werden.

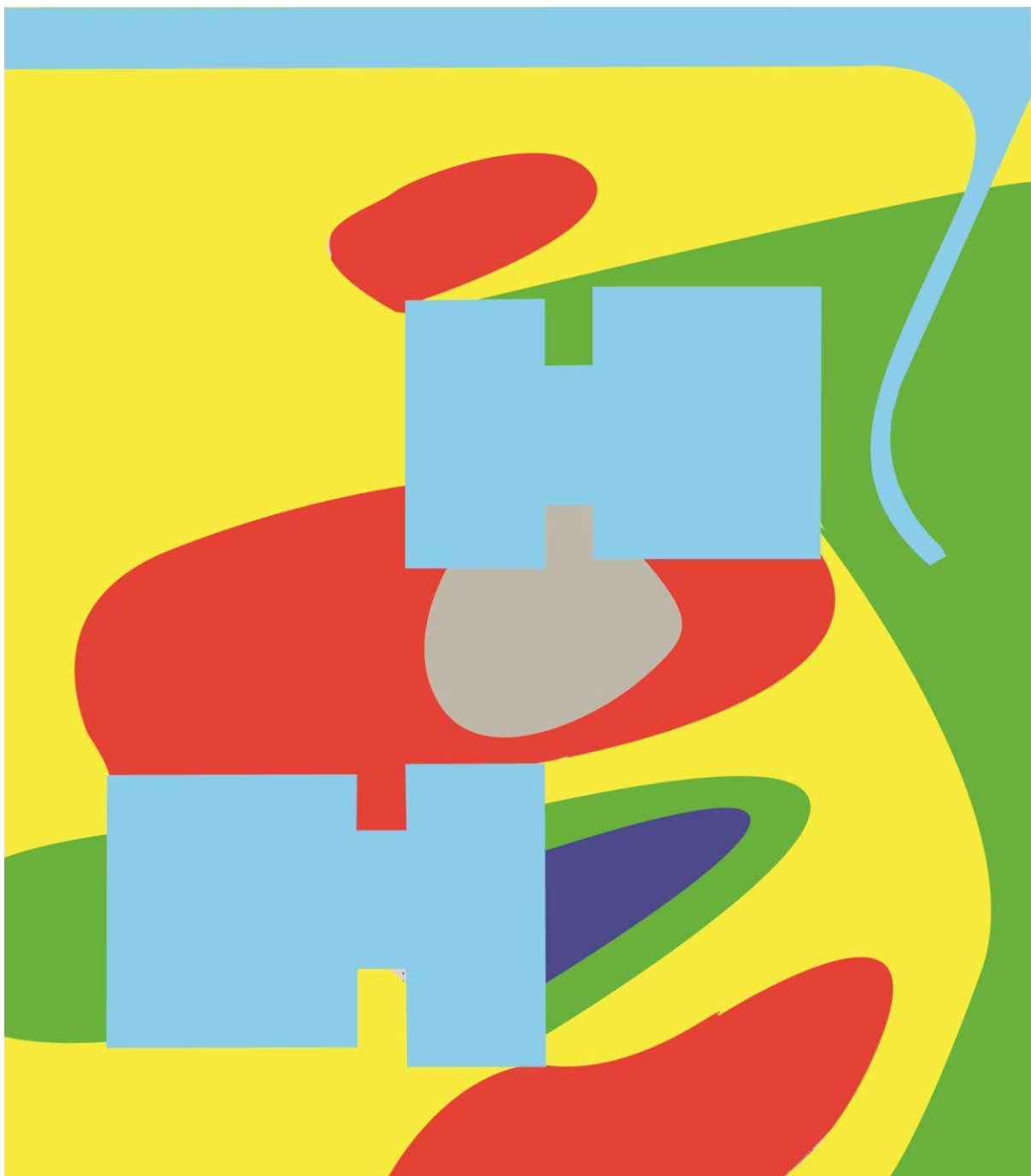
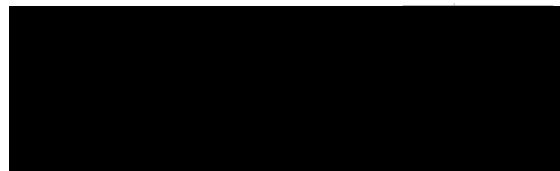


Abb. 4.31: Windkomfortklassen auf den Freiflächen des projektierten Außenbereichs, Variante 1 nach Abb. 3.8 mit Lichtung A und Lichtung B ohne Bäume (Klasse A: rot – schnelles Gehen, Klasse B: gelb – stetes Gehen, Klasse C: grün – Bum-meln, kurzes Stehen- und Sitzenbleiben und Klasse D: blau – Ruhen, langes Stehen und Sitzenbleiben, inakzeptabel: grau)

Abbildung Gutachter

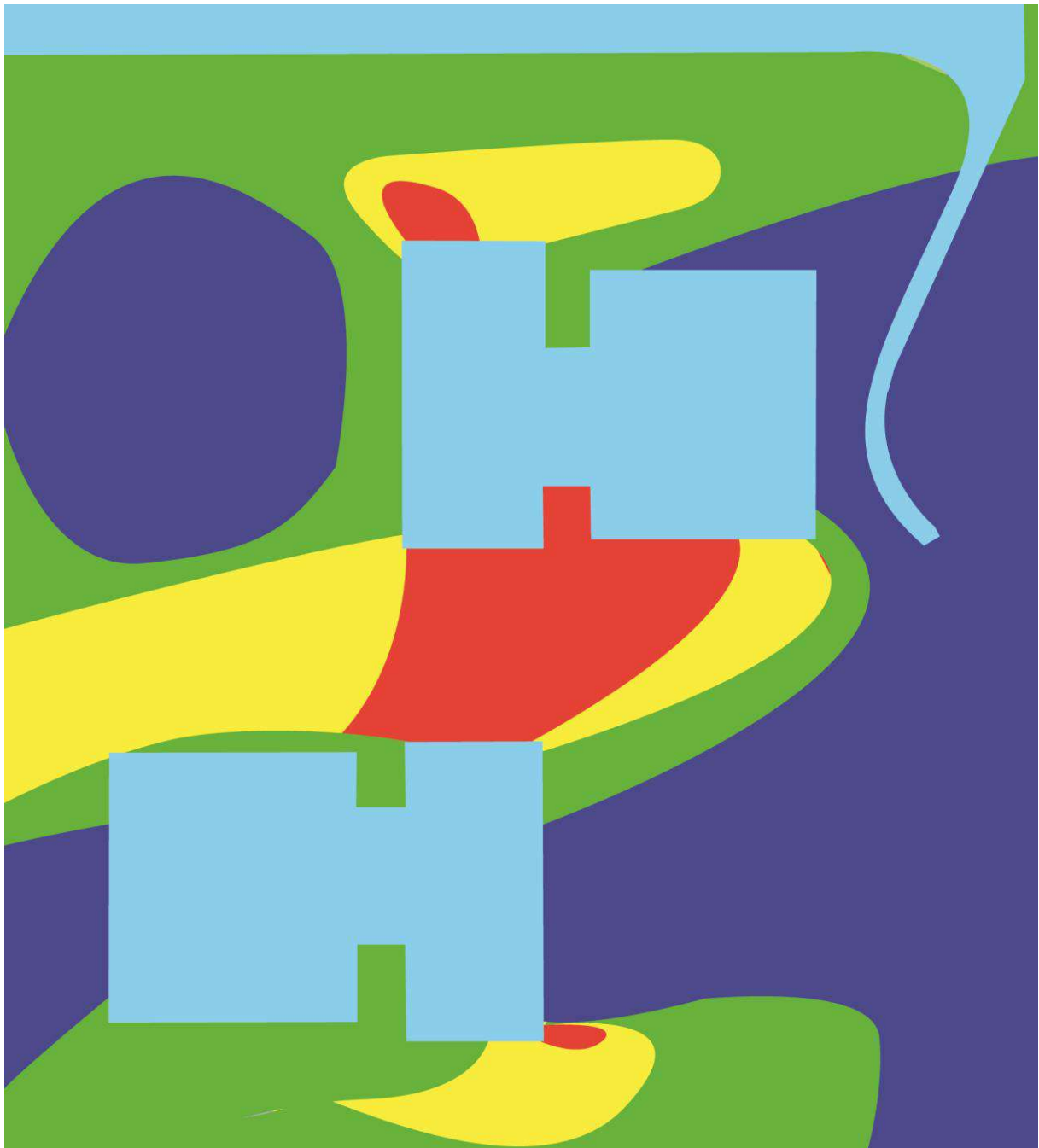


Abb. 4.32: Windkomfortklassen auf den Freiflächen mit Schutzmaßnahmen nach Abb. 3.9, Variante 3 mit Lichtung A und Lichtung B mit hochstämmigen Bäumen (Höhe ca. 15m) und mit Strauchbepflanzung (Höhe ca. 4m)  
(Klasse A: rot – schnelles Gehen, Klasse B: gelb – stetes Gehen, Klasse C: grün – Bum-meln, kurzes Stehen- und Sitzenbleiben und Klasse D: blau – Ruhen, langes Stehen und Sitzenbleiben, inakzeptabel: grau)

Abbildung Gutachter

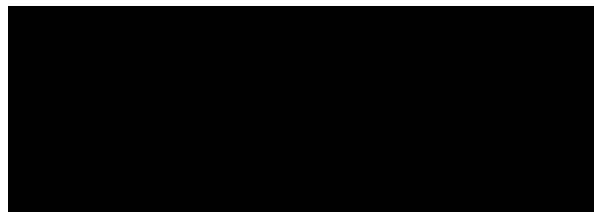
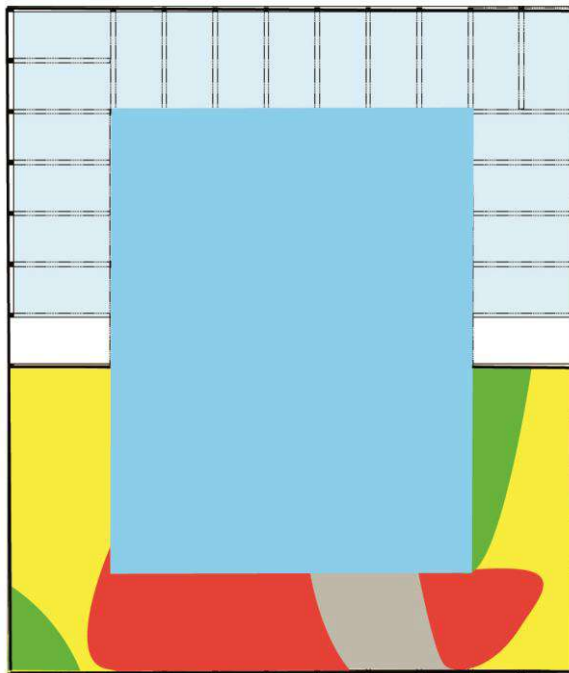
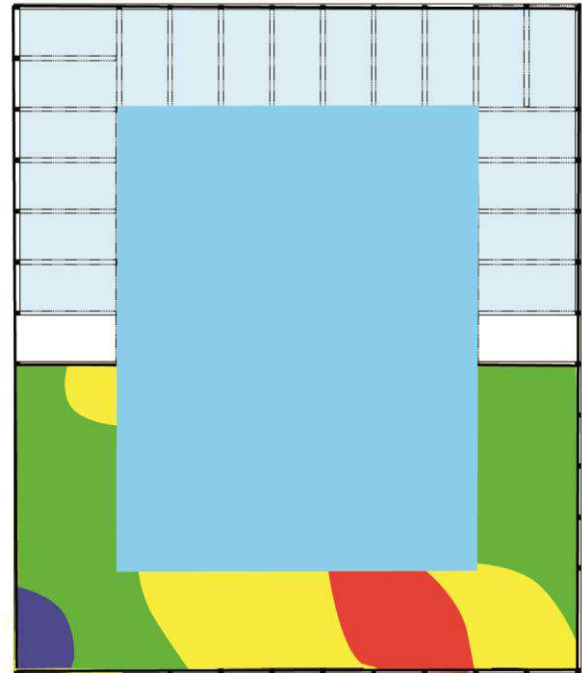


Abb. 4.33: Windkomfortklassen auf den Freiflächen mit Schutzmaßnahmen nach Abb. 3.10, Variante 5A mit Lichtung A und Lichtung B mit angepasster Bepflanzung nach Planstand 14.7.2020  
(Klasse A: rot – schnelles Gehen, Klasse B: gelb – stetes Gehen, Klasse C: grün – Bum-meln, kurzes Stehen- und Sitzenbleiben und Klasse D: blau – Ruhen, langes Stehen und Sitzenbleiben, inakzeptabel: grau)

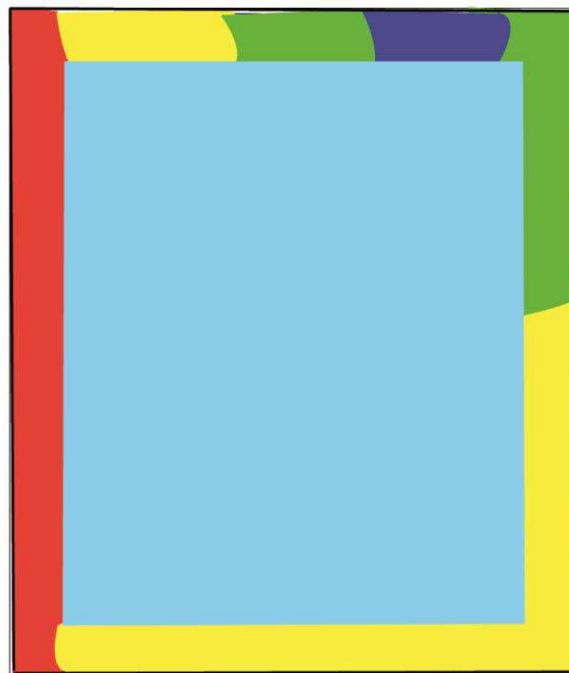
Abbildung Gutachter



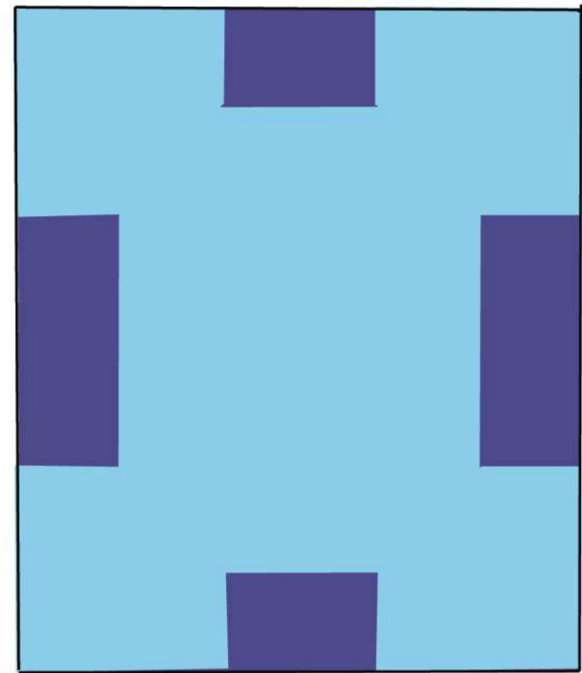
a) Variante 1



b) Variante 1a



c) Variante 1b

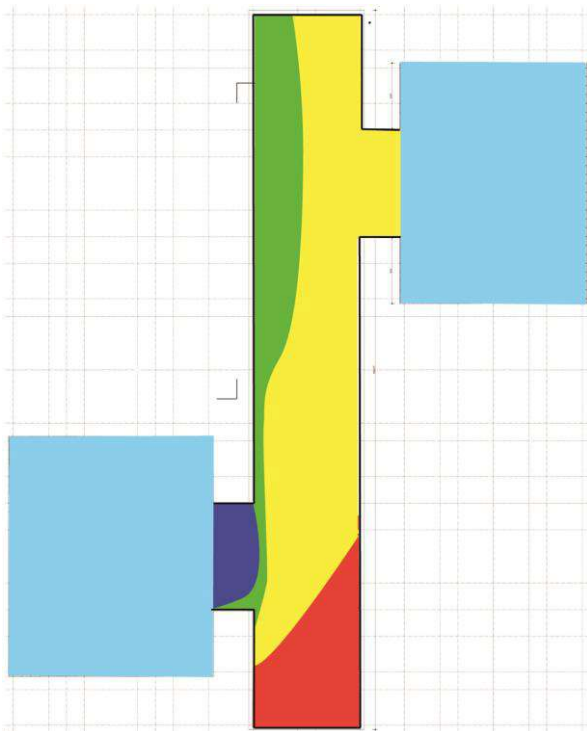
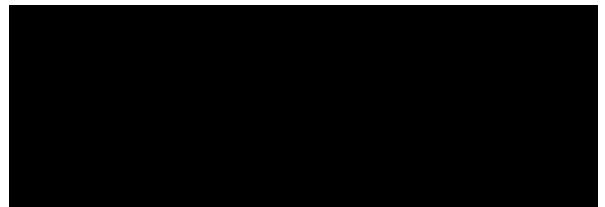


d) Variante 2

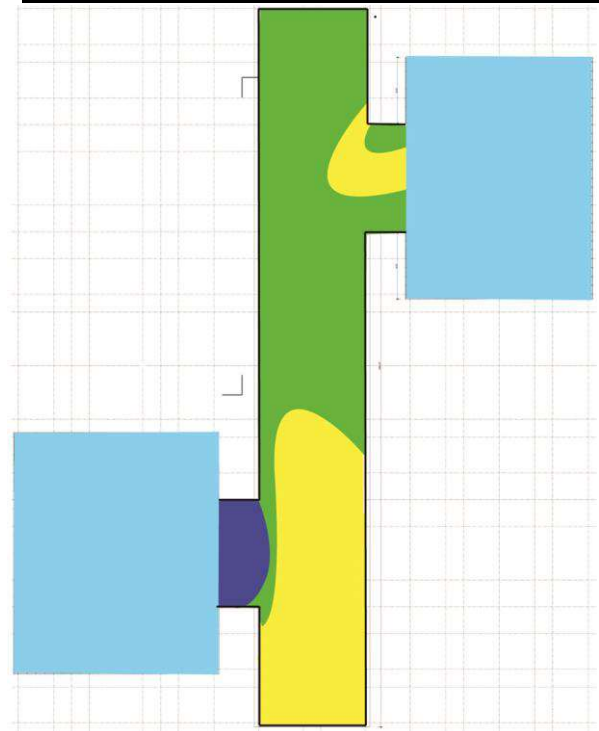
Abbildung Gutachter

Abb. 4.34: Windkomfortklassen auf der Terrasse der Skybar,  
 Variante 1 nach Abb. 3.11, Terrasse der Skybar auf dem Dach, Höhe der Attika 1,3m  
 Variante 1a nach Abb. 3.13, Terrasse der Skybar auf dem Dach, Höhe Windschutz 3m  
 Variante 1b nach Abb. 3.13, Terrasse der Skybar auf dem Dach, Technikgeschoss dar-  
 über, Höhe Windschutz 3m  
 Variante 2 nach Abb. 3.14, Loggia west-, süd-, ost- und nordseitig, Dach geschlossen  
 (Klasse A: rot – schnelles Gehen, Klasse B: gelb – stetes Gehen, Klasse C: grün – Bum-  
 meln, kurzes Stehen- und Sitzenbleiben und Klasse D: blau – Ruhen, langes Stehen und  
 Sitzenbleiben, inakzeptabel:grau)

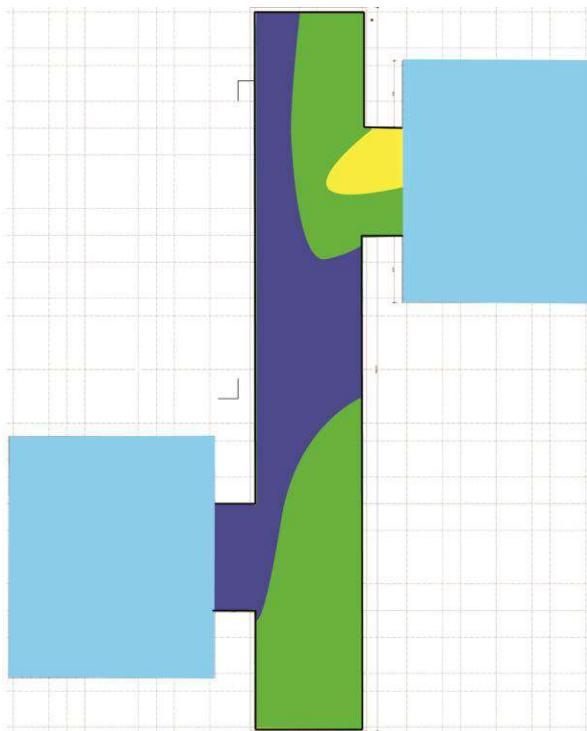




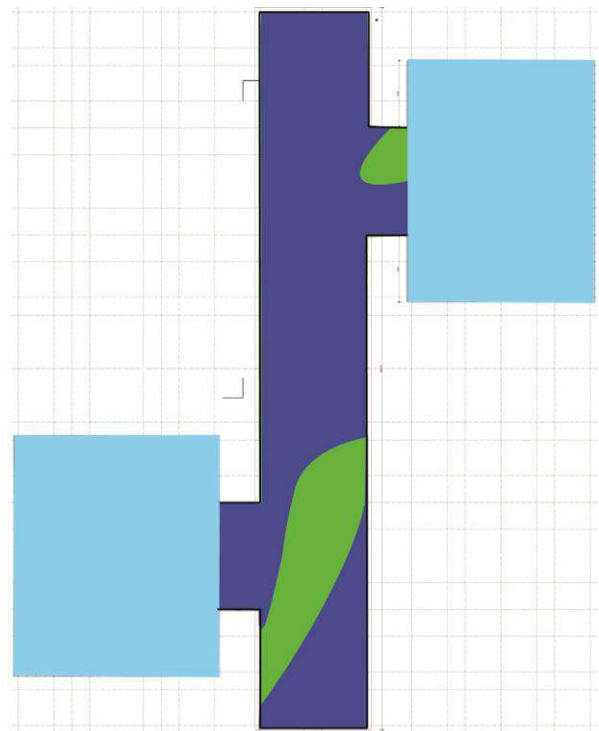
a) Variante 1



b) Variante 2



c) Variante 3a



d) Variante 3b

Abb. 4.35: Windkomfortklassen auf dem Dach des Riegels,  
 Variante 1 nach Abb. 3.16, Höhe der Attika 1,1m  
 Variante 2 nach Abb. 3.17, Höhe der Attika 2,50m  
 Variante 3a nach Abb. 3.18, niedrige Begrünung, Stammbüsche mit ca. 4m  
 Variante 3b nach Abb. 3.19, hohe Begrünung, Stammbüsche mit ca. 7m (Attika 1,10m)  
 (Klasse A: rot – schnelles Gehen, Klasse B: gelb – stetes Gehen, Klasse C: grün – Bum-  
 meln, kurzes Stehen- und Sitzenbleiben und Klasse D: blau – Ruhen, langes Stehen und  
 Sitzenbleiben, inakzeptabel:grau) Abbildung Gutachter



## 5 Literatur

- [1] Christoffer, J und Ulbricht-Eissing M.: Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 147: Die bodennahen Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main 1989
- [2] Counihan, J.: Simulation of an adiabatic urban boundary layer in a wind tunnel. Atmospheric Environment, Vol.7, 673-689, Pergamon, 1973
- [3] Davenport, A.G.: An approach to human comfort criteria for environmental windconditions, CIBA/WMO Colloquium Teaching the Teachers, Swedish National Building Research Institute, Stockholm 1972
- [4] Deutscher Wetterdienst: Deutscher Windatlas, 2.Auflage Version 5, Potsdam 2010
- [5] European Wind Atlas, published for the Commission of the European Communities by Risø National Laboratory, Roskilde Denmark, 1989
- [6] ESDU Engineering sciences data, Wind Engineering: Vol. 1a+1b: Wind speeds and turbulence, ESDU International plc, London, 1991
- [7] Plate, E.J.: Urban Climates and Urban Climatic Modelling: An Introduction, edited in Wind Climate in Cities, Nato ASI Series E: Applied Sciences - Vol. 277,23-39, 1993
- [8] Gandemer J. et Guyot A.: Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti, La Documentation Française, Paris, 1976
- [9] Gandemer J. et Guyot A.: La protection contre le vent, CSTB Paris, 1981Plate, E.J.: Urban Climates and Urban Climatic Modelling: An Introduction, edited in Wind Climate in Cities, Nato ASI Series E: Applied Sciences - Vol. 277,23-39, 1993
- [10] Lang, H. und Istel, W.: Ökologische Auswirkungen von Hochhäusern, IRB Verlag, Stuttgart, 1995
- [11] Van Koten, H. and Beranek, W.J.: Criteria for wind speeds around buildings (values and applications). Proceedings of the 3rd Colloquium on Industrial Aerodynamics, Aachen, June 14-16,1978