

## **Neubau Bildungszentrum der Handwerkskammer Landshut**

### **Windwirkungen auf Sonnenschutz**

Windkanaluntersuchungen

Juni 2025

Im Auftrag der

Handwerkskammer Niederbayern-Oberpfalz  
Ditthornstraße 10  
93055 Regensburg



# **I N H A L T**

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>WINDVERHÄLTNISSE AM STANDORT .....</b>	<b>5</b>
2.1	Windstatistik an nahe gelegener Messstation .....	5
2.2	Orientierung des Bildungszentrums zur Windrichtung.....	9
<b>3</b>	<b>VERSUCHSTECHNIK.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Simulation des Windfeldes .....</b>	<b>10</b>
3.1.1	Atmosphärische Grenzschichtströmung.....	10
3.1.2	Beschreibung des Windkanals.....	11
3.1.3	Die simulierte Grenzschicht .....	12
3.1.4	Modellierung der Gebäude und der näheren Umgebung .....	14
<b>3.2</b>	<b>Messverfahren.....</b>	<b>16</b>
3.2.1	Messung von Strömungsgeschwindigkeiten .....	16
<b>4</b>	<b>WINDWIRKUNGEN AUF AUßEN LIEGENDEN SONNENSCHUTZ .....</b>	<b>17</b>
4.1	Konzept zur Windüberwachung verschiedener Sonnenschutzprodukte .....	17
4.2	Windgeschwindigkeitsverteilung am Dach und an den Fassaden .....	19
4.2.1	Windmesseinrichtung am Dach des Gebäudes .....	19
4.2.2	Speed-Up-Faktoren vor den Fassaden des Bildungszentrums .....	22
<b>5</b>	<b>VORSCHLAG FÜR ZONIERUNG DER FASSADEN .....</b>	<b>27</b>
5.1	Zuordnung der Zonen der Südfassade des Gebäudes zu Windwächter D3 .....	29
5.2	Zuordnung der Zonen der Ostfassade des Gebäudes zu Windwächter D3 .....	31
5.3	Zuordnung der Zonen der Westfassade des Gebäudes zu Windwächter D3.....	33
<b>6</b>	<b>PRODUKTABHÄNGIGE GRENZEN .....</b>	<b>35</b>
6.1	Überschreitenshäufigkeiten an der Südfassade .....	36
6.2	Überschreitenshäufigkeiten an der Ostfassade.....	37
6.3	Überschreitenshäufigkeiten an der Westfassade .....	38
6.4	Grenzwindgeschwindigkeit an der Messstation am Dach.....	39
<b>7</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>41</b>

## 1 Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Windkanaluntersuchungen ist der Neubau des Bildungszentrums der Handwerkskammer in Landshut. Die Aufgabe liegt in der Erstellung eines Windgutachtens für die Steuerung außen liegender Sonnenschutzanlagen an den Fassaden.

Ziel der Untersuchungen ist eine detaillierte Darstellung der lokalen Windgeschwindigkeitsverhältnisse im Bereich der Fassaden, damit ein Hochfahren des Sonnenschutzes nur dann erfolgt, wenn im unmittelbaren Nahbereich des Sonnenschutzes die jeweils zulässigen Grenzen überschritten werden. Hierbei ist auszuschließen, dass bei intensiver Sonneneinstrahlung der Sonnenschutz nicht verfügbar ist und dass bei entsprechenden Windlagen der Sonnenschutz zu spät hochgefahren wird.

Die tatsächliche Verfügbarkeit der Screens ist von der Windstabilität des gewählten Produktes abhängig. Bei Überschreitung einer vorgegebenen Grenzwindgeschwindigkeit an den einzelnen Fassadenbereichen sind diese Behänge mit Hilfe einer zentralen Windüberwachung am Dach in ihre Schutzstellung zu fahren. Dieser Status ist bei weiter führenden thermischen Simulationen zu berücksichtigen. Im Rahmen dieser Simulationen sollen die Anforderungen an die jeweiligen Sonnenschutzprodukte ermittelt werden, damit die windbedingten Ausfallzeiten bei gleichzeitig intensiver Sonneneinstrahlung möglichst gering gehalten werden können. Die im Windkanal erfassten Daten sind gegebenenfalls auf die in der Studie eingesetzten Bezugswetterdaten umzurechnen.

Für die experimentellen Untersuchungen im Windkanal wurde ein Modell der Umgebungsbebauung und des projektierten Gebäudes im Maßstab 1:200 eingesetzt. Unter Berücksichtigung der örtlichen Bebauungsverhältnisse in der weiteren und näheren Umgebung wurden im Grenzschichtwindkanal des Ingenieurbüros Dr. Theurer in Hanhofen 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 24 Windrichtungen wurden anschließend an ausgewählten Messpositionen die Windgeschwindigkeiten vor den Fassaden der zu untersuchten Gebäudebereiche erfasst. Aus den zeitlich aufgelösten Geschwindigkeitsmesswerten wurden windrichtungsabhängig Speed-Up-Faktoren berechnet, die das Verhältnis des an den Messstellen vor den Fassaden auftretenden Spitzenwindgeschwindigkeiten zu der in der freien Anströmung herrschenden Windgeschwindigkeit darstellt.

Am Dach des Gebäudes kann an einer zentralen Position an einem mehrere Meter hohen Mast eine Wetterstation angebracht werden, um die lokalen Windverhältnisse kontinuierlich und weitgehend störungsfrei erfassen zu können. Bei Überschreiten einer vorgegebenen Grenzwindgeschwindigkeit an der Position dieses Windwächters sollen die Sonnenschutzanlagen in ihre Schutzstellung eingefahren werden. Da die lokal vor den Fassaden herrschenden Windgeschwindigkeiten mit den über Dach messbaren Werten in aller Regel nicht übereinstimmen, wurde eine genaue Zuordnung der im Bereich der Windüberwachung gemessenen Winddaten zu den im Bereich des Sonnenschutzes herrschenden Windverhältnissen hergestellt und gleichzeitig Steuerungsvorgaben erarbeitet, wann in welchen Fassadenbereichen der Sonnenschutz eingefahren werden muss.

Als Vorgabe für die Steuerung des Sonnenschutzes, wann dieser wind bedingt eingefahren werden muss, ist neben den Angaben zu den zulässigen Grenzwindgeschwindigkeiten des verwendeten Produktes dann nur noch die Umrechnung des zeitlich gemittelten Windgeschwindigkeitswertes am Windwächter auf die zu erwartende Böenwindgeschwindigkeit im Bereich des Sonnenschutzes an den einzelnen Fassaden notwendig. Hierbei wurden Fassadenbereiche zusammengefasst, an denen in etwa die gleichen Böenwindgeschwindigkeiten zu erwarten sind. Daraus wurden Empfehlungen für eine fassadenbezogene Gruppenbildung der Sonnenschutzsteuerung abgeleitet.

Anhand der am Standort herrschenden Windstatistik wurde eine überschlägige Bewertung (ohne Sonnenscheinstunden) der mit verschiedenen Produkten erzielbaren Verfügbarkeitszeiten durchgeführt.

## 2 Windverhältnisse am Standort

### 2.1 Windstatistik an nahe gelegener Messstation

Als Grundlage für die Bewertung der Windverhältnisse standen aus den Publikationen des Deutschen Wetterdienstes [Deutscher Windatlas, 3. Auflage Version 6, 2019] statistische Daten am Flughafen München-Erding zur Verfügung. Aus den veröffentlichten Beobachtungen des DWD an der Messstation wird beispielsweise der Tagesgang deutlich (vgl. Abbildung 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 Windgeschwindigkeit am Flughafen beträgt demnach in 10m Höhe 3,0m/s.

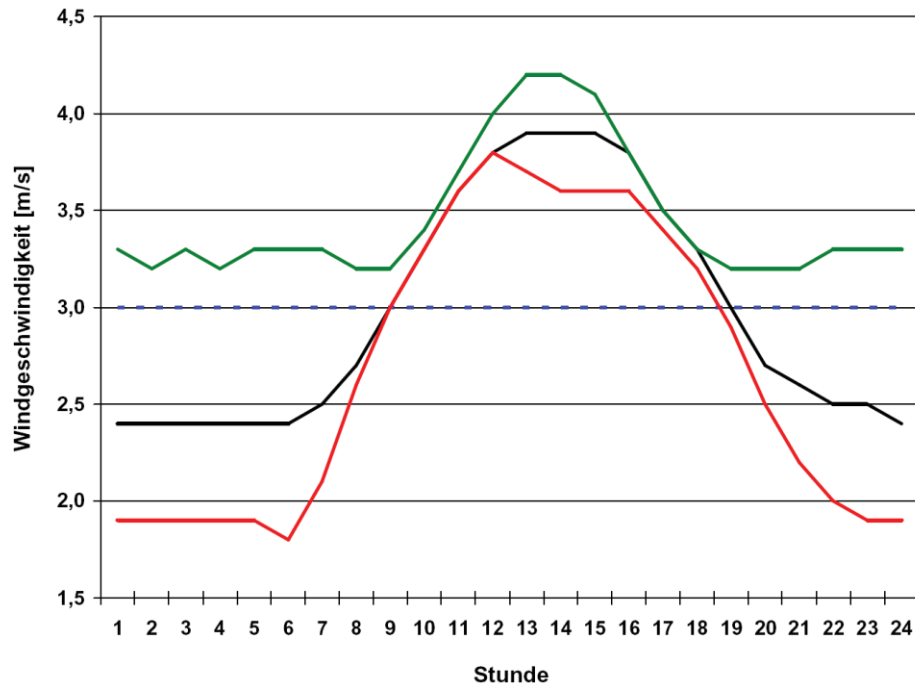
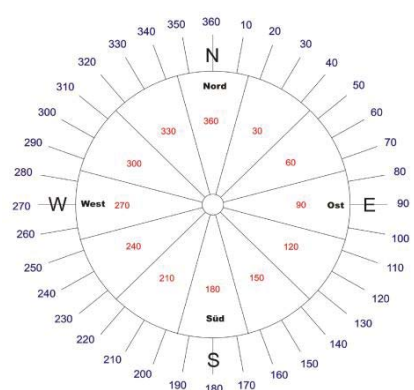


Abbildung 1: Aus mehrjährigen Messreihen (1.1.1993 - 31.12.2000) ermittelter Tagesgang der Windgeschwindigkeit an der Messstation des deutschen Wetterdienstes am Flughafen München in einer Höhe von 10 m über freiem Gelände (schwarz: gesamter Jahresverlauf, grün im Januar, rot im Juli, blau gestrichelt: mehrjähriger Mittelwert von 3,0m/s)

Die Abbildung 2 auf der nächsten Seite zeigt die prozentuale relative Häufigkeit der Windrichtungen basierend auf den Datensätzen des Deutschen Windatlases auf einer Bezugshöhe von 15 m über Grund (aktuelle Höhe des Windwächters am Dach des Schulgebäudes) bereits angepasst für den Standort der Schule. 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 Abbildung 3 sind die Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten aufgetragen, woraus sich der Jahresmittelwert der in dieser Höhe an diesem Standort herrschenden Windgeschwindigkeit zu 2,86 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 Abbildung 4 die Häufigkeiten der Windrichtungen dargestellt. Bei einer Überlagerung der sechs Einzelbilder ergibt sich wiederum Abbildung 2 (beachte abweichende Skalierung in den einzelnen Häufigkeits-Achsen).



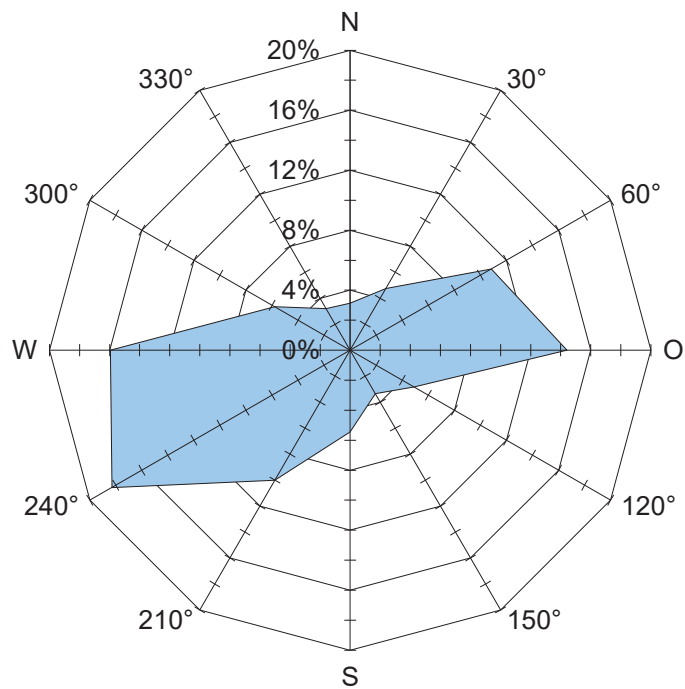


Abbildung 2: Langjähriges Mittel der relativen prozentualen Häufigkeit der Windrichtungen am Standort des Bildungszentrums in Landshut in einer Höhe von 20,4 m über Grund

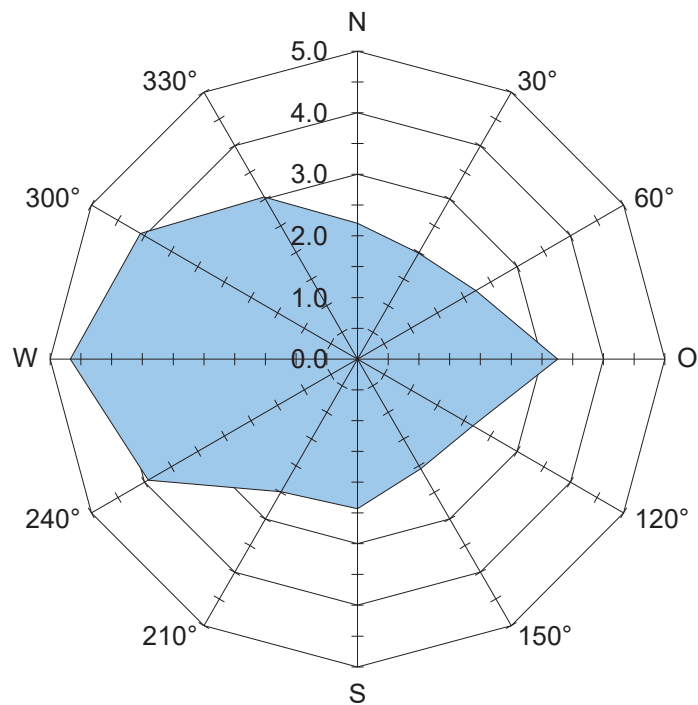
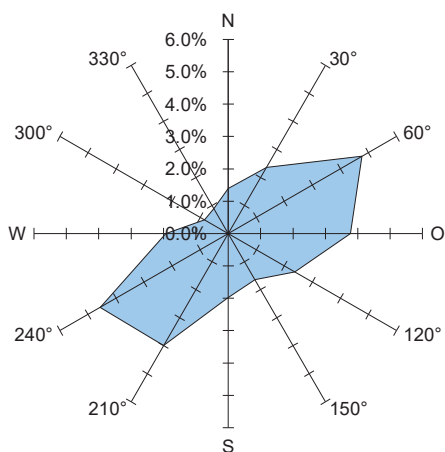
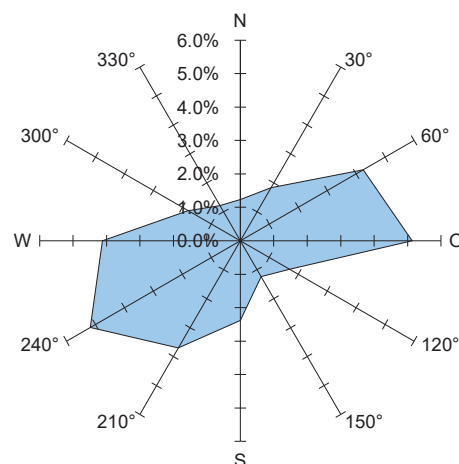


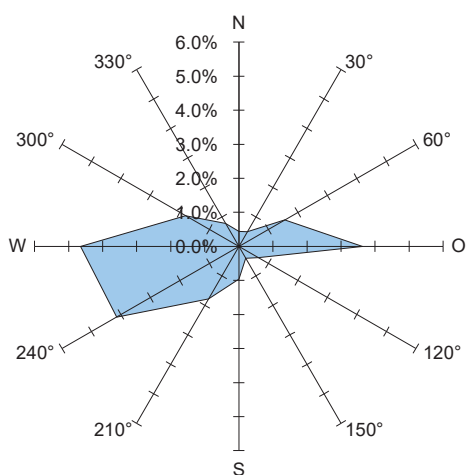
Abbildung 3: Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeiten in m/s in Abhängigkeit von der Windrichtung am Standort in einer Höhe von 20,4 m über Grund



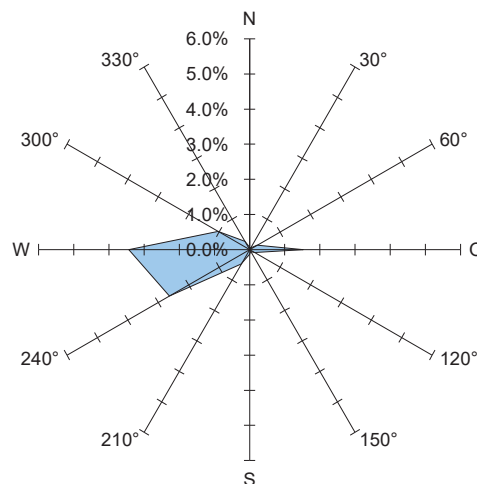
a) Stärke 1 - leiser Zug (0.3-1.8 m/s)



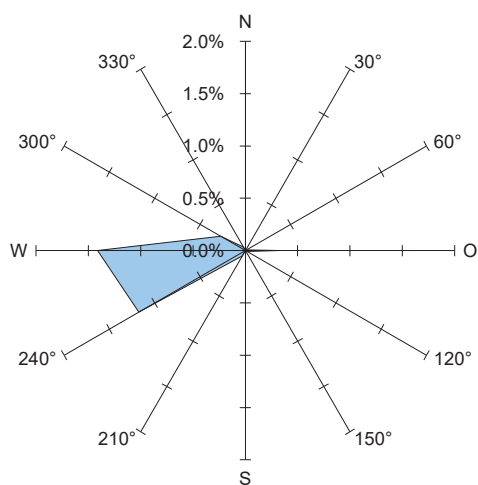
b) Stärke 2 - leichter Wind (1.8-3.6 m/s)



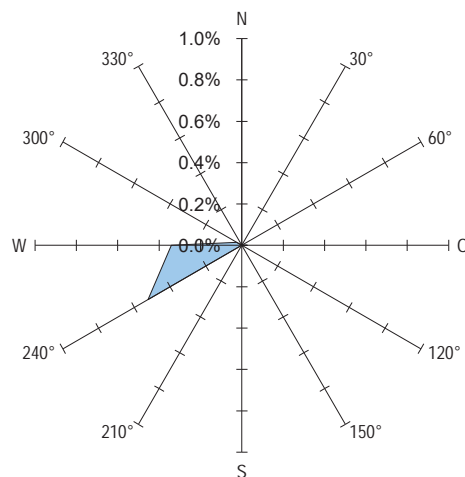
c) Stärke 3 - schwacher Wind (3.6-5.6 m/s)



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)

Abbildung 4: Windrichtungsverteilung für verschiedene Windstärken nach Beaufort angepasst an den Standort Am Luzernhof 10b in Landshut in einer Höhe von 20,4 m über Grund

Die relative Häufigkeit von Stundenmittelwerten gibt an, wie oft eine bestimmte Windgeschwindigkeit im langjährigen Mittel zu erwarten ist. In der Abbildung 5 ist die Häufigkeitsverteilung über das gesamte Jahr für den Standort in einer Höhe von 20,4 m angegeben.

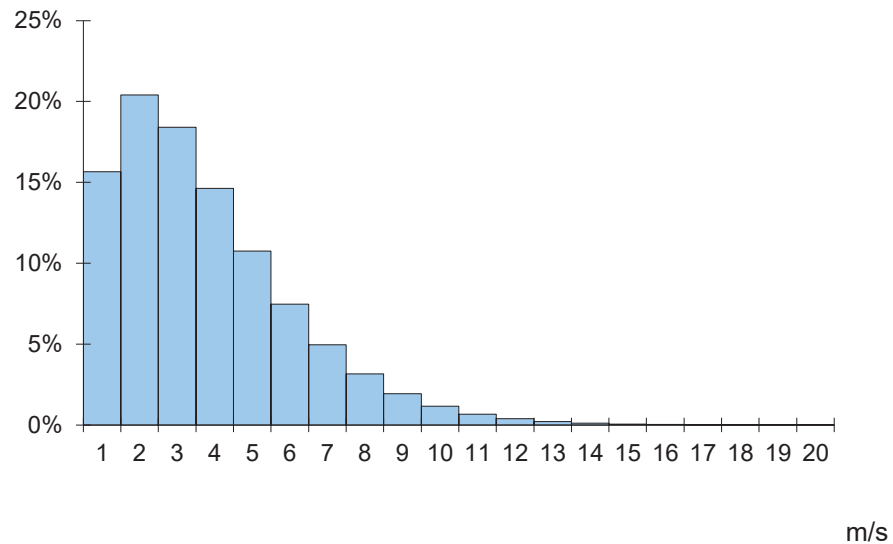


Abbildung 5: Relative Häufigkeitsverteilung auftretender Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit für das ganze Jahr am Standort in einer Höhe von 20,4 m.

Die Summenhäufigkeit lässt eine Aussage zu, wie häufig mit der Überschreitung eines bestimmten Schwellenwertes der stundengemittelten Windgeschwindigkeit zu rechnen ist. In der Abbildung 6 ist die Summenhäufigkeit über dem Stundenmittelwert für das ganze Jahr aufgetragen. Abzulesen ist, dass in 20,4 m Höhe über dem Standort im Jahresdurchschnitt zu ca. 0,2% der Zeit eine stündlich gemittelte Windgeschwindigkeit von 13 m/s überschritten wird und dass zu ca. 80 % der Zeit mittlere Windgeschwindigkeiten unter 5 m/s zu erwarten sind.

Über die Häufigkeit, mit welcher kurze Windböen (z. B. 3s-Böen) bestimmte Geschwindigkeiten überschreiten, macht diese Kurve keine Aussage, sie gilt ausschließlich für die stündlichen Mittelwerte.

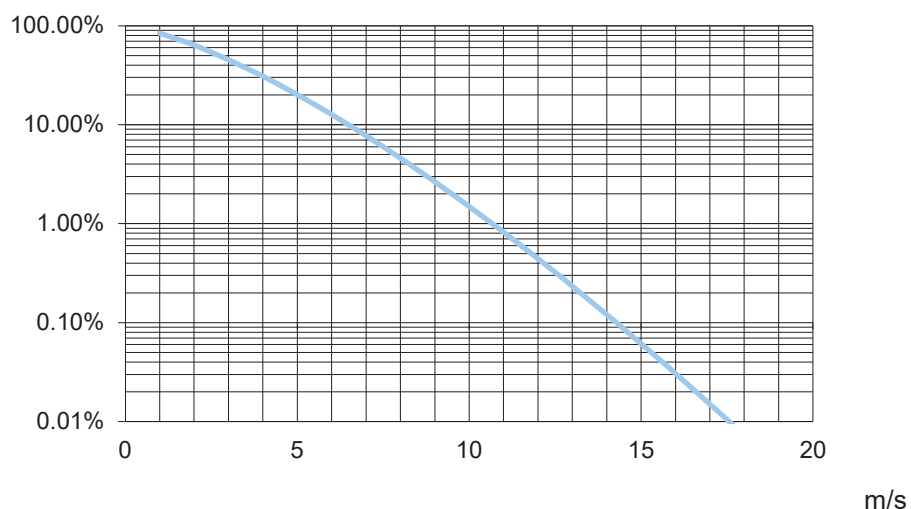


Abbildung 6: Überschreitenshäufigkeit der Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit am Standort in einer Höhe von 20,4 m. Ablesebeispiel: Eine mittlere Windgeschwindigkeit von 8 m/s wird zu 4,6% der Zeit überschritten und zu 95,4% der Zeit nicht erreicht.

## 2.2 Orientierung des Bildungszentrums zur Windrichtung

In Abbildung 7 ist ein Lageplan des geplanten Bildungszentrums in Landshut mit einer darüber projizierten Windrichtungsskala dargestellt.

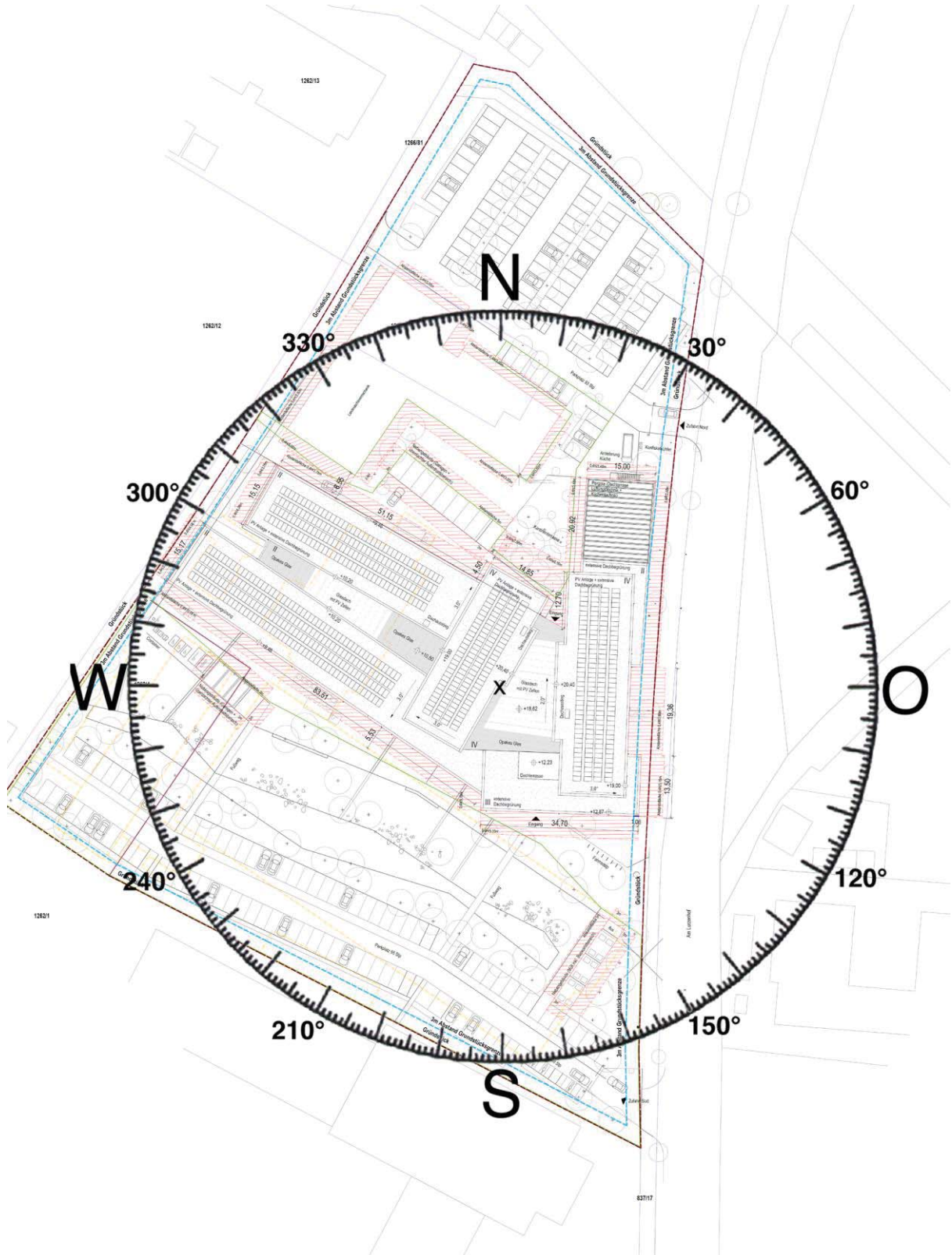


Abbildung 7: Lageplan des Bildungszentrums in Landshut mit Windrichtungsskala

### 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 Bereich von Landshut wird hier eine Höhe von ca. 450 m 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.

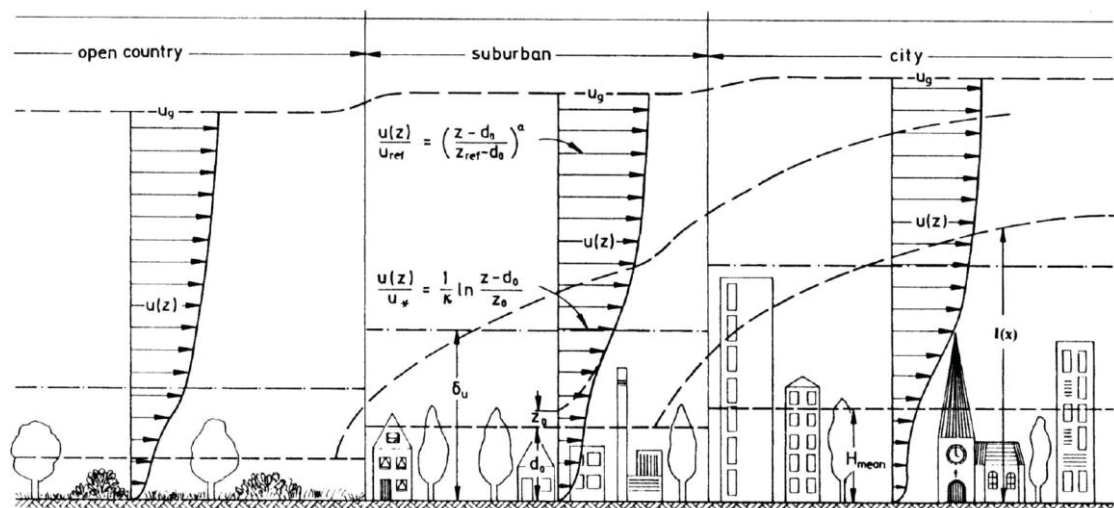


Abbildung 8: Städtisches Windprofil für neutrale Grenzschichtströmung nach [Plate 1993]

Für das Höhenprofil der Windgeschwindigkeit, das durch ein Potenzgesetz bzw. ein logarithmisches Gesetz beschrieben werden kann, werden typische Verteilungen (vgl. Abbildung 8) 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 [Irwin 1981] beschriebene Methode in einem Grenzschicht-Windkanal maßstäblich verkleinert nachgebildet.

Für die Untersuchungen wurde ein Modellmaßstab von 1:200 mit dem Ziel einer möglichst hohen Auflösung und einer möglichst genauen Nachbildung der atmosphärischen Grenzschicht gewählt. Durch Einbau der Gebäude- und Umgebungsmodelle darf eine Versperrung der frei durchströmten Querschnittsfläche von 5% nicht überschritten werden. Bei einem höheren Grad der Versperrung sind Korrekturfaktoren bei der Bestimmung der Referenzwindgeschwindigkeit im Messquerschnitt anzusetzen. 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 Ingenieurbüros für Strömungs- und Ausbreitungsuntersuchungen Dr. Theurer in Hanhofen durchgeführt. Der Aufbau des Windkanals ist Abbildung 9 zu entnehmen.

Es handelt sich hier um einen Windkanal in offener Bauweise mit geschlossener Messstrecke. Die Abmessungen der Testsektion betragen  $L \times B \times H = 3,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m} \times 1,7 \text{ m}$ . Zur Einstellung verschiedener Anströmrichtungen wird das Gebäudemodell einschließlich seiner näheren Umgebung auf einer stufenlos verstellbaren Drehplatte aufgebaut. Zur Erzeugung einer der natürlichen Windströmung entsprechenden Turbulenzstruktur sind Vortex-Generatoren nach [Irwin 1981] 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.

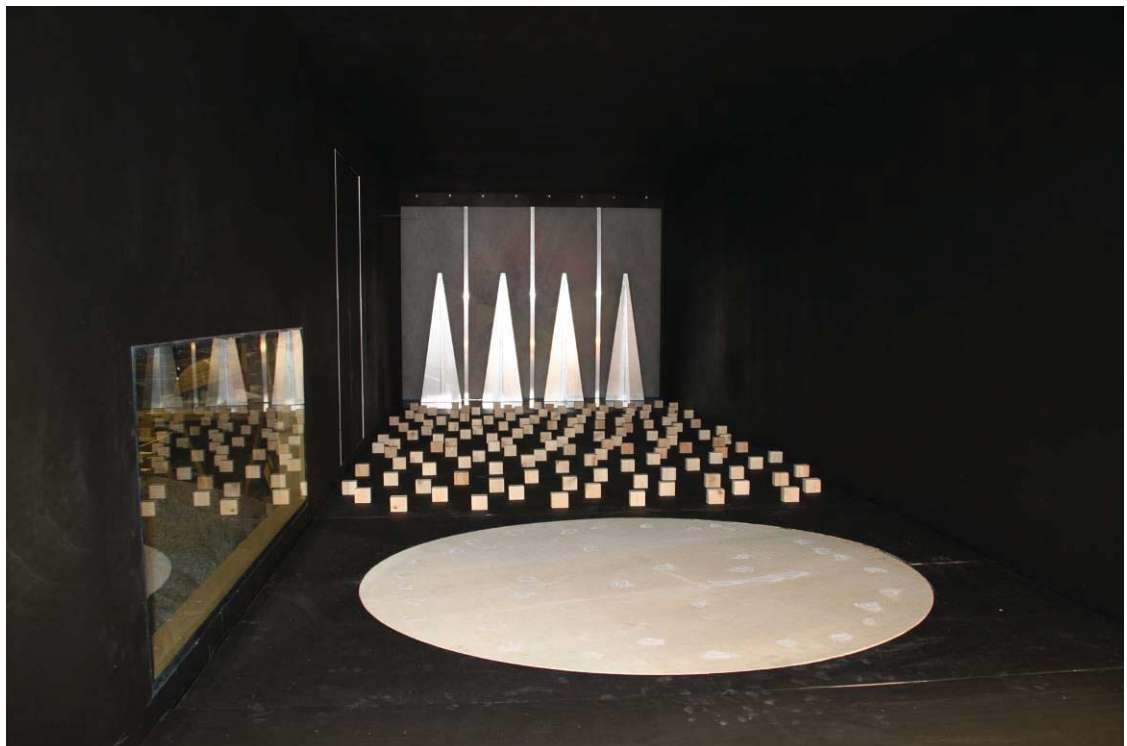


Abbildung 9: Blick in Grenzschichtwindkanal mit Vortex-Generatoren, Rauigkeitselementen und Drehscheibe in der Messstrecke

### 3.1.3 Die simulierte Grenzschicht

Allgemeine Anforderungen an Grenzschichtwindkanäle, Angaben zu Windgrenzschichten und Ähnlichkeitsanforderungen finden sich in der Richtlinie VDI 3783 Blatt 12.

Da je nach Windrichtung das Umfeld des zu untersuchenden Standortes unterschiedlich bebaut ist, wird bei der Simulation des Windprofils für den Untersuchungsbereich ein mittlerer Profilexponent  $\alpha = 0,22$  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 0,3- bis 0,7-fache der durchschnittlichen Höhe der Umgebungsbebauung angenommen werden.

Im unteren Bereich der atmosphärischen Grenzschicht in einer Höhe zwischen 10 m und 100 m 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 mit Hilfe einer X-Draht-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.

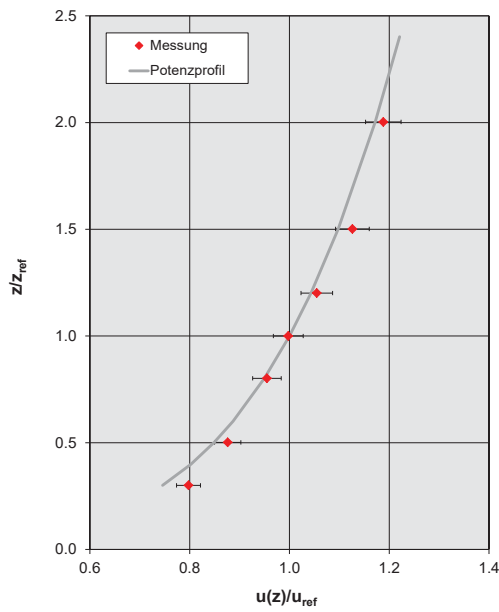
Das Profil mit den approximierten Werten  $\alpha = 0,22$  und  $d_o = 7,5$  m stellt sich im Übergangsbereich zwischen einer offeneren vorstädtischen und städtischen Bebauung ein..

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

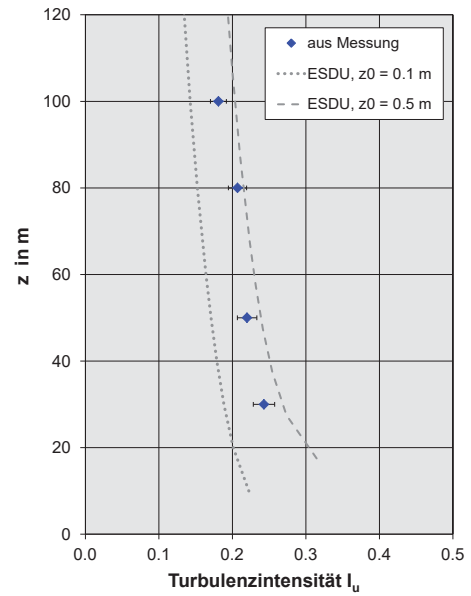
$$Tu = \frac{\sqrt{\overline{u'^2}}}{\bar{u}} \quad (3.3)$$

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

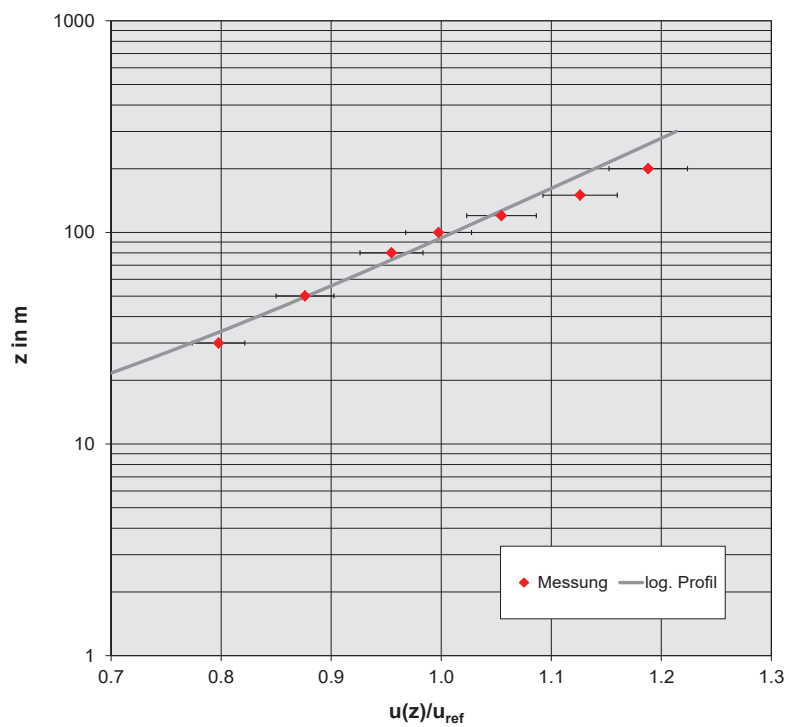
Die Daten der simulierten Grenzschicht finden sich in Abbildung 10.



a) Zeitgemittelttes Geschwindigkeitsprofil nach dem Potenzgesetz nach Glg 3.1 mit  $\alpha = 0.22$  und  $d_o = 7.5$  m



b) Profil der Turbulenzintensität nach Glg. 3.3



c) Zeitgemittelttes Geschwindigkeitsprofil nach dem logarithmischen Gesetz nach Glg 3.2 mit  $z_o = 0.33$  m und  $d_o = 7.5$  m

Abbildung 10: Daten der simulierten Grenzschicht

### 3.1.4 Modellierung der Gebäude und der näheren Umgebung

Da die Windströmung durch die Umgebungsbebauung des zu untersuchenden Gebäudekomplexes stark beeinflusst wird (vgl. Abbildung 8), wurden neben den zu betrachteten Neubauten des Bildungszentrums die umgebenden Gebäude maßstabsgetreu ( $M=1:200$ ) nachgebildet. Hierbei wird es im vorliegenden Fall als ausreichend angesehen, den Umgebungsbereich bis zu einer Entfernung von ca. 200 m - 250 m zu modellieren. Mit zunehmender Entfernung zu den zu untersuchenden Gebäudekomplexen ist ein geringerer Detaillierungsgrad der Gebäude angemessen.

Für die Nachbildung des Neubaus wurden 3d-Modelle mit Stand 16. April 2025 von den Benisch Architekten ALN zur Verfügung gestellt. Zusätzlich konnten Schnitte, Grundrisse und Ansichten von den Neubauten mit Stand April 2025 berücksichtigt werden. Aus den bereitgestellten Gesamtplänen konnten auch Angaben zu dem Bestandsgebäude Landmaschinenhalle entnommen werden, wobei dieses Gebäude lediglich als Umgebungsgebäude einzurichten war.

Für die Anordnung und Modellierung der weiteren Umgebungsgebäude wurde ein Lageplan mit Stand 5.5.2025 und genauen Höhenangaben der umliegenden Gebäude von den beteiligten Planern angefertigt. Ebenso bemaßt sind in einem Vermessungsplan vom August 2023 die Geländestrukturen, die im Umfeld des Grundstückes nur geringe Höhenunterschiede aufweisen.

Die umliegenden Gebäude wurden auf der Drehplatte fixiert. Die Abbildung 11 zeigt das Gebäudemodell im Zentrum der Drehplatte mit Blick in die Anlaufstrecke des Windkanals. In Abbildung 12 und in Abbildung 13 sind Detailaufnahmen des zu untersuchenden Bildungszentrums dargestellt.

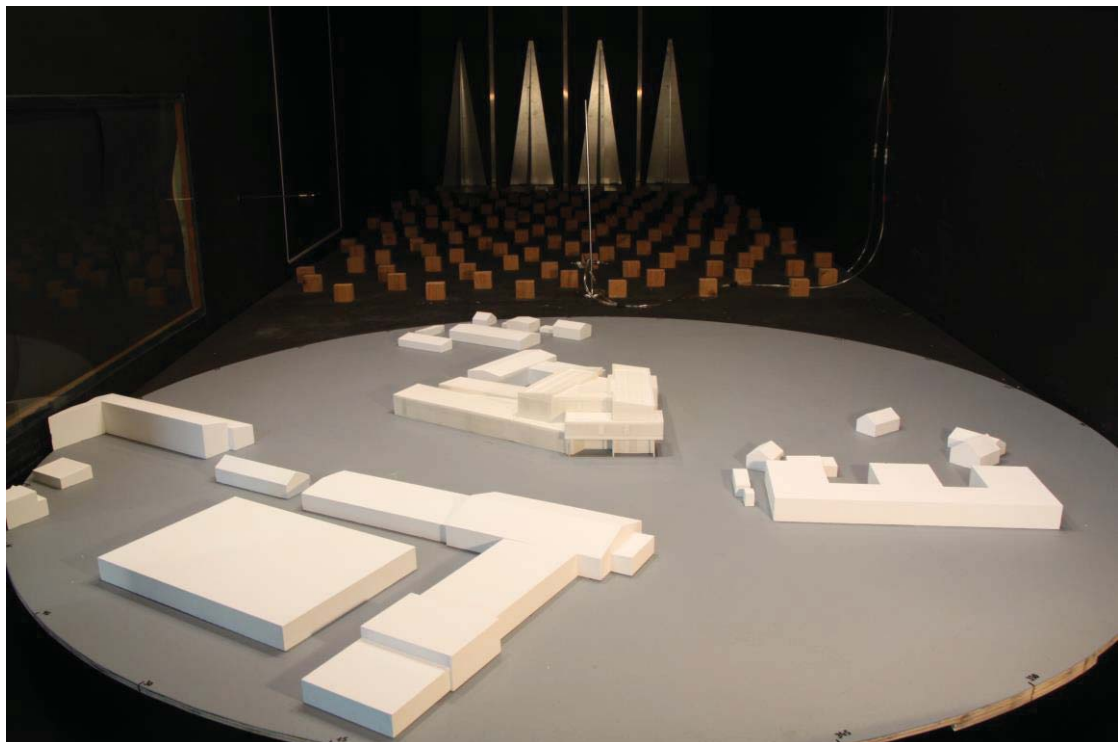


Abbildung 11: Modell des Bildungszentrums der Handwerkskammer in Landshut mit Blick in die Anlaufstrecke des Windkanals.

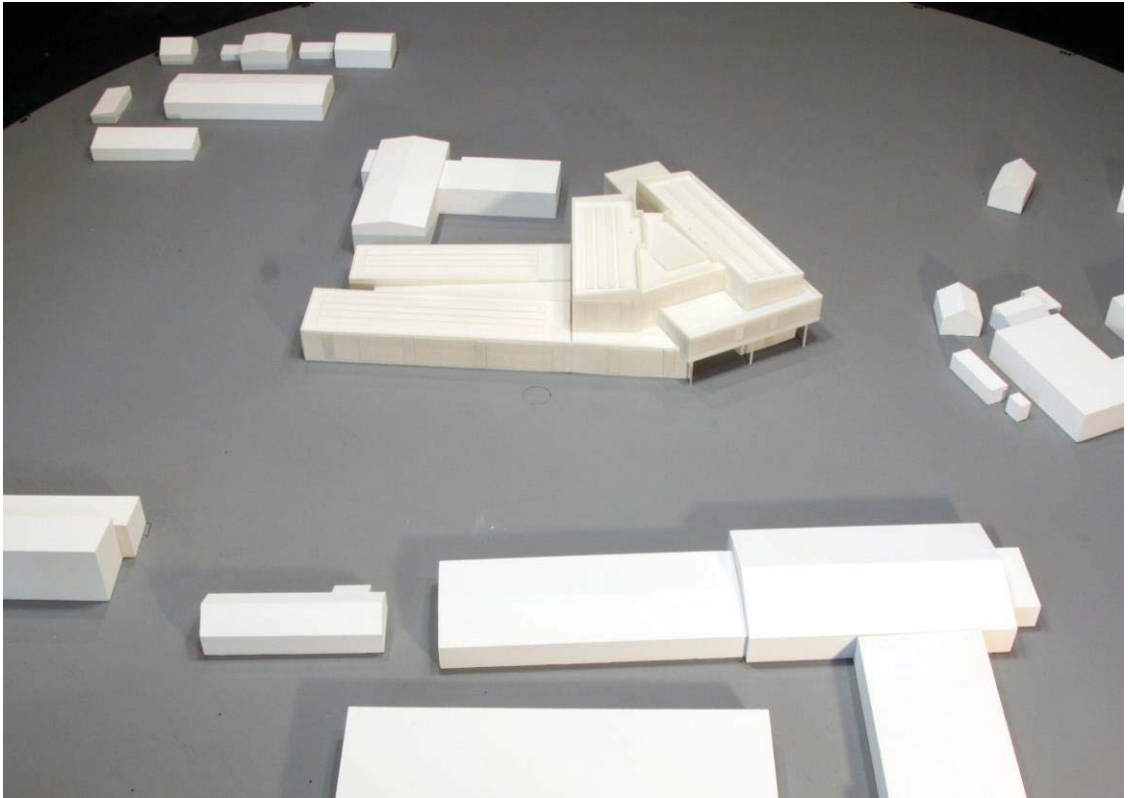


Abbildung 12: Detailansicht des Bildungszentrums aus Südwesten

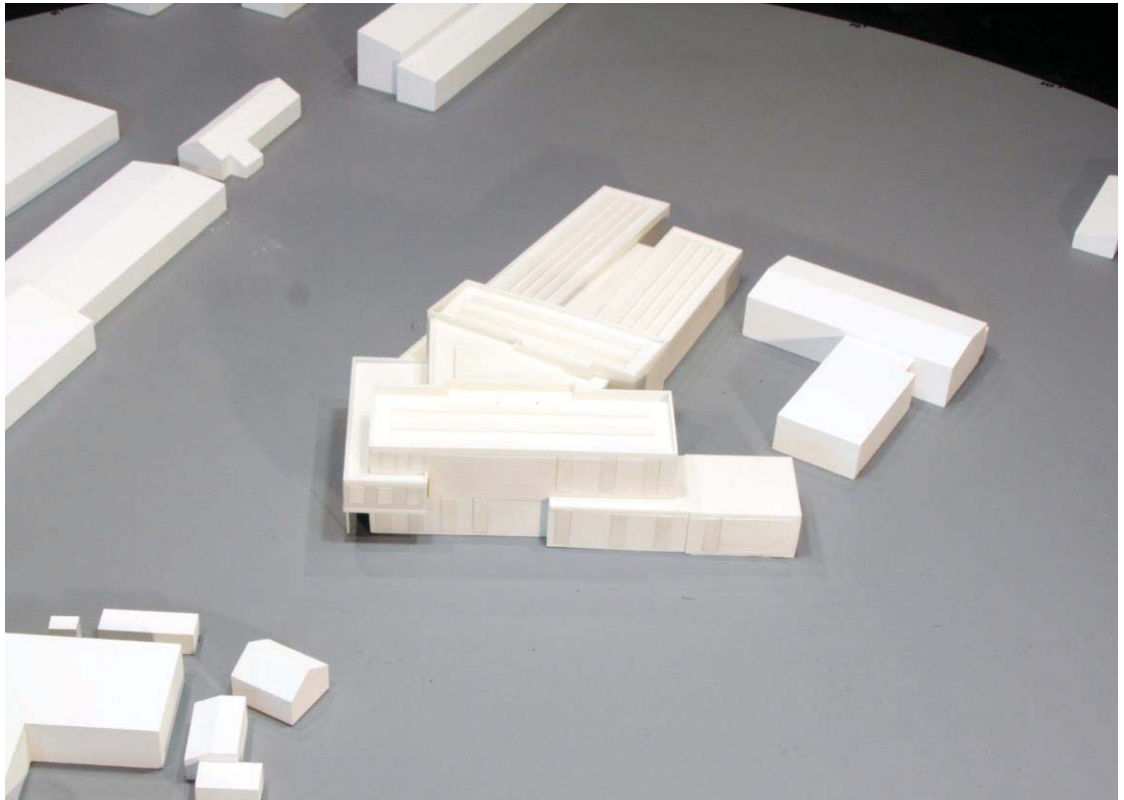


Abbildung 13: Detailansicht von Südosten auf die Gebäude.

## 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 die Geschwindigkeitssonden auf eine konstant zu haltende Temperatur beheizt. Bei Umströmung der Sonde tritt eine Abkühlung an der Oberfläche auf, die mit Hilfe eines thermischen Anemometers kompensiert wird. Der Sondenkopf weist einen sehr geringen Durchmesser von 1mm auf. Beheizt wird hierbei nur ein sehr dünner Draht (5µm), woraus sehr geringe Ansprechzeiten bei Geschwindigkeitsänderungen resultieren. Durch die Form und den Einbau der Sonde (Draht vertikal) 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 60 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 der Windverhältnisse vor den Fassaden wird die zeitabhängige Windgeschwindigkeit gemäß der Befestigungsart für Vorbau-Markisen sowie Vorbau-Raffstoren in einem Abstand von 200 mm bis 700 mm (entsprechend 1 mm bis 3,5 mm im Modell) zur Fassadenoberfläche gemessen. Aus deren zeitlichem Verlauf wird die Standardabweichung des Signals ermittelt und unter Berücksichtigung der vorliegenden Gauss'schen Verteilung der jeweilige Spitzenwert  $\hat{u}$ , welcher lediglich von 0.05% aller Messwerte überschritten wird, nach

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

Für eine Übertragbarkeit der Daten in das Original wird der erhaltene Spitzenwert auf eine Bezugsgeschwindigkeit, im vorliegenden Fall z. B. auf die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in der ungestörten Anströmung in einer Höhe von 20 m über Grund bezogen nach:

$$s = \frac{\hat{u}}{u_{ref}} \quad (3.8)$$

Dabei kann  $s$  als ein 'speed up' - Faktor für die jeweilige Messstelle angesehen werden oder als diejenige Geschwindigkeit, welche lokal vor der Fassade maximal erreicht wird, wenn an einer Referenzstelle eine mittlere Windgeschwindigkeit von 1 m/s auftritt.

## 4 Windwirkungen auf außen liegenden Sonnenschutz

### 4.1 Konzept zur Windüberwachung verschiedener Sonnenschutzprodukte

Das neu zu errichtende Bildungszentrum der Handwerkskammer soll eine zentrale Windüberwachung zur Steuerung der außenliegenden Sonnenschutzanlagen erhalten.

Die Verfügbarkeit der außen liegenden Screens ist von der Windstabilität des gewählten Produktes abhängig. Bei Überschreitung einer vorgegebenen Grenzwindgeschwindigkeit an den einzelnen Fassadenbereichen sind diese Behänge in ihre Schutzstellung zu fahren. Hierbei ist auszuschließen, dass bei intensiver Sonneneinstrahlung der Sonnenschutz nicht verfügbar ist und dass bei entsprechenden Windlagen der Sonnenschutz zu spät hochgefahren wird.

Laut Plangsstand 30.4.2025 sind in den einzelnen Geschossen unterschiedliche Produkte vorgesehen, wobei für die noch näher zu spezifizierenden Produkte Windgrenzwerte vorgegeben, jedoch in Abstimmung mit dem Hersteller noch näher einzugrenzen sind.

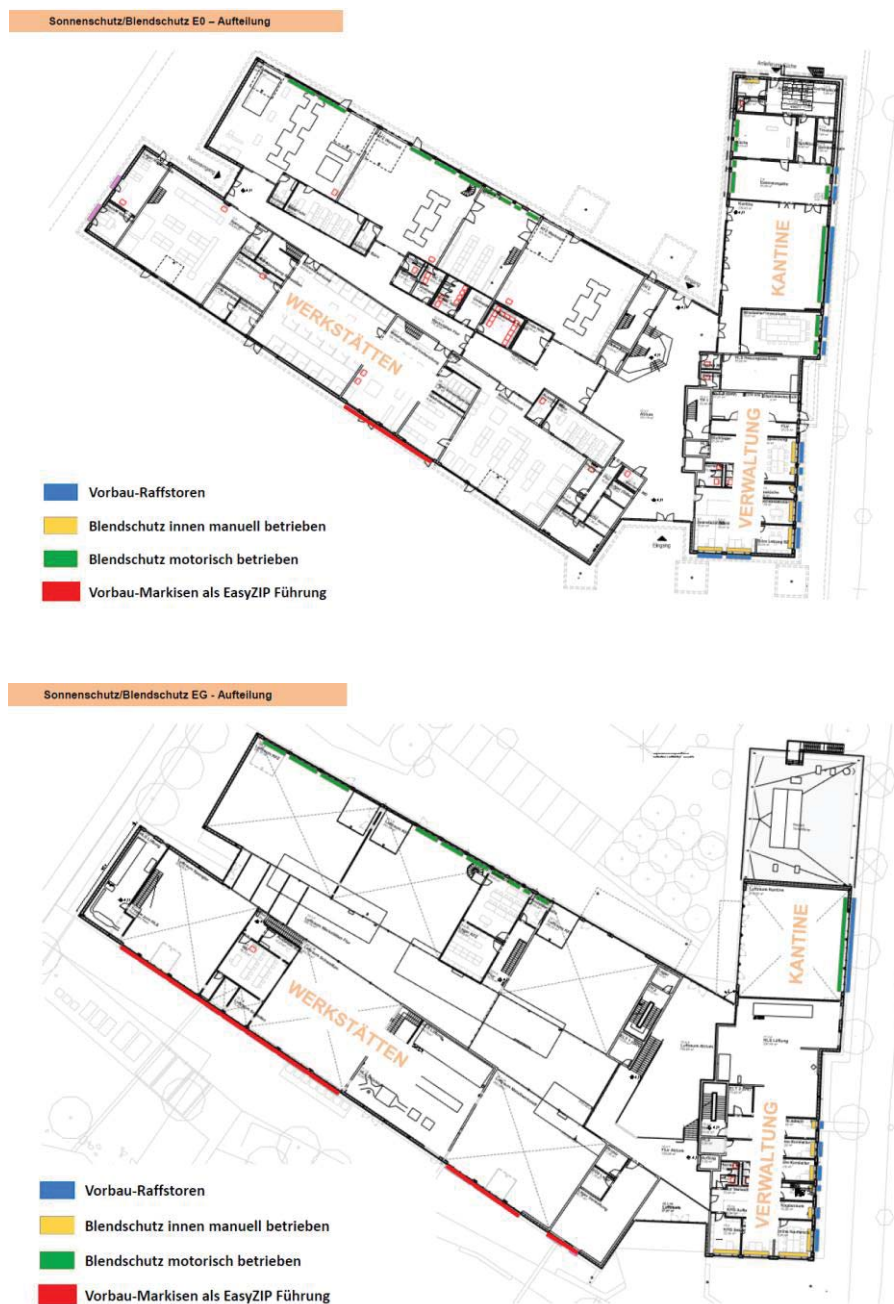


Abbildung 14: Übersicht der innen und außen liegenden Systeme in E0 und EG



Abbildung 15: Übersicht der innen und außen liegenden Systeme in E2 und E3

In E2 und E3 kommen Vorbau-Markisen als Markisolette zum Einsatz. Die Windgrenzwerte werden bei dieser Konstruktion ohne easy ZIP-Führung für das Hoch- und Tieffahren in Abhängigkeit der Konstruktionsgröße und in Abhängigkeit des Abstandes zur Glasfläche vom Hersteller empfohlen. Für einen Abstand zur Glasfläche < 100mm können 10 m/s und für einen Abstand 100 mm bis 300 mm 7 m/s angesetzt werden.

In allen Geschossen sind Vorbau-Markisen als easy ZIP-Führung geplant. Der Hersteller gibt Tabellen mit Windgrenzwerten bei Motoren mit und ohne Hinderniserkennung an, die sich ganz erheblich unterscheiden. Darüberhinaus ist der Abstand des Markisentuches zur Glasfläche und der Einsatz bestimmter Stoffqualitäten maßgeblich für den Ansatz von reduzierten Windgrenzwerten. Hier sind Windgrenzwerte zwischen 24 m/s und 7 m/s möglich.

An der Ostseite der beiden unteren Geschosse sind Vorbau-Raffstoren mit Schienenführung vorgesehen. Je nach eingesetzter Lamelle und abhängig vom Fassadenabstand sind hier sehr unterschiedliche Windgrenzwerte anzusetzen.

Da die genannten Konstruktionsdetails derzeit noch offen sind und die letztendliche Festlegung anhand der windlagenabhängigen Verfügbarkeitszeiten getroffen werden soll, lassen sich die Windkanalergebnisse auch produktunabhängig darstellen. Die Windgrenzwerte können dann auch zu einem späteren Zeitpunkt in die Steuerungsmatrix eingebunden werden.

Im folgenden wird am höchsten Punkt des Bildungszentrums eine möglichst zentrale Windüberwachungsposition angestrebt. Die hierbei erfassbaren Winddaten sollen für eine windlagenabhängige Steuerung des gesamten Gebäudes herangezogen werden. In Abschnitt 4.2 werden die Windgeschwindigkeitsdaten am Dach und an den Fassaden bezogen dargestellt, wobei als Referenzgeschwindigkeit eine in der ungestörten freien Anströmung herrschende Windgeschwindigkeit eingesetzt wird. Für eine Bewertung der Windmesseinrichtung am Dach der Gebäude bietet sich eine am Standort in einer Bezugshöhe von 20,4 m herrschende Referenzwindgeschwindigkeit an, vgl. hierzu Windverhältnisse am Standort in Abschnitt 2.

## 4.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Dach und an den Fassaden

#### 4.2.1 Windmesseinrichtung am Dach des Gebäudes

Zur kontinuierlichen Erfassung der örtlichen Windverhältnisse bzw. zur Erfassung von Grenzüberschreitungen empfiehlt sich ein am Dach an einem mehrere Meter hohen Mast installiertes Windüberwachungssystem.

Es wird zugrunde gelegt, dass mit der eingesetzten Windmesseinrichtung sowohl die Windgeschwindigkeits- als auch die Windrichtungsdaten als zeitlich gemittelte Werte bestimmt und für die Steuerung des Sonnenschutzes zur Verfügung gestellt werden können.

Es wurden Vergleichsmessungen zur Gegenüberstellung der an verschiedenen Windwächterpositionen ermittelbaren Winddaten durchgeführt. Abbildung 16 zeigt die Lage der untersuchten Positionen D1, D2 und D3 auf dem Dach des geplanten Bildungszentrums im näheren Umfeld der 20,4 m hohen Attika (höchster Punkt des Gebäudes).

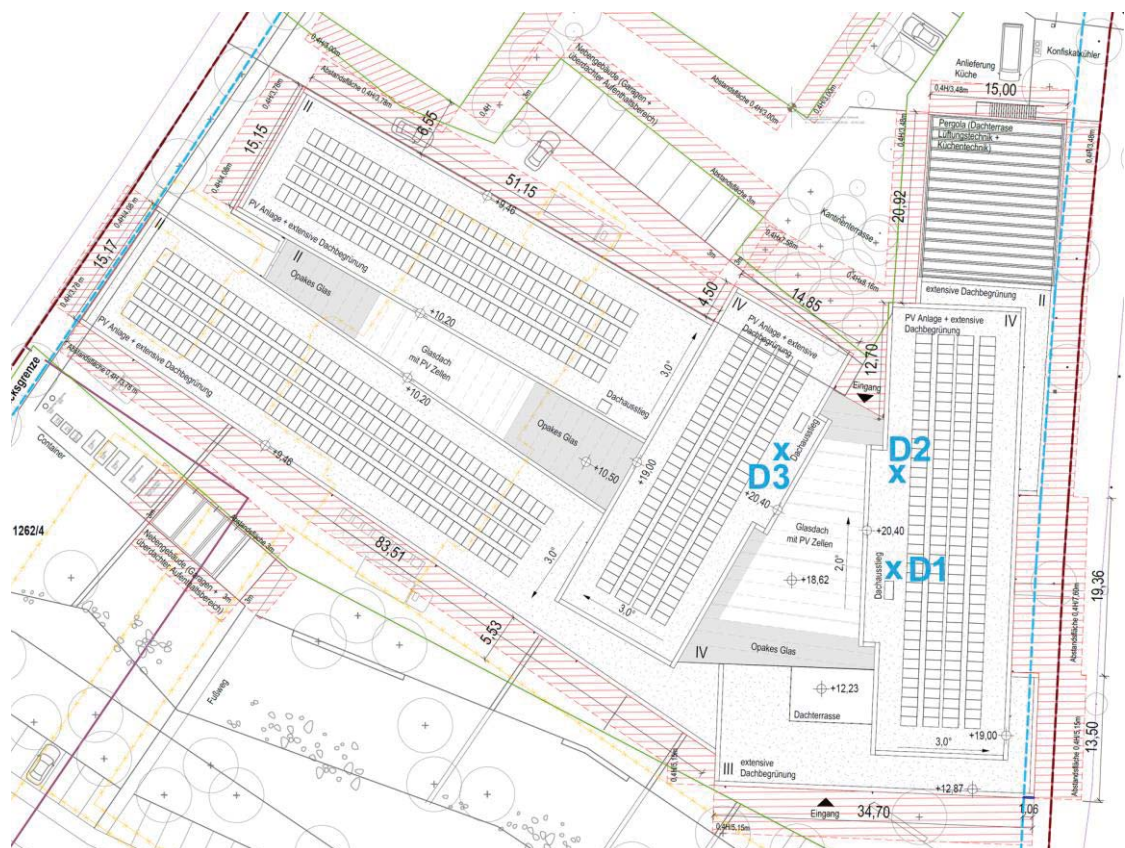


Abbildung 16: Lage der untersuchten Windmesspositionen auf dem Dach des Bildungszentrums

Es war zu überprüfen, ob an den Positionen am Dach eine vom Gebäude und von der Nachbarbebauung weit gehend ungestörte freie Windströmung erfasst werden kann. Vorrangig zu bewerten ist hier ein störungsfreies Erfassen der Windrichtung. Es muss ausgeschlossen werden, dass durch Positionierung der Windmesseinrichtung innerhalb des dachnahen Rezirkulationsgebietes schwerwiegende Fehlinterpretationen bei der Zuordnung der Windrichtung erfolgen. Dies ist im vorliegenden Fall in erster Linie von der Position und von der Messhöhe über Dach abhängig. Es wurden an den bezeichneten Positionen in einer Höhe von 2 m, 3 m, 4 m, 5 m und 6 m über Oberkante Attika (+20,4 m) Windrichtungsmessungen mit Windfahnen durchgeführt.

Bei den am Standort vorherrschenden Hauptwindrichtungen aus südwestlichen und westlichen Richtungen sind die untersuchten Positionen nicht sehr unterschiedlich dem Wind ausgesetzt. Diese Richtungen stellen die kritischen Fälle dar. Bei diesen Windlagen ist die Position D3 am besten geeignet. Eine zuverlässige Windrichtungsermittlung über alle Windrichtungssektoren ist bei einer Windfahnenhöhe von 3 m (23.4 m) bis 4 m (24.4 m) über Oberkante der Attika (20.4 m) erkennbar.

Anschließend wurden in den bezeichneten Höhen über dem Dach die Windgeschwindigkeiten gemessen und anhand von Vergleichsmessungen in der ungestörten Anströmung stromauf des Gebäudes bewertet. Die Tabelle 4.1 zeigt windrichtungsabhängig das Verhältnis der in den verschiedenen Höhen erfassten Geschwindigkeiten (zeitlich gemittelte Werte) bezogen auf die Anströmgeschwindigkeit  $u_{ref}$  in Referenzhöhe am Standort (entspricht hier der ungestörten Anströmung in einer Höhe von 20.4 m). Vergleiche hierzu auch Abbildung 17.

Aus diesen Messungen lässt sich ableiten, dass bei dem neu zu errichtenden Bildungszentrum eine Höhe der Windmessstation von +4 m (24.4 m) über Oberkante Attika (20.4 m) nicht unterschritten werden sollte. Diese Höhe ist auch eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass an der Windfahne die Windrichtung weit gehend störungsfrei angezeigt werden kann.

Für die weiteren Untersuchungen wird zunächst davon ausgegangen, dass am Bildungszentrum die Windmesseinrichtung an der Position D3 in einer Höhe von 24,4 m installiert wird. Die windrichtungsabhängigen Messwerte an dieser Position sind gelb hinterlegt.

Bildungszentrum HWK - Positionen D1, D2 und D3: $u_{Windmessstation}(z)/u_{ref}(20.4m)$															
Nr.	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
	+2 m	+2 m	+2 m	+3 m	+3 m	+3 m	+4 m	+4 m	+4 m	+5 m	+5 m	+5 m	+6 m	+6 m	+6 m
0°	0.42	0.37	0.93	0.47	0.43	1.01	0.55	0.55	1.07	0.64	0.69	1.10	0.74	0.86	1.11
15°	0.67	0.57	0.65	0.72	0.67	0.81	0.80	0.81	0.88	0.86	0.92	1.00	0.94	1.01	1.10
30°	0.96	0.90	0.55	1.02	0.96	0.70	1.04	1.05	0.86	1.08	1.09	1.03	1.11	1.13	1.11
45°	1.02	1.07	0.59	1.06	1.10	0.75	1.08	1.15	0.87	1.11	1.16	1.06	1.12	1.15	1.15
60°	0.85	1.03	0.83	0.95	1.10	0.98	1.09	1.14	1.05	1.14	1.17	1.11	1.17	1.18	1.14
75°	0.57	0.70	0.86	0.67	0.86	1.07	0.86	1.03	1.21	1.02	1.18	1.22	1.11	1.24	1.22
90°	0.54	0.55	0.72	0.71	0.71	0.81	0.89	0.90	0.94	1.07	1.08	0.98	1.18	1.18	1.06
105°	0.64	0.61	0.67	0.82	0.80	0.76	1.01	0.98	0.83	1.13	1.11	0.93	1.19	1.21	1.03
120°	0.74	0.64	0.79	0.92	0.85	0.82	1.07	0.99	0.89	1.17	1.08	0.98	1.21	1.18	1.08
135°	0.96	0.80	1.12	1.06	0.99	1.18	1.18	1.13	1.18	1.22	1.21	1.25	1.21	1.25	1.21
150°	1.06	1.02	1.19	1.09	1.08	1.18	1.14	1.13	1.20	1.12	1.15	1.18	1.16	1.19	1.18
165°	0.91	1.00	0.95	0.99	1.02	0.97	1.06	1.07	0.99	1.10	1.09	1.00	1.14	1.15	1.06
180°	0.58	0.62	0.84	0.68	0.71	0.94	0.81	0.82	1.02	0.97	0.91	1.06	1.03	1.02	1.07
195°	0.56	0.59	0.82	0.72	0.72	0.95	0.94	0.86	1.05	1.10	1.00	1.07	1.12	1.06	1.09
210°	0.63	0.74	0.75	0.79	0.83	0.89	0.98	0.99	0.98	1.11	1.08	1.06	1.21	1.15	1.09
225°	0.77	0.78	0.69	0.89	0.89	0.81	1.06	0.98	0.90	1.16	1.09	0.97	1.27	1.17	1.07
240°	0.74	0.72	0.77	0.79	0.77	0.85	0.87	0.83	0.91	0.91	0.88	0.96	1.02	0.96	1.01
255°	0.90	1.01	0.82	0.95	1.04	0.84	0.98	1.06	0.90	1.02	1.06	0.95	1.05	1.06	0.97
270°	1.12	1.04	0.67	1.19	1.11	0.81	1.19	1.12	0.93	1.20	1.14	1.05	1.22	1.18	1.09
285°	0.99	0.82	0.57	1.05	0.86	0.72	1.07	0.91	0.91	1.09	0.96	1.03	1.13	1.04	1.08
300°	0.75	0.80	0.71	0.79	0.88	0.84	0.86	0.96	0.97	0.94	1.00	1.01	0.97	1.05	1.04
315°	0.81	0.76	0.73	0.88	0.84	0.88	0.95	0.92	1.00	0.99	0.98	1.05	1.04	1.05	1.08
330°	0.80	0.48	0.90	0.86	0.55	1.01	0.87	0.69	1.07	0.94	0.81	1.08	1.00	0.98	1.10
345°	0.51	0.34	0.97	0.54	0.41	1.04	0.61	0.53	1.07	0.71	0.68	1.09	0.79	0.86	1.12

Tab. 4.1: Windrichtungsabhängige Geschwindigkeitsverhältnisse zwischen den untersuchten Windmesspositionen D1, D2 und D3 in verschiedenen Höhen zu ungestörter Anströmung in einer Höhe von 20.4 m

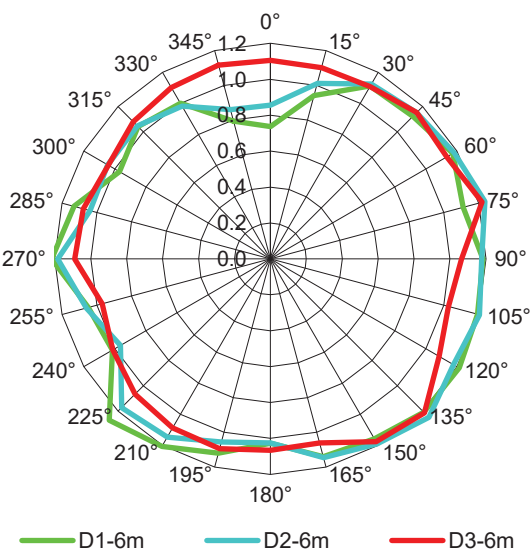
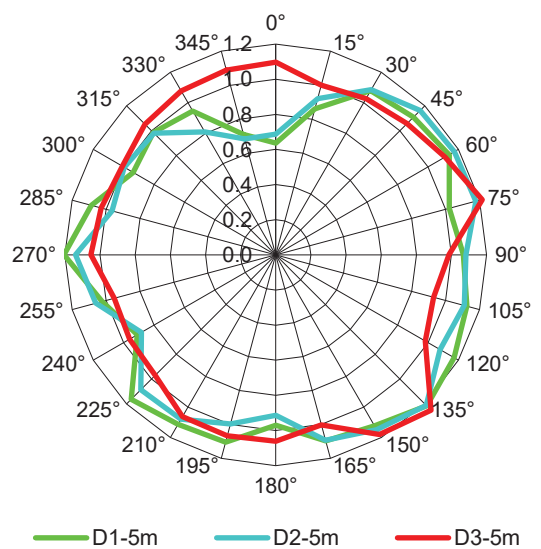
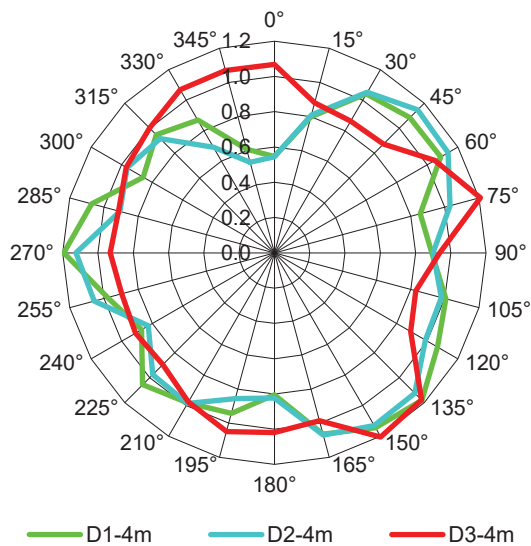
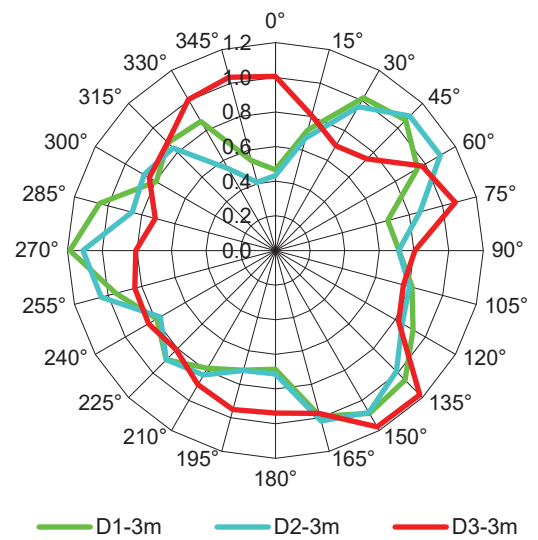
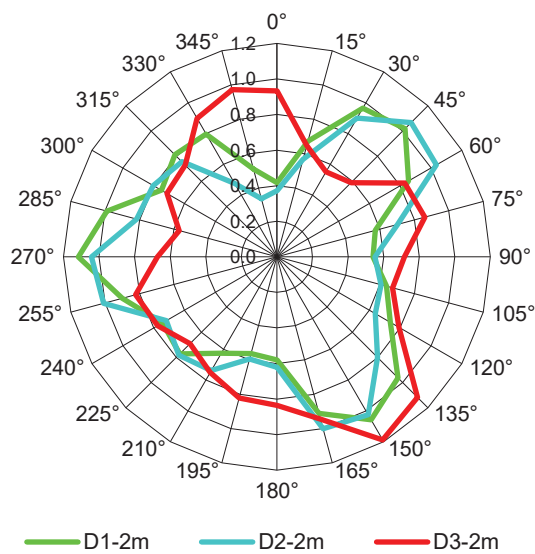


Abbildung 17: Windrichtungsabhängige Geschwindigkeitsverhältnisse an Windmesspositionen D1, D2 und D3 bezogen auf die mittlere Windgeschwindigkeit in der Anströmung in einer Referenzhöhe von 20.4m

#### 4.2.2 Speed-Up-Faktoren vor den Fassaden des Bildungszentrums

Mit Hilfe der richtungsunabhängigen Geschwindigkeitssonden werden für 24 Windrichtungen die Windgeschwindigkeiten in einem Abstand von 200 mm bis 700 mm vor den Gebäudefassaden sowie die zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in der ungestörten Anströmung in Referenzhöhe, hier auf Oberkante der Attika 20.4 m, gemessen.

Aus den zeitlich aufgelösten Geschwindigkeitsmesswerten werden windrichtungsabhängig Speed-Up-Faktoren  $\hat{u}/\bar{u}_{\text{ref}(20,4\text{m})}$  berechnet, die gemäß Gl. 3.8 das Verhältnis des an den Messstellen vor den Fassaden auftretenden Spitzenwindgeschwindigkeiten  $\hat{u}$  zu der in der ungestörten Anströmung auf Gebäude- bzw. Attikahöhe herrschenden mittleren Windgeschwindigkeit ( $u_{\text{ref}}$ ) darstellt.

Hohe Windgeschwindigkeiten werden in Bereichen beschleunigter Strömungen und hohe Geschwindigkeitsschwankungen in Bereichen stark gekrümmter Stromlinien, d.h. im vorliegenden Fall im kantennahen Bereich erwartet. An Stellen abgelöster Strömungen ist mit niedrigen Geschwindigkeiten zu rechnen. Werte der Speed-Up-Faktoren größer 1 bedeuten eine Geschwindigkeitserhöhung und Werte kleiner 1 eine Geschwindigkeitsverringerung gegenüber der freien Anströmung. Beträgt z.B. der Speed-Up-Faktor 1.5 und die an der Referenzstelle zeitlich gemittelte Geschwindigkeit 10m/s, so beträgt die an der Messstelle vor der Fassade auftretende Spitzenwindgeschwindigkeit 15m/s.

Legt man eine vom Hersteller vorgegebene zulässige Geschwindigkeit zugrunde, bis zu der das gewählte System einsetzbar ist, kann aus den im Folgenden dargestellten Speed-Up-Faktoren die an der Windmeseinrichtung richtungsabhängig anzugebende Grenzwindgeschwindigkeit für die einzelnen Fassadenbereiche angegeben werden.

##### 4.2.2.1 Lage der Geschwindigkeitsmessstellen

Im Folgenden werden an den mit Sonnenschutz ausgestatteten Fassaden des Gebäudes die Speed-Up-Faktoren dargestellt. Die Lage der Messpunkte ist in den Ansichten in Abbildung 18 bis Abbildung 20 eingetragen.

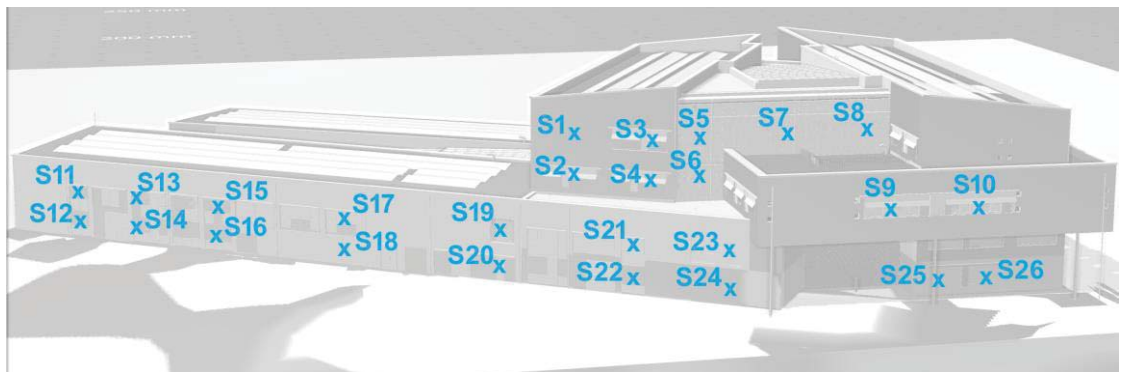


Abbildung 18: Ansicht Süd mit Geschwindigkeitsmessstellen S1 bis S26 vor der Fassade



Abbildung 19: Ansicht Ost mit Geschwindigkeitsmessstellen O1 bis O27 vor der Fassade

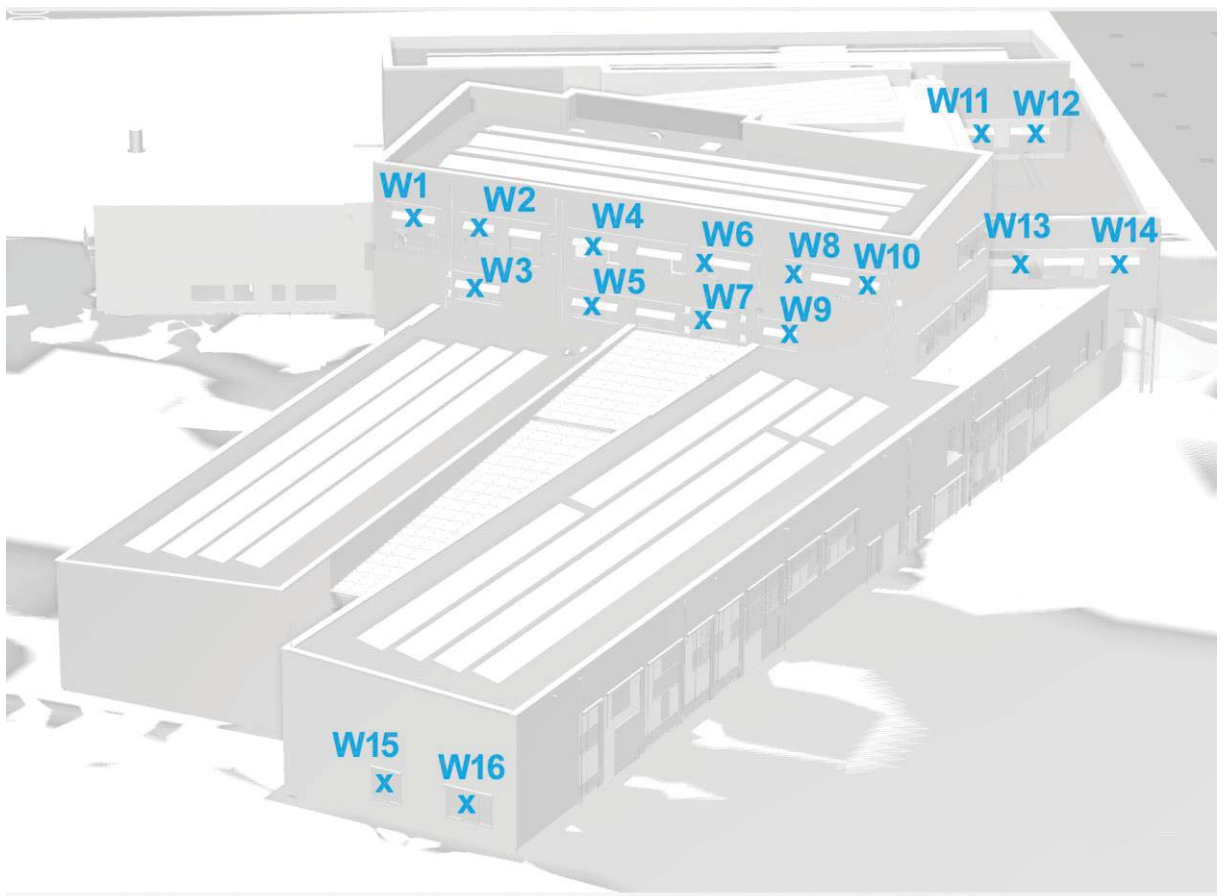


Abbildung 20: Ansicht West mit Geschwindigkeitsmessstellen W1 bis W16 vor der Fassade

#### 4.2.2.2 Messwerte

In Abbildung 21 bis Abbildung 23 sind die Speed-Up-Faktoren vor den Fassaden nach Glg.3.8 in Netzgrafiken dargestellt.

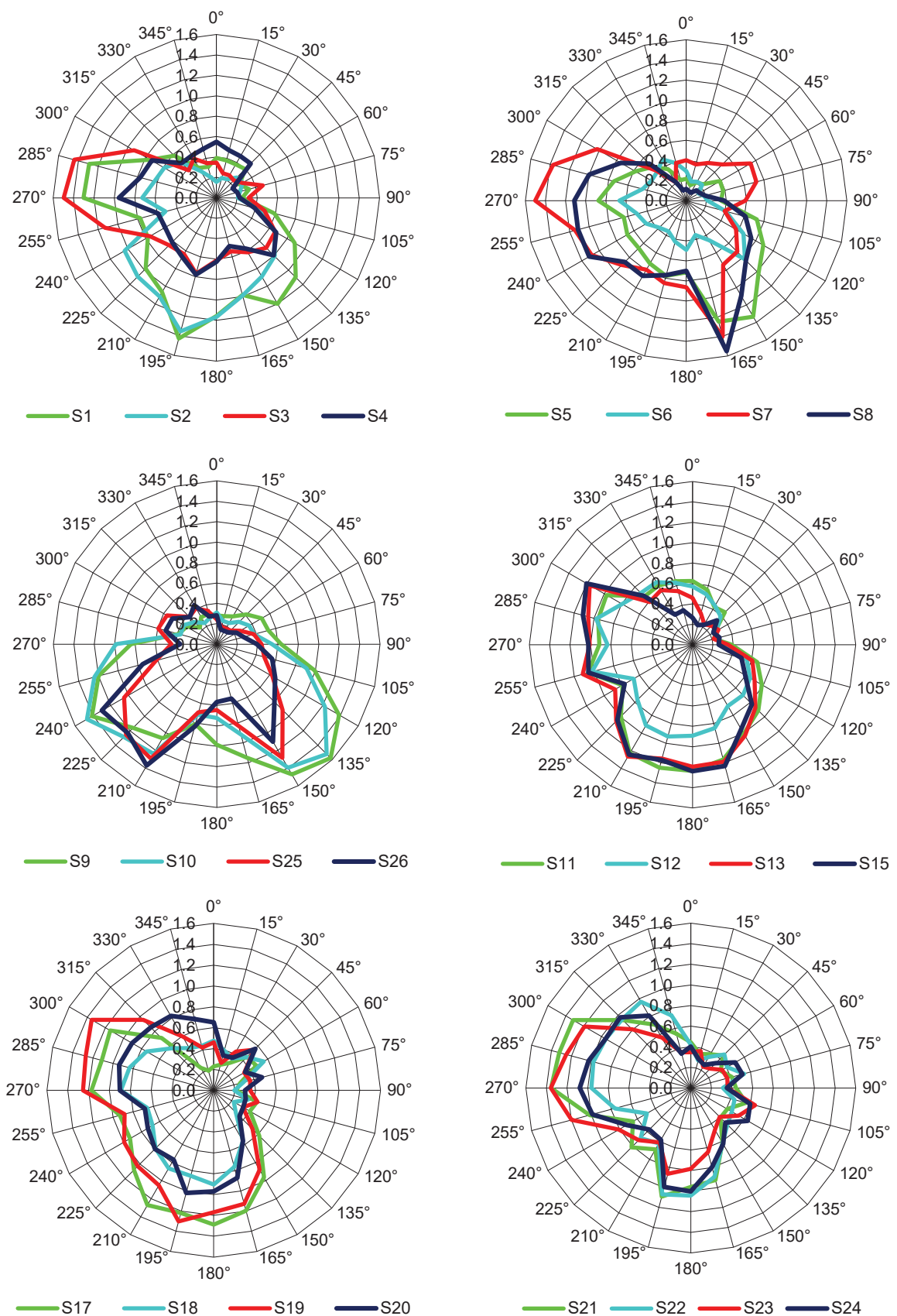


Abbildung 21: Geschwindigkeitserhöhung / -verringerung an der Südfassade bezogen auf die mittlere Windgeschwindigkeit in der Anströmung in einer Höhe von 20.4 m

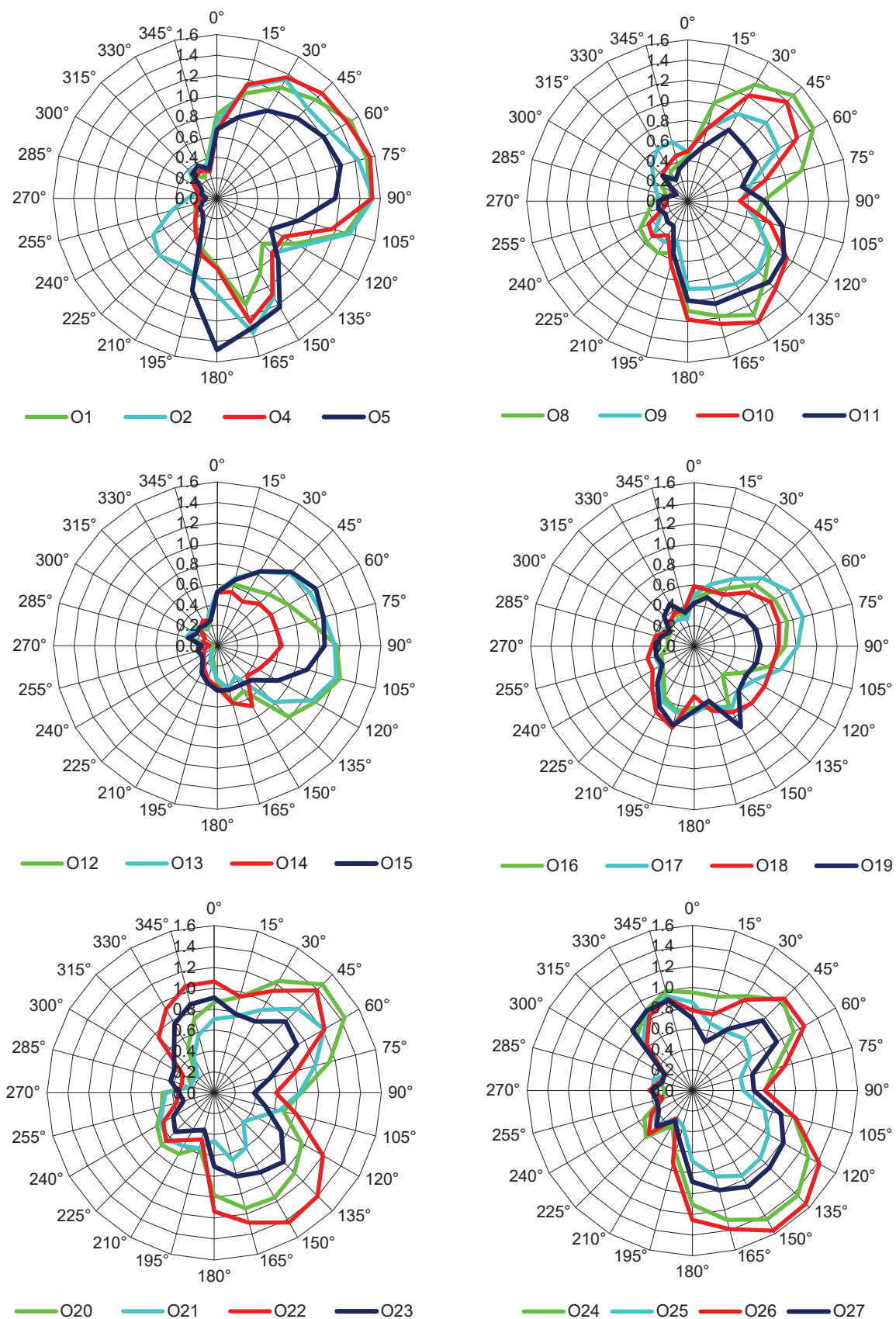


Abbildung 22: Geschwindigkeitserhöhung / -verringerung an der Ostfassade bezogen auf die mittlere Windgeschwindigkeit in der Anströmung in einer Höhe von 20.4 m

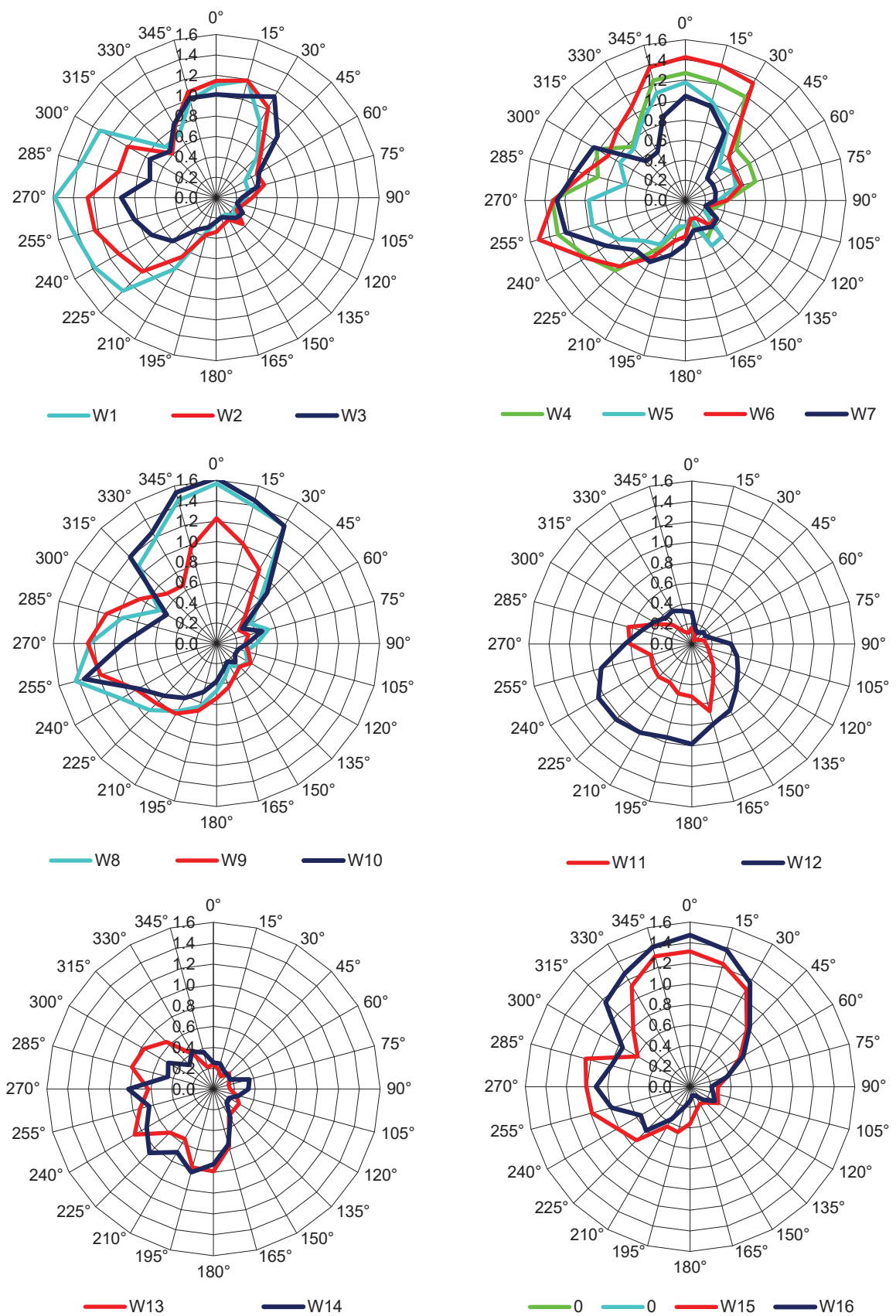


Abbildung 23: Geschwindigkeitserhöhung / -verringerung an der Westfassade bezogen auf die mittlere Windgeschwindigkeit in der Anströmung in einer Höhe von 20.4 m

## 5 Vorschlag für Zonierung der Fassaden

An den Fassaden des Bildungszentrums der HWK soll ein möglichst leicht bauender, außen liegender Sonnenschutz installiert werden, der bei Starkwindsituationen in Schutzstellung gefahren wird. In der Sonnenschutzsteuerung ist dabei eine Vorrangschaltung Windgeschwindigkeit vor Intensität der Sonneneinstrahlung zu realisieren. Bei Überschreiten einer Grenzwindgeschwindigkeit an einer Messstelle auf dem Dach des Bildungszentrums soll der Sonnenschutz hochgefahren werden, wobei eine genaue Zuordnung der lokal vor den Fassaden herrschenden Windgeschwindigkeiten zu den über Dach erfassbaren Werten herzustellen ist.

In Abschnitt 4.2.1 wird an drei Positionen am Dach des Bildungszentrums mit den Bezeichnungen D1, D2 und D3 (vgl. Abbildung 16) ein Windüberwachungssystem bewertet, das in einer bestimmten Höhe installiert sein soll, um die örtlichen Windverhältnisse kontinuierlich erfassen zu können. Folgende Zuordnung wird vorgeschlagen:

D3: Windüberwachung an einem frei stehenden Mast ca. 4m über Oberkante der nahe gelegenen Attika in einer Höhe von 24,4m, Zuordnung für alle Fassaden

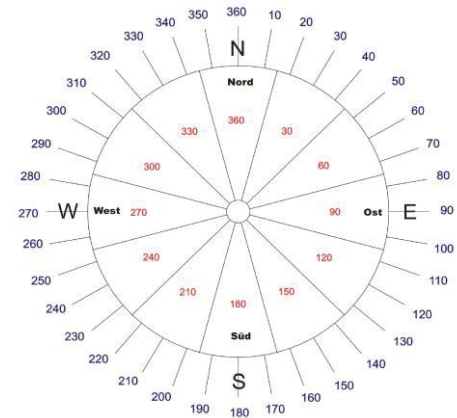
Es wird zugrunde gelegt, dass mit der eingesetzten Windmessenrichtung sowohl die Windgeschwindigkeits- als auch die Windrichtungsdaten als zeitlich gemittelte Werte bestimmt und für die weiteren Steuerungsvorgaben zur Verfügung gestellt werden können.

Unter Berücksichtigung der vor den Fassaden windrichtungsabhängig gemessenen Spitzenwindgeschwindigkeiten kann über die ermittelten Speed-Up-Faktoren eine windlagenabhängige Steuerung des außen liegenden Sonnenschutzes abgeleitet werden.

Im Folgenden wird eine Abgrenzung der unterschiedlich ausgerichteten Fassaden vorgenommen, an denen für die jeweilige Windrichtung die gleichen Böengeschwindigkeiten zugrunde gelegt werden können. Dies erlaubt eine fassadenbezogene Gruppenbildung der Sonnenschutzsteuerung. Eine weitere Differenzierung für die unterschiedlichen Produkte (Vorbau-Markisen als Markisolette, Vorbau-Markisen als EasyZIP Führung und Vorbau-Raffstoren) ist in der Gruppenbildung enthalten. Die dargestellten Vorschläge und die angegebenen Grenzen basieren auf nachfolgenden Vorgaben bzw. Annahmen:

- In den Fassadendetails ist noch keine genauere Spezifizierung der geplanten Sonnenschutzprodukte angegeben. Die zulässigen Grenzwindgeschwindigkeiten werden daher in Form von Bezugswerten dargestellt.  
Da genaue Herstellerangaben zur Eignung des Produktes bislang nicht vorliegen, sind in den nachfolgend aufgeführten Werten auch keine Angaben über einzubeziehende Sicherheitsfaktoren getroffen. Es wird zugrunde gelegt, dass bei einem Überschreiten eines definierten Böenwertes vor der Fassade die Schutzstellung angefahren werden soll.
- Die lokalen Windverhältnisse können für die Steuerung der Sonnenschutzanlagen für den gesamten Gebäudekomplex mit einer Wetterstation auf dem Dach an der Position D3 erfasst werden. Die Position der Wetterstation wurde in Abschnitt 4.2.1 diskutiert. Die ausgewiesenen Empfehlungen hinsichtlich der Höhe der Windmessenrichtung über Dach wurden bei der Berechnung der Grenzwindgeschwindigkeiten bereits einbezogen. Abweichungen dieser Messhöhe über Dach wären in den Ergebnissen in Tab. 5.1ff durch Korrekturen mittels der in Tab. 4.1 dargestellten Geschwindigkeitsrelationen zu berücksichtigen. Eine Übertragung der Messergebnisse auf in Abschnitt 4.2.1 nicht untersuchte Positionen ist im vorliegenden Fall ohne weitere Untersuchungen nicht zulässig.
- Die in Abschnitt 4.4.2 auf die Bezugswindgeschwindigkeit  $u_{ref}$  in Referenzhöhe (hier 20,4m) bezogenen Speed-Up-Faktoren lassen sich auf einfache Weise mit den ebenso auf  $u_{ref}$  bezogenen zeitlich gemittelten Windgeschwindigkeitsdaten an der Position der Wetterstation verknüpfen. Es werden die in Tab. 4.1 aufgelisteten Werte für  $u_{Windmessstation}(z)/u_{ref}$ , dividiert durch die lokalen Speed-Up-Faktoren  $\hat{u}/u_{ref}$ . Dabei sind die Winddaten am Dach als zeitliche Mittelwerte zu bestimmen. Es wird vorgeschlagen, bei der Auswertung des Geschwindigkeits-Signals an der Wetterstation ein gleitendes 10-Minuten-Mittel zu bilden und den jeweiligen Wert als Vergleichswert für die Steuerung heranzuziehen. Eine Freigabe der Verriegelung für eine individuelle Bedienung sollte erst dann erfolgen, wenn der gleitende Mittelwert für die Dauer von ca. 15-30 Minuten den in den folgenden Tabellen ausgewiesenen Grenzwert wieder unterschritten hat.

- Die aktuelle Windrichtung sollte analog gemittelt werden und mit dem vorgegebenen Windrichtungssektor verglichen werden. Dabei entspricht z.B. Windrichtung aus West dem Sektor 270°, der bei einer 24°-Unterteilung den Bereich von 262.5° bis 277.5° repräsentiert. (Hinweis: Nebstehendes Bild zeigt auch eine Zuordnung für 12 Windrichtungssektoren.) Bei einer zeitlichen Mittelung der Windrichtungsdaten ist die Besonderheit der Sprungfunktion des Ausgangssignals (z.B. 4-20mA entspricht 0°-359.9°) bei Windrichtungen um 0° (Bereich zwischen 352.5° und 7.5°) speziell zu bewerten.



Die Abbildung 24 bis Abbildung 26 zeigen die vorgenommenen Abgrenzungen der Fassaden, innerhalb derer jeweils in etwa die gleichen Böengeschwindigkeiten zu erwarten sind.

In Tab. 5.1 bis Tab. 5.3 sind jeweils in

- die innerhalb einer Zone maximal zu erwartenden Speed-Up-Faktoren zugeordnet (vgl. hierzu auch die Netzbilder). Unter
- sind die auf die zulässige Böenwindgeschwindigkeit am Sonnenschutz bezogenen Grenzwindgeschwindigkeiten der Wetterstationen eingetragen. Wird z.B. ein Produkt mit einer maximal zulässigen Böengeschwindigkeit von 12m/s gewählt, so ergibt sich bei dem Faktor 2.0 eine Grenzwindgeschwindigkeit von 24m/s an der Windmessstation und bei einem Faktor von 0.8 muss der Sonnenschutz bereits bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 9.6m/s (gemessen an der Wetterstation) in die Schutzstellung gefahren werden. Windrichtungsabhängig kann so jeder Zone eine Grenzwindgeschwindigkeit zugeordnet werden, bei deren Überschreitung der Sonnenschutz hochgefahren und verriegelt werden soll. Dieser Wert ist nach Vorgabe der vom Hersteller vorgeschlagenen Grenzwerte in
- der Tab. 5.1 bis Tab. 5.3 noch einzutragen.

In den nachfolgend aufgelisteten Ergebnissen sind keine Sicherheitsfaktoren berücksichtigt.

## 5.1 Zuordnung der Zonen der Südfassade des Gebäudes zu Windwächter D3

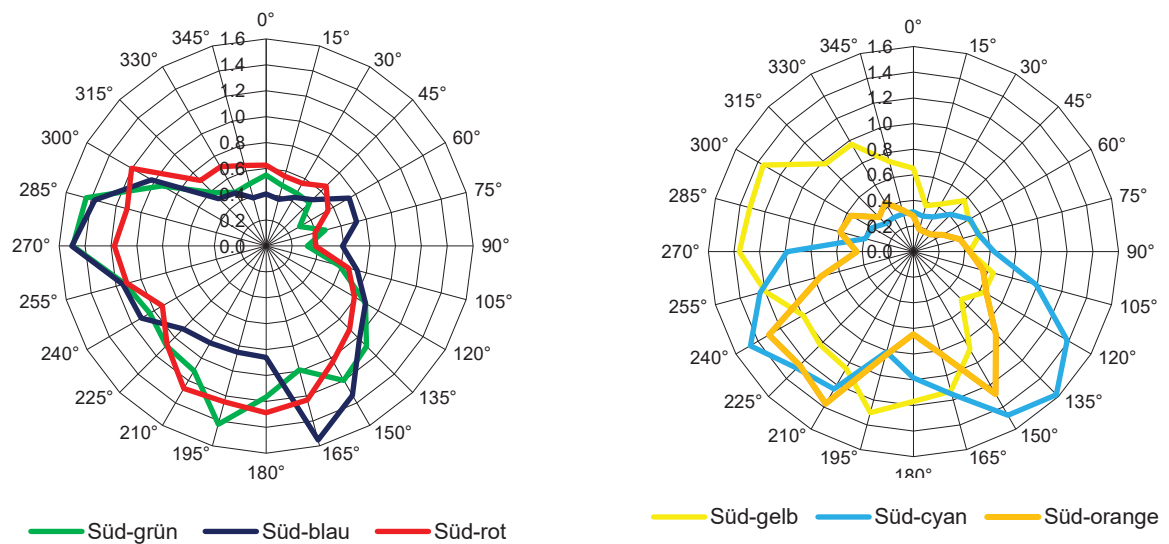
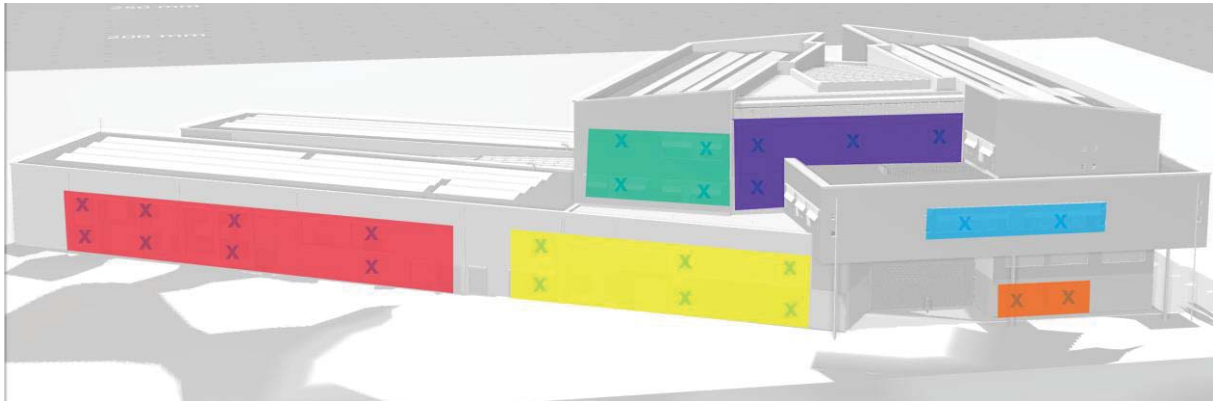


Abbildung 24: Abgrenzung der Südfassade des Bildungszentrums mit Zuordnung der für die Steuerung und der für die Bewertung der Verfügbarkeit heranzuziehenden Speed-Up-Faktoren (vgl. Tab.5.1a)

Tab. 5.1a: Fassadenbezogene Speed-Up-Faktoren $\hat{u}/\bar{u}_{ref}(20,4m)$ für die Zonen an der Südfassade des Bildungszentrums																								
Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Süd-grün	0.55	0.48	0.47	0.47	0.30	0.47	0.32	0.59	0.89	1.10	1.20	0.99	1.17	1.43	1.11	1.09	1.04	1.13	1.50	1.44	0.93	0.58	0.48	0.50
Süd-blau	0.40	0.37	0.43	0.51	0.74	0.72	0.59	0.73	0.89	1.02	1.33	1.55	0.86	0.85	0.86	0.91	1.11	1.15	1.50	1.37	1.02	0.52	0.47	0.39
Süd-rot	0.62	0.56	0.56	0.65	0.55	0.39	0.38	0.66	0.79	0.91	1.03	1.23	1.29	1.25	1.27	1.08	0.93	1.11	1.17	1.11	1.20	0.72	0.71	0.64
Süd-gelb	0.65	0.37	0.43	0.56	0.50	0.54	0.44	0.65	0.64	0.53	0.88	1.13	1.17	1.30	1.05	1.03	0.99	1.20	1.36	1.32	1.35	0.97	0.97	0.73
Süd-cyan	0.31	0.29	0.31	0.41	0.51	0.52	0.63	0.99	1.38	1.58	1.47	1.15	0.98	0.81	1.24	1.29	1.47	1.24	0.99	0.39	0.37	0.31	0.31	0.31
Süd-orange	0.28	0.18	0.18	0.19	0.27	0.38	0.44	0.56	0.66	0.91	1.28	0.83	0.65	0.84	1.37	1.26	1.30	0.75	0.44	0.59	0.56	0.38	0.44	0.34

Tab. 5.1b: zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit an der Windmessstation Pos.D3 (vgl. Abbildung 16) in 24,4m Höhe bezogen auf die zulässige Böenwindgeschwindigkeit am Sonnenschutz  $\bar{u}(z=24,4m)/\hat{u}$

Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Süd-grün	1.95	1.82	1.84	1.84	3.51	2.56	2.95	1.41	1.00	1.07	1.00	0.99	0.87	0.73	0.88	0.82	0.88	0.79	0.62	0.63	1.04	1.72	2.23	2.15
Süd-blau	2.66	2.36	1.99	1.72	1.42	1.67	1.59	1.14	1.00	1.16	0.90	0.63	1.18	1.24	1.13	0.99	0.82	0.78	0.62	0.67	0.95	1.93	2.26	2.76
Süd-rot	1.71	1.58	1.54	1.33	1.89	3.10	2.45	1.26	1.13	1.29	1.17	0.80	0.79	0.84	0.77	0.83	0.98	0.80	0.79	0.82	0.81	1.39	1.51	1.66
Süd-gelb	1.64	2.38	2.01	1.55	2.10	2.25	2.14	1.28	1.40	2.23	1.37	0.87	0.87	0.81	0.93	0.87	0.91	0.75	0.68	0.69	0.72	1.03	1.10	1.47
Süd-cyan	3.43	3.09	2.75	2.12	2.06	2.31	1.49	0.84	0.64	0.75	0.82	0.86	1.03	1.29	0.79	0.70	0.62	0.72	0.94	2.35	2.60	3.25	3.47	3.50
Süd-orange	3.79	4.99	4.84	4.60	3.96	3.20	2.13	1.47	1.35	1.29	0.94	1.19	1.58	1.26	0.71	0.71	0.70	1.19	2.10	1.54	1.72	2.64	2.42	3.16

Tab. 5.1c: zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in m/s an der Windmessposition D3 in 24,4m Höhe als Einstellwert der Grenzwindgeschwindigkeit zur Steuerung des Sonnenschutzes

Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Süd-grün																								
Süd-blau																								
Süd-rot																								
Süd-gelb																								
Süd-cyan																								
Süd-orange																								

## 5.2 Zuordnung der Zonen der Ostfassade des Gebäudes zu Windwächter D3

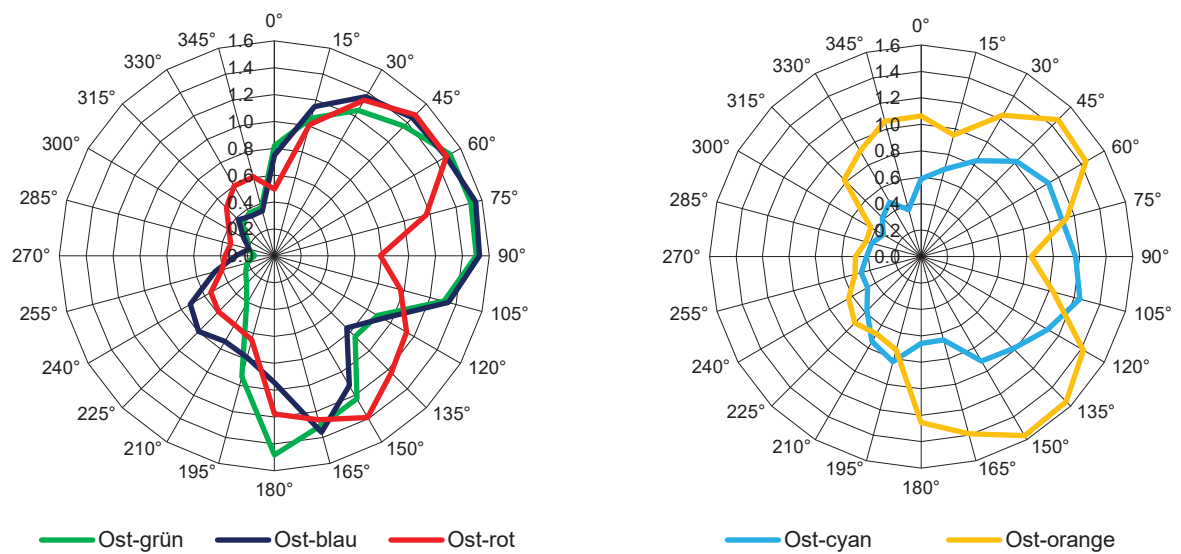


Abbildung 25: Abgrenzung der Ostfassade des Bildungszentrums mit Zuordnung der für die Steuerung und der für die Bewertung der Verfügbarkeit heranzuziehenden Speed-Up-Faktoren (vgl. Tab.5.2a)

Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Ost-grün	0.82	1.06	1.25	1.36	1.51	1.52	1.50	1.31	0.89	0.85	1.23	1.31	1.48	0.93	0.41	0.29	0.24	0.21	0.15	0.20	0.23	0.34	0.37	0.37
Ost-blau	0.75	1.15	1.37	1.45	1.47	1.55	1.53	1.34	0.93	0.76	1.12	1.36	0.94	0.78	0.74	0.80	0.72	0.46	0.29	0.19	0.26	0.38	0.34	0.35
Ost-rot	0.50	1.01	1.34	1.48	1.48	1.17	0.79	0.97	1.14	1.23	1.39	1.26	1.18	0.65	0.59	0.59	0.55	0.40	0.36	0.34	0.39	0.50	0.60	0.61
Ost-cyan	0.59	0.68	0.84	1.02	1.11	1.10	1.17	1.24	1.10	0.98	0.91	0.65	0.66	0.82	0.74	0.58	0.47	0.47	0.41	0.39	0.33	0.41	0.47	0.37
Ost-orange	1.07	0.95	1.24	1.47	1.44	1.14	0.83	1.04	1.42	1.55	1.57	1.39	1.25	0.73	0.68	0.71	0.63	0.52	0.50	0.43	0.44	0.82	0.92	1.06

Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Ost-grün	1.30	0.83	0.69	0.64	0.69	0.80	0.62	0.63	1.00	1.39	0.98	0.75	0.69	1.13	2.37	3.06	3.71	4.26	6.35	4.53	4.23	2.97	2.89	2.89
Ost-blau	1.43	0.77	0.63	0.60	0.71	0.78	0.61	0.62	0.95	1.55	1.08	0.72	1.08	1.34	1.33	1.13	1.26	1.96	3.26	4.71	3.69	2.64	3.13	3.09
Ost-rot	2.15	0.87	0.65	0.59	0.71	1.03	1.19	0.85	0.78	0.96	0.87	0.78	0.86	1.62	1.64	1.52	1.67	2.22	2.55	2.72	2.50	1.98	1.78	1.76
Ost-cyan	1.82	1.29	1.03	0.86	0.94	1.10	0.80	0.67	0.81	1.20	1.32	1.51	1.55	1.27	1.31	1.54	1.94	1.90	2.25	2.36	2.93	2.41	2.25	2.92
Ost-orange	1.00	0.93	0.70	0.60	0.73	1.06	1.13	0.80	0.63	0.76	0.77	0.71	0.81	1.43	1.44	1.26	1.44	1.73	1.87	2.11	2.20	1.21	1.16	1.01

Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Ost-grün																								
Ost-blau																								
Ost-rot																								
Ost-cyan																								
Ost-orange																								

### 5.3 Zuordnung der Zonen der Westfassade des Gebäudes zu Windwächter D3

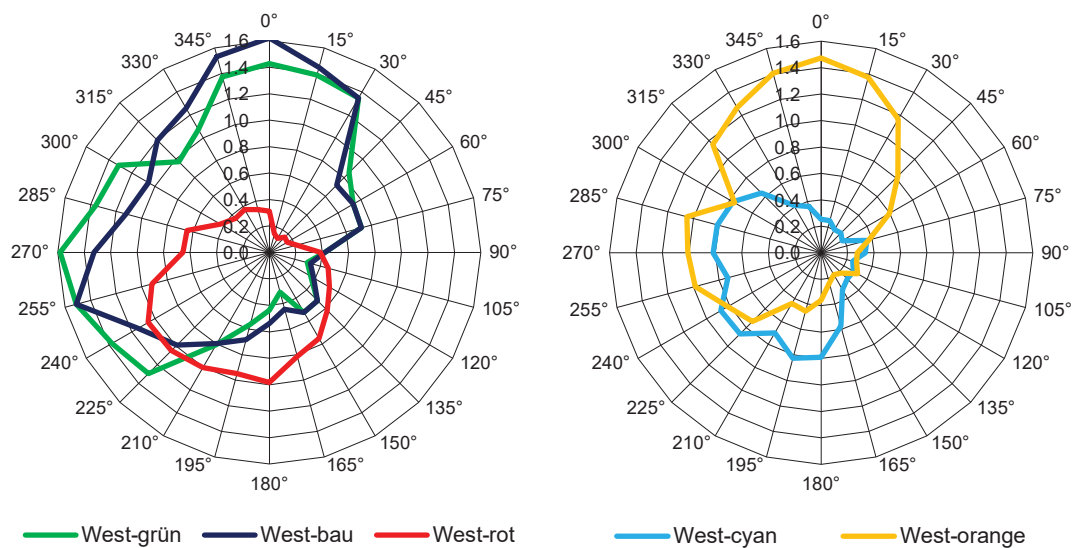
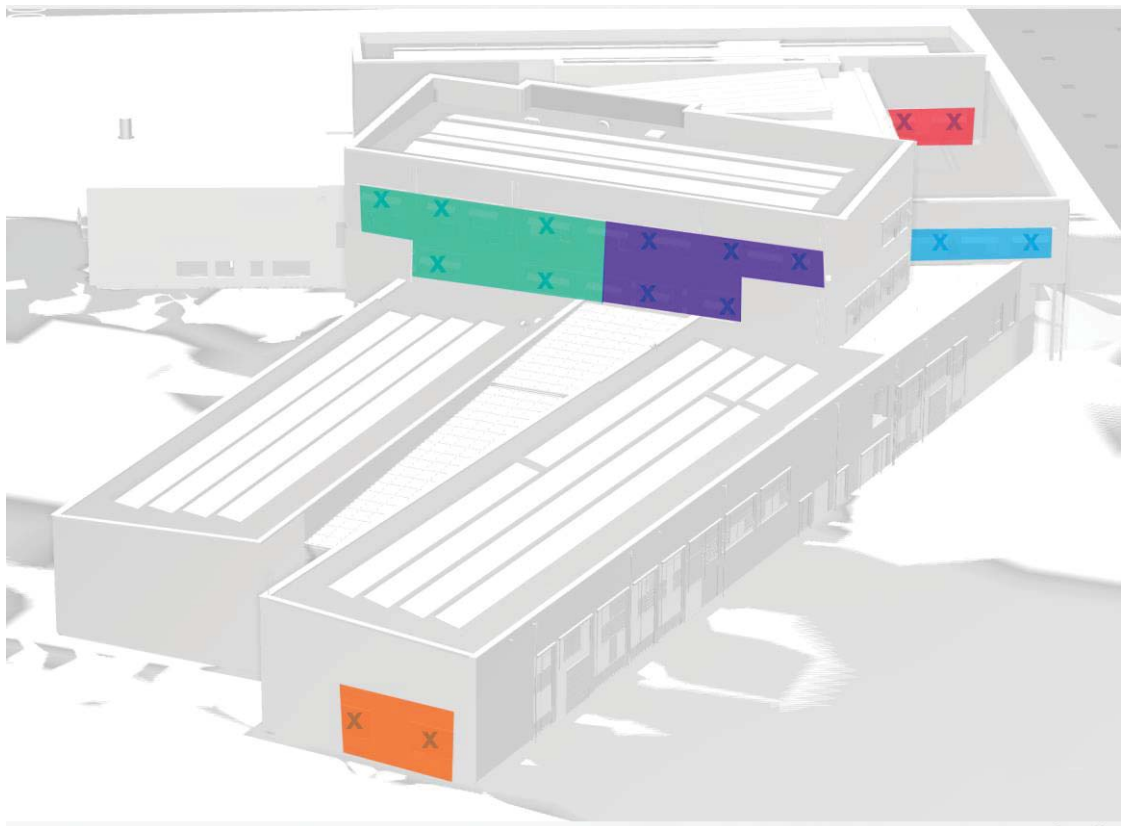


Abbildung 26: Abgrenzung der Westfassade des Bildungszentrums mit Zuordnung der für die Steuerung und der für die Bewertung der Verfügbarkeit heranzuziehenden Speed-Up-Faktoren (vgl. Tab.5.3a)

Tab. 5.3a: Fassadenbezogene Speed-Up-Faktoren $\hat{u}/u_{ref}(20,4m)$ für die Zonen an der Westfassade des Bildungszentrums																								
Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
West-grün	1.43	1.39	1.35	0.85	0.73	0.72	0.42	0.30	0.36	0.52	0.52	0.31	0.44	0.56	0.81	1.29	1.37	1.51	1.58	1.36	1.32	0.97	1.07	1.37
West-blau	1.62	1.45	1.35	0.72	0.73	0.72	0.42	0.32	0.39	0.52	0.52	0.45	0.54	0.68	0.79	0.99	1.15	1.51	1.33	1.12	1.06	1.20	1.26	1.53
West-rot	0.31	0.15	0.12	0.17	0.15	0.21	0.39	0.46	0.52	0.62	0.75	0.81	0.98	0.95	1.01	1.05	1.06	0.92	0.65	0.64	0.43	0.36	0.37	0.34
West-cyan	0.25	0.25	0.20	0.21	0.18	0.36	0.33	0.25	0.28	0.28	0.32	0.57	0.79	0.83	0.70	0.87	0.88	0.73	0.82	0.81	0.77	0.64	0.42	0.36
West-orange	1.47	1.37	1.17	0.82	0.60	0.37	0.27	0.28	0.32	0.22	0.19	0.24	0.36	0.46	0.44	0.73	0.81	0.99	1.01	1.05	0.76	1.16	1.27	1.40

Tab. 5.3b: zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit an der Windmessstation Pos.D3 (vgl. Abbildung 16) in 24,4m Höhe bezogen auf die zulässige Böenwindgeschwindigkeit am Sonnenschutz $u(z=24,4m)/\hat{u}$																								
Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
West-grün	0.75	0.63	0.64	1.03	1.43	1.67	2.23	2.80	2.46	2.29	2.31	3.16	2.33	1.86	1.21	0.69	0.66	0.59	0.59	0.67	0.74	1.03	0.99	0.78
West-blau	0.66	0.61	0.64	1.22	1.43	1.67	2.23	2.57	2.30	2.29	2.31	2.21	1.89	1.54	1.23	0.90	0.79	0.59	0.70	0.81	0.92	0.83	0.85	0.70
West-rot	3.43	5.98	6.99	5.29	6.77	5.67	2.43	1.81	1.70	1.90	1.60	1.21	1.04	1.11	0.97	0.85	0.86	0.97	1.42	1.42	2.26	2.75	2.86	3.18
West-cyan	4.22	3.49	4.28	4.12	5.75	3.38	2.80	3.35	3.16	4.22	3.74	1.72	1.29	1.27	1.39	1.03	1.04	1.23	1.14	1.12	1.26	1.57	2.57	2.95
West-orange	0.72	0.64	0.74	1.06	1.76	3.24	3.45	2.98	2.80	5.46	6.33	4.15	2.83	2.30	2.20	1.22	1.12	0.91	0.92	0.87	1.28	0.86	0.84	0.76

Tab. 5.3c: zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in m/s an der Windmessposition D3 in 24,4m Höhe als Einstellwert der Grenzwindgeschwindigkeit zur Steuerung des Sonnenschutzes																								
Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
West-grün																								
West-blau																								
West-rot																								
West-cyan																								
West-orange																								

## 6 Produktabhängige Grenzen

Aus den gemessenen Speed-Up-Faktoren im Bereich der außen liegenden Sonnenschutzanlagen erfolgt unter Berücksichtigung der Windstatistik für den Standort in Landshut jeweils getrennt für die unterschiedlich ausgerichteten Fassaden eine Häufigkeitsbewertung für Grenzwertüberschreitungen. Aus den nachfolgend diskutierten Überschreitenshäufigkeiten können fassadenabhängig je nach gewähltem Sonnenschutzprodukt die erzielbaren Verfügbarkeitszeiten abgelesen werden.

In Abbildung 27 bis Abbildung 29 sind die an den Fassaden des Bildungszentrums zu erwartenden Spitzenwindgeschwindigkeiten für Überschreitenshäufigkeiten zwischen 0,1% und 100% aufgetragen. Grundlage für diese Bewertungen sind die fassadenbezogenen Speed-Up-Faktoren nach Abbildung 24 bis Abbildung 26. Dabei sind über alle Messpunkte innerhalb einer Zone jeweils die Maxima herangezogen. Die aufgetragenen Kurven geben an, zu wieviel Prozent die zugeordneten Spitzenwerte erreicht oder überschritten werden. Wird ein Sonnenschutzprodukt mit einer vom Hersteller angegebenen maximalen Windgeschwindigkeit von z.B. 13m/s ausgewählt, so kann aus den Abbildungen für jeden Messpunkt (Zone) die Überschreitenshäufigkeit dieses Wertes innerhalb eines typischen Jahres abgelesen werden. Wird analog eine maximal akzeptierte Überschreitenshäufigkeit von z.B. 5% festgelegt, so kann für ein auszuwählendes Produkt die Mindestanforderung an die Windstabilität den Diagrammen entnommen werden. Sind bei Sturm höhere fassadennahe Windgeschwindigkeiten zu erwarten, so ist sicherzustellen, dass die Sonnenschutzanlagen vorher in Schutzstellung gebracht worden sind.

Die zusammengefassten Ergebnisse für die in Abschnitt 5 beschriebenen Zonen zeigen durchschnittliche Spreizungen der Kurven. Eine sehr hohe Verfügbarkeit des Sonnenschutzes ist dabei an der Ostfassade erzielbar, während an der Süd- und Westfassade eine detaillierte Betrachtung mit Überlagerung von Wind- und Sonnenstatistik empfehlenswert ist.

Für den Fall, dass für die gewünschten Sonnenschutzprodukte genaue Herstellerspezifizierungen vorliegen, können die zulässigen Grenzwindgeschwindigkeiten direkt in die Diagramme von Abschnitt 6.1 bis 6.3 eingetragen und die zuordenbaren Verfügbarkeitszeiten abgelesen werden.

Ohne genauere Herstellerspezifizierungen wird folgende Vorgehensweise unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Abschnitt 6.1 bis 6.3 vorgeschlagen. Bei den an Bürogebäuden am häufigsten eingesetzten Raffstoren/Außenjalousien, geben die Hersteller in ihren Einsatzempfehlungen typischerweise an, dass die Beständigkeit gegen Wind abhängig ist von der Konstruktion, Form, Baugröße, Führung, Anbringungsart, Abstand zur Fassade und Lage am Gebäude. Unter der Voraussetzung, dass Windwarnanlagen zur Steuerung der Sonnenschutzanlagen eingesetzt werden, die sicherstellen, dass bei Aufkommen eines Sturmes die Anlagen nach einer gewissen Verzögerung eingefahren werden, beschreiben die Hersteller Windgrenzwerte im Rahmen der nach Beaufort definierten Windstärken bzw. Windgeschwindigkeitsbereiche, die in etwa diesen Klassen entsprechen. Diese Werte finden sich auch in der Technischen Richtlinie TR106 des Bundesverbandes Rolladen + Sonnenschutz e.V., (vgl. Tab. 6.1)

Spalte		1	2	3	4
Zeile	Breite [cm]	gebördelt mit Schiene	gebördelt mit Seil	flexibel mit Schiene	flexibel mit Seil
1	150	7 bft. bzw. 17,4 m/s	7 bft. bzw. 17,4 m/s	7 bft. bzw. 17,4 m/s	7 bft. bzw. 17,4 m/s
2	200	7 bft. bzw. 17,4 m/s	7 bft. bzw. 17,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s
3	250	7 bft. bzw. 17,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s
4	300	7 bft. bzw. 17,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s
5	400	6 bft. bzw. 13,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s	5 bft. bzw. 10,4 m/s	5 bft. bzw. 10,4 m/s
6	500	6 bft. bzw. 13,4 m/s	6 bft. bzw. 13,4 m/s	5 bft. bzw. 10,4 m/s	5 bft. bzw. 10,4 m/s

Tabelle 10: Empfohlene Windgrenzwerte (oberer Wert aus Beaufort-Skala, Tabelle 4) für Außenjalousien/Raffstores

Die Werte gelten für einen Fassadenabstand der Lamelle  $\leq 10$  cm, Materialdicke der Lamelle  $\geq 0,4$  mm und bei einer Anlagenhöhe  $< 240$  cm. Je nach Herstellerempfehlung können bei größeren Breiten (ab 200 cm) eine oder mehrere zusätzliche Seilführungen erforderlich sein.

Tab. 6.1: Beispielhafte Windgrenzwerte für Raffstoren/Außenjalousien verschiedener Breite nach Technischer Richtlinie TR106 des Bundesverbandes Rolladen + Sonnenschutz e.V.

## 6.1 Überschreitenshäufigkeiten an der Südfassade

Beispiel: Bei einer theoretischen Verfügbarkeit von 98% ist an kritischen Zonen der Südfassade des Bildungszentrums ein Produkt mit Windstabilität nach Beaufort-Skala bis 6 bft (10,5m/s - 13,4m/s) und bei einer theoretischen Verfügbarkeit von 95% bis 5 bft (7,5m/s - 10,4m/s) geeignet.

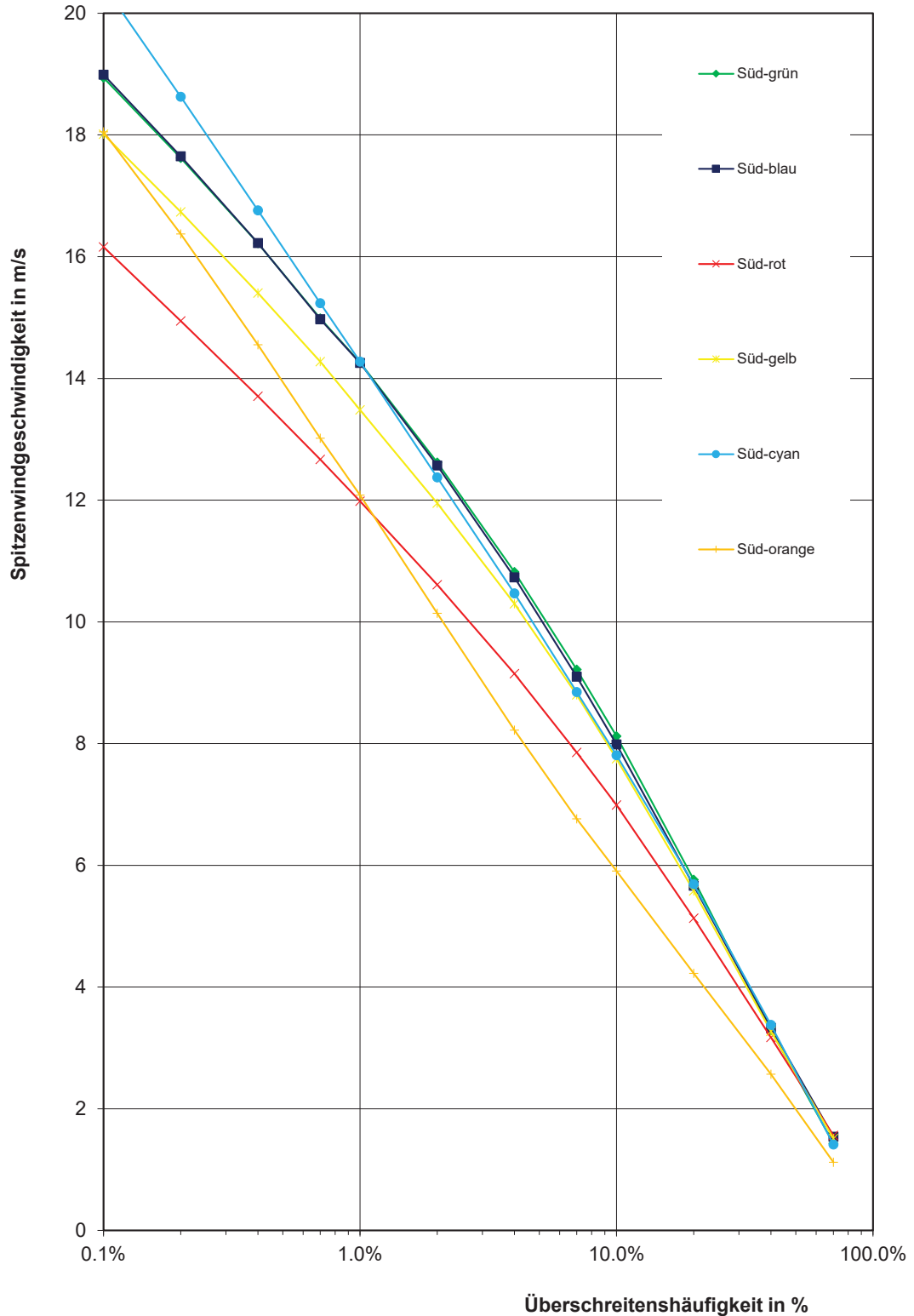


Abbildung 27: Abgrenzung der fassadennahen Spitzenwindgeschwindigkeiten an der Südfassade aufgetragen über der jährlichen Überschreitenshäufigkeit; Ablesebeispiel: In der Zone Süd-grün (vgl. Abbildung 24) wird eine Spitzenwindgeschwindigkeit von 12,6 m/s zu 2% überschritten und zu 98% nicht erreicht.

## 6.2 Überschreitenshäufigkeiten an der Ostfassade

Beispiel: Bei einer theoretischen Verfügbarkeit von 98% ist an kritischen Zonen der Ostfassade des Bildungszentrums ein Produkt mit Windstabilität nach Beaufort-Skala bis bis 5 bft (7,5m/s - 10,4m/s) geeignet.

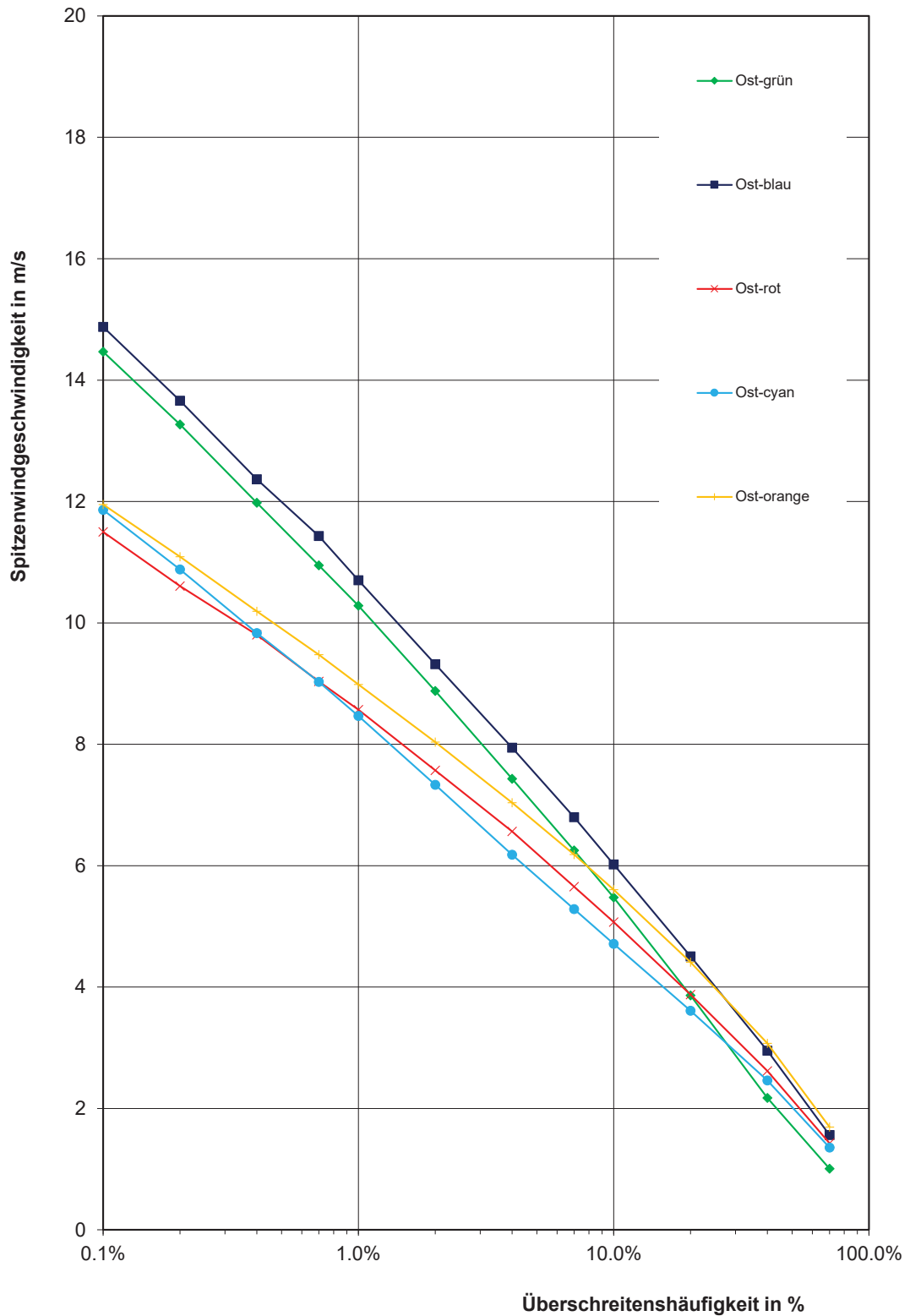


Abbildung 28: Abgrenzung der fassadennahen Spitzenwindgeschwindigkeiten an der Ostfassade aufgetragen über der jährlichen Überschreitenshäufigkeit; Ablesebeispiel: In der Zone Ost-blau (vgl. Abbildung 24) wird eine Spitzenwindgeschwindigkeit von 10,7 m/s zu 1% überschritten und zu 99% nicht erreicht.

### 6.3 Überschreitenshäufigkeiten an der Westfassade

Beispiel: Bei einer theoretischen Verfügbarkeit von 97% ist an kritischen Zonen der Westfassade des Bildungszentrums ein Produkt mit Windstabilität nach Beaufort-Skala bis 6 bft (10,5m/s - 13,4m/s) und bei einer theoretischen Verfügbarkeit von 93% bis 5 bft (7,5m/s - 10,4m/s) geeignet.

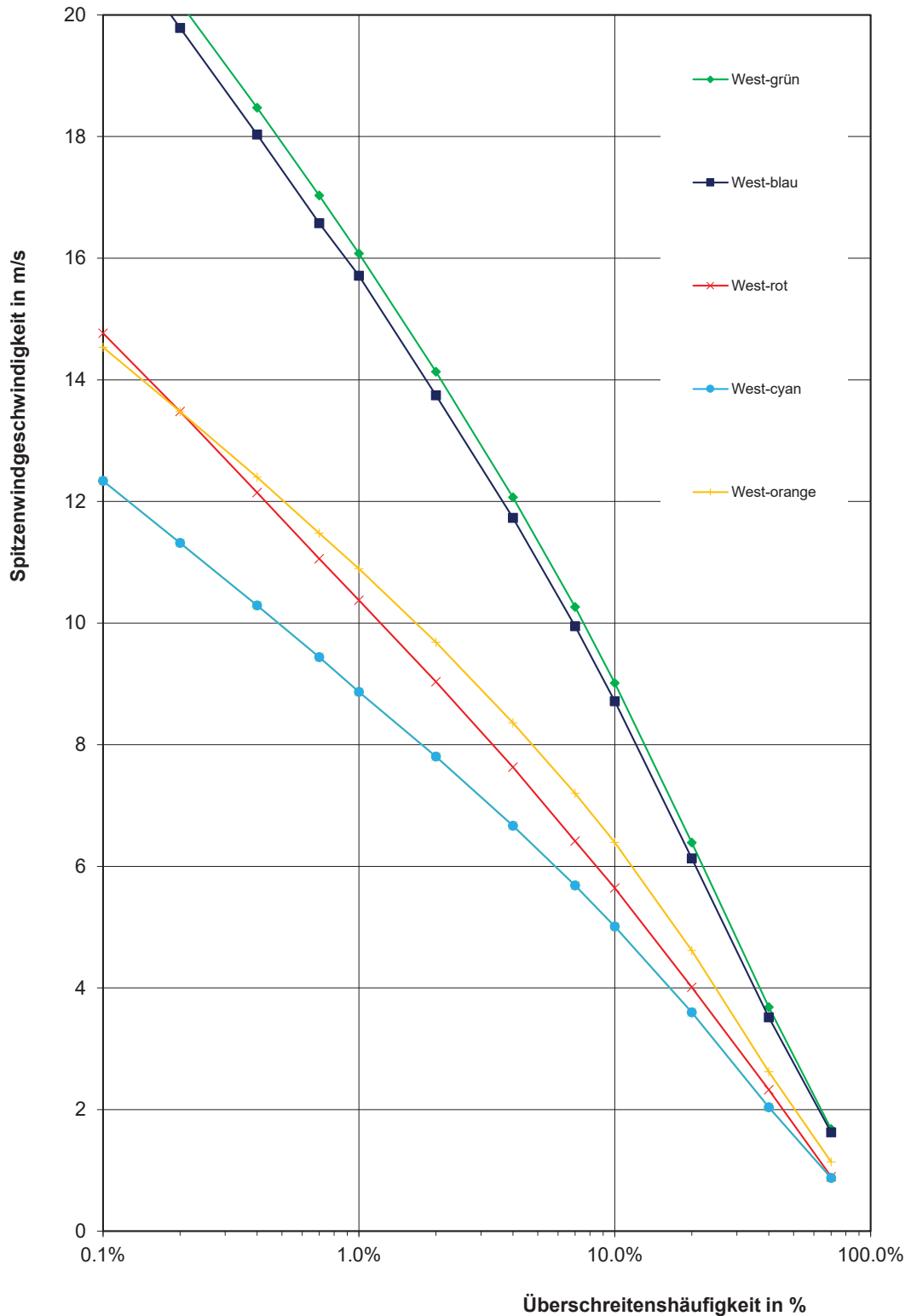


Abbildung 29: Abgrenzung der fassadennahen Spitzenwindgeschwindigkeiten an der Westfassade aufgetragen über der jährlichen Überschreitenshäufigkeit; Ablesebeispiel: In der Zone West-grün (vgl. Abbildung 26) wird eine Spitzenwindgeschwindigkeit von 14,2m/s zu 2% überschritten und zu 98% nicht erreicht.

## 6.4 Grenzwindgeschwindigkeit an der Messstation am Dach

Anhand der Abbildung 27 bis Abbildung 29 soll beispielhaft eine Vorgehensweise für die Validierung eines gewählten Produktes und für die Festlegung der Grenzwindgeschwindigkeit an der Messstation am Dach aufgezeigt werden. Für die in Ebene 2 und Ebene 3 geplanten Vorbau-Markisen als Markisolette werden die Windgrenzwerte für das Hoch- und Tieffahren in Abhängigkeit der Konstruktionsgröße und in Abhängigkeit des Abstandes zur Glasfläche von Herstellern empfohlen. Für einen Abstand zur Glasfläche < 100mm können z.B. 10 m/s und für einen Abstand 100 mm bis 300 mm z.B. 7 m/s angesetzt werden.

Als angestrebte Verfügbarkeit soll 98% (Überschreitenshäufigkeit 2%) angenommen werden. Hierbei ist anzumerken, dass die hier vorgenommene Ermittlung der Verfügbarkeitszeiten als konservativ zu betrachten ist, da die Starkwindlagen sehr häufig mit verringerten Globalstrahlungswerten einhergehen, bei denen der Sonnenschutz ohnehin nicht mehr benötigt wird.

Für die Gruppierungen, wie sie in Kapitel 5 dargestellt wurden, werden beispielhaft zur Erläuterung der Vorgehensweise folgende ortsabhängige Windgrenzwerte zugewiesen.

Zone in Kap. 5	Häufigkeit > 10m/s	Häufigkeit > 7m/s	Spitzengeschwindigkeit bei 98% Verfügbarkeit	Grenzwert an Messstation Dach
Ansicht Süd				
• Süd-grün	5.3 %	14.1 %	12.6 m/s	vgl. Tab. 6.2c
• Süd-cyan	4.7 %	13.1 %	12.4 m/s	vgl. Tab. 6.2c
Ansicht Ost				
• Ost-grün	1.2 %	5.0 %	8.9 m/s	vgl. Tab. 6.2c
• Ost-blau	1.5 %	6.4 %	9.3 m/s	vgl. Tab. 6.2c
• Ost-rot	0.4 %	2.9 %	7.6 m/s	vgl. Tab. 6.2c
Ansicht West				
• West-grün	7.6 %	17.1 %	14.1 m/s	vgl. Tab. 6.2c
• West-blau	6.9 %	16.0 %	13.8 m/s	vgl. Tab. 6.2c
• West-rot	1,2 %	5.4 %	9.1 m/s	vgl. Tab. 6.2c

Unter Berücksichtigung eines beispielhaften Grenzwertes an der Fassade von 10 m/s wird windrichtungsabhängig in Tab. 6.2c in jeder Zone eine absolute Grenzwindgeschwindigkeit an der Messstation am Dach in 24.4m Höhe ermittelt, bei deren Überschreitung der Sonnenschutz hochgefahren und verriegelt werden soll. Hierzu werden die in Tab. 5.1b bis 5.3b aufgelisteten Faktoren mit den zulässigen Grenzwert an der Fassade (hier 10m/s) multipliziert. Werte größer als 24 m/s werden dabei mit 24.0 m/s belegt. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um eine Beispielrechnung handelt. Die Ergebnisse können nicht ohne weitere Überprüfung der Herstellerangaben in die Steuerung übernommen werden.

Die oben aufgeführten Überschreitenshäufigkeiten zeigen, dass die angestrebte Verfügbarkeit von 98% (Grenzwert an der Fassade 10 m/s) lediglich an der Ostfassade ohne weitere Untersuchungen als erreichbar angesetzt werden darf. An der Süd- und an der Westfassade sollte eine Verfügbarkeit bei gleichzeitiger Betrachtung von Wind- und Sonneneinwirkung im Hinblick auf die zu erwartenden Ausfallstunden im Jahr geprüft werden.

Tab. 6.1a: Fassadenbezogene Speed-Up-Faktoren $\hat{u}/\bar{u}_{ref}(20,4m)$ für die Zonen in E2 und E3 des Bildungszentrums																								
Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Süd-grün	0.55	0.48	0.47	0.47	0.30	0.47	0.32	0.59	0.89	1.10	1.20	0.99	1.17	1.43	1.11	1.09	1.04	1.13	1.50	1.44	0.93	0.58	0.48	0.50
Süd-cyan	0.31	0.29	0.31	0.41	0.51	0.52	0.63	0.99	1.38	1.58	1.47	1.15	0.98	0.81	1.24	1.29	1.47	1.24	0.99	0.39	0.37	0.31	0.31	0.31
Ost-grün	0.82	1.06	1.25	1.36	1.51	1.52	1.50	1.31	0.89	0.85	1.23	1.31	1.48	0.93	0.41	0.29	0.24	0.21	0.15	0.20	0.23	0.34	0.37	0.37
Ost-blau	0.75	1.15	1.37	1.45	1.47	1.55	1.53	1.34	0.93	0.76	1.12	1.36	0.94	0.78	0.74	0.80	0.72	0.46	0.29	0.19	0.26	0.38	0.34	0.35
Ost-rot	0.50	1.01	1.34	1.48	1.48	1.17	0.79	0.97	1.14	1.23	1.39	1.26	1.18	0.65	0.59	0.59	0.55	0.40	0.36	0.34	0.39	0.50	0.60	0.61
West-grün	1.43	1.39	1.35	0.85	0.73	0.72	0.42	0.30	0.36	0.52	0.52	0.31	0.44	0.56	0.81	1.29	1.37	1.51	1.58	1.36	1.32	0.97	1.07	1.37
West-blau	1.62	1.45	1.35	0.72	0.73	0.72	0.42	0.32	0.39	0.52	0.52	0.45	0.54	0.68	0.79	0.99	1.15	1.51	1.33	1.12	1.06	1.20	1.26	1.53
West-rot	0.31	0.15	0.12	0.17	0.15	0.21	0.39	0.46	0.52	0.62	0.75	0.81	0.98	0.95	1.01	1.05	1.06	0.92	0.65	0.64	0.43	0.36	0.37	0.34

Tab. 6.1b: zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit an der Windmesstation Pos.D3 (vgl. Abbildung 16) in 24,4m Höhe bezogen auf die zulässige Böenwindgeschwindigkeit am Sonnenschutz  $\bar{u}(z=24,4m)/\hat{u}$

Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Süd-grün	1.95	1.82	1.84	1.84	3.51	2.56	2.95	1.41	1.00	1.07	1.00	0.99	0.87	0.73	0.88	0.82	0.88	0.79	0.62	0.63	1.04	1.72	2.23	2.15
Süd-cyan	3.43	3.09	2.75	2.12	2.06	2.31	1.49	0.84	0.64	0.75	0.82	0.86	1.03	1.29	0.79	0.70	0.62	0.72	0.94	2.35	2.60	3.25	3.47	3.50
Ost-grün	1.30	0.83	0.69	0.64	0.69	0.80	0.62	0.63	1.00	1.39	0.98	0.75	0.69	1.13	2.37	3.06	3.71	4.26	6.35	4.53	4.23	2.97	2.89	2.89
Ost-blau	1.43	0.77	0.63	0.60	0.71	0.78	0.61	0.62	0.95	1.55	1.08	0.72	1.08	1.34	1.33	1.13	1.26	1.96	3.26	4.71	3.69	2.64	3.13	3.09
Ost-rot	2.15	0.87	0.65	0.59	0.71	1.03	1.19	0.85	0.78	0.96	0.87	0.78	0.86	1.62	1.64	1.52	1.67	2.22	2.55	2.72	2.50	1.98	1.78	1.76
West-grün	0.75	0.63	0.64	1.03	1.43	1.67	2.23	2.80	2.46	2.29	2.31	3.16	2.33	1.86	1.21	0.69	0.66	0.59	0.59	0.67	0.74	1.03	0.99	0.78
West-blau	0.66	0.61	0.64	1.22	1.43	1.67	2.23	2.57	2.30	2.29	2.31	2.21	1.89	1.54	1.23	0.90	0.79	0.59	0.70	0.81	0.92	0.83	0.85	0.70
West-rot	3.43	5.98	6.99	5.29	6.77	5.67	2.43	1.81	1.70	1.90	1.60	1.21	1.04	1.11	0.97	0.85	0.86	0.97	1.42	1.42	2.26	2.75	2.86	3.18

Tab. 6.1c: zeitlich gemittelte Windgeschwindigkeit in m/s an der Windmessposition D3 in 24,4m Höhe als Einstellwert der Grenzwindgeschwindigkeit zur Steuerung des Sonnenschutzes (Beispielrechnung für maximal zulässige Spitzenwindgeschwindigkeit von 10 m/s im Nahbereich der Markisolette)

Zonen	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°	195°	210°	225°	240°	255°	270°	285°	300°	315°	330°	345°
Süd-grün	19.5	18.2	18.4	18.4	24.0	24.0	24.0	14.1	10.0	10.7	10.0	9.9	8.7	7.3	8.8	8.2	8.8	7.9	6.2	6.3	10.4	17.2	22.3	21.5
Süd-cyan	24.0	24.0	24.0	21.2	20.6	23.1	14.9	8.4	6.4	7.5	8.2	8.6	10.3	12.9	7.9	7.0	6.2	7.2	9.4	23.5	24.0	24.0	24.0	24.0
Ost-grün	13.0	8.3	6.9	6.4	6.9	8.0	6.2	6.3	10.0	13.9	9.8	7.5	6.9	11.3	23.7	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Ost-blau	14.3	7.7	6.3	6.0	7.1	7.8	6.1	6.2	9.5	15.5	10.8	7.2	10.8	13.4	13.3	11.3	12.6	19.6	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Ost-rot	21.5	8.7	6.5	5.9	7.1	10.3	11.9	8.5	7.8	9.6	8.7	7.8	8.6	16.2	16.4	15.2	16.7	22.2	24.0	24.0	24.0	19.8	17.8	17.6
West-grün	7.5	6.3	6.4	10.3	14.3	16.7	22.3	24.0	24.0	22.9	23.1	24.0	23.3	18.6	12.1	6.9	6.6	5.9	5.9	6.7	7.4	10.3	9.9	7.8
West-blau	6.6	6.1	6.4	12.2	14.3	16.7	22.3	24.0	23.0	22.9	23.1	22.1	18.9	15.4	12.3	9.0	7.9	5.9	7.0	8.1	9.2	8.3	8.5	7.0
West-rot	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	18.1	17.0	19.0	16.0	12.1	10.4	11.1	9.7	8.5	8.6	9.7	14.2	14.2	22.6	24.0	24.0	24.0

## 7 Literatur

- [1] Bundesverband Rolladen + Sonnenschutz e.V.: Technische Richtlinie TR106, Abschlüsse und Markisen - Windeinflüsse, 2014
- [2] 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
- [3] Counihan, J.: Simulation of an adiabatic urban boundary layer in a wind tunnel. Atmospheric Environment, Vol.7, 673-689, Pergamon, 1973
- [4] Deutscher Wetterdienst: Deutscher Windatlas, 3. Auflage Version 6, Potsdam 2019
- [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