

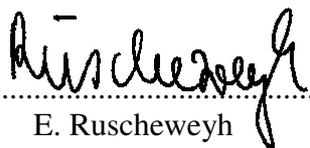
Windkanaluntersuchung zur Ermittlung des Windkomforts in der Umgebung des BV „BASECAMP“ in Bochum

Gliederung:

1. Aufgabenstellung
 2. Modell und Versuchseinrichtung
 3. Versuchsdurchführung
 4. Zur Berechnung der Behaglichkeit
 5. Meteorologische Kenndaten
 6. Der Behaglichkeitsgrenzwert
 7. Bewertung
 8. Zusammenfassung und Bewertung
 9. Literatur
 10. Nachuntersuchung an der Messstelle M20
 - 10.1 Modellanpassung
 - 10.2 Maßnahmen
 - 10.3 Wegfall des Gebäudes 3a und Erhöhung des Treppenhauses
- Anhang A: Grafiken und Wertetabelle**

Der Bericht umfasst 34 Seiten (incl. Anhang A).

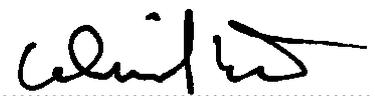
Aachen, 26.9.2018



E. Ruscheweyh
(Geschäftsführer)



Prof. Dr.-Ing. H. Ruscheweyh
(Geschäftsführer)



Dipl.-Ing. R. Windhövel
(Ruscheweyh Consult GmbH)

1. Aufgabenstellung

In direkter Nähe zum Hauptbahnhof Bochum sollen auf einer zu erhaltenden Bunkeranlage ein etwa 68,5 m (über Gelände) hohes Hochhaus und ein Parkhaus errichtet werden. Als Nutzung des als „BASECAMP“ bezeichneten Projektes sind Studentenwohnungen oder ein Hotelbetrieb vorgesehen. Im Rahmen dieser Windkanaluntersuchung sollen die bodennahen Windgeschwindigkeiten in der Umgebung des BV untersucht werden. Anhand der gemessenen Windgeschwindigkeiten soll der Windkomfort für den Fußgängerbereich bewertet werden.

2. Modell und Versuchseinrichtung

Mit den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen wird das Modell der geplanten Gebäude einschließlich der bestehenden umgebenden Bebauung im

Maßstab 1 : 300

erstellt. **Bild 1** zeigt den Lageplan vom 13.10.2017 erstellt durch Gerber Architekten. In **Bild 2** ist ein Architekturmodell und in **Bild 3** eine 3D-Visualisierung zu sehen. Der Versuch wird im firmeneigenen Grenzschichtwindkanal der Ruscheweyh Consult GmbH durchgeführt. Die **Bilder 4.1 bis 4.3** zeigen das Modell im Windkanal. Die natürliche Windströmung (Windprofil und Windturbulenz) wird in diesem Windkanal durch entsprechende Einrichtungen wie Wirbelgeneratoren und Rauigkeitsstrecke simuliert (**Bild 5**).

Das Modell ist auf einem Drehtisch montiert, so dass alle Windrichtungen nachgebildet werden können. Eine Geschwindigkeitsmesssonde (Thermosonde) wird von unten durch das Modell eingeführt, um die lokale Windgeschwindigkeit zu messen (**Bild 6**). In **Bild 7** ist der Versuchsaufbau im Windkanal zu sehen.

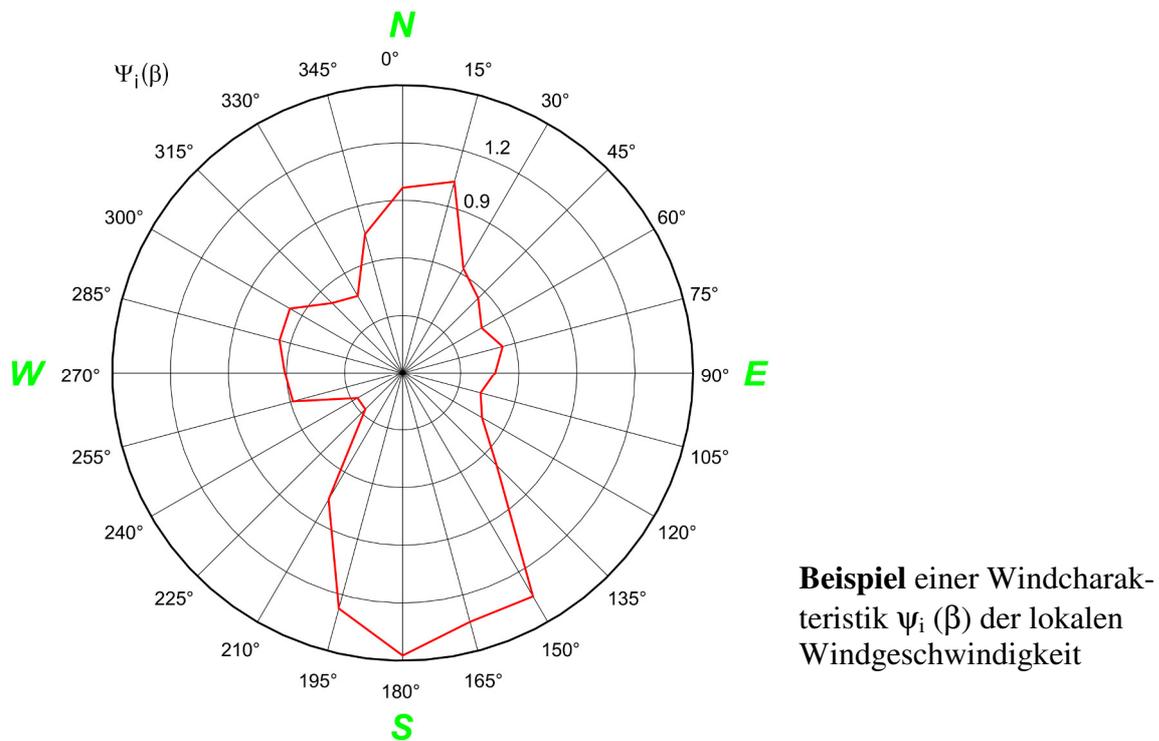
Es wurde an 27 Messstellen in der Höhe z_f (hier $z_f = 2,10$ m) die bodennahen Windgeschwindigkeiten in der Umgebung des BV „BASECAMP“ gemessen (**Bild 8**). Die Nordrichtung und der Anströmwinkel β relativ zur Nordrichtung sind ebenfalls in **Bild 8** definiert. Bei der Darstellung der Ergebnisse in grafischer und numerischer Form in **Anhang A** bedeutet dabei 0° Wind aus Richtung Norden, 90° Wind aus Richtung Osten usw.

3. Versuchsdurchführung

Im Versuch wird an jeder Messstelle die lokale bodennahe Windgeschwindigkeit v_i in Abhängigkeit von der Windrichtung β (Def. siehe **Bild 8**) gemessen und auf die ungestörte Windgeschwindigkeit in 2,10 m Höhe (v_∞) bezogen. Es ergibt sich so ein Geschwindigkeitsfaktor ψ_i (Windcharakteristik)

$$\psi_i = \left(\frac{v_i}{v_\infty}\right)_{z_f=2,10m} \quad (1)$$

der angibt, um wie viel größer oder kleiner die lokale Geschwindigkeit v_i gegenüber der ungestörten Geschwindigkeit v_∞ (nicht windgeschützter Bereich) ist. Man erhält für jede Meßstelle die Windcharakteristik $\psi_i(\beta)$ (s. Beispiel).



Die ermittelten Windcharakteristiken sind in den Bildern im **Anhang A** dargestellt. Die numerischen $\psi_i(\beta)$ -Werte sind in der **Tabelle A1** im **Anhang A** enthalten.

Aus den **Bildern A1 bis A27** erkennt man, dass es an den Messstellen M10, M14, M17, M18 und M20 Bereiche mit höherer Windgeschwindigkeit gibt. Dies führt - wie später ausgeführt wird - zu einer Einschränkung in der Behaglichkeit. Hingegen sind bei den Messstellen M01 bis M03, M05, M08, M09, M12, M13 und M21 bis M27 die Windgeschwindigkeiten klein, und es ist zu erwarten, dass dort die Behaglichkeit groß ist.

4. Zur Berechnung der Behaglichkeit

Aus der Windcharakteristik $\psi_i(\beta)$ lässt sich mit Hilfe der örtlichen Windstatistik die Anzahl der Tage pro Jahr ermitteln [1], bei der ein bestimmter Grenzwert der Windgeschwindigkeit, v_{Grenz} , überschritten wird. Dabei sind die Messwerte, die bei $z_f = 2,10$ m Höhe gemessen werden, auf die meteorologische Höhe von $z = 10$ m hochzurechnen:

$$v_{10,i} = \frac{v_{\text{Grenz}}}{\psi_i} \left(\frac{10}{2,10} \right)^\alpha \quad (2)$$

Der Grenzwert v_{Grenz} ist in Abschnitt 6 definiert.

Mit Hilfe der Weibullverteilung

$$f_i = e^{-\left(\frac{v_{10,i}}{v_o} \right)^k} \quad (3)$$

(v_o und k sind die Weibullparameter, siehe **Tabelle 1**) wird die Überschreitenswahrscheinlichkeit f_i des Gesamtwindkollektivs ermittelt. Bezieht man den Wert f_i auf 360 Tage im Jahr und führt man die Teilauftrittswahrscheinlichkeit p_n der einzelnen n Windrichtungssektoren ein, so erhält man die Anzahl der Tage pro Windsektor $N_i(\beta)$, bei der der Grenzwert v_{Grenz} überschritten wird

$$N_i(\beta) = p_n \cdot f_{i,n} \cdot 360 \text{ Tage} \quad (4)$$

Der Summenwert N_i für alle Windsektoren ergibt sich zu

$$N_i = \sum_{n=1}^{12} N_i(\beta) \quad (5)$$

p_n = Teilauftrittswahrscheinlichkeit des Windes im Windrichtungssektor β
(in **Tabelle 1** genannt: Freq)

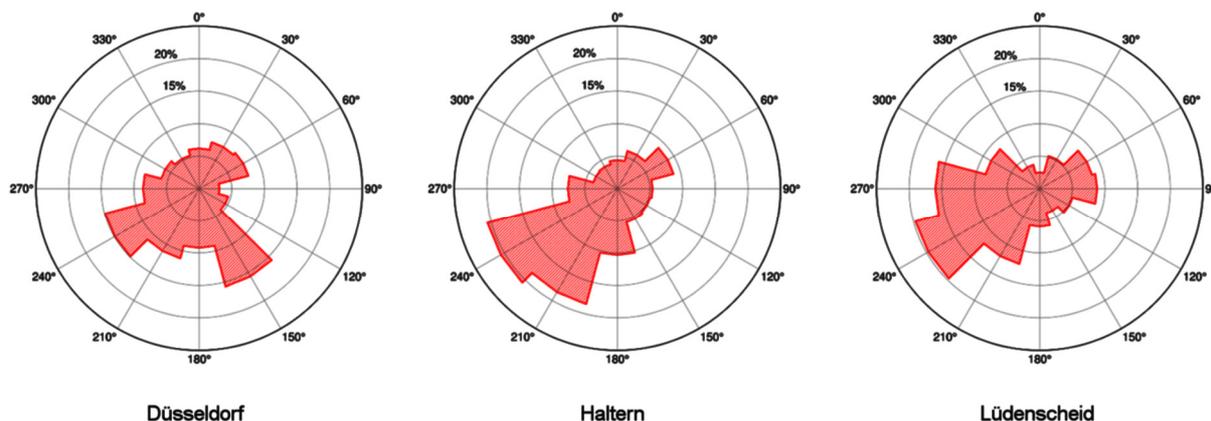
v_o = Modalwert der Weibullverteilung (in **Tabelle 1** genannt: A)

k = Exponent der Weibullverteilung

α = Exponent des Windprofils an der Windmessstation, hier: $\alpha = 0,16$

5. Meteorologische Kenndaten

Für den Standort Bochum findet sich in der einschlägigen Literatur keine Windstatistik, mit der sich die in Abschnitt 4 beschriebenen Berechnungen durchführen lassen. In [3] gibt es Windstatistiken für die umgebenden Städte Düsseldorf, Haltern und Lüdenscheid. Verbindet man auf der Landkarte diese Städte mit Linien, so erhält man ein Dreieck in dessen Zentrum sich der Standort Bochum befindet. Beim Vergleich der Windrosen der drei Städte fällt auf, dass überall südliche Winde vorherrschend sind.



Windrosen der drei benachbarten Städte [3]

Die Auswertung wurde für alle drei Städte durchgeführt und die Ergebnisse stellen sich als ähnlich dar. So erscheint es den Verfassern statthaft, hier die Windstatistik „Düsseldorf“ für die Bewertung auszuwählen. Die Daten sind in **Tabelle 1** aufgelistet. In der Tabelle fällt auf, dass die Modalwerte A für die SE- bis W-Winde ($\beta = 150^\circ$ bis 270°) relativ groß sind. Das zeigt, dass sich hier die Windhäufigkeit zu größeren Windgeschwindigkeiten verschiebt. Außerdem hat die Windhäufigkeit (Freq) dort ihr Maximum. Es ist somit zu erwarten, dass sich diese Windrichtungen stärker in der Überschreitenshäufigkeit des Komfortgrenzwertes bemerkbar machen. Fallen darüber hinaus Extremwerte der Windcharakteristiken mit diesen Windrichtungen zusammen, wird die Überschreitenswahrscheinlichkeit des Komfortgrenzwertes weiter angehoben.

Sektor	Freq	A	k
0	6,2	2,7	1,69
30	7,4	2,7	1,69
60	7,8	3,4	1,87
90	3,1	2,2	1,51
120	4,6	2,7	1,71
150	15,7	4,8	2,58
180	9,2	4,8	2,40
210	11,2	5,0	2,12
240	14,9	4,7	1,91
270	8,6	4,0	1,86
300	6,0	3,7	1,99
330	5,3	3,3	1,74

Tabelle 1: Meteorologische Kenndaten für Düsseldorf aus [3]
(für Gleichung (3) und (4): $A = v_o$, $\text{Freq} = p_n$)

Anmerkung: Die Bereitstellung einer standortbezogenen Windstatistik durch den DWD ist zeit- und kostenintensiv. Erfahrungsgemäß werden aber dadurch keine signifikant anderen Ergebnisse erzielt.

6. Der Behaglichkeitsgrenzwert

Nach Gandemer/Guyot: „La protection contre le vent“, 1981 [2], wird ein Ort als „ausreichend behaglich“ bezeichnet, wenn der Grenzwert der Windgeschwindigkeit von

$$v_{\text{Grenz}} = 5 \text{ m/s}$$

in nicht mehr als x-Tagen im Jahr überschritten wird. Dabei wird unterstellt, dass die Turbulenz des Windes in Bodennähe etwa 20% beträgt, so dass die effektive Böengrenzgeschwindigkeit 6 m/s beträgt.

Für den Wert „x“ kann gesetzt werden:

Komfortkategorie A: Für Straßen, Bürgersteige und Parkzonen:
x = 20% des Jahres = ~ **72 Tage im Jahr**

Komfortkategorie B: Für Promenaden, Fußgängerpassagen, Eingangsbereiche:
x = 10 % des Jahres = ~ **36 Tage im Jahr**

Komfortkategorie C: Für Ruheplätze, Spielplätze, öffentliche Gärten, Galerien:
x = 5 % des Jahres = ~ **18 Tage im Jahr**

Anmerkung: Bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von 5 m/s beginnt die Windeinwirkung auf den Menschen unangenehm zu werden: Staub wird aufgewirbelt, der Winddruck wird als lästig empfunden, die Kopfhare werden verwirbelt etc.

Ein ähnliches Bewertungskriterium findet sich in der Niederländischen Norm NEN 8100 [5]. In dieser Norm sind die gleichen Grenzwerte für die Überschreitungshäufigkeiten wie bei Gandemer angegeben, jedoch ist am oberen und unteren Rand jeweils eine Bewertungskategorie hinzugefügt. Weiterhin wird eine Aussage über die Gefährdung bei stärkeren Winden gemacht. Die **Tabelle 2** gibt die Bewertung nach NEN 8100 an. In **Tabelle 3** ist der Vergleich zwischen Gandemer und NEN 8100 deutlich gemacht.

Windkomfort					
Überschreitungshäufigkeit $v_{Grenz} > 5 \text{ m/s}$ [%]		Kategorie	Aktivität		
[d/a]	I normales Gehen		II flanieren	III sitzen / stehen	
< 2,5	< 9	A	gut	gut	gut
2,5 - 5	9 - 18	B	gut	gut	mäßig
5 - 10	18 - 36	C	gut	mäßig	schlecht
10 - 20	36 - 72	D	mäßig	schlecht	schlecht
> 20	> 72	E	schlecht	schlecht	schlecht

Gefährdung durch bodennahe Windgeschwindigkeiten		
Überschreitungshäufigkeit $v_{Grenz} > 15 \text{ m/s}$ [%]		Gefährdungspotential
[d/a]		
0,05 - 0,3	0,18 - 1,08	begrenzt Risiko
> 0,3	> 1,08	gefährlich

Tabelle 2: Windkomfort und Gefährdung durch bodennahe Windgeschwindigkeiten nach NEN 8100 [4]

Gandemer		NEN 8100	
Kategorie	Überschreitungshäufigkeit $v_{Grenz} > 5 \text{ m/s}$ in [d/a]	Kategorie	Überschreitungshäufigkeit $v_{Grenz} > 5 \text{ m/s}$ in [d/a]
C	< 18	A	< 9
		B	9 - 18
B	18 - 36	C	18 - 36
A	36 - 72	D	36 - 72
-	> 72	E	> 72

Tabelle 3: Windkomfortkategorien nach Gandemer [2] und NEN 8100 [5] im Vergleich

7. Bewertung

Die Bewertung wurde gemäß der Gleichungen (1) bis (5) für jede Messstelle durchgeführt. Das Ergebnis ist in der **Tabelle A1** im **Anhang A** wiedergegeben. Darin sind nicht nur die Summenwerte N_i sondern auch die Windsektorenwerte $N_i(\beta)$ aufgelistet. Die Summenwerte sind in der **Tabelle 4** wiederholt.

Die Einordnung der Summenwerte N_i der einzelnen Messstellen in die Komfortkategorien gemäß Abschnitt 6 ist dem Anwender überlassen. In jedem Fall sind die Messstellen M18 und M20 nicht für „Flanieren, Sitzen und Stehen“ geeignet, sondern nur für normales Gehen auf Straßen und Bürgersteigen. Die Messstellen M10, M14 und M17 sind für „normales Gehen“ als gut und für „Flanieren“ als mäßig einzustufen. Bei den Messstellen M06, M11 und M16 ist die Aktivität „Sitzen/Stehen“ eingeschränkt. Bei allen anderen ausgewerteten Stellen sind alle Aktivitäten gut ausführbar.

Mess- stelle [-]	N _i [d/a]	Mess- stelle [-]	N _i [d/a]	Mess- stelle [-]	N _i [d/a]
M01	3,4	M10	26,0	M19	7,6
M02	0,0	M11	12,8	M20	36,2
M03	0,5	M12	5,3	M21	0,7
M04	5,8	M13	4,7	M22	0,1
M05	0,9	M14	28,2	M23	0,9
M06	9,9	M15	8,9	M24	1,2
M07	6,8	M16	13,7	M25	0,0
M08	1,1	M17	24,8	M26	0,4
M09	6,3	M18	34,6	M27	0,2

Tabelle 4: Zusammenfassung der Tage pro Jahr (d/a) des Überschreitens des Grenzwertes von 5 m/s

Eine graphische Darstellung der Summenwerte N_i ist im **Bild 9** wiedergegeben. Es sind die Komfortkategoriegrenzen eingezeichnet. Damit sind die Messstellen leicht den Komfortkriterien zuzuordnen.

In **Tabelle 5** ist die Gefährdung bei stärkeren Winden angegeben. Nach der NEN 8100 ergibt sich keine Gefährdung durch besonders hohe Windgeschwindigkeiten in Bodennähe.

Mess- stelle [-]	N _i [d/a]	Mess- stelle [-]	N _i [d/a]	Mess- stelle [-]	N _i [d/a]
M01	0,00	M10	0,00	M19	0,00
M02	0,00	M11	0,00	M20	0,03
M03	0,00	M12	0,00	M21	0,00
M04	0,00	M13	0,00	M22	0,00
M05	0,00	M14	0,00	M23	0,00
M06	0,00	M15	0,00	M24	0,00
M07	0,00	M16	0,00	M25	0,00
M08	0,00	M17	0,01	M26	0,00
M09	0,00	M18	0,00	M27	0,00

Tabelle 5: Zusammenfassung der Tage pro Jahr (d/a) des Überschreitens des Grenzwertes von 15 m/s

8. Zusammenfassung und Bewertung

In einem Windkanalversuch für das BV „BASECAMP“ in Bochum wurden die bodennahen Windgeschwindigkeiten an bestimmten Stellen gemessen und hinsichtlich des Windkomforts beurteilt. Es zeigte sich, dass die Messstellen M18 und M20 im Untersuchungsgebiet durch bodennahe Windgeschwindigkeiten am höchsten belastet werden. Hier ist im Prinzip nur „normales Gehen“ möglich. Im Bereich der Messstellen M10, M14 und M17 ist das „Flanieren“ und im Bereich von M06, M11 und M16 das „Sitzen/Stehen“ eingeschränkt möglich. Alle anderen untersuchten Stellen weisen sehr kleine bodennahe Windgeschwindigkeiten auf und bieten für Sitz- und Flanierbereiche einen ausreichenden Windschutz. Eine Gefährdung durch bodennahe Windgeschwindigkeiten lässt sich nicht feststellen.

Eine geringe Variation der Gebäudehöhe (ca. ± 3 m) hat keinen Einfluss auf die Windgeschwindigkeit in Bodennähe. Die Bahnsteige sind weit genug vom „BASECAMP“-Gebäude entfernt, so dass dort keine nennenswerte Beeinflussung des Windkomforts zu erwarten ist. Die verhältnismäßig hohe Windbelastung an der Messstelle 20 (Toreinfahrt zum Innenhof) wird durch den Südwestwind geprägt. Der Wind stößt auf die Wand des Hochhauses und wird nach unten abgedrängt. Eine Verbesserung des Windkomforts an der Toreinfahrt kann also nur erreicht werden, wenn diese Abwärtsströmung weitgehend blockiert wird.

9. Literatur

- [1] H. Ruscheweyh, R. Windhövel: Windkomfortuntersuchung im Einflussbereich von hohen Gebäuden, WtG-Berichte Nr. 8, Windwirkungen auf Bauwerke und deren Umgebung, 2003
- [2] J. Gandemer, A. Guyot: La protection contre le vent, Centre Scientifique et Technique du Batiment, Nantes, France, 1981
- [3] DWD: Winddaten für Windenergienutzer, 2. Auflage, Version 6
- [4] L. Aanen, G.M. van Uffelen: The evolution of the application of CFD on pedestrian wind comfort in engineering practice, a validation study, proceedings EACWE 5, 2009
- [5] NEN 8100 (2006): Wind comfort and wind danger in the built environment, Nederlands Normalisatie-Instituut
- [6] Gerber Architekten
[7] NN
BASECAMP, Broschüre für B-Plan, 13. 10. 2017
BaseCamp Bochum_TP_Lageplan zur Planung-Leitungen_21047.04_2017-10-08.DWG
- [8] Land NRW (2017) Datenlizenz Deutschland - Namensnennung - Version 2.0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0)
URI: https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/lika/alkis_sek/bda_oe/bda_oe_05911000_Bochum_EPSG25832_NAS.zip
- Download des NRW-Datenbestands ALKIS Bestandsdatenauszug ohne Eigentümer als Atom-Feed.
Stand der verwendeten Daten: 01.07.2017
Herausgeber: Geobasis NRW
Katalog: GEOkatalog.NRW
Hinweis: Die Daten wurden verändert.

10. Nachuntersuchung an der Messstelle M20

An der Messstelle M20 (Toreinfahrt) werden die größten Summenwerte N_i für die Windbelästigung festgestellt. In der ersten Untersuchung war ein Tor mit einer Porosität von 50% simuliert worden. Dieses Tor soll nun wegfallen. In einer Nachuntersuchung sollen Maßnahmen getestet werden, um den Windkomfort an dieser Stelle zu verbessern.

10.1 Modellanpassung

Das Parkhaus und die angrenzenden Gebäude wurden nach dem aktuellen Planungsstand vom 27.2.2018 im Modell angepasst. Das **Bild 10** kennzeichnet die angepassten Höhen und das **Bild 11** zeigt das Modell mit der angepassten Geometrie.

10.2 Maßnahmen

Zuerst wurde die Messstelle M20 ohne das Tor nachgemessen. Es ergab sich kein wesentlicher Unterschied zum Ergebnis im Bericht RC 2271/1117-1.

Folgende Maßnahmen zur Reduzierung der Windgeschwindigkeiten an der Messstelle M20 wurden durchgeführt:

1. Eine 3,30 m hohe Schutzwand am Ende des 3,60 m hohen Sockels (skizziert im **Bild 10** als „Maßnahme 1“): Es ergab sich keine positive Wirkung.
2. Eine 3,00 m hohe Leitfläche als Abweiser am Gebäudeteil vor der Zufahrt (siehe Foto im **Bild 12**). Diese Maßnahme hatte eine nur sehr geringe Wirkung.
3. Eine Dachfläche über der Zufahrt (siehe Foto im **Bild 13**): keine Wirkung
4. Eine Dachfläche im Mittelteil in Höhe des Parkhauses (siehe Foto im **Bild 14**): Diese Maßnahme hat eine **sehr gute Wirkung**. Es existiert nämlich eine Abwärtsströmung, erzeugt durch den Rückstau an der Hochhauswand bei SSW-Wind. Diese Abwärtsströmung ist in den Strömungsfotos der **Bilder 15 und 16** durch eine Nebelsträhne sichtbar gemacht. Die Dachfläche in Höhe des Parkhauses blockiert diese Abwärtsströmung, was zu einer Entlastung der Windeinwirkung an der Messstelle M20 führt. Die Windcharakteristik verkleinert sich, was in der Gegenüberstellung in **Bild 17** deutlich wird. Der Windkomfortwert sinkt von $N_i = 36,19$ Tage pro Jahr auf $N_i = 11$ Tage pro Jahr und liegt damit im Komfortbereich B (vergleiche Tabelle 2 und Bild 9 im Bericht RC 2271/1117-1). Die Dachfläche könnte z.B. als Glasfläche ausgebildet werden.

10.3 Wegfall des Gebäudes 3a und Erhöhung des Treppenhauses

Der Wegfall des Gebäudes 3a (zweigeschossig) und die Erhöhung des Treppenhauses zum Parkhaus wurde in einem weiteren Modellversuch im Hinblick auf die Windsituation an der Messstelle 20 (Toreinfahrt) untersucht. Die **Bilder 18, 19 und 20** zeigen die geänderte Situation. Es ergaben sich geringfügige Änderungen. Die Windcharakteristik wird für die SSW-Richtung etwas verkleinert (s. **Bild 21** und vergleiche mit **Bild A20** im Anhang) und somit sinkt der Summenwert N_i für die Überschreitung des Grenzwertes von 5 m/s von $N_i = 36,2$ d/a auf $N_i = 30$ d/a. Die Bewertung verbessert sich gemäß **Tabelle 2** von „Flanieren schlecht“ auf „Flanieren mäßig“.



Bild 1: Übersichtsplan, Stand 13.10.2017 (Gerber Architekten, [6])



Bild 2: Ansicht Nord-Ost (Architekturmodell, Gerber Architekten, [6])



Bild 3: Ansicht Nord-Ost (Gerber Architekten, [6])

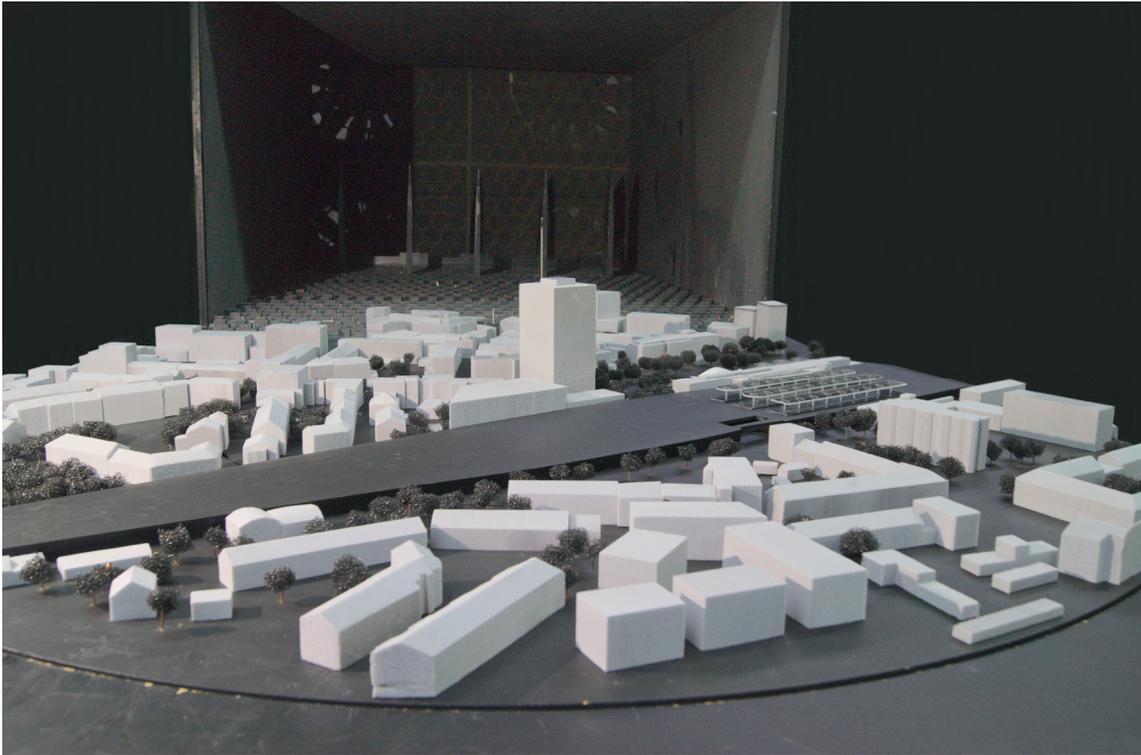


Bild 4.1: Modell mit Umgebungsbebauung auf dem Drehtisch im Windkanal

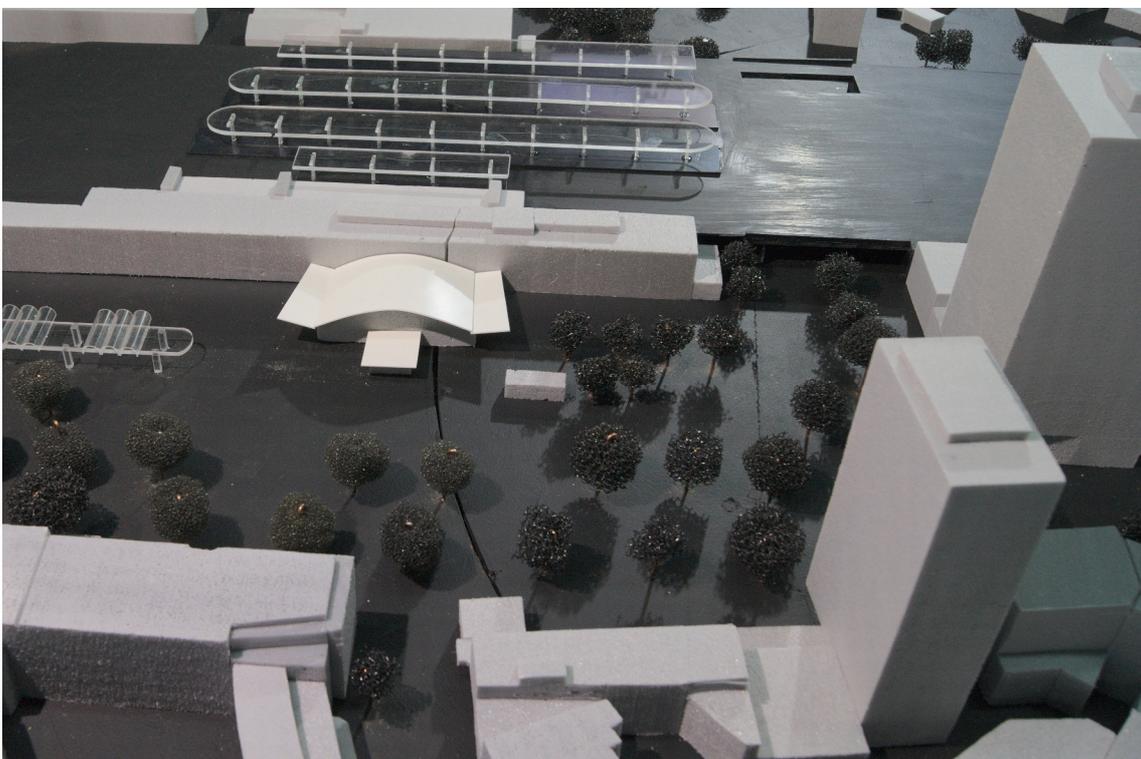


Bild 4.2: Detailansicht des Modells

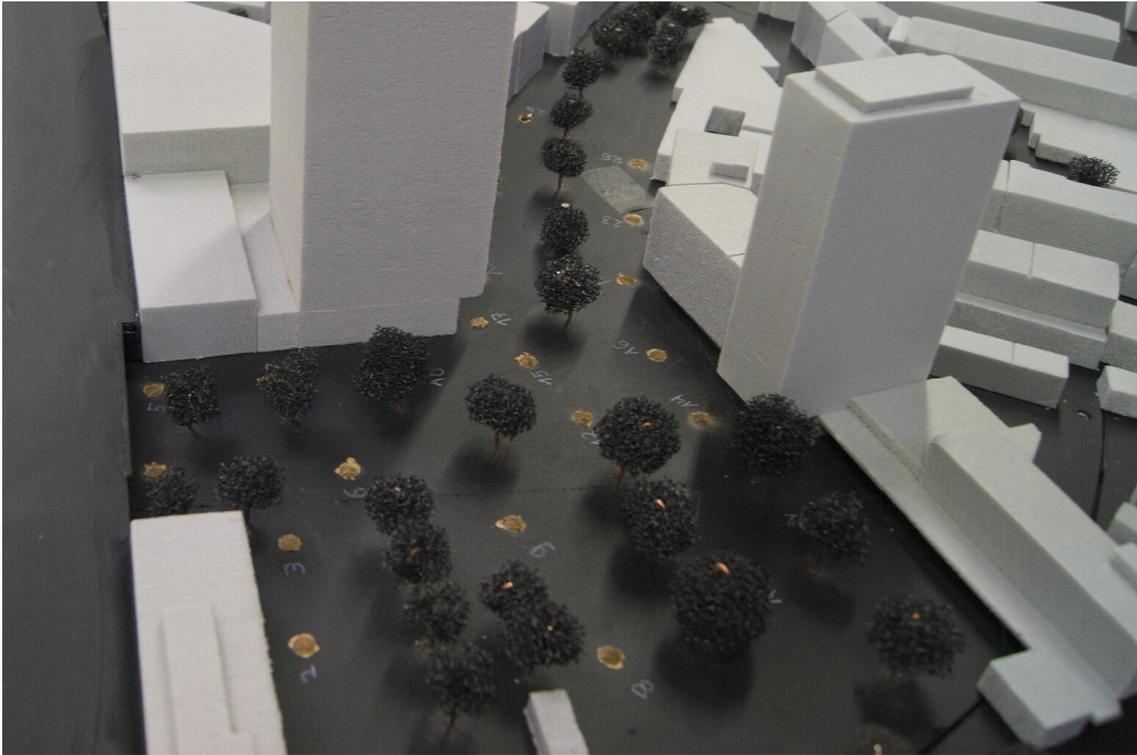


Bild 4.3: Detailansicht des Modells

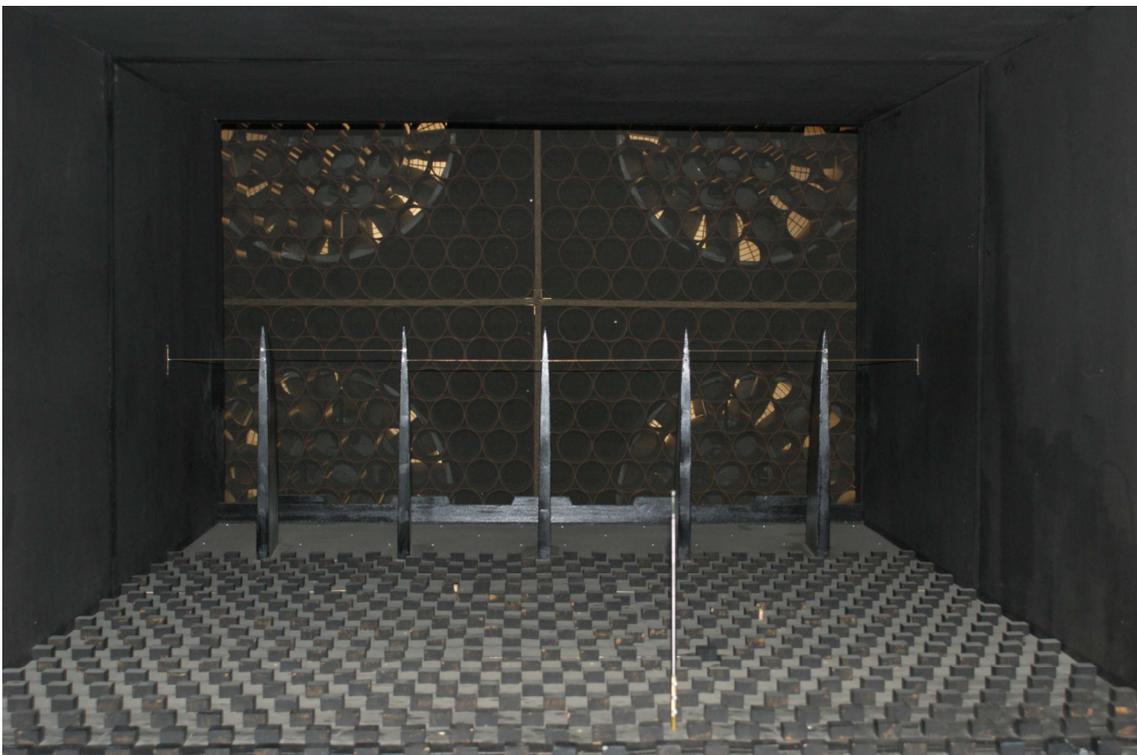
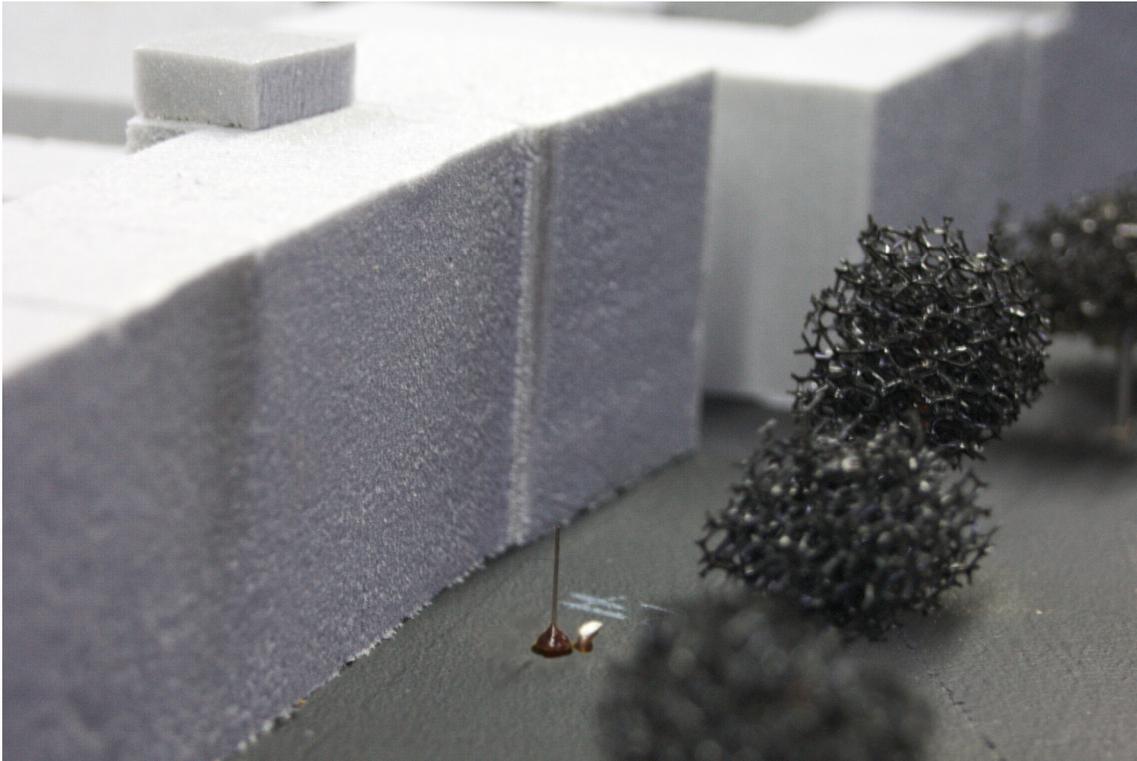


Bild 5: Blick in den Grenzschichtwindkanal der Ruscheweyh Consult GmbH



(Messstelle M27)

Bild 6: Messsonde im Modell

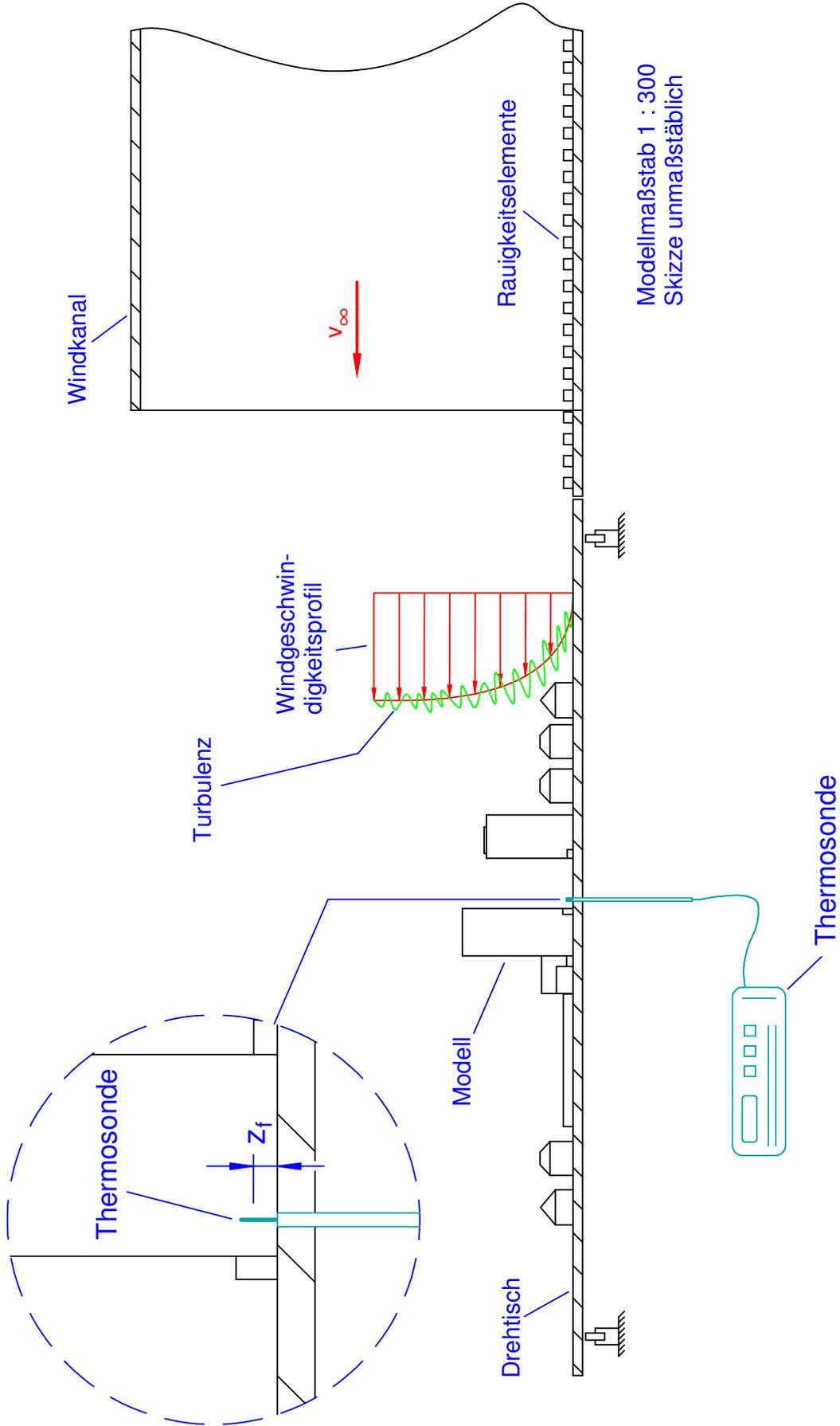


Bild 7: Skizze zum Modell im Grenzschichtwindkanal

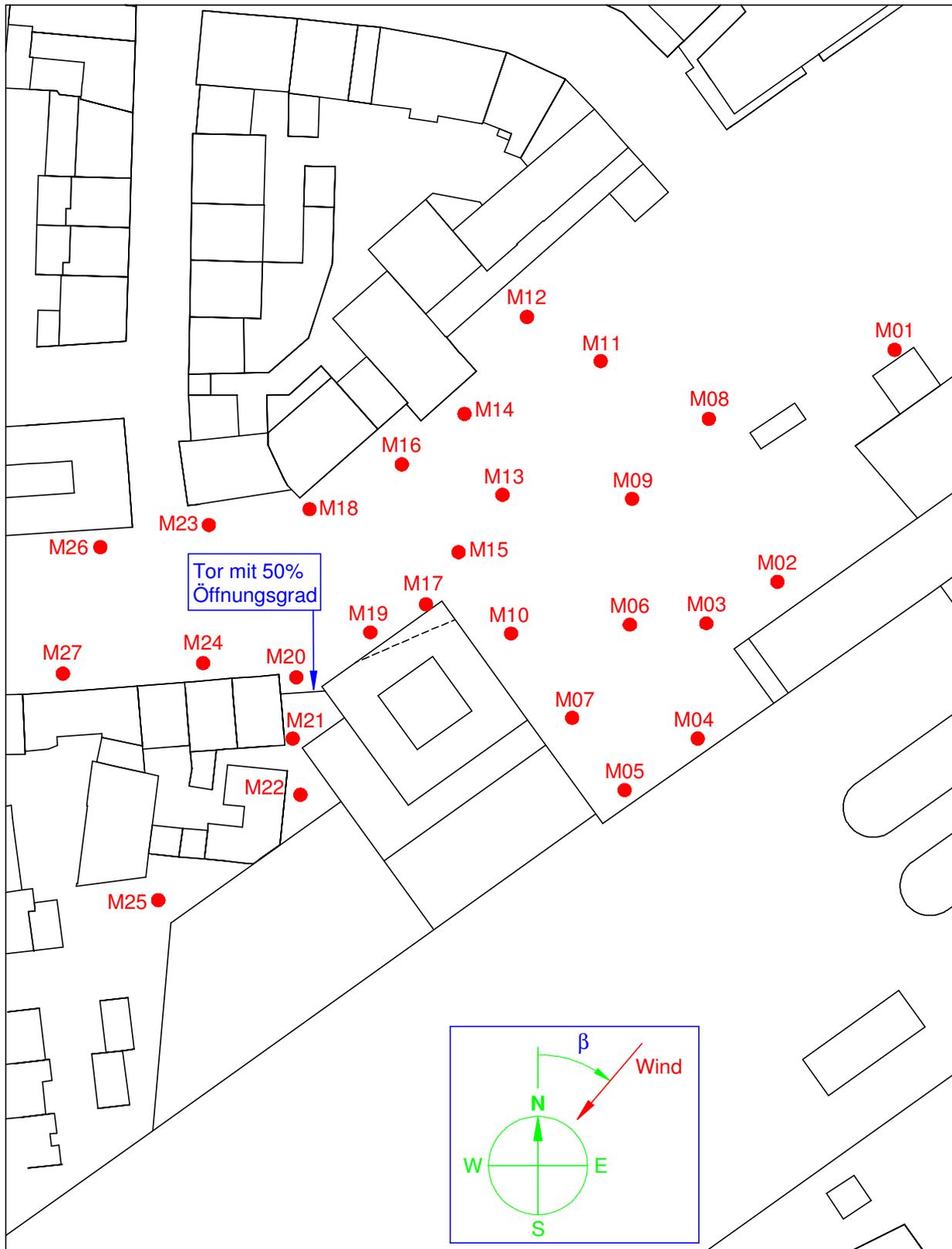


Bild 8: Messstellenplan und Definition der Windrichtung β ([6], [7], [8])

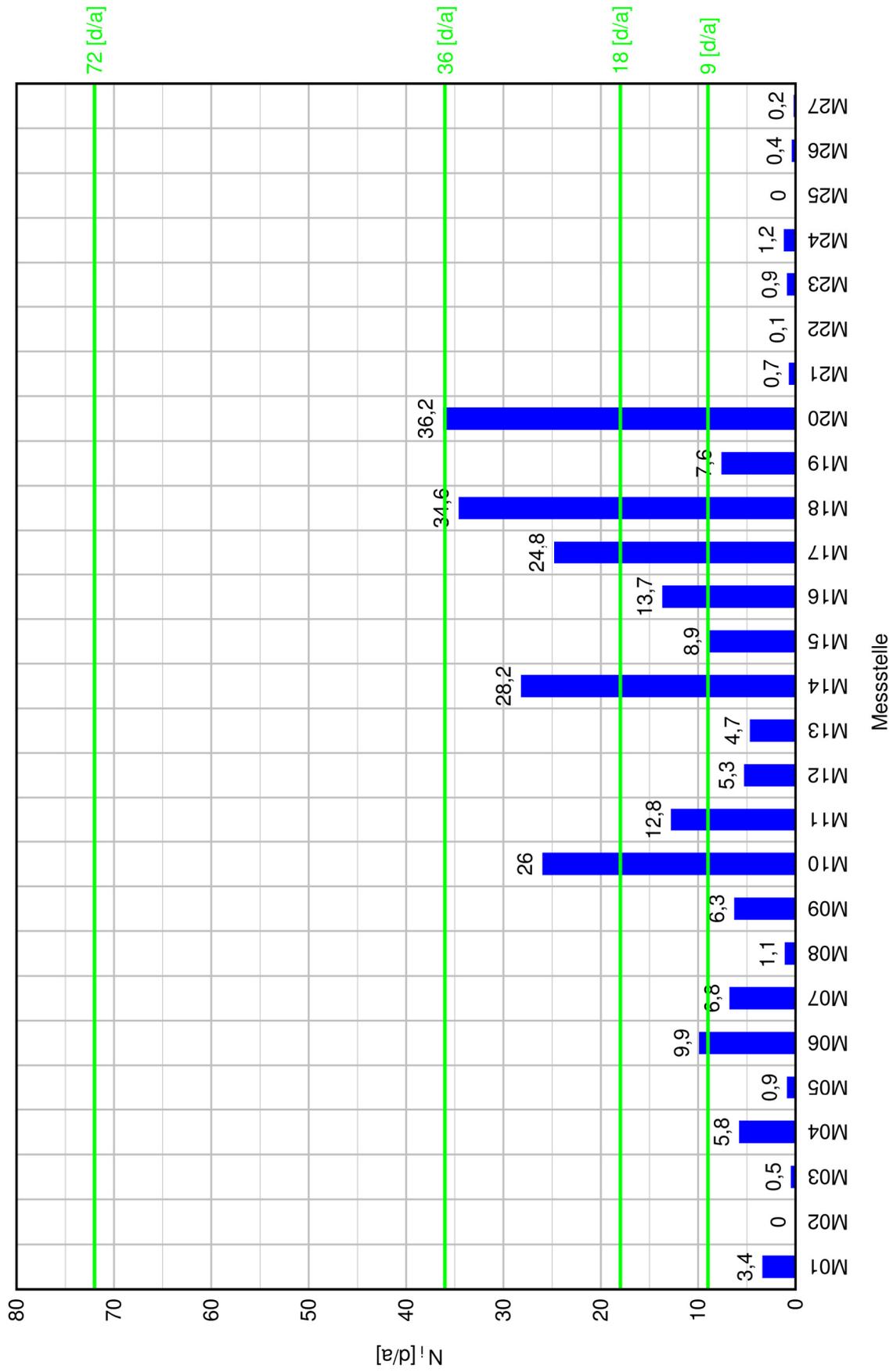


Bild 9: Grafische Darstellung der Summenwerte N_i ($v_{Grenz} = 5\text{m/s}$)

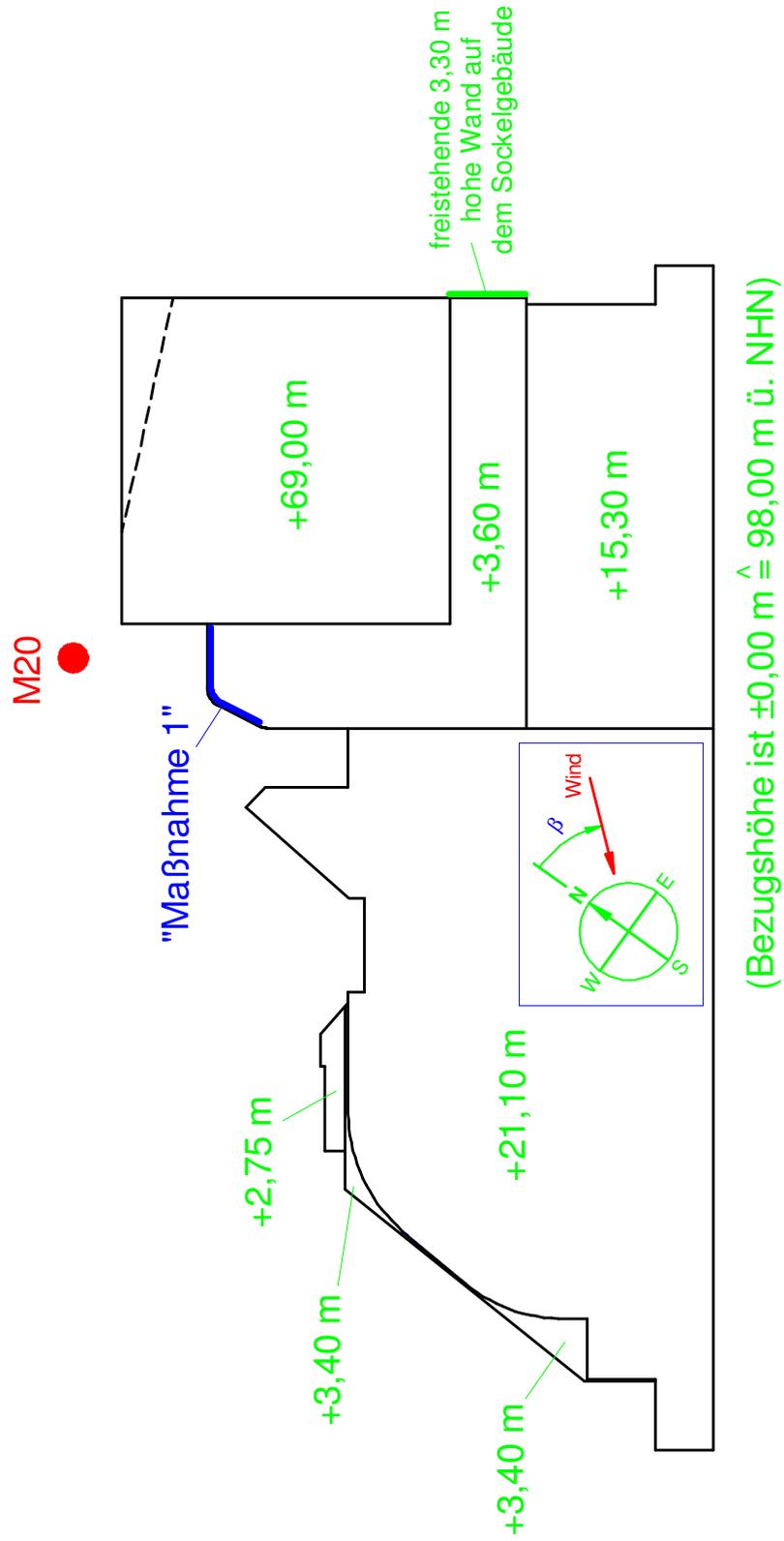


Bild 10: Draufsicht auf das BV „BASECAMP“ mit Angabe der Dachhöhen (Stand 27.2.2018)

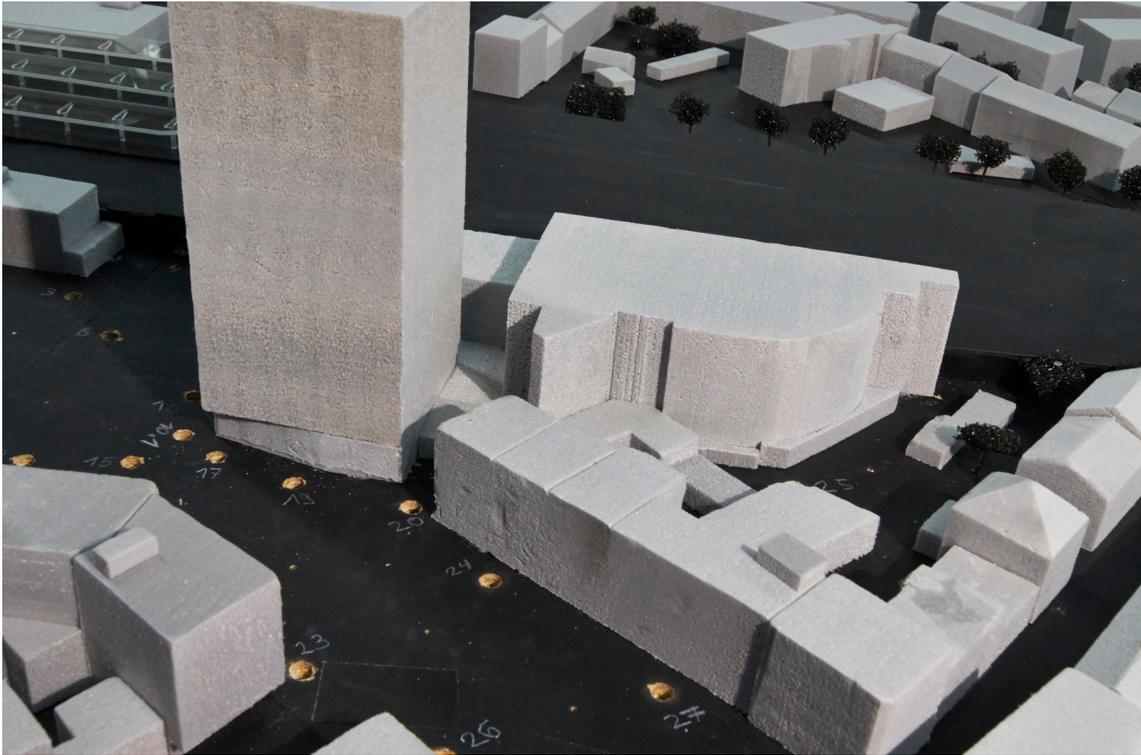


Bild 11: Foto des angepassten Modells



Bild 12: Maßnahme Nr. 2: Leifläche



Bild 13: Maßnahme Nr. 3: Überdachung der Einfahrt

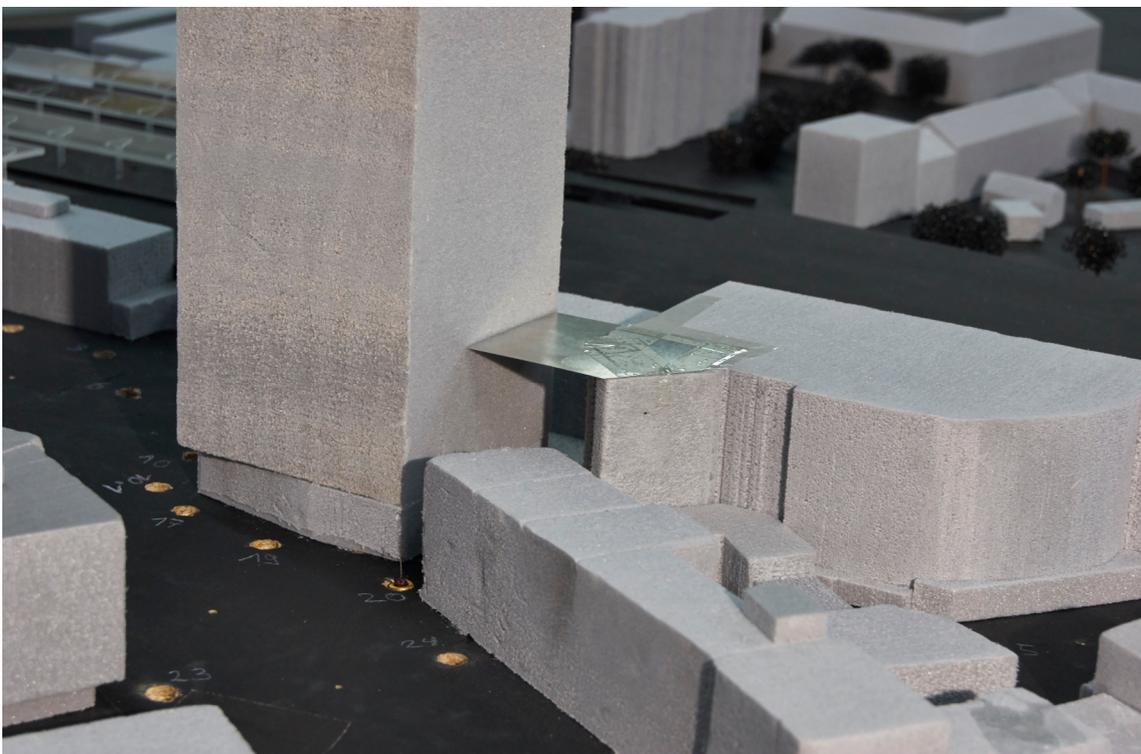


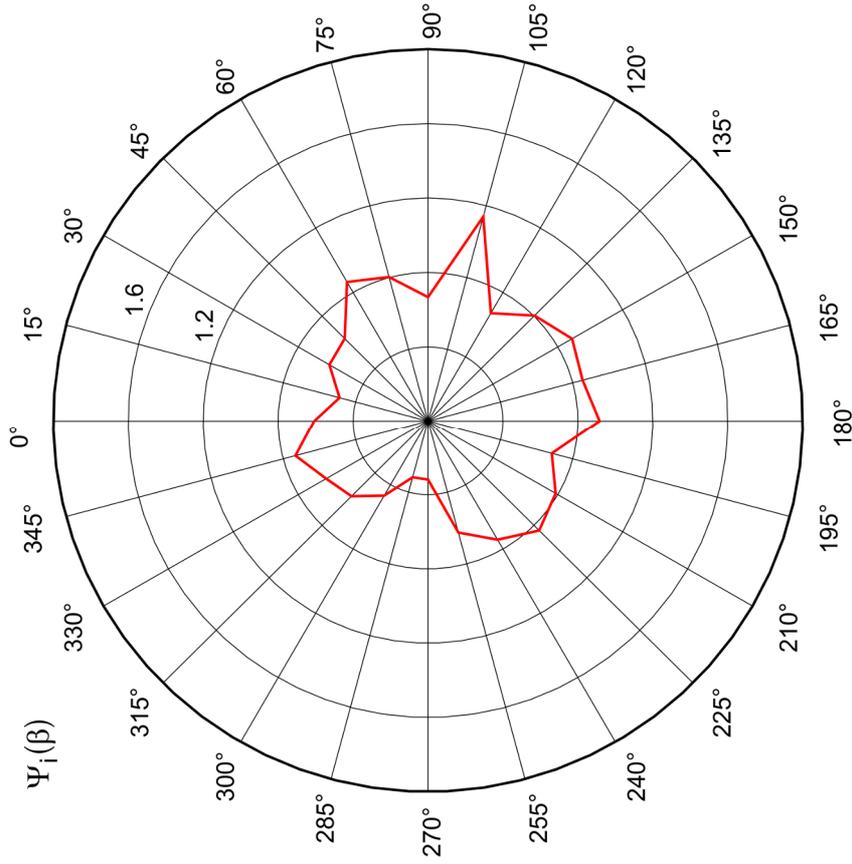
Bild 14: Maßnahme Nr. 4: Dachfläche in Höhe des Parkhauses



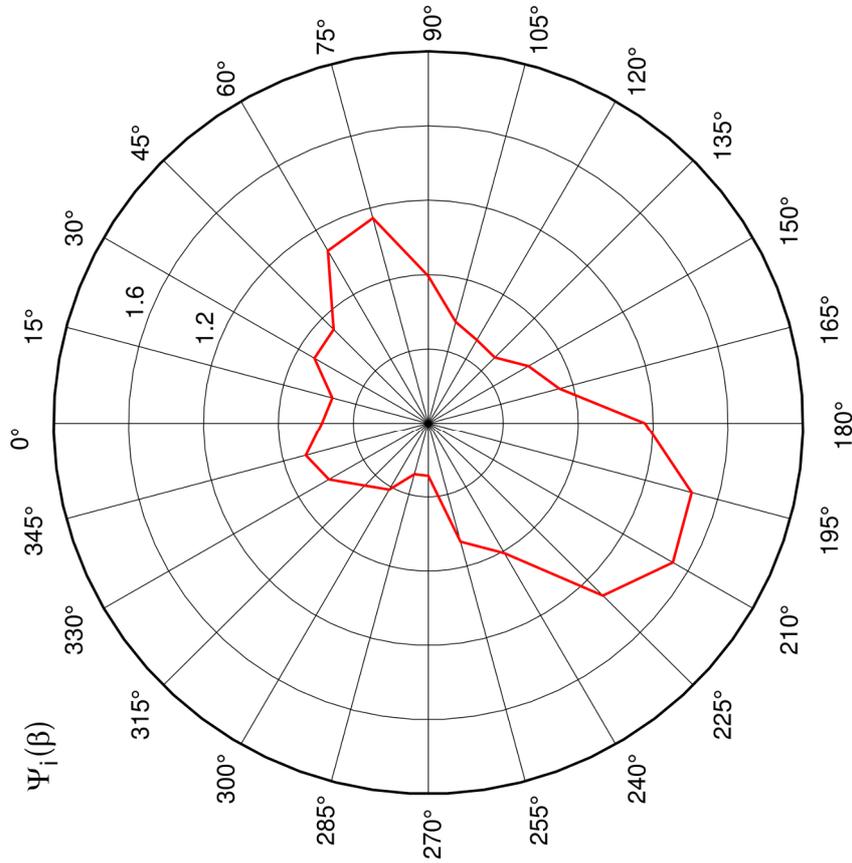
Bild 15: Sichtbarmachung der Abwärtsströmung an der Hauswand des Hochhauses bei SSW-Wind



Bild 16: Sichtbarmachung der Abwärtsströmung an der Hauswand des Hochhauses bei SSW-Wind



Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M20
Maßnahme Nr. 4



Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M20
Ausgangszustand Bericht RC 2271/1117-1

Bild 17: Gegenüberstellung der Windcharakteristiken an der Messstelle M20, Ausgangszustand und mit Maßnahme Nr. 4

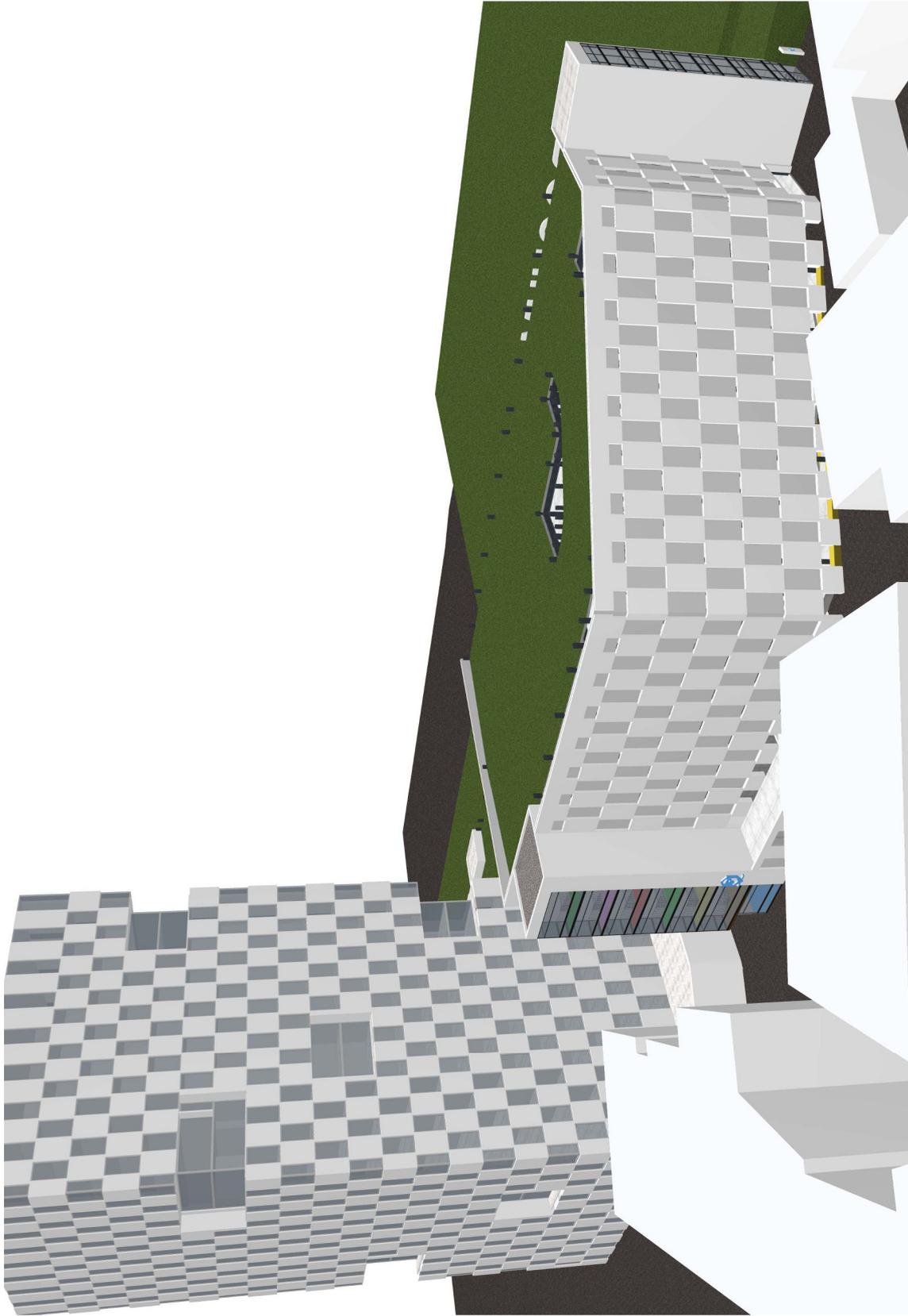


Bild 19: 3D-Darstellung der geänderten Situation am Parkhaus

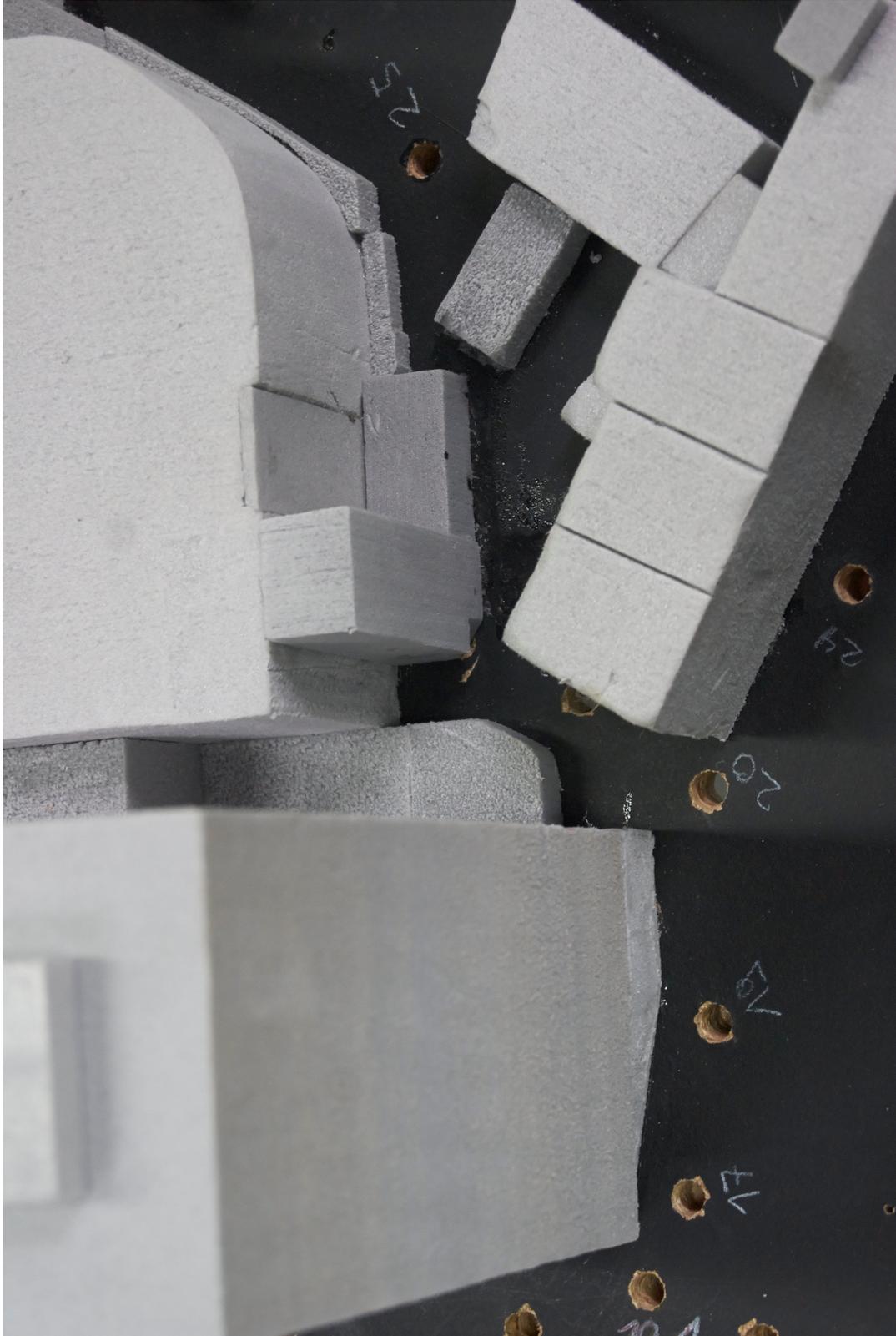
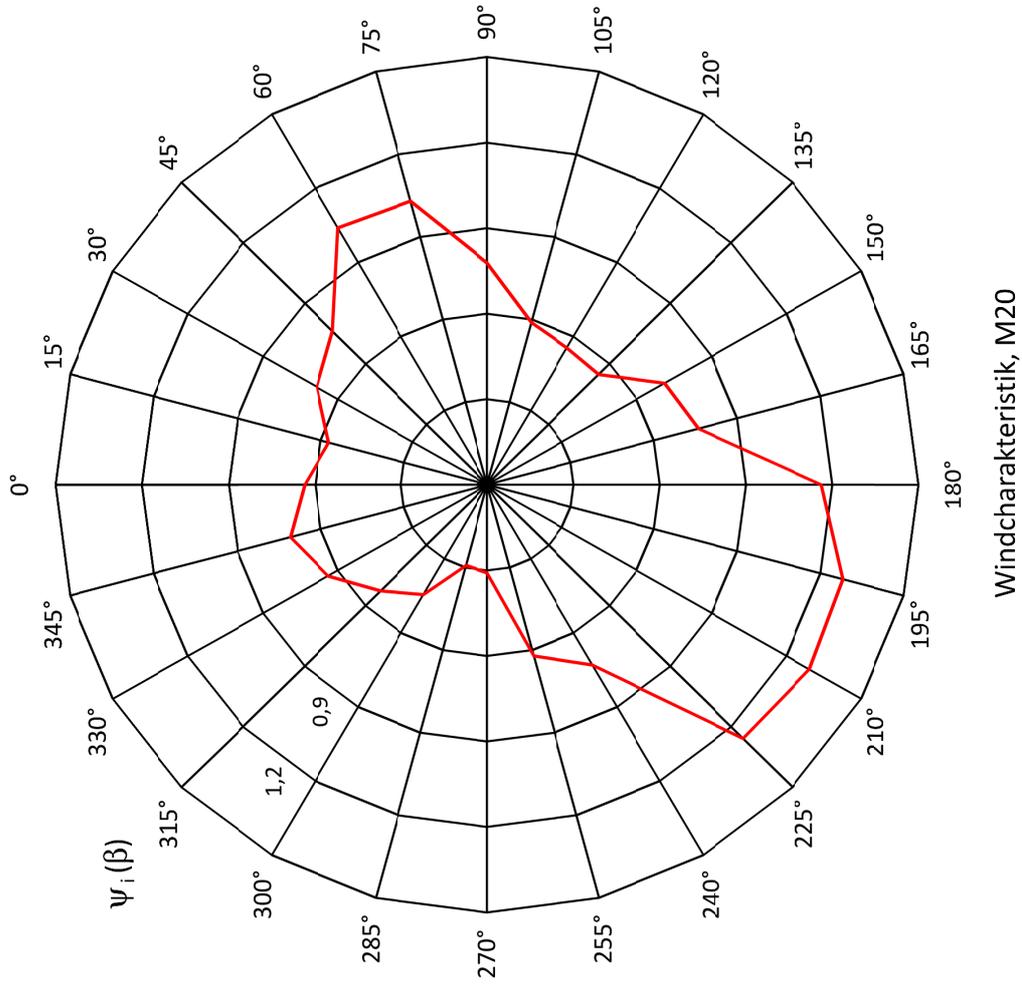


Bild 20: Geändertes Treppenhaus, nachgebildet im Modell



M20		$N_i(\beta)$
$\psi_i(\beta)$	$N_i(\beta)$	$N_i(\beta)$
[°]	[d/a]	[d/a]
0,64	0,00	
0,69	0,01	
1,04	1,33	
0,80	0,01	
0,56	0,00	
0,71	0,35	
1,16	8,15	
1,29	15,09	
0,87	5,03	
0,41	0,00	
0,44	0,00	
0,64	0,02	
$N_i =$		30,00

Windcharakteristik, M20

Bild 21: Windcharakteristik an der Messstelle 20, geändertes Treppenhaus am Parkhaus.

Anhang A

Grafiken und Wertetabelle

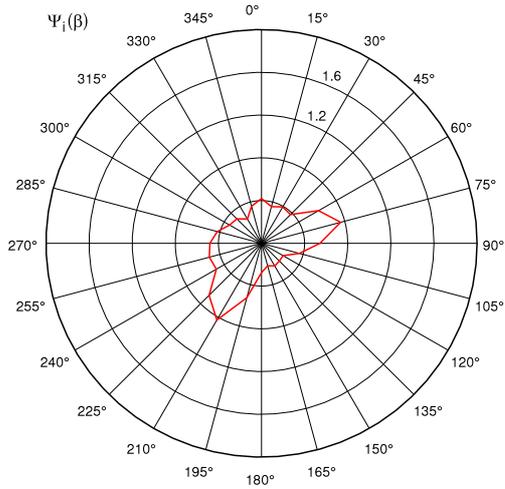


Bild A1: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M01

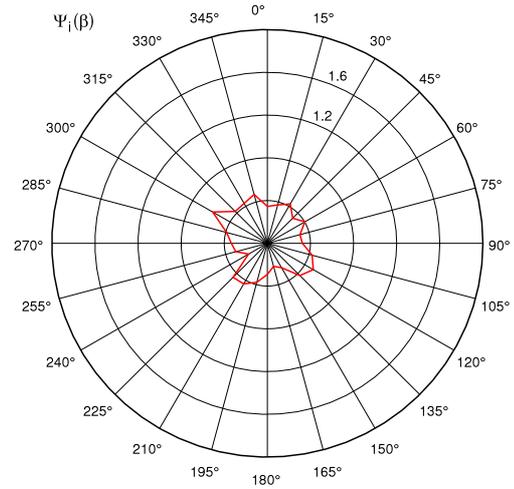


Bild A2: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M02

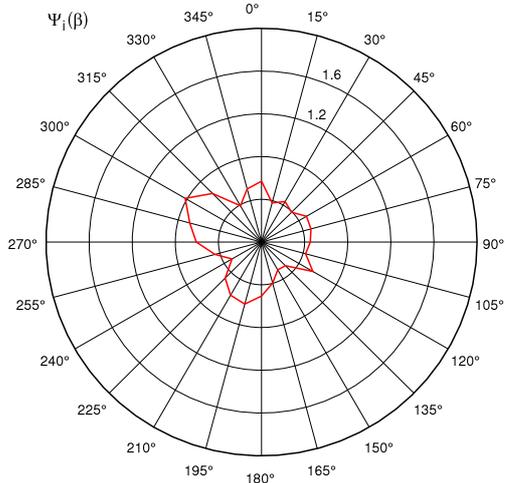


Bild A3: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M03

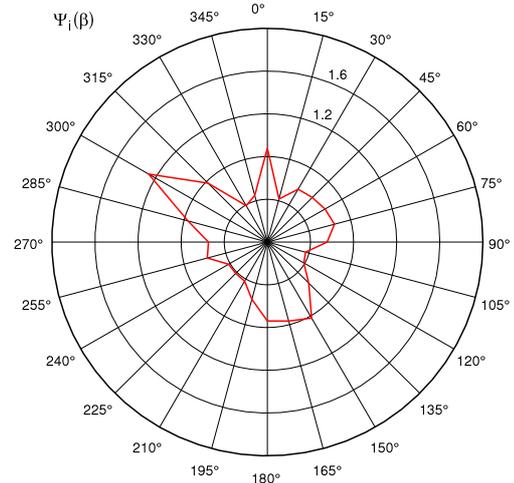


Bild A4: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M04

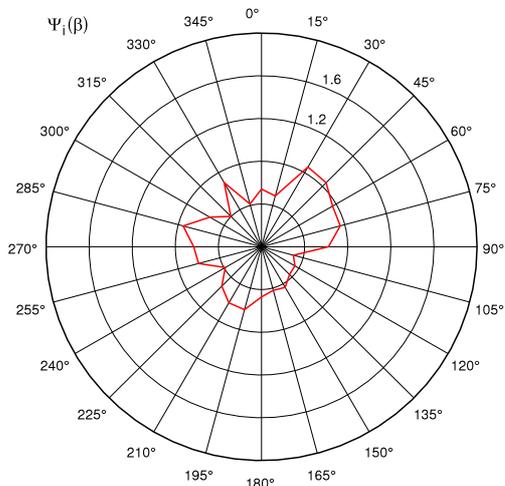


Bild A5: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M05

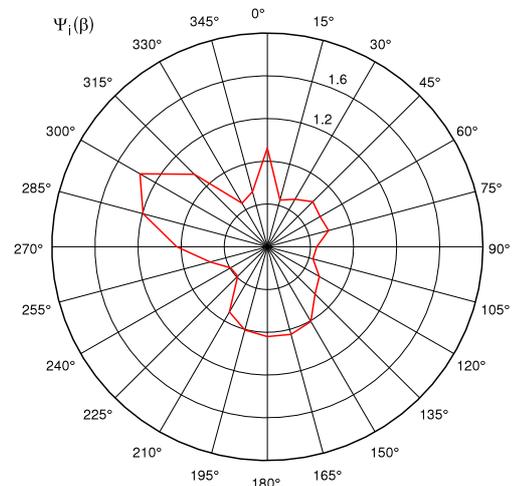


Bild A6: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M06

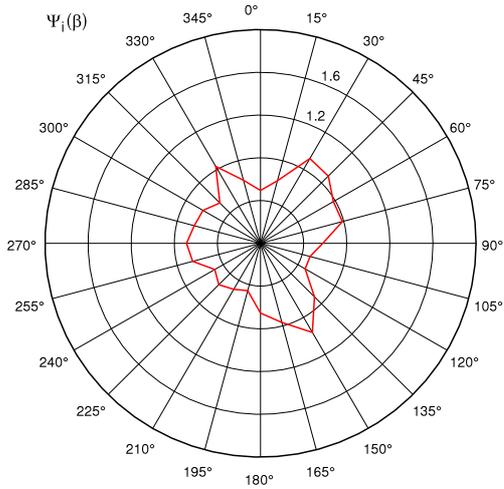


Bild A7: Windcharakteristik $\Psi_1(\beta)$, M07

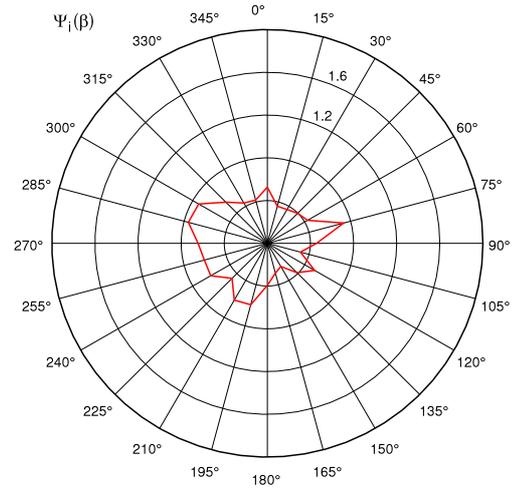


Bild A8: Windcharakteristik $\Psi_1(\beta)$, M08

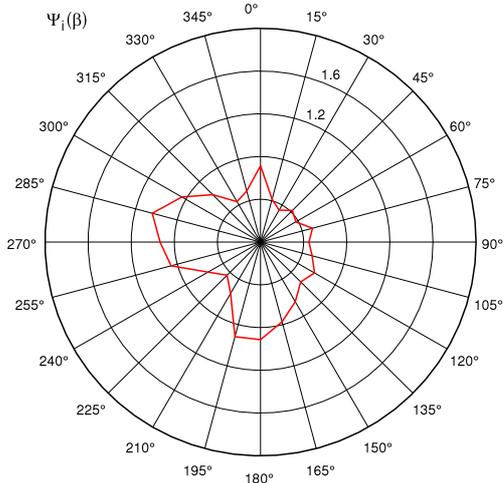


Bild A9: Windcharakteristik $\Psi_1(\beta)$, M09

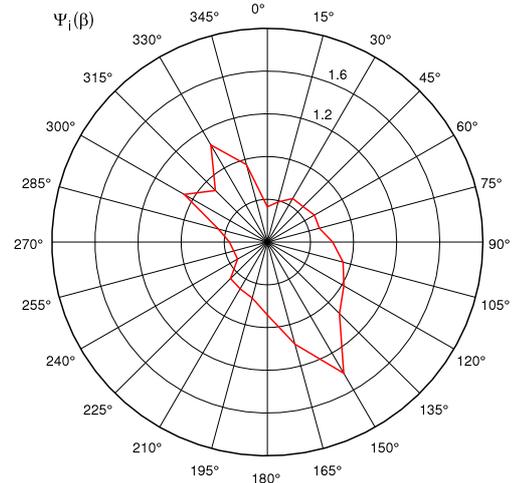


Bild A10: Windcharakteristik $\Psi_1(\beta)$, M10

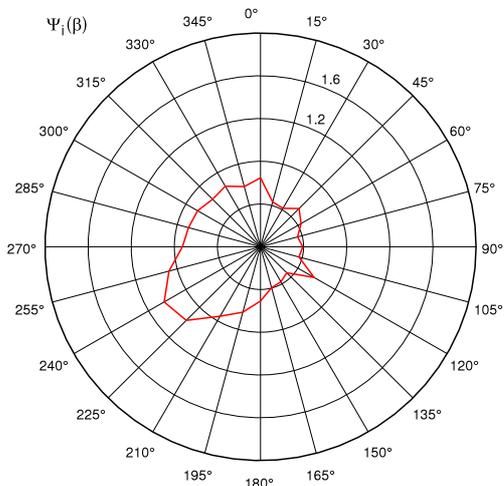


Bild A11: Windcharakteristik $\Psi_1(\beta)$, M11

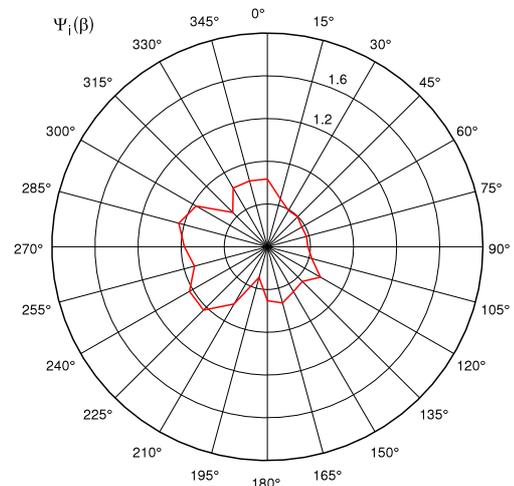


Bild A12: Windcharakteristik $\Psi_1(\beta)$, M12

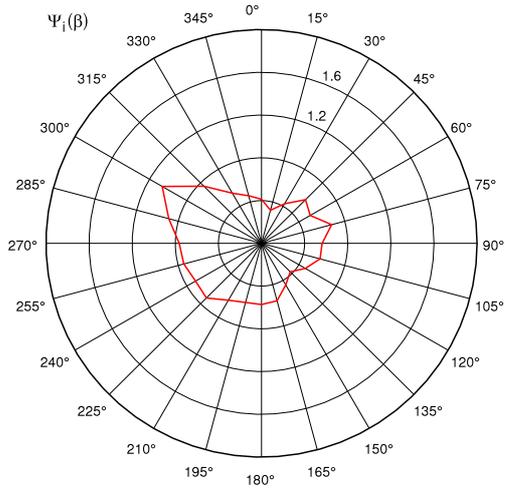


Bild A13: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M13

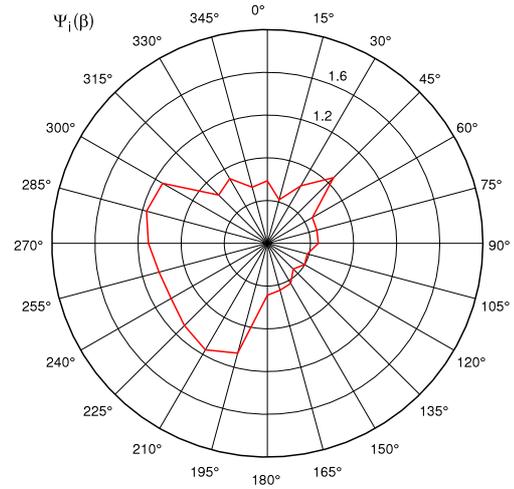


Bild A14: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M14

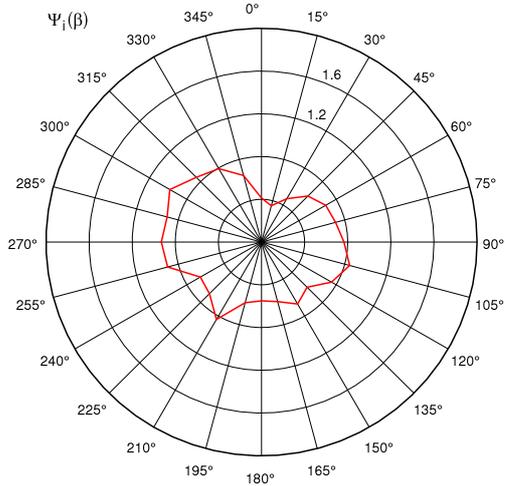


Bild A15: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M15

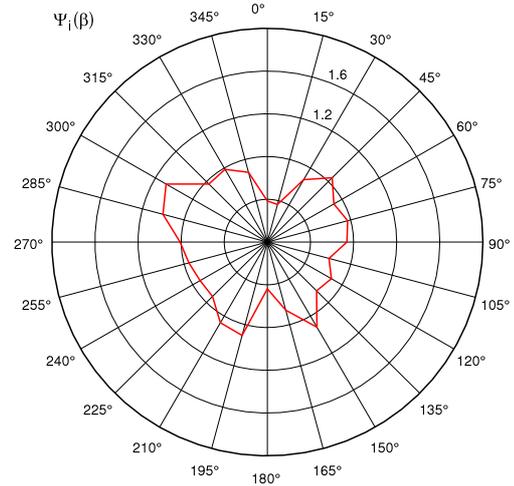


Bild A16: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M16

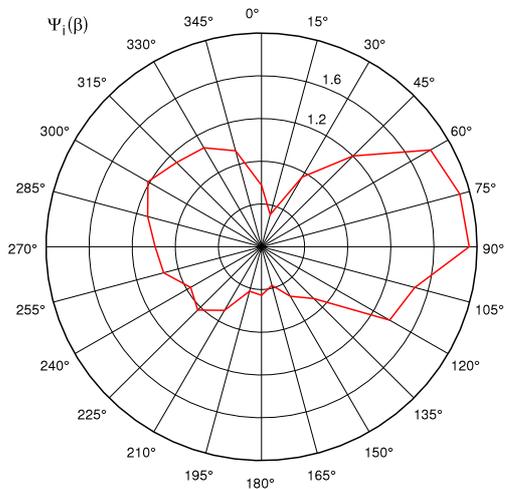


Bild A17: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M17

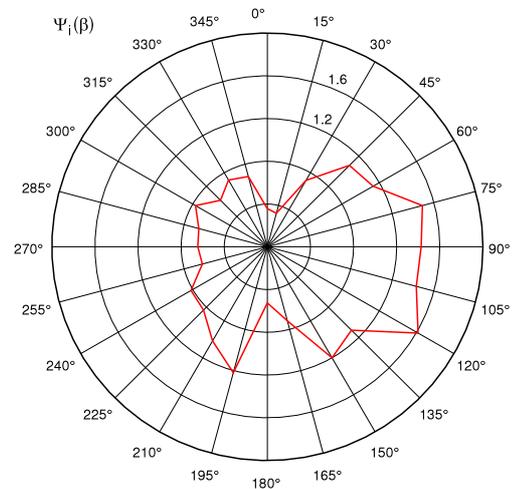


Bild A18: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M18

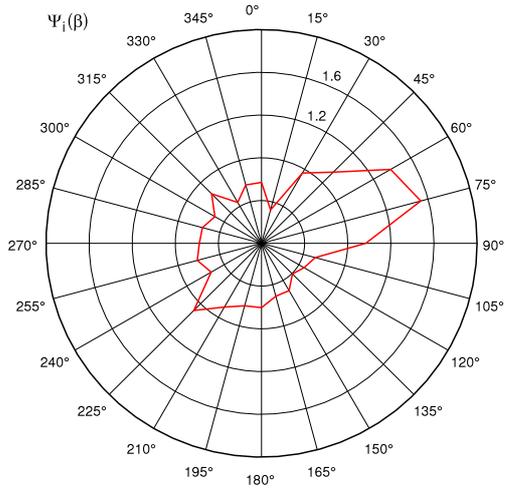


Bild A19: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M19

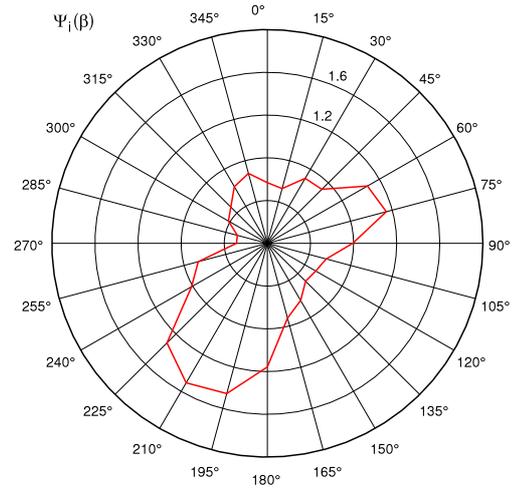


Bild A20: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M20

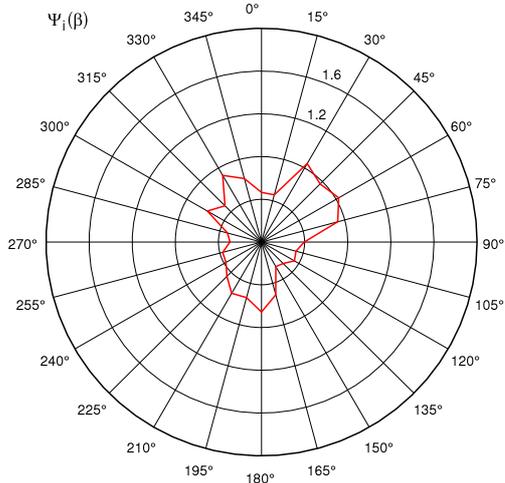


Bild A21: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M21

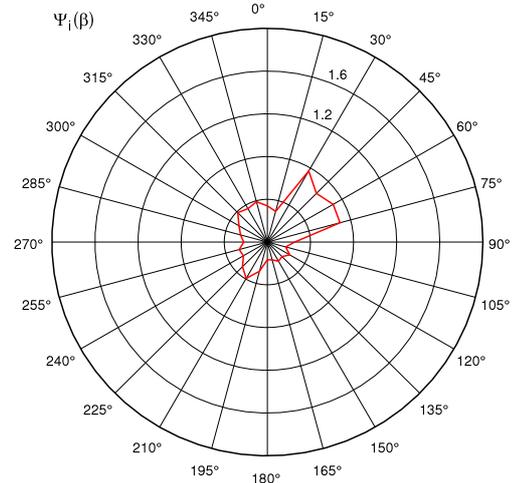


Bild A22: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M22

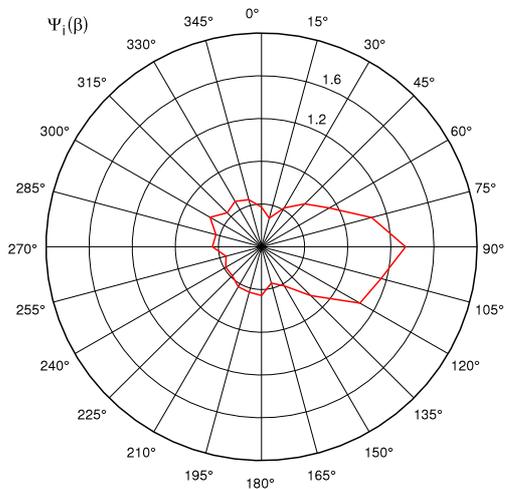


Bild A23: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M23

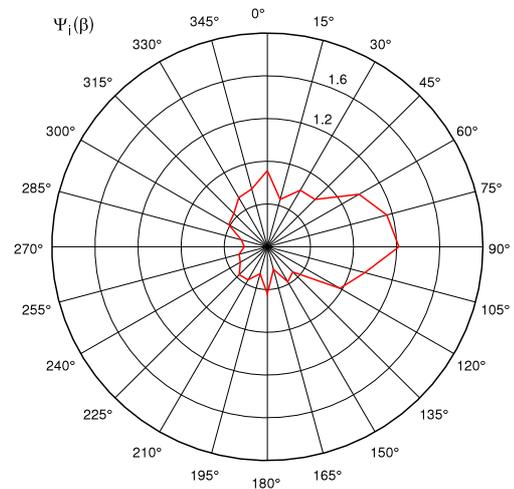


Bild A24: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M24

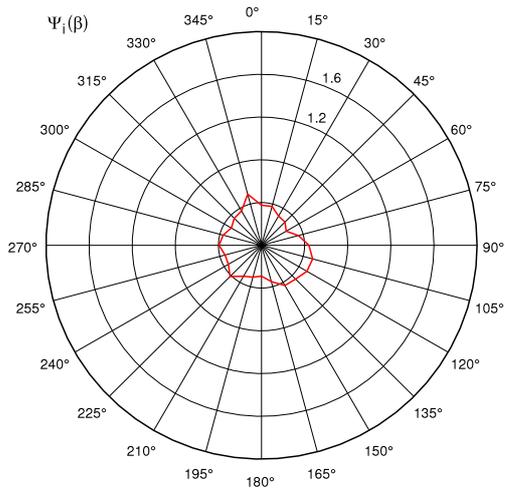


Bild A25: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M25

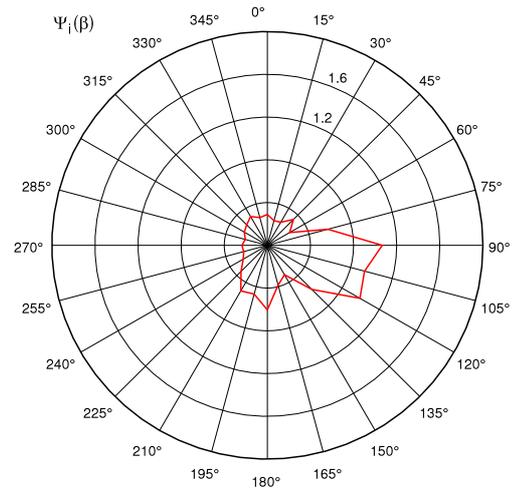


Bild A26: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M26

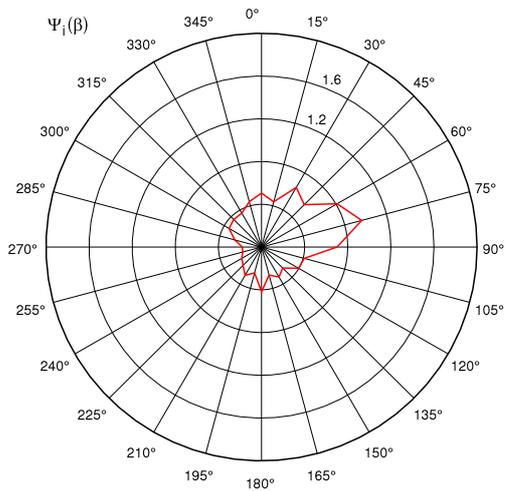


Bild A27: Windcharakteristik $\Psi_i(\beta)$, M27

β	M01		M02		M03		M04		M05		M06		M07		M08		M09	
	$\psi_i(\beta)$	$N_i(\beta)$																
	[-]	[d/a]																
0	0,42	0,00	0,40	0,00	0,57	0,00	0,88	0,10	0,54	0,00	0,92	0,16	0,57	0,00	0,53	0,00	0,71	0,01
30	0,39	0,00	0,43	0,00	0,44	0,00	0,57	0,00	0,86	0,10	0,52	0,00	0,92	0,18	0,37	0,00	0,39	0,00
60	0,61	0,01	0,40	0,00	0,48	0,00	0,62	0,01	0,79	0,17	0,58	0,00	0,82	0,24	0,52	0,00	0,43	0,00
90	0,56	0,00	0,36	0,00	0,45	0,00	0,55	0,00	0,62	0,00	0,49	0,00	0,61	0,00	0,50	0,00	0,48	0,00
120	0,28	0,00	0,49	0,00	0,55	0,00	0,43	0,00	0,36	0,00	0,56	0,00	0,55	0,00	0,51	0,00	0,58	0,00
150	0,24	0,00	0,30	0,00	0,34	0,00	0,82	1,68	0,44	0,00	0,81	1,43	0,96	5,46	0,31	0,00	0,65	0,09
180	0,34	0,00	0,30	0,00	0,51	0,00	0,74	0,52	0,50	0,00	0,84	1,57	0,65	0,12	0,43	0,00	0,91	2,73
210	0,83	3,21	0,44	0,00	0,57	0,16	0,46	0,01	0,61	0,30	0,70	1,13	0,50	0,03	0,61	0,34	0,64	0,49
240	0,56	0,21	0,32	0,00	0,41	0,00	0,47	0,02	0,50	0,07	0,44	0,01	0,56	0,24	0,61	0,48	0,62	0,59
270	0,48	0,00	0,34	0,00	0,61	0,07	0,63	0,10	0,66	0,17	0,86	1,29	0,69	0,24	0,67	0,19	0,94	2,12
300	0,36	0,00	0,59	0,00	0,82	0,25	1,27	3,38	0,57	0,00	1,36	4,31	0,62	0,01	0,74	0,09	0,84	0,32
330	0,31	0,00	0,44	0,00	0,52	0,00	0,54	0,00	0,69	0,05	0,65	0,03	0,83	0,24	0,47	0,00	0,52	0,00
	$N_i =$	3,43	$N_i =$	0,01	$N_i =$	0,48	$N_i =$	5,83	$N_i =$	0,86	$N_i =$	9,93	$N_i =$	6,75	$N_i =$	1,10	$N_i =$	6,34

β	M10		M11		M12		M13		M14		M15		M16		M17		M18	
	$\psi_i(\beta)$	$N_i(\beta)$																
	[-]	[d/a]																
0	0,49	0,00	0,64	0,00	0,63	0,00	0,41	0,00	0,59	0,00	0,47	0,00	0,47	0,00	0,61	0,00	0,45	0,00
30	0,47	0,00	0,45	0,00	0,42	0,00	0,44	0,00	0,64	0,00	0,48	0,00	0,67	0,01	0,76	0,03	0,72	0,01
60	0,50	0,00	0,43	0,00	0,38	0,00	0,59	0,00	0,61	0,01	0,69	0,04	0,78	0,15	1,81	9,53	1,23	3,06
90	0,61	0,00	0,39	0,00	0,39	0,00	0,60	0,00	0,47	0,00	0,77	0,01	0,74	0,00	1,93	1,72	1,45	0,63
120	0,83	0,04	0,57	0,00	0,57	0,00	0,47	0,00	0,40	0,00	0,75	0,01	0,69	0,00	1,37	1,28	1,61	2,39
150	1,42	23,91	0,38	0,00	0,50	0,00	0,46	0,00	0,43	0,00	0,67	0,15	0,92	4,09	0,53	0,00	1,20	15,06
180	0,74	0,52	0,51	0,00	0,50	0,00	0,57	0,02	0,67	0,17	0,57	0,02	0,67	0,17	0,45	0,00	0,82	1,31
210	0,51	0,03	0,79	2,38	0,62	0,36	0,64	0,49	1,15	11,42	0,84	3,38	0,87	4,16	0,69	0,94	1,02	8,05
240	0,38	0,00	1,03	9,74	0,83	4,14	0,73	1,89	1,05	10,39	0,75	2,26	0,73	1,99	0,85	4,41	0,82	3,75
270	0,38	0,00	0,77	0,59	0,77	0,64	0,80	0,81	1,10	4,17	0,93	1,96	0,86	1,24	1,01	2,87	0,65	0,14
300	0,89	0,50	0,67	0,03	0,76	0,13	1,06	1,54	1,12	2,00	0,98	0,97	1,08	1,70	1,22	2,85	0,77	0,14
330	1,05	1,02	0,65	0,03	0,63	0,02	0,59	0,01	0,70	0,05	0,79	0,16	0,79	0,15	1,07	1,12	0,72	0,07
	$N_i =$	26,02	$N_i =$	12,77	$N_i =$	5,28	$N_i =$	4,74	$N_i =$	28,20	$N_i =$	8,95	$N_i =$	13,65	$N_i =$	24,75	$N_i =$	34,60

β	M19		M20		M21		M22		M23		M24		M25		M26		M27	
	$\psi_i(\beta)$	$N_i(\beta)$																
	[-]	[d/a]																
0	0,57	0,00	0,59	0,00	0,51	0,00	0,34	0,00	0,37	0,00	0,71	0,01	0,42	0,00	0,29	0,00	0,50	0,00
30	0,76	0,03	0,70	0,01	0,85	0,09	0,77	0,03	0,42	0,00	0,61	0,00	0,33	0,00	0,28	0,00	0,64	0,00
60	1,38	4,69	1,07	1,58	0,83	0,26	0,71	0,05	0,78	0,16	0,98	0,95	0,31	0,00	0,39	0,00	0,81	0,22
90	1,00	0,08	0,83	0,02	0,49	0,00	0,38	0,00	1,34	0,43	1,22	0,27	0,44	0,00	1,07	0,12	0,70	0,00
120	0,46	0,00	0,53	0,00	0,35	0,00	0,24	0,00	1,05	0,30	0,78	0,02	0,49	0,00	0,99	0,19	0,40	0,00
150	0,51	0,00	0,62	0,04	0,35	0,00	0,21	0,00	0,47	0,00	0,38	0,00	0,43	0,00	0,43	0,00	0,32	0,00
180	0,60	0,04	1,16	8,04	0,65	0,13	0,21	0,00	0,46	0,00	0,44	0,00	0,32	0,00	0,60	0,04	0,42	0,00
210	0,73	1,44	1,51	19,79	0,55	0,11	0,39	0,00	0,43	0,00	0,36	0,00	0,35	0,00	0,49	0,02	0,31	0,00
240	0,68	1,24	0,93	6,72	0,40	0,00	0,28	0,00	0,38	0,00	0,31	0,00	0,37	0,00	0,28	0,00	0,21	0,00
270	0,59	0,05	0,41	0,00	0,33	0,00	0,25	0,00	0,46	0,00	0,25	0,00	0,39	0,00	0,24	0,00	0,21	0,00
300	0,57	0,00	0,42	0,00	0,58	0,00	0,32	0,00	0,55	0,00	0,41	0,00	0,35	0,00	0,25	0,00	0,35	0,00
330	0,55	0,00	0,61	0,01	0,72	0,07	0,38	0,00	0,49	0,00	0,53	0,00	0,41	0,00	0,31	0,00	0,39	0,00
	$N_i =$	7,56	$N_i =$	36,19	$N_i =$	0,66	$N_i =$	0,08	$N_i =$	0,90	$N_i =$	1,25	$N_i =$	0,00	$N_i =$	0,37	$N_i =$	0,22

Tabelle A1: Numerische Werte für $\psi_i(\beta)$ und $N_i(\beta)$ ($v_{\text{Grenz}} = 5 \text{ m/s}$)