

Windkanalmessungen zu den Gesamtwindlasten und Fassadenwindlasten am Upper Nord Tower Dusseldorf





Windkanalmessungen zu den Gesamtwindlasten und Fassadenwindlasten am Upper Nord Tower Dusseldorf

Auftraggeber - Anonymisierte Fassung -
Berichtnummer H 5443-1D-RA / VC 6055-6
Datum 28. September 2015
Referenz MvU/MvU//H 5443-1D-RA
Verantwortliche ir. G.M. van Uffelen
Verfasser ir. G.M. van Uffelen
+31 24 3570744
m.vanuffelen@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 24 357 07 07, info@peutz.nl, www.peutz.nl

Alle Aufträge werden angenommen und ausgeführt nach dem Reglement: "De Nieuwe Regeling 2011"

BTW: NL004933837B01 KvK: 12028033

mook – zoetermeer – groningen – düsseldorf – dortmund – berlin – leuven – parijs – lyon – sevilla

Inhalt

1 Einleitung	4
2 Zusammenfassung	5
3 Baubeschreibung und Modellierung	6
3.1 Windklima und Bemessungsstaudruck	10
3.2 Ermittlung der Gesamtwindlasten und lokalen Windlasten	10
4 Ergebnisse	12
4.1 Maximale lokale Drücke auf den Fassaden und Dächer	12
4.2 Minimale lokale Drücke auf den Fassaden und Dächer (Sog)	12
4.3 Gesamtwindlasten auf Haupttragwerk	12
5 Literatur	14

1 Einleitung

Die "Auftraggeber" plant den Neubau eines Hochhauses, Upper Nord Tower (UNT), in Düsseldorf. Das Gebäude besteht aus einem 34-stöckigen Hochhaus und einem 6-stöckigen Flachbau mit Hotel und Atrium mit Glasdach. Das Gebäude mit einer maximalen Höhe von ca. 120 m befindet sich auf der Ecke der Mercedesstraße und Münsterstraße in der Nordseite von Düsseldorf, zwischen Stadtmitte und Flughafen, siehe Bild f1.1.



f1.1 Google Earth Plan

Die "Auftraggeber" hat die Peutz Consult GmbH damit beauftragt, eine Windkanaluntersuchung zur Bestimmung der charakteristischen Fassadenlasten und Gesamtwindlasten am Haupttragwerk durchzuführen. Grundlage für die Beauftragung waren die Planungsunterlagen mit Stand vom 21. August 2015.

Die Windkanaluntersuchung wurde nach den Kriterien der Windtechnologischen Gesellschaft (WtG) Deutschland [3] und den Spezifikationen der DIN EN 1991-1-4, Ausgabe 2010-12, Kapitel 1.5 [1], nationaler Anhang für Deutschland [2] sowie der niederländischen CUR Richtlinie 103 [4] durchgeführt und ausgewertet.

2 Zusammenfassung

Die vorliegenden Untersuchungen bieten Bemessungsgrundlagen für die Windwirkungen am Gebäude, die gemäß der DIN EN 1991-1-4:2010-12 nach Kapitel 1.5 und dem zugehörigen nationalen Anhang, DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 [2], angewandt werden können.

Für die Außenfassaden ergeben sich Druck- und Sogspitzen mit $C_{pe,1} = .1$. und $-.1,4$. in derselben Größenordnung. Diese Werte sind normal für ein Gebäude dieser Höhe. Für das Haupttragwerk ergeben sich Gesamtwindlasten mit Kraftspitzen entsprechend $C_f = 1.2$ Diese Werte sind normal für ein Gebäude dieser Höhe.

Die mit dem Staudruck am Standort berechneten maximalen (Druck-) und minimalen (Sog-) Windlasten im Auslegungsfall eines 50-Jahressturms sind in Anhang B dargestellt. Die jeweils auftretenden lokalen Spitzenbelastungen können bei unterschiedlichen Windrichtungen auftreten. Die mit dem Staudruck am Standort berechneten maximalen und minimalen Gesamtwindlasten im Auslegungsfall eines 50-Jahressturms sind in Anhang C grafisch dargestellt.

Die Werte im Anhang B basieren auf den Messungen, wobei die geplante relevante Umgebungsbebauung nachgebildet wurde, sowie auf einer Variante mit auf 15m Höhe reduzierter Umgebungsbebauung (15m-Fall). Diese Variante wird untersucht um zukünftige Veränderungen dieser Bebauung, wie z. B. Wegfall der Bebauung, berücksichtigen zu können. Um auch die Wirkung der vom Gebäude selbst erzeugten Wirbelstrukturen in der Auswertung zu erfassen, wurde statt des in der Norm verwendeten quasistatischen Lastansatzes eine Auswertung nach Methode B der CUR-Richtlinie 103 (Extremwertanalyse) gewählt. Es sind jeweils maximale bzw. minimale Paneellasten für Druck und Sog (für 1 m² Lasteinzugsfläche) in [kN/m² = kPa] angegeben.

Bei allen in den Tabellen und Grafiken dargestellten Messergebnissen muss eine Fehlerspanne berücksichtigt werden. Diese wird von uns auf plus/minus 10 bis 15% eingeschätzt [5]. Diese Fehlerspanne, aber, darf als Bestandteil des Belastungsfaktors nach DIN-EN 1990 [6] betrachtet werden, da der Belastungsfaktor schon eine Fehlerspanne von dieser Größenordnung enthält.

Die im Bericht dargestellten Werte müssen daher noch mit dem Belastungsfaktor Y_{wind} nach DIN-EN 1990 [6] und dem Strukturbeiwert c_s, c_d multipliziert werden. Die Gesamtlasten am Haupttragwerk müssen nur mit c_d nach DIN-EN 1991-1-4 [1] multipliziert werden.

3 Baubeschreibung und Modellierung

Das Untersuchungsobjekt besteht aus einem Hochhaus mit abgerundeten Ecken und einem baulich angeschlossenen Flachbau. Das Hochhaus besteht aus 34 Stockwerken. Das Hochhaus besitzt eine maximale Höhe von ca. 120 m sowie eine maximale Grundfläche von ca. 17 x 67 m. Der Flachbau ist fünf Stockwerke hoch und schließt an der Nordwestfassade des Hochhauses an. Es besitzt eine Höhe von 22 m bei einer maximalen Baufläche von 45 x 45 m und ist mit einem Atrium mit Glasdach versehen.

Das Modell des Gebäudes wurde nach Plänen des Architekturbüros "Architekt" basierend auf dem Planungsstand vom 21. August 2015 erstellt und ist in Bild 4.1 dargestellt. Das Modell wurde im Maßstab 1:250 angefertigt. Grundlage der Modellerstellung waren Pläne der Architekten. Die Pläne lagen im dwg-Format vor. In Bild f3.1 und Bild f3.2 wird das Windkanalmodell in der Messstrecke des Grenzschichtwindkanals dargestellt.

Bild f3.1 zeigt zudem den Blick in Richtung Anlaufstrecke. Bild f3.2 zeigt eine detaillierte Ansicht des Modells mit dem Eingebauten Messstellen. In Anhang A ist die Verteilung der Messstellen dargestellt. Die 124 Messstellen sind über die Fassaden des Hochhauses, des Flachbaues und der Dächer verteilt worden. Insbesondere sind Messstellen im Glasdach des Atriums des Flachbaues eingebaut worden, um den Einfluss des Hochhauses auf die Windlasten am Glasdach zu ermitteln, siehe Bild f 3.3.



f3.1 Windkanalmodell des Untersuchungsgebäudes im Windkanal der Peutz GmbH



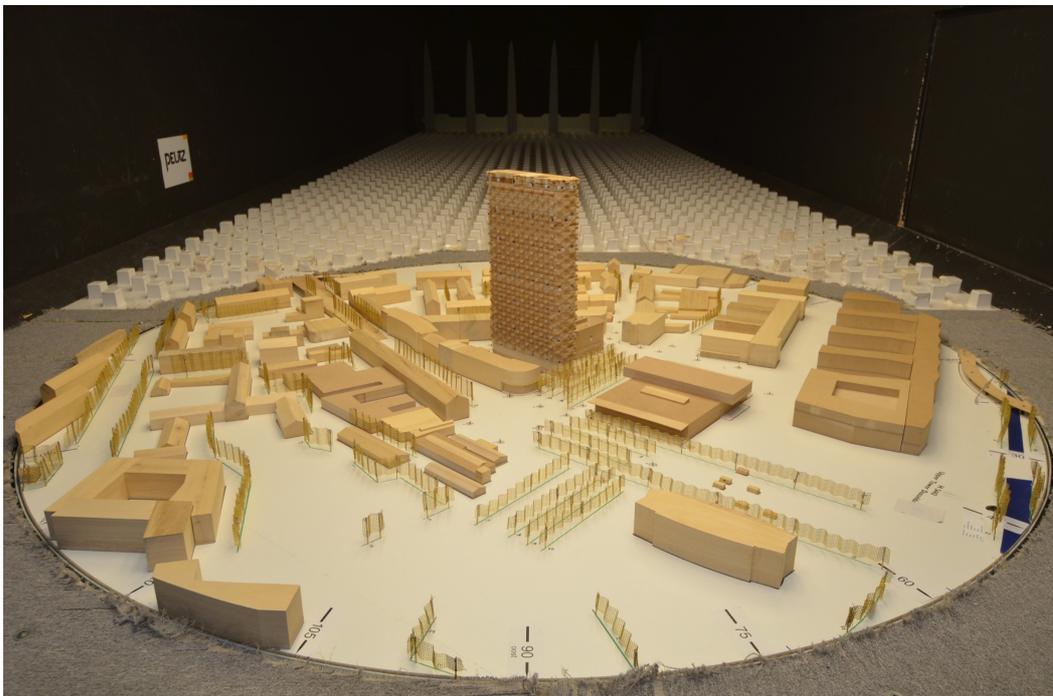
f3.2 Windkanalmodell des Untersuchungsgebäudes mit Messstellen, siehe auch Anhang A für die Verteilung der Messstellen.



f3.3 Instrumentierung des Glasdaches

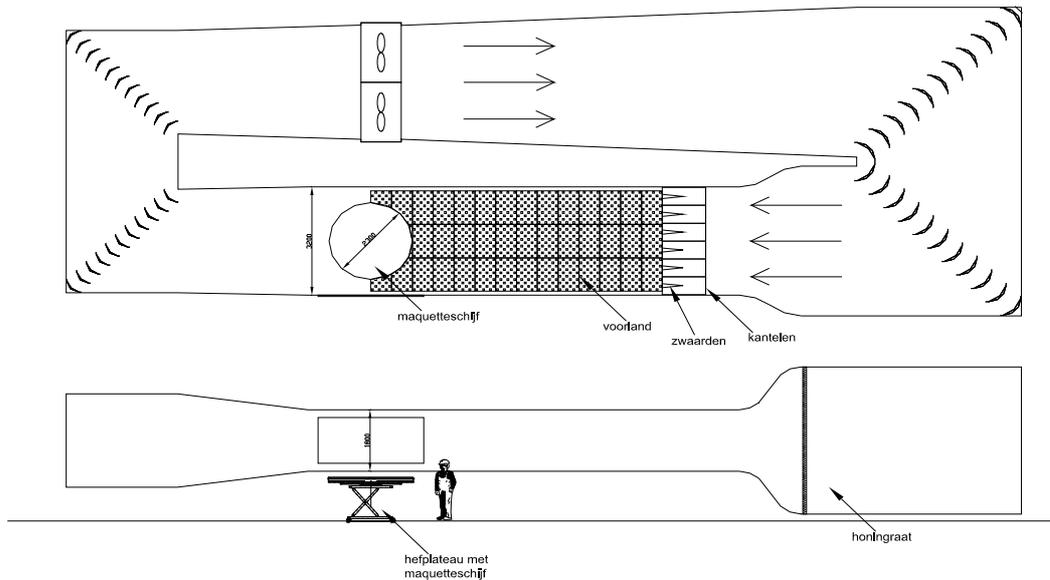
Die Windkanalstudie wurde im Grenzschichtwindkanal gemäß WtG-Richtlinie [3] durchgeführt, um die zu erwartenden Windlasten im Sinne der DIN EN 1991-1-4:2010-12,

Kapitel 1.5 [1] korrekt zu ermitteln. Das Modell wurde zuerst mit der geplanten und vorhandenen Umgebungsbebauung gemessen. Eine Variante mit auf eine Gebäudehöhe von 15 m reduzierter Umgebungsbebauung wurde gemäß CUR Richtlinie 103 gemessen um alle mögliche Bebauungssituationen (wie z. B. Wegfall der Bebauung) während der Referenzlebensdauer von 50 Jahren (Auslegungsfall eines 50-Jahressturms) berücksichtigen zu können. Diese Variante ist in Bild f3.3 dargestellt.

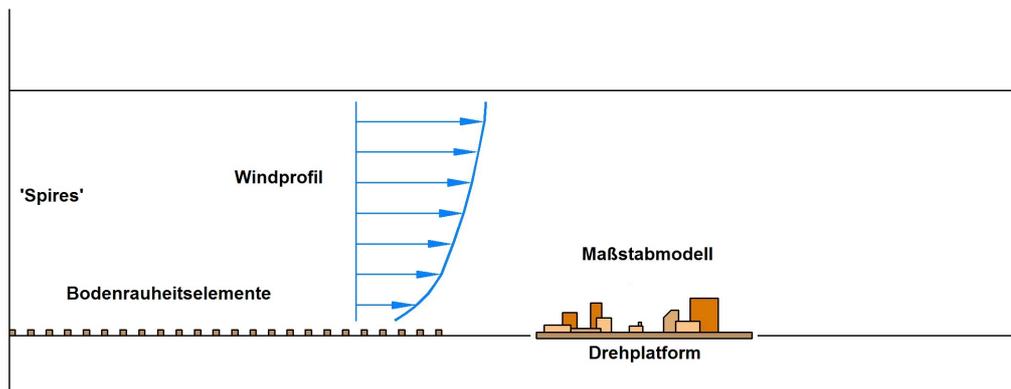


f3.4 Windkanalmodell des Untersuchungsgebäudes mit auf 15 m Höhe reduzierter Umgebungsbebauung

Die Anlaufstrecke des Windkanals wurde entsprechend einem Exponenten = 0,22 der Anströmung präpariert (Geländekategorie III). Bild f3.5 zeigt einen Grundriss des Windkanals und Bild f3.6 zeigt die Erzeugung der atmosphärischen Grenzschicht.



f3.5 Grundriss des Grenzschichtwindkanals der Peutz Consult GmbH



f3.6 Anlaufstrecke des Grenzschichtwindkanals zur Erzeugung der atmosphärischen Grenzschicht

Die mittlere Windgeschwindigkeit auf Höhe des Dachrandes des Maßstabmodells beträgt 9,9 m/s im Windkanal. Die Turbulenzintensität beträgt 12 % gemäß eines Exponenten = 0,22 (nach Geländekategorie III, siehe Kapitel 3.1). Gemäß Artikel 9 der CUR Richtlinie 103 ist die modellierte Turbulenzintensität etwas niedriger als der in der Windlastnorm [1] [2] vorgeschriebene Wert (16 %) um die richtige Umströmung des Gebäudes mit sicheren Lastbeiwerten zu erzeugen.

In der Literatur werden verschiedene Konzepte zur Bestimmung der Windlasten auf Gebäude bzw. Gebäudeteile beschrieben. Eine weitverbreitete Methode zur Bestimmung von Windlasten auf kleine Lasteinflussflächen ist die Extremwertanalyse nach Cook [5], wie in der CUR Richtlinie 103 beschrieben.

3.1 Windklima und Bemessungsstaudruck

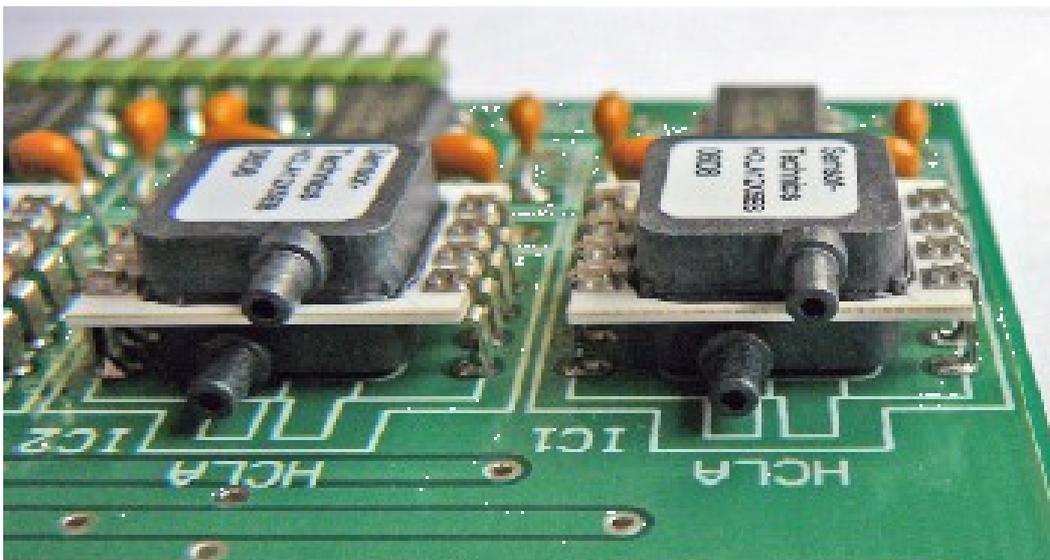
Der Standort des Gebäudes liegt ca. 39 m über Normalnull. Ihm ist gemäß [2] eine städtische Bebauung und Bewuchs nach Geländekategorie III (GKIII) vorgelagert.

Die geografische Himmelsrichtung Nord entspricht 0°. Der Bemessungsstaudruck ist nach den Vorgaben des Eurocodes DIN EN 1991-1-4, dem zugehörigen nationalen Anhang für Deutschland, 1106 N/m² auf 120 m Höhe (Dachrand des Hochhauses). Gemäß den Vorgaben des Eurocodes DIN EN 1991-1-4 und dem zugehörigen nationalen Anhang für Deutschland ist keine Abhängigkeit des Staudrucks von den Windrichtungen berücksichtigt worden.

3.2 Ermittlung der Gesamtwindlasten und lokalen Windlasten

Die lokalen Windlasten wurden mittels Extremwertanalyse für Lasteinflussflächen von 1 m² ermittelt. Zur Anwendung mit dem Böenstaudruck wurden diese Beiwerte in pseudo-statische Werte umgewandelt.

0° entspricht hierbei geografisch Nord. Die Windlasten werden mit 128 SensorTechnics HCL Sensoren (Typ HCLA 12X5EB), mit einer Abtastfrequenz von 400 Hz gleichzeitig gemessen, siehe Bild f 3.7.



f3.7 SensorTechnics HCL Drucksensoren

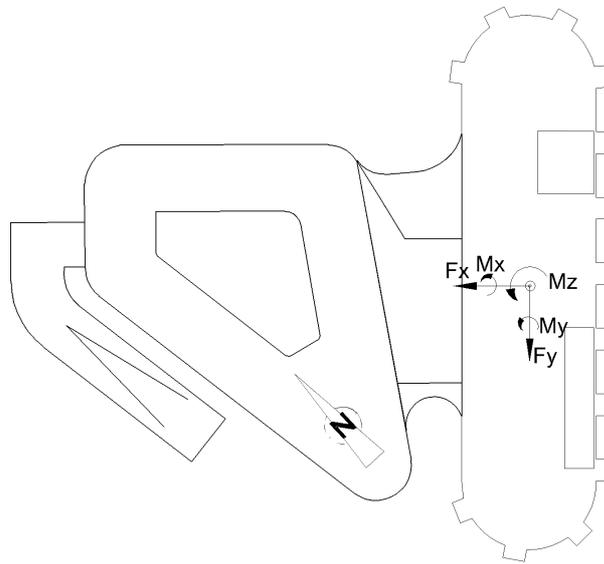
Die Gesamtwindlasten werden mit einer dynamischen piezoelektrischen 6-komponenten-Waage von Kistler (Type 9257 BU) mit Mehrkanalladungsverstärker, ebenfalls von Kistler (Typ 5070), siehe Bild f 3.8, mit einer Abtastfrequenz von 400 Hz gemessen. Die Waage befindet sich unter dem Hochhaus. Referenzhöhe für die Messungen der Biegemomente auf das Haupttragwerk des Hochhauses ist das Umfeld. Momente sind definiert als das mathematische Produkt von Kraft mal Momentarm. Der Momentarm greift an der Höhe des Umfeldes an.

Die Hauptachsen bezüglich der Kräfte und Biegemomente sind in Bild f 3.9 dargestellt.



f3.8 Dynamische 6 Komponenten Waage

Die gemessenen Drücke und Kräfte wurden durch Division des mittleren Staudruckes im Windkanal auf Höhe des Dachrandes dimensionslos gemacht, d.H. in Beiwerte umgewandelt. Die mittlere Geschwindigkeit auf 48,3 cm Höhe im Windkanal (120 m in Wirklichkeit) beträgt 9,9 m/s. Bei den lokalen Windlasten auf den Fassaden und dem Glasdach ergibt sich der Beiwert $C_{pe,1}$ und für die Gesamtwindlasten der Beiwert C_f .



f3.9 Hauptachsen und Definition der Kräfte und Biegemomente

4 Ergebnisse

Die gemessenen und durch Extremwertanalyse überarbeiteten Beiwerte der maximalen (Druck-) und minimalen (Sog-) Windlasten im Auslegungsfall eines 50-Jahressturms sind in Anhang B dargestellt. Die jeweils auftretenden lokalen Spitzenbelastungen können bei unterschiedlichen Windrichtungen auftreten, da die Spitzenwerte über alle Windrichtungen maximiert wurden.

Die mit dem Staudruck am Standort berechneten maximalen und minimalen Gesamtwindlasten im Auslegungsfall eines 50-Jahressturms sind in Anhang C dargestellt.

4.1 Maximale lokale Drücke auf den Fassaden und Dächer

Die maximalen lokalen Drücke auf den Fassaden treten auf der oberen Hälfte des Gebäudes auf. Für beide Situationen (geplant und 15m-Fall) ist mit einem $c_{pe,loc} = 1$ der Druck 1.1 kPa. Der Wert entspricht dem vorgeschriebenen Wert für $c_{pe,1}$ im Eurcode.

4.2 Minimale lokale Drücke auf den Fassaden und Dächer (Sog)

Der minimale lokale Druck auf das Dach des Turms ist mit $c_{pe,loc} = -1,8$ gleich -2.0 kPa. Dieser Wert ist gleich für beide Bausituationen. Im Eurocode ist für diesen Bereich für $c_{pe,loc}$ ein Wert von 2.0 angegeben.

Die minimalen lokalen Drücke auf den Fassaden sind mit $c_{pe,loc} = -1,3$ bis zu -1.4 gleich -1.5 kPa und treten an den Kanten des Gebäudes auf.

4.3 Gesamtwindlasten auf Haupttragwerk

Die Gesamtwindlasten auf das Haupttragwerk des Gebäudes sind in den Tabellen 4.3.1 und 4.3.2 dargestellt. Die Werte je Windrichtung sind in Anhang 3 grafisch dargestellt.

Die Lasten sind für eine geschätzte Eigenfrequenz des Gebäudes von 0,38 Hz berechnet. Diese Eigenfrequenz basiert auf Anhang F des Eurocodes.

Mit einer Bauhöhe von 120 m und einer Breite von 67 m (und eine Tiefe von 16.7 m) ist der Wert des Kraftkoeffizienten in X-Richtung 1.2 im Planfall und 1.1 im 15m-Fall. Die Zunahme der Kraft im Planfall im Vergleich zum 15m-Fall ist das Ergebnis der Interferenz mit dem Arag Tower. Aus dem Wert von M_y folgt, dass der Angriffspunkt der Kraft sich auf zwei Drittel der Höhe des Hochhauses befindet.

Die niedrigen Werte für die Kraft in Y-Richtung, und dem Moment, in X-Richtung sind das Ergebnis der runden Form der Fassade.

Tabelle 4.3.1: Maximale und minimale Windkräfte und Biegemomente für die geplante Situation.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung max [°]	U_{max}	a_{max}	F/M_{max} [N] or {NM}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung min [°]	U_{min}	a_{min}	F/M_{min} [N] or {NM}
Fx	1.2	30	10.32	1.29	1.07E+007	-1.03	270	-11.04	-0.63	-9.15E+006
Fy	0.6	345	1.68	0.07	1.33E+006	-0.57	150	-1.74	-0.04	-1.26E+006
Mx	0.38	150	0.56	0.01	1.01E+008	-0.33	345	-0.48	-0.01	-8.85E+007
My	0.83	30	3.5	0.42	8.89E+008	-0.7	270	-3.49	-0.22	-7.43E+008
Mz	0.09	45	0.29	0.01	5.57E+007	-0.09	135	-0.28	-0.01	-5.35E+007

Tabelle 4.3.2: Maximale und minimale Windkräfte und Biegemomente für den 15m-Fall.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung max [°]	U_{max}	a_{max}	F/M_{max} [N] or {NM}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung min [°]	U_{min}	a_{min}	F/M_{min} [N] or {NM}
Fx	1.08	90	12.55	0.46	9.65E+006	-1.03	255	-11.35	-0.54	-9.13E+006
Fy	0.76	345	1.94	0.13	1.67E+006	-0.62	150	-1.77	-0.07	-1.38E+006
Mx	0.4	150	0.55	0.02	1.06E+008	-0.41	345	-0.52	-0.03	-1.08E+008
My	0.7	105	3.53	0.21	7.44E+008	-0.69	225	-3.45	-0.22	-7.37E+008
Mz	0.09	30	0.28	0.01	5.64E+007	-0.09	135	-0.27	-0.01	-5.49E+007

5 Literatur

[1] DIN EN 1991-1-4:2010-12 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen Windlasten; DIN Deutsches Institut für Normung e. V.; Beuth Verlag, Berlin

[2] DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 Nationaler Anhang; National festgelegte Parameter Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen Windlasten; DIN Deutsches Institut für Normung e. V.; Beuth Verlag, Berlin

[3] WtG-Merkblatt Windkanalversuche in der Gebäudeaerodynamik; Windtechnologische Gesellschaft WTG e. V., WtG-Verlag, Aachen, 1996

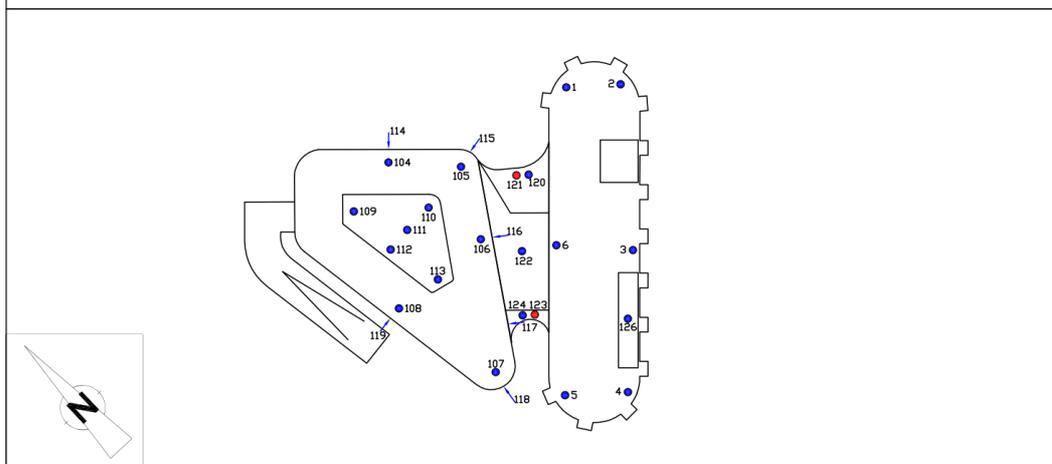
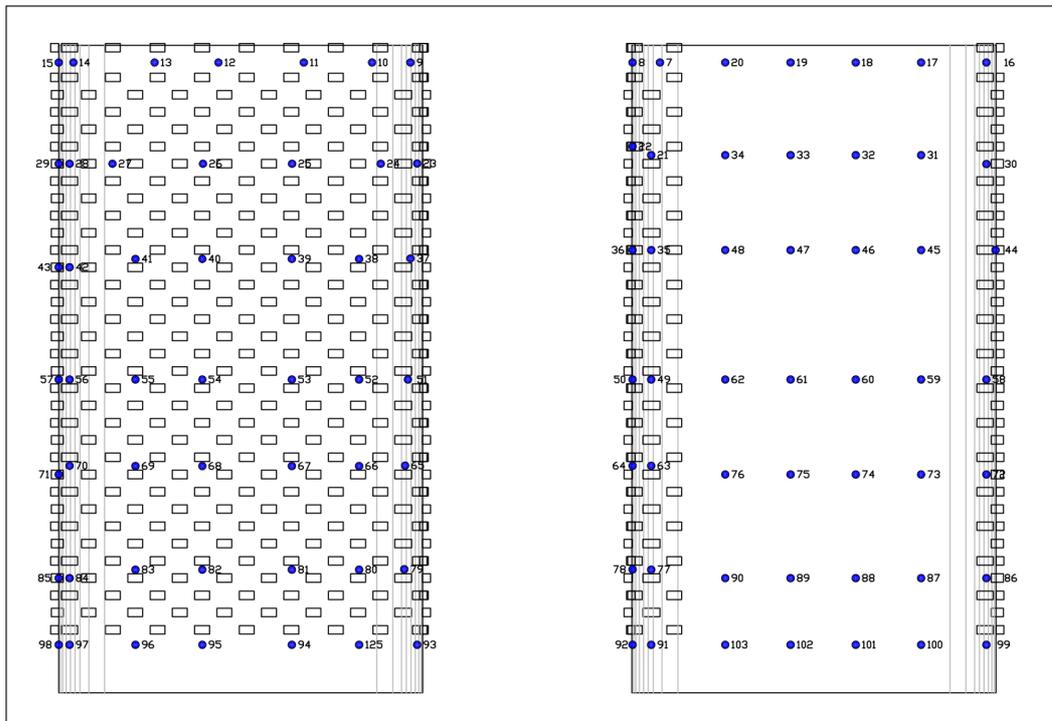
[4] CUR Richtlinie 103: Windkanalmessungen zur Ermittlung der Entwurf-Windlasten auf (Hohen) Bauwerke und Teile (Windtunnelonderzoek voor de bepaling van ontwerpwindlasten op (hoge) gebouwen en onderdelen ervan), Gouda, Den Niederlande, 2005

[5] N.J. Cook, The designer's guide to wind loading of building structures, 1990

Mook,

Dieser Bericht besteht aus 15 Seiten

Anlage 1 Messpunkte lokale Drücke



Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



Tabelle A: Maximale und minimale Winddrücke für die geplante Situation.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung	P_{max}	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung	P_{min}	U_{min}	a_{min}
		max [°]					min [°]			
1	0.13	180	142	0.08	0.04	-1.68	0	-1858	-2.39	-0.13
2	0.26	75	291	0.29	0.05	-1.71	90	-1891	-2.33	-0.17
3	0.19	75	206	0.16	0.05	-1.28	195	-1420	-1.91	-0.07
4	0.19	0	209	0.19	0.04	-1.66	90	-1841	-2.09	-0.23
5	0.12	90	133	0.09	0.04	-1.77	345	-1953	-2.36	-0.19
6	0.07	90	81	0.01	0.04	-1.13	105	-1245	-1.51	-0.12
7	0.90	0	999	1.37	0.04	-1.11	45	-1223	-1.55	-0.09
8	0.92	45	1022	1.42	0.03	-1.05	90	-1161	-1.46	-0.09
9	1.04	75	1155	1.36	0.13	-1.01	165	-1117	-1.39	-0.09
10	0.86	90	950	1.25	0.06	-1.01	255	-1119	-1.32	-0.12
11	0.84	135	928	1.27	0.04	-0.91	255	-1010	-1.22	-0.10
12	0.86	150	955	1.31	0.04	-0.76	15	-843	-1.05	-0.07
13	0.81	150	898	1.23	0.04	-1.11	15	-1229	-1.53	-0.10
14	0.89	195	982	1.35	0.04	-1.11	240	-1232	-1.63	-0.07
15	1.00	240	1110	1.46	0.07	-1.09	285	-1206	-1.58	-0.08
16	0.91	285	1004	1.35	0.05	-1.11	225	-1222	-1.66	-0.06
17	0.84	285	927	1.26	0.04	-0.81	210	-895	-1.16	-0.06
18	0.80	315	887	1.19	0.05	-0.83	210	-918	-1.13	-0.08
19	0.80	315	889	1.18	0.05	-1.33	195	-1473	-1.59	-0.21
20	0.89	330	982	1.31	0.05	-1.44	195	-1598	-1.83	-0.19
21	0.98	0	1080	1.44	0.06	-1.08	45	-1196	-1.59	-0.07
22	1.00	60	1105	1.43	0.07	-0.86	90	-950	-1.22	-0.07
23	0.88	60	978	1.36	0.04	-0.81	15	-900	-1.21	-0.05
24	1.03	90	1138	1.52	0.06	-0.60	45	-664	-0.88	-0.04
25	0.93	135	1030	1.42	0.04	-0.75	240	-826	-1.02	-0.07
26	0.94	135	1042	1.43	0.04	-0.68	30	-756	-0.98	-0.05
27	0.92	165	1022	1.41	0.04	-0.64	30	-710	-0.86	-0.07
28	0.94	195	1037	1.45	0.03	-0.72	105	-802	-0.96	-0.08
29	0.99	240	1092	1.48	0.05	-0.70	300	-775	-0.98	-0.06
30	0.91	270	1002	1.39	0.03	-0.90	210	-999	-1.28	-0.07
31	0.96	300	1057	1.41	0.06	-0.85	210	-940	-1.19	-0.07
32	0.91	300	1001	1.37	0.04	-0.87	60	-966	-1.11	-0.12
33	0.17	45	192	0.25	0.01	-0.37	300	-408	-0.56	-0.02
34	0.95	330	1053	1.42	0.05	-0.92	90	-1016	-1.15	-0.13
35	0.92	0	1016	1.37	0.05	-1.38	60	-1531	-1.93	-0.12
36	1.00	60	1109	1.40	0.09	-0.96	90	-1059	-1.37	-0.07
37	0.92	90	1022	1.32	0.07	-1.21	30	-1342	-1.83	-0.06
38	0.97	90	1071	1.41	0.06	-0.69	45	-759	-1.01	-0.04
39	0.87	120	966	1.33	0.04	-0.76	30	-836	-1.06	-0.07
40	0.94	135	1040	1.38	0.06	-0.76	240	-844	-0.99	-0.09

Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



Tabelle A: Maximale und minimale Winddrücke für die geplante Situation.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung	P_{min}	U_{min}	a_{min}
		max [°]					min [°]			
41	0.92	150	1017	1.39	0.05	-0.66	225	-725	-0.95	-0.04
42	0.92	195	1017	1.39	0.04	-0.74	150	-819	-1.06	-0.05
43	0.95	240	1046	1.39	0.06	-0.87	165	-961	-1.25	-0.06
44	0.97	255	1072	1.45	0.05	-1.09	210	-1203	-1.61	-0.06
45	0.91	285	1008	1.38	0.04	-0.80	210	-882	-1.16	-0.05
46	0.91	315	1006	1.36	0.05	-0.84	210	-930	-1.20	-0.07
47	0.92	315	1019	1.39	0.05	-0.81	90	-894	-1.08	-0.09
48	0.92	315	1021	1.32	0.07	-0.77	90	-850	-1.08	-0.07
49	0.81	0	895	1.19	0.05	-1.30	330	-1442	-1.75	-0.14
50	0.85	30	937	1.21	0.06	-1.14	90	-1265	-1.66	-0.08
51	0.87	90	959	1.21	0.08	-1.10	150	-1216	-1.62	-0.07
52	0.88	90	970	1.30	0.05	-0.77	30	-846	-1.07	-0.07
53	0.91	120	1010	1.33	0.06	-0.86	30	-946	-1.18	-0.08
54	0.97	150	1068	1.40	0.07	-0.90	30	-990	-1.16	-0.11
55	0.88	150	976	1.28	0.06	-0.63	240	-701	-0.89	-0.05
56	0.88	195	968	1.33	0.04	-1.04	135	-1145	-1.51	-0.07
57	0.87	240	961	1.27	0.06	-1.08	300	-1196	-1.53	-0.09
58	0.94	255	1045	1.35	0.07	-1.19	300	-1321	-1.68	-0.10
59	0.85	300	936	1.24	0.05	-0.85	210	-941	-1.26	-0.05
60	0.86	300	951	1.26	0.05	-0.80	210	-883	-1.15	-0.06
61	0.88	330	970	1.28	0.06	-0.97	90	-1076	-1.30	-0.10
62	0.87	330	957	1.29	0.05	-0.90	90	-996	-1.25	-0.08
63	0.85	15	940	1.18	0.07	-1.23	60	-1356	-1.73	-0.10
64	0.86	45	947	1.26	0.05	-1.25	90	-1379	-1.81	-0.08
65	0.83	90	922	1.21	0.06	-1.18	30	-1305	-1.71	-0.08
66	0.89	105	979	1.29	0.06	-0.85	15	-939	-1.19	-0.07
67	0.81	120	893	1.13	0.07	-0.86	0	-955	-1.13	-0.10
68	0.44	135	483	0.67	0.02	-0.37	345	-407	-0.57	-0.01
69	0.90	150	993	1.28	0.07	-0.69	0	-759	-0.99	-0.05
70	0.82	195	907	1.20	0.05	-1.11	240	-1231	-1.66	-0.06
71	0.81	225	899	1.21	0.05	-0.92	165	-1018	-1.36	-0.06
72	0.81	270	897	1.21	0.04	-1.05	210	-1164	-1.56	-0.06
73	0.74	300	824	1.09	0.05	-0.85	210	-936	-1.26	-0.05
74	0.87	300	957	1.23	0.07	-0.82	165	-903	-1.13	-0.07
75	0.77	315	849	1.14	0.04	-0.94	90	-1040	-1.35	-0.07
76	0.82	330	910	1.16	0.07	-1.33	90	-1470	-1.72	-0.16
77	0.72	0	793	0.99	0.07	-1.32	90	-1455	-1.84	-0.11
78	0.80	30	889	1.13	0.07	-1.32	90	-1458	-1.71	-0.16
79	0.86	90	955	1.25	0.06	-0.99	15	-1100	-1.38	-0.09
80	0.82	120	911	1.14	0.07	-0.85	15	-939	-1.18	-0.08

Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



Tabelle A: Maximale und minimale Winddrücke für die geplante Situation.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung	P_{min}	U_{min}	a_{min}
		max [°]					min [°]			
81	0.58	135	638	0.83	0.04	-0.85	330	-940	-1.08	-0.11
82	0.55	135	610	0.81	0.03	-0.81	285	-898	-1.06	-0.10
83	0.73	135	809	1.05	0.05	-0.96	330	-1059	-1.32	-0.09
84	0.75	195	832	1.06	0.06	-1.12	345	-1243	-1.50	-0.12
85	0.72	225	801	1.03	0.06	-1.01	345	-1114	-1.34	-0.11
86	0.78	270	863	1.08	0.07	-0.95	345	-1048	-1.41	-0.05
87	0.62	300	690	0.88	0.05	-0.92	195	-1022	-1.26	-0.09
88	0.71	300	786	1.02	0.05	-0.67	165	-736	-1.00	-0.03
89	0.72	345	795	1.04	0.05	-0.72	165	-799	-1.04	-0.05
90	0.71	330	788	0.99	0.07	-1.09	90	-1210	-1.55	-0.09
91	0.43	0	478	0.50	0.07	-1.13	90	-1245	-1.61	-0.08
92	0.39	30	426	0.54	0.03	-1.05	345	-1164	-1.50	-0.08
93	0.71	90	786	0.93	0.08	-1.16	0	-1288	-1.62	-0.10
94	0.52	135	572	0.74	0.04	-0.88	345	-975	-1.20	-0.09
95	0.56	165	623	0.82	0.04	-0.81	270	-891	-1.10	-0.08
96	0.54	150	596	0.77	0.04	-0.98	330	-1078	-1.27	-0.12
97	0.44	195	485	0.63	0.03	-1.29	120	-1426	-1.83	-0.10
98	0.34	240	377	0.44	0.04	-1.13	345	-1245	-1.52	-0.12
99	0.45	285	501	0.59	0.05	-1.18	345	-1310	-1.70	-0.09
100	0.55	255	606	0.73	0.06	-0.70	105	-772	-1.00	-0.05
101	0.80	300	889	1.14	0.06	-0.84	150	-931	-1.22	-0.06
102	0.79	345	873	1.13	0.06	-0.86	165	-947	-1.21	-0.07
103	0.73	345	803	1.05	0.05	-0.82	90	-902	-1.18	-0.06
104	0.59	345	649	0.84	0.04	-1.46	90	-1614	-1.94	-0.16
105	0.59	345	654	0.88	0.03	-1.29	90	-1430	-1.91	-0.08
106	0.68	345	749	0.95	0.06	-0.83	90	-920	-1.16	-0.07
107	0.59	270	653	0.86	0.04	-0.87	150	-963	-1.23	-0.07
108	0.58	270	636	0.82	0.04	-1.44	105	-1591	-1.82	-0.19
109	0.47	330	517	0.68	0.03	-1.30	150	-1437	-1.62	-0.18
110	0.58	345	643	0.82	0.05	-1.02	165	-1131	-1.27	-0.14
111	0.51	345	566	0.75	0.03	-1.25	150	-1379	-1.53	-0.18
112	0.49	315	537	0.71	0.03	-1.14	150	-1259	-1.47	-0.14
113	0.51	330	567	0.73	0.04	-1.21	165	-1339	-1.62	-0.13
114	0.57	345	631	0.77	0.06	-0.69	165	-760	-0.99	-0.05
115	0.60	345	661	0.83	0.05	-0.94	90	-1045	-1.30	-0.09
116	0.79	315	877	1.12	0.07	-0.87	165	-963	-1.26	-0.06
117	0.47	270	522	0.62	0.06	-0.66	150	-725	-0.98	-0.03
118	0.81	180	895	1.10	0.08	-0.90	105	-994	-1.26	-0.08
119	0.30	345	326	0.40	0.03	-0.65	105	-715	-0.89	-0.06
120	0.94	345	1044	1.35	0.07	-0.78	90	-867	-1.17	-0.04

Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



Tabelle A: Maximale und minimale Winddrücke für die geplante Situation.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
121	0.72	345	795	1.01	0.06	-0.71	165	-788	-0.97	-0.07
122	1.02	315	1125	1.49	0.07	-0.79	165	-876	-1.13	-0.06
123	0.70	270	771	0.97	0.06	-0.56	105	-618	-0.82	-0.03
124	0.84	300	932	1.16	0.08	-0.95	165	-1051	-1.38	-0.07
125	0.50	105	557	0.71	0.04	-0.98	0	-1081	-1.28	-0.12
126	0.15	75	166	0.12	0.04	-1.23	90	-1364	-1.59	-0.15

Legende Tabellen Druckmessungen

$C_{pe;loc;max}$	= maximaler repräsentativer lokaler Druckbeiwert	$C_{pe;loc;min}$	= minimaler repräsentativer lokaler Druckbeiwert (Sog)
Windrichtung = Windrichtung [in Grad] wobei maximaler Windrichtung max [°]	Druckbeiwert ist gemessen (0° = Nord, 90° = Ost)	Windrichtung = Windrichtung [in Grad] wobei minimaler min [°]	Druckbeiwert (maximaler Sog) ist gemessen (0° = Nord, 90° = Ost)
P_{max} [Pa]	= maximaler Winddruck in Pascal (N/m ²)	P_{min} [Pa]	= maximaler Winddruck (maximaler Sog) in Pascal (N/m ²)
U_{max}	= Modus der Gumbel Verteilung für dieses Maximum	U_{min}	= Modus der Gumbel Verteilung für dieses Minimum
a_{max}	= Dispersion der Gumbel Verteilung für dieses Maximum	a_{min}	= Dispersion der Gumbel Verteilung für dieses Minimum

Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



Tabelle B: Maximale und minimale Winddrücke für den 15m-Fall.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung	P_{min}	U_{min}	a_{min}
		max [°]					min [°]			
1	0.12	165	130	0.03	0.06	-1.77	0	-1958	-2.53	-0.14
2	0.13	270	144	0.11	0.04	-1.54	90	-1703	-2.19	-0.12
3	0.10	0	113	0.05	0.04	-1.51	180	-1674	-1.85	-0.22
4	0.15	0	165	0.14	0.04	-1.59	180	-1758	-2.20	-0.15
5	0.09	90	97	0.01	0.05	-1.75	0	-1936	-2.26	-0.22
6	0.04	90	48	-0.08	0.05	-1.24	150	-1376	-1.61	-0.15
7	0.92	0	1016	1.39	0.04	-1.10	60	-1212	-1.65	-0.05
8	0.95	45	1050	1.44	0.04	-0.91	345	-1005	-1.32	-0.06
9	0.89	75	990	1.33	0.05	-0.96	30	-1062	-1.42	-0.06
10	0.85	105	946	1.28	0.04	-1.06	255	-1171	-1.44	-0.11
11	0.84	135	930	1.28	0.04	-1.00	255	-1108	-1.32	-0.11
12	0.89	135	983	1.34	0.04	-0.85	240	-937	-1.17	-0.08
13	0.84	150	929	1.26	0.05	-1.12	15	-1239	-1.58	-0.09
14	0.93	180	1029	1.42	0.04	-1.15	240	-1271	-1.75	-0.05
15	0.98	225	1080	1.47	0.05	-1.12	300	-1236	-1.64	-0.07
16	0.91	285	1007	1.37	0.04	-1.17	210	-1291	-1.75	-0.06
17	0.87	300	960	1.29	0.05	-1.41	75	-1563	-1.62	-0.24
18	0.83	315	918	1.22	0.05	-1.08	75	-1198	-1.49	-0.10
19	0.83	330	917	1.20	0.06	-1.01	195	-1116	-1.25	-0.14
20	0.88	330	976	1.32	0.05	-1.58	195	-1744	-1.92	-0.23
21	0.96	0	1061	1.44	0.05	-1.09	60	-1201	-1.60	-0.07
22	0.95	60	1052	1.32	0.09	-0.68	330	-755	-0.94	-0.06
23	0.93	60	1024	1.41	0.04	-0.76	15	-839	-1.11	-0.05
24	0.97	105	1076	1.47	0.05	-0.64	240	-703	-0.89	-0.05
25	0.96	135	1063	1.44	0.05	-0.77	255	-852	-0.95	-0.11
26	0.94	135	1034	1.41	0.04	-0.77	30	-848	-1.04	-0.08
27	0.94	165	1037	1.43	0.04	-0.72	225	-794	-1.06	-0.04
28	0.97	195	1075	1.47	0.05	-0.71	120	-783	-1.02	-0.05
29	0.96	225	1066	1.47	0.04	-0.74	330	-816	-1.03	-0.06
30	0.98	270	1080	1.47	0.05	-1.00	225	-1103	-1.41	-0.08
31	0.97	285	1076	1.46	0.05	-0.97	60	-1076	-1.26	-0.12
32	0.96	315	1057	1.40	0.06	-1.00	60	-1109	-1.39	-0.09
33	0.18	45	198	0.26	0.01	-0.40	270	-444	-0.57	-0.03
34	0.93	330	1031	1.42	0.04	-0.81	210	-899	-1.05	-0.10
35	0.94	15	1037	1.38	0.06	-1.29	60	-1426	-1.80	-0.11
36	0.98	45	1084	1.46	0.05	-0.78	90	-868	-1.14	-0.05
37	0.97	90	1067	1.42	0.06	-1.15	30	-1272	-1.73	-0.06
38	0.97	120	1077	1.42	0.06	-0.66	45	-729	-0.96	-0.04
39	0.96	120	1057	1.39	0.07	-0.76	30	-843	-1.03	-0.08
40	0.91	135	1007	1.37	0.04	-0.76	240	-845	-1.05	-0.07

Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



Tabelle B: Maximale und minimale Winddrücke für den 15m-Fall.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
41	0.96	150	1063	1.44	0.05	-0.69	225	-763	-1.02	-0.04
42	0.95	195	1054	1.42	0.05	-0.80	135	-883	-1.14	-0.06
43	0.93	225	1027	1.40	0.04	-0.82	180	-909	-1.18	-0.06
44	1.00	255	1111	1.47	0.07	-1.20	210	-1324	-1.73	-0.09
45	0.93	285	1027	1.40	0.05	-0.95	210	-1053	-1.32	-0.09
46	0.99	315	1097	1.41	0.08	-0.82	210	-911	-1.22	-0.05
47	0.95	315	1052	1.41	0.05	-0.89	60	-982	-1.25	-0.07
48	0.95	345	1053	1.39	0.06	-0.71	60	-783	-1.03	-0.05
49	0.81	0	899	1.23	0.04	-1.37	300	-1515	-1.90	-0.12
50	0.87	45	959	1.29	0.05	-0.93	90	-1027	-1.34	-0.06
51	0.89	90	983	1.29	0.06	-1.03	135	-1141	-1.57	-0.05
52	0.85	120	936	1.25	0.05	-0.70	240	-779	-0.98	-0.06
53	0.99	120	1093	1.38	0.08	-0.77	240	-847	-1.13	-0.05
54	0.95	135	1054	1.41	0.06	-0.89	30	-985	-1.17	-0.10
55	0.87	150	962	1.30	0.05	-0.67	225	-739	-0.97	-0.05
56	0.93	180	1030	1.32	0.07	-1.13	240	-1245	-1.66	-0.07
57	0.91	225	1010	1.37	0.05	-1.13	300	-1252	-1.59	-0.09
58	0.89	255	985	1.32	0.05	-1.20	315	-1326	-1.76	-0.07
59	0.84	300	925	1.24	0.05	-0.99	210	-1093	-1.38	-0.09
60	0.87	315	958	1.28	0.05	-1.06	75	-1175	-1.32	-0.15
61	0.92	315	1019	1.32	0.07	-1.01	60	-1112	-1.35	-0.11
62	0.88	345	969	1.30	0.05	-0.85	60	-942	-1.21	-0.07
63	0.85	0	942	1.23	0.06	-1.42	60	-1571	-2.05	-0.10
64	0.88	45	973	1.29	0.05	-0.99	105	-1099	-1.48	-0.05
65	0.86	90	953	1.24	0.06	-1.17	30	-1290	-1.73	-0.07
66	0.88	120	975	1.31	0.05	-0.78	255	-859	-1.10	-0.06
67	0.80	135	882	1.16	0.05	-0.95	240	-1050	-1.21	-0.12
68	0.50	135	549	0.73	0.03	-0.37	0	-413	-0.58	-0.01
69	0.89	150	983	1.30	0.06	-0.77	225	-856	-1.07	-0.07
70	0.84	195	927	1.24	0.05	-1.24	240	-1377	-1.85	-0.07
71	0.90	225	995	1.30	0.06	-0.84	165	-930	-1.26	-0.04
72	0.82	270	910	1.20	0.05	-1.16	210	-1283	-1.68	-0.08
73	0.82	300	904	1.16	0.06	-1.01	210	-1114	-1.39	-0.09
74	0.83	300	918	1.21	0.06	-0.87	75	-957	-1.16	-0.09
75	0.80	315	882	1.15	0.06	-0.95	180	-1049	-1.25	-0.11
76	0.81	330	892	1.17	0.05	-1.06	60	-1171	-1.46	-0.10
77	0.84	0	930	1.14	0.08	-1.40	60	-1553	-2.00	-0.11
78	0.80	45	887	1.13	0.07	-1.05	330	-1165	-1.52	-0.07
79	0.79	90	878	1.13	0.06	-0.99	30	-1094	-1.43	-0.07
80	0.84	135	925	1.14	0.08	-0.83	270	-917	-1.17	-0.07

Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



Tabelle B: Maximale und minimale Winddrücke für den 15m-Fall.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
81	0.71	135	788	1.01	0.06	-0.87	345	-967	-1.16	-0.10
82	0.68	135	755	0.98	0.05	-0.83	255	-918	-1.14	-0.08
83	0.89	150	988	1.23	0.09	-0.92	330	-1022	-1.29	-0.08
84	0.78	180	866	1.09	0.07	-0.97	0	-1068	-1.24	-0.12
85	0.85	225	941	1.16	0.08	-0.81	315	-900	-1.18	-0.06
86	0.76	255	839	1.04	0.07	-0.99	195	-1094	-1.41	-0.08
87	0.70	285	779	0.99	0.06	-0.96	195	-1057	-1.29	-0.10
88	0.69	300	764	1.01	0.04	-0.69	180	-759	-0.96	-0.06
89	0.73	345	806	1.05	0.05	-0.67	180	-745	-0.95	-0.06
90	0.73	345	809	1.06	0.05	-0.88	60	-970	-1.25	-0.07
91	0.55	15	608	0.75	0.05	-0.99	285	-1095	-1.49	-0.05
92	0.40	45	438	0.52	0.04	-1.07	330	-1183	-1.52	-0.08
93	0.51	75	565	0.68	0.05	-1.18	15	-1307	-1.72	-0.08
94	0.74	135	813	1.03	0.06	-0.94	330	-1045	-1.20	-0.12
95	0.75	150	827	1.04	0.07	-0.90	300	-996	-1.11	-0.13
96	0.60	150	668	0.88	0.04	-0.92	330	-1020	-1.24	-0.10
97	0.59	195	656	0.80	0.06	-1.50	135	-1663	-2.22	-0.09
98	0.45	240	498	0.60	0.05	-1.18	150	-1309	-1.73	-0.08
99	0.62	285	691	0.83	0.07	-1.31	330	-1453	-1.86	-0.10
100	0.58	285	642	0.76	0.07	-0.66	105	-726	-0.94	-0.05
101	0.89	315	983	1.23	0.08	-0.80	180	-889	-1.11	-0.08
102	0.75	330	826	1.10	0.04	-0.78	180	-863	-1.08	-0.07
103	0.70	345	769	1.02	0.05	-0.80	90	-889	-1.13	-0.07
104	0.50	345	556	0.73	0.04	-1.20	165	-1326	-1.46	-0.18
105	0.57	345	630	0.83	0.04	-1.20	90	-1322	-1.74	-0.08
106	0.72	315	794	1.01	0.06	-0.75	75	-832	-1.10	-0.05
107	0.62	270	682	0.85	0.06	-0.81	180	-897	-1.03	-0.11
108	0.55	285	608	0.79	0.04	-1.05	105	-1166	-1.40	-0.12
109	0.44	330	490	0.64	0.03	-1.13	150	-1253	-1.56	-0.11
110	0.51	330	564	0.75	0.03	-0.94	150	-1043	-1.24	-0.11
111	0.51	330	569	0.74	0.04	-1.26	150	-1392	-1.49	-0.20
112	0.48	330	528	0.68	0.04	-1.19	150	-1317	-1.46	-0.17
113	0.50	300	555	0.76	0.02	-1.22	165	-1353	-1.62	-0.14
114	0.69	45	766	0.92	0.08	-0.80	165	-890	-1.13	-0.07
115	0.56	75	625	0.70	0.08	-0.81	75	-901	-1.03	-0.11
116	0.82	330	904	1.13	0.08	-0.80	180	-881	-1.09	-0.08
117	0.53	285	581	0.70	0.06	-0.70	150	-772	-1.01	-0.05
118	0.81	180	892	1.14	0.07	-0.90	105	-996	-1.21	-0.10
119	0.46	285	505	0.65	0.04	-0.92	120	-1023	-1.28	-0.08
120	0.88	345	968	1.28	0.06	-0.90	105	-992	-1.28	-0.07

Anlage 2 Tabellen lokale Drücke



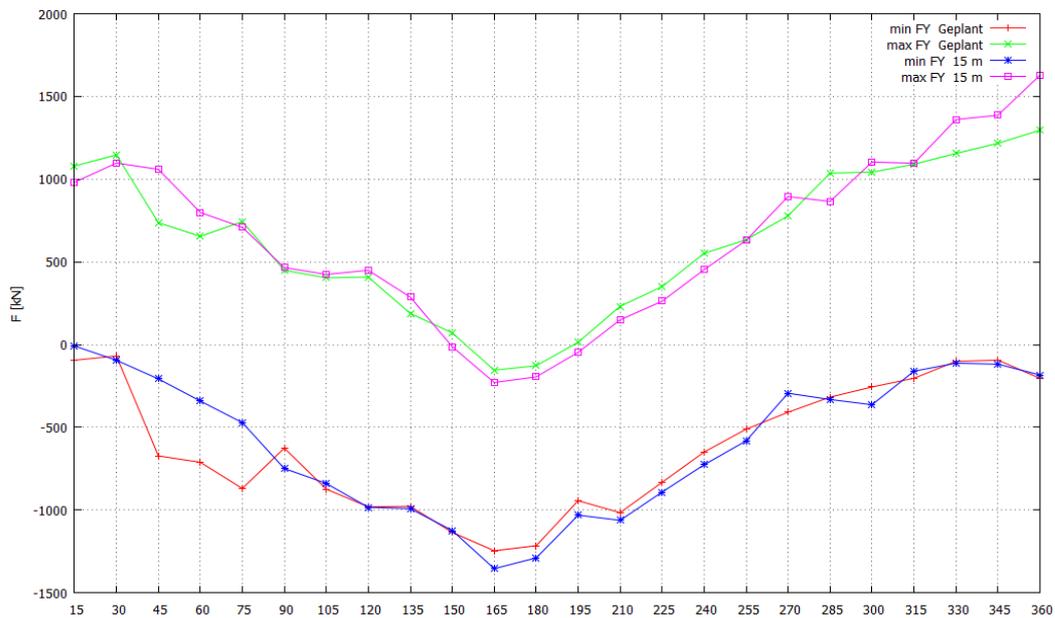
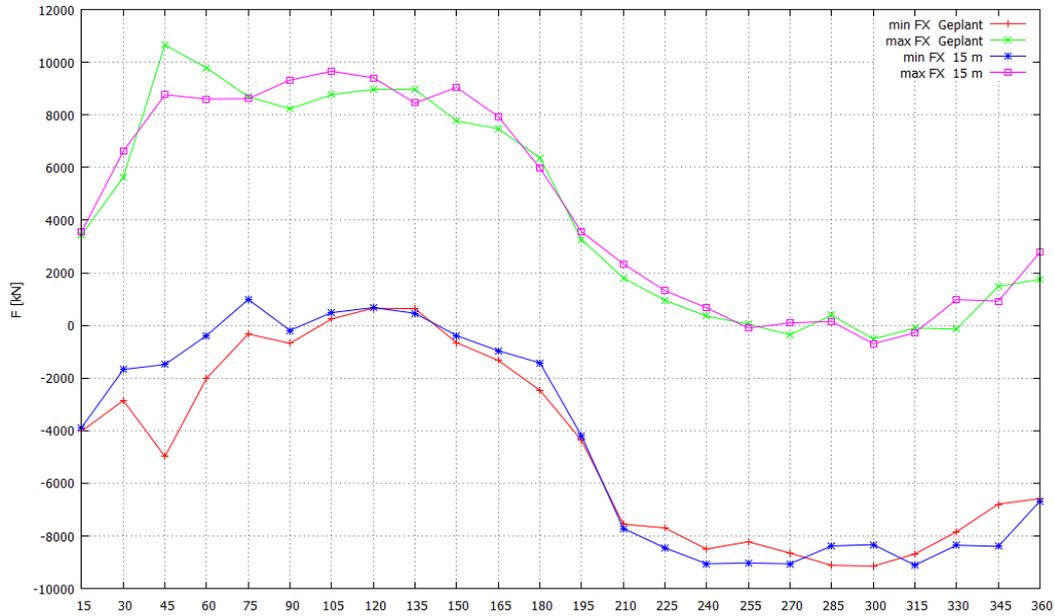
Tabelle B: Maximale und minimale Winddrücke für den 15m-Fall.

Messpunkt	$C_{pe;loc;max}$	Windrichtung max [°]	P_{max} [Pa]	U_{max}	a_{max}	$C_{pe;loc;min}$	Windrichtung min [°]	P_{min}	U_{min}	a_{min}
121	0.68	0	748	0.96	0.06	-0.69	135	-767	-1.00	-0.05
122	1.02	315	1128	1.47	0.07	-0.80	180	-885	-1.08	-0.08
123	0.71	240	788	0.96	0.07	-0.71	90	-790	-1.01	-0.06
124	0.81	285	896	1.16	0.06	-0.99	180	-1099	-1.39	-0.08
125	0.60	120	661	0.85	0.05	-0.80	315	-882	-1.05	-0.09
126	0.20	0	220	0.15	0.06	-1.25	180	-1378	-1.84	-0.07

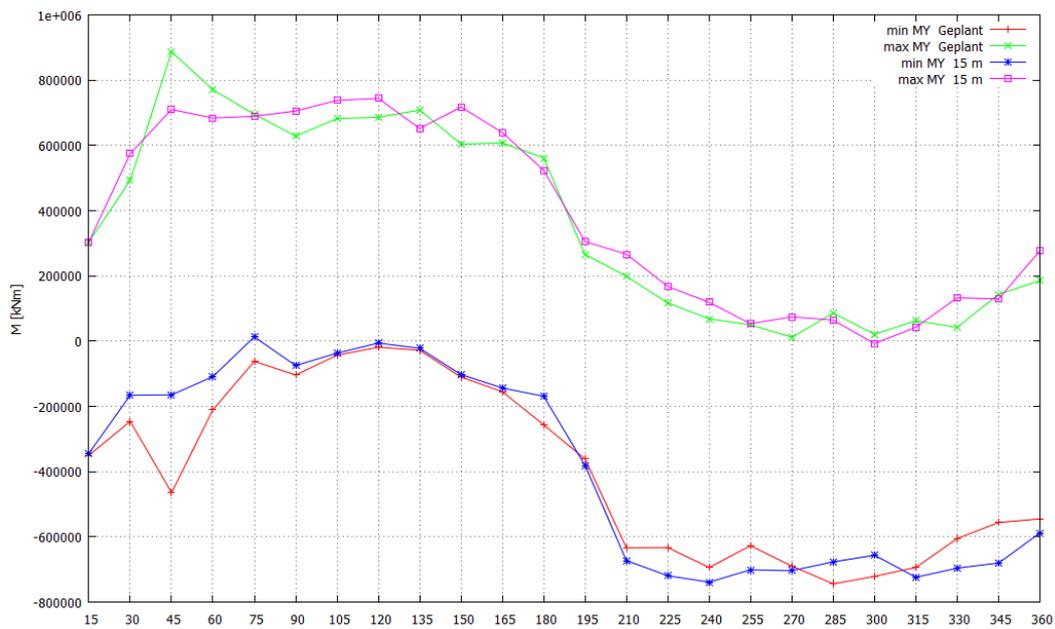
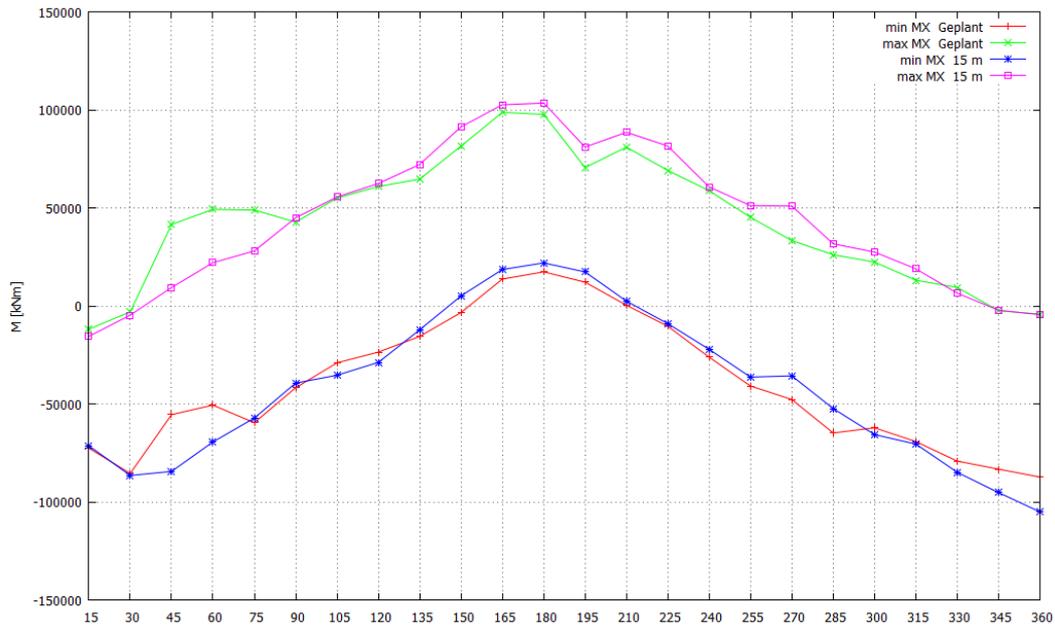
Legende Tabellen Druckmessungen

$C_{pe;loc;max}$	= maximaler repräsentativer lokaler Druckbeiwert	$C_{pe;loc;min}$	= minimaler repräsentativer lokaler Druckbeiwert (Sog)
Windrichtung = Windrichtung [in Grad] wobei maximaler Windrichtung max [°]	Druckbeiwert ist gemessen (0° = Nord, 90° = Ost)	min [°]	= Windrichtung [in Grad] wobei minimaler Druckbeiwert (maximaler Sog) ist gemessen (0° = Nord, 90° = Ost)
P_{max} [Pa]	= maximaler Winddruck in Pascal (N/m ²)	P_{min} [Pa]	= maximaler Winddruck (maximaler Sog) in Pascal (N/m ²)
U_{max}	= Modus der Gumbel Verteilung für dieses Maximum	U_{min}	= Modus der Gumbel Verteilung für dieses Minimum
a_{max}	= Dispersion der Gumbel Verteilung für dieses Maximum	a_{min}	= Dispersion der Gumbel Verteilung für dieses Minimum

Anlage 3 Windkräfte und Biegemomente je Windrichtung



Anlage 3 Windkräfte und Biegemomente je Windrichtung



Anlage 3 Windkräfte und Biegemomente je Windrichtung

