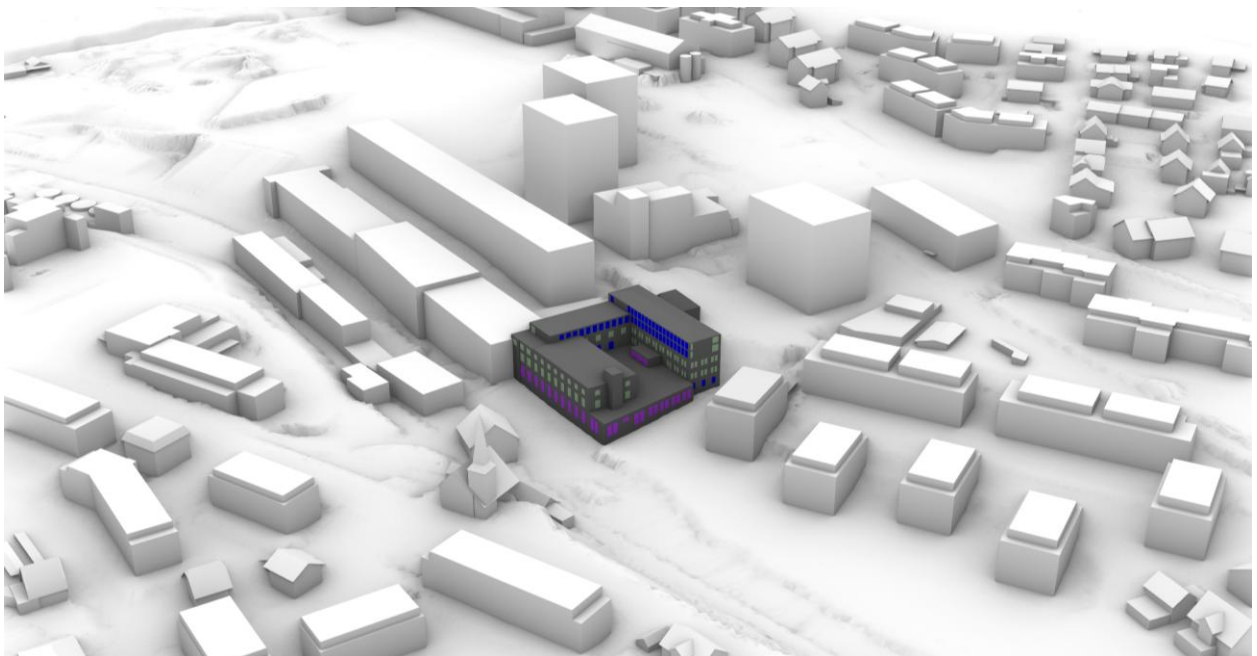


LÜCHINGER MEYER PARTNER AG
Limmatstrasse 275
CH 8005 Zürich
T +41 44 421 43 00
zuerich@lmp-ing.ch

www.lmp-ing.ch

Cham Immobilien AG
Fabrikstrasse
6330 Cham

Papieri Areal Cham
Gebäude Kalanderbau
6330 Cham



Windanalyse Aussenmarkisen

Änderungsverzeichnis

Rev.	Datum	Verfasser	Kommentar
000	13.07.2025	APA	

Impressum

Projekt-Nr.
W26020

Dokument-Nr.
W26020-000

Verfasser:in
Adriano Pagliara Sanchez MSc Bau-Ing. TU | Mail: apa@lmp-ing.ch

Korreferat
-

Dateiname
W26020_Bericht Windgutachten Papieri Kalanderbau Cham.docx

Gesamtseitenzahl
inkl. Anhänge und Beilagen
27

Verteiler

Cham Immobilien AG

Um schwerfällige sprachliche Formulierungen zu vermeiden wird im Text jeweils nur eine Geschlechtsform gewählt.
Die Aussage gilt sinngemäss auch für die andere Form.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1	Zielsetzung / Gegenstand	4
1.2	Übersicht	4
1.3	Abgrenzung	4
2.	Grundlagen	5
2.1	Normen und Richtlinien	5
2.2	Objektspezifische Grundlagen	5
2.3	Weitere Grundlagen	5
2.4	Software	5
3.	Windanalyse	6
3.1	Grundlagen	6
3.2	Modellbildung	7
3.3	Messpunkte / Zonen	8
3.4	Vorgaben Storen	9
3.5	Automatisierungseinstellungen	9
3.6	CFD-Berechnung	9
4.	Windwächter	11
4.1	Ermittlung zentraler Windwächterstandorte	11
4.2	Ermittlung dezentraler Windwächterstandorte	11
4.3	Zonenaufteilung	13
5.	Sonnenstandanalyse	14
5.1	Grundlagen	14
5.2	Messpunkte	15
5.3	Auswertung	15
6.	Statistische Auswertung Wind / Sonne	24
6.1	Messstationen / Gelände	24
6.2	Windstatistik	24
6.3	Eingangsparameter Messwerte	25
6.3.1	Windwerte	25
6.3.2	Globalstrahlung	25
6.3.3	Sonnenstand	25
6.4	Auswertung	25
6.4.1	Grenzgeschwindigkeit	25
6.4.2	Globalstrahlung	25
6.4.3	Resultate	25
6.4.4	Variation der Parameter	26
7.	Zusammenfassung	27

1. Einleitung

1.1 Zielsetzung / Gegenstand

Für das Erreichen der energetischen Anforderungen und des Nutzerkomforts wurden aussenliegende Markisen geplant. Aussenliegende Beschattungselemente sind jeweils für eine maximale Windgeschwindigkeit (Grenzgeschwindigkeit) ausgelegt. Wird die Grenzgeschwindigkeit überschritten, fährt das Element zurück, damit es nicht beschädigt wird. Nach dem Unterschreiten einer reduzierten Grenzgeschwindigkeit wird es wieder ausgefahren. In der Zwischenzeit kann eine Überhitzung der Innenräume nicht verhindert und der Blendschutz nicht gewährleistet werden.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es die Standorte der Windwächter zu definieren und auf Basis einer statistischen Auswertung zu ermitteln, wie häufig ein solcher Ausfall der Beschattung auftritt.

In einer weiteren Untersuchung (Kapitel 5) wird anhand einer Sonnenstandanalyse die Verschattungswirkung durch das Gebäude selbst und der Umgebung analysiert. Diese Analyse fliesst in die statistische Auswertung der Storenausfallzeiten (Kapitel 6) mit ein.

1.2 Übersicht

Das Gebäude Kalanderbau befindet sich im Papieri-Areal in Cham, in direkter Nachbarschaft zur Lorze.

Da die Nebengebäude im Areal und in mittelbarer Umgebung die Windverhältnisse beeinflussen, werden sie ebenfalls in der Windsimulation berücksichtigt.

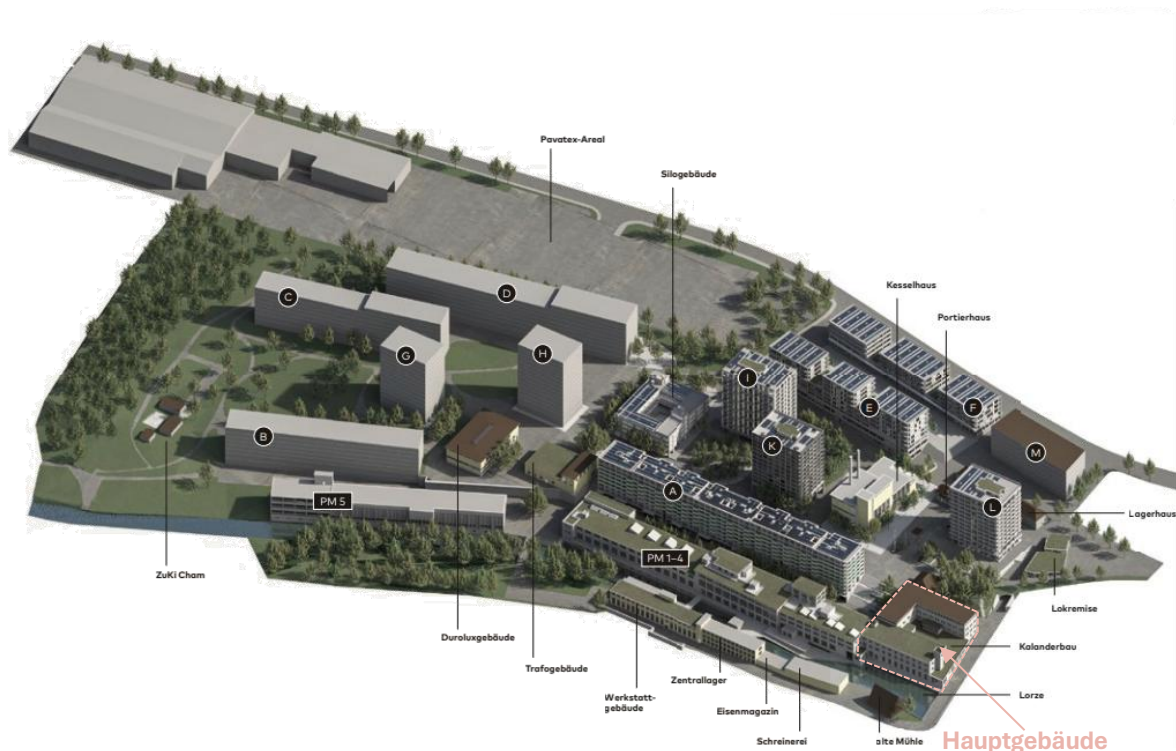


Bild 1 Arealübersicht

1.3 Abgrenzung

Die Analyse und Statistik der Windgeschwindigkeiten haben eine Vielzahl Eingangsgrößen und Abhängigkeiten. Bei der Untersuchung wurden die einzelnen Parameter schrittweise hinzugefügt und auf deren Einfluss überprüft.

Die Untersuchung bleibt eine Modellbetrachtung. Insbesondere hängt die Prognose von der Auswertung von vergangenen Winddaten ab und kann dadurch für künftige Jahre abweichen. Durch eine Berücksichtigung von 10 Jahren wird der Einfluss einzelner Wetterphänomene wesentlich entschärft.

Wie stark sich die Ausfälle der Beschattungselemente auf den Wärmehaushalt des Gebäudes auswirken, ist nicht Teil dieser Untersuchung.

2. Grundlagen

2.1 Normen und Richtlinien

Grundlage des vorliegenden technischen Berichts sind die aktuell gültigen Normen des SIA, insbesondere

- [1] SN EN 1991-1-4 :2005, Einwirkungen auf Tragwerke – Allgemeine Einwirkungen – Windlasten
- [2] SN EN 13659: 2016, Abschlüsse aussen und Aussenjalousien – Leistungs- und Sicherheitsanforderungen
- [3] SN EN 1932:213, Abschlüsse und Markisen – Widerstand gegen Windlast – Prüfverfahren und Nachweiskriterien

2.2 Objektspezifische Grundlagen

- [4] Duplex Architekten AG, Papieri Areal Gebäude Kalanderbau – Grundriss-, Schnitt- und Ansichtpläne, Sonnenschutzpläne, Zürich, 08.05.2026.

2.3 Weitere Grundlagen

- [1] SIA Dokumentation D00188, Wind, SIA, Zürich, 2006
- [2] Bundesamt für Landestopografie, swissBUILDINGS3D 2.0
- [3] Bundesamt für Landestopografie, swissALTI3D
- [4] Meteo Schweiz, Meteodaten Cham, Zürich 2014 – 2023

2.4 Software

- [5] Dlubal Software GmbH, RWIND 3.06 Pro

3. Windanalyse

3.1 Grundlagen

Die Windgeschwindigkeiten in der Nähe eines Gebäudes werden durch dessen Geometrie und Anströmrichtung beeinflusst. Es ist also erforderlich, zu untersuchen wie sich die Punkte an der Fassade gegenüber dem freien Feld verhalten. Entsprechend werden die Windgeschwindigkeiten, welche auf dem freien Feld gemessen wurden (v_0) mit einem Faktor (f) zu multiplizieren, um die effektiven Geschwindigkeiten am Gebäude (v_F) zu erhalten (Bild 2).

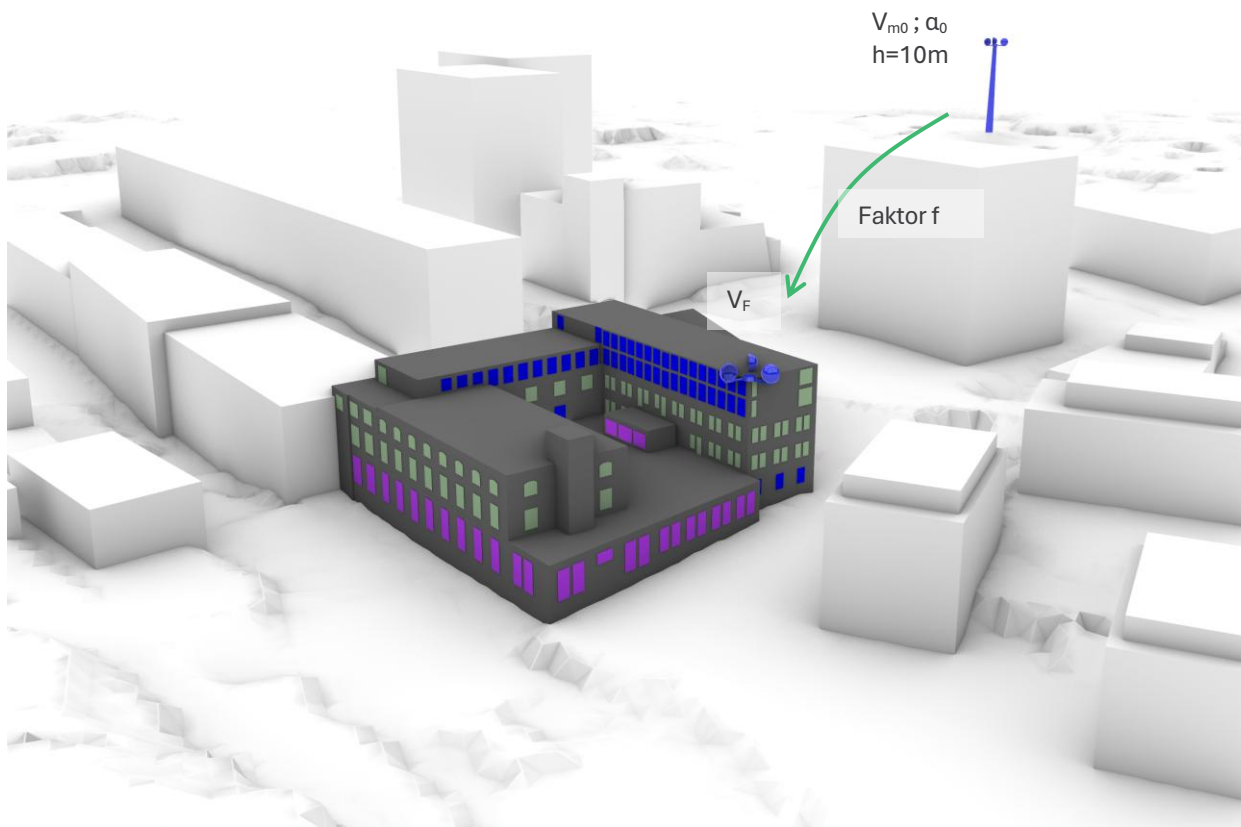


Bild 2 Schema Umrechnung Windgeschwindigkeit

In der CFD-Analyse wurde als Eingangsgrösse ein Windprofil verwendet, das mit Hilfe der Staudruckformel der SIA 261 berechnet wurde. Aus der Formel:

$$q_p = c_H * q_{p,0}$$

kann äquivalent der Term

$$v_m^2 = c_H * v_{m0}^2$$

abgeleitet werden, der die Geschwindigkeit in Abhängigkeit der Höhe als

$$v_m = \sqrt{c_H} * v_{m0}$$

definiert.

v_m : mittlere Bezugsgeschwindigkeit auf der Höhe z über Boden

v_{m0} : mittlere Geschwindigkeit auf der Höhe z über Boden

c_H : Profilbeiwert in Funktion der Höhe z über dem Boden in Abhängigkeit der Bodenrauigkeit.

3.2 Modellbildung

Die Simulation wurde mit der CFD (Computational Fluid Dynamics) – Software RWIND3 Pro der Firma Dlubal durchgeführt [5]. Dabei wurde das Windprofil wie in Kap. 3.1 beschrieben verwendet. Die Eingangsgeschwindigkeit auf 10m Höhe wurde mit 15 m/s gewählt. Um die alle Windrichtungen zu berücksichtigen, wurden 16 Anströmrichtungen im 22.5°-Raster jeweils mit und ohne Umgebung gerechnet. Um die Absenkungen des Geländes in der Simulation zu berücksichtigen, wurde ein Drehscheibenmodell des Geländes erzeugt und im Windkanal erfasst.

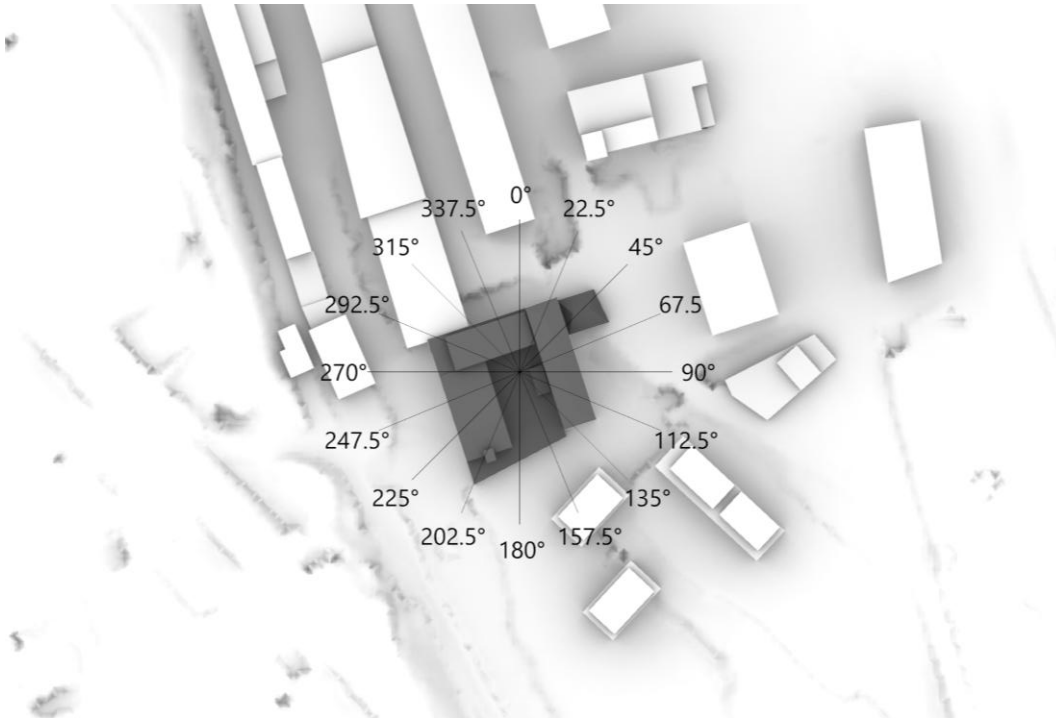


Bild 3 Winkelteilung

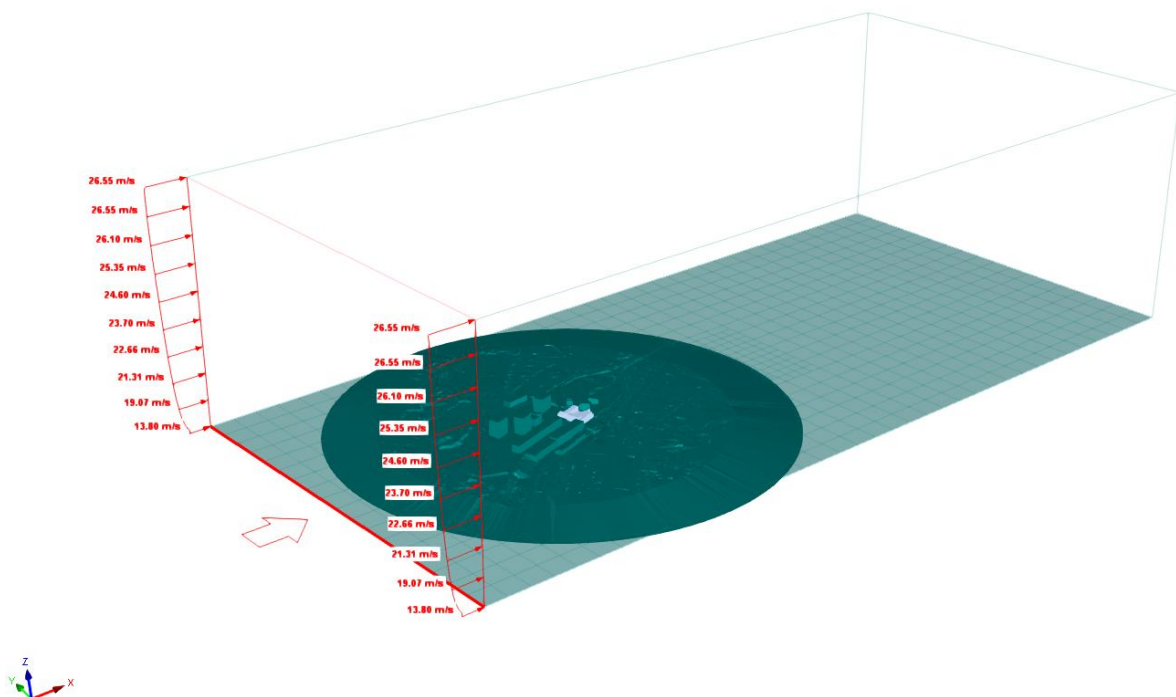


Bild 4 Windkanal Windrichtung 0° (aus Norden)

3.3 Messpunkte / Zonen

Die Messpunkte wurden an den jeweiligen Flächen mittig angesetzt und verteilt. Für die Werterfassung wurden sie 50 cm lotrecht zur Fassade nach aussen geschoben. Auf Basis der korrelierenden Messungen wurden die Messpunkte im Anschluss an die Berechnungen zu Fassadenzonen (Buchstabe für Fassadenausrichtung + Lauf-nummer) zusammengefasst. Es wurde ein Optimum zwischen Anzahl Windwächter und Anzahl Zonen gesucht.

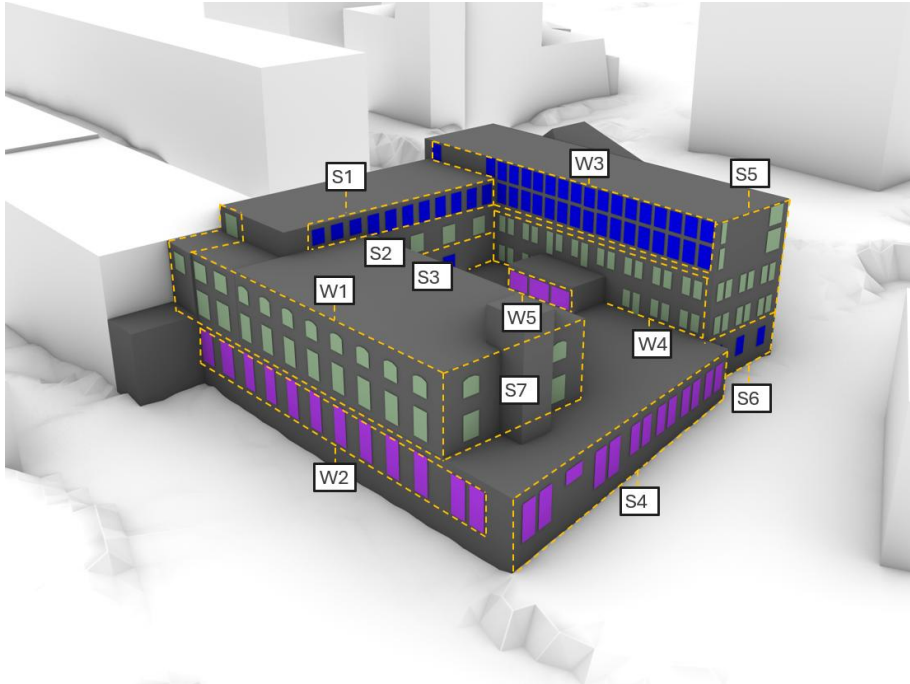


Bild 5 Zoneneinteilung Südwest

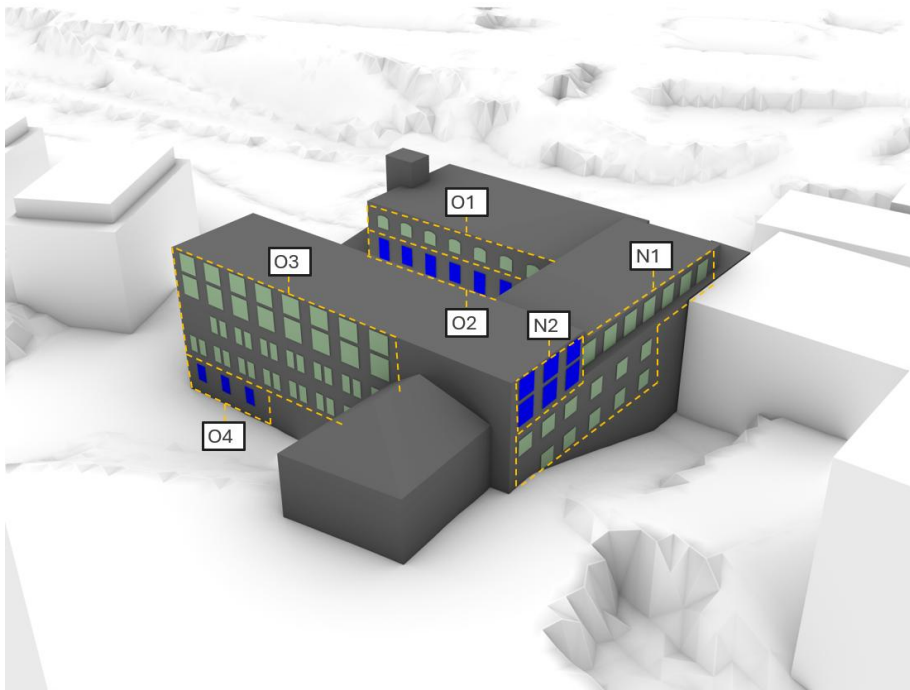


Bild 6 Zoneneinteilung Nordost

3.4 Vorgaben Storen

Die Grenzwerte wurden aufgrund der Typen-Vorgabe der Architekturgrundlage ermittelt.

Die gewählten Produkte sind in ähnlicher Ausführung auch bei mehreren Herstellern erhältlich. Die Hersteller definieren die Grenzgeschwindigkeiten auf Anfrage auch objektspezifisch.

Rafflamellen

Produkt: n.a.

Abstand zur Fassade: 100 – 300mm

Breite: Bis 2.4 m

Höhe: Bis 2.9 m

Grenzgeschwindigkeit: 16.7m/s (Windklasse 4)

Ausstellmarkisen

Produkt: n.a.

Abstand zur Fassade: 100 – 300mm

Breite: Bis 3.6 m

Höhe: Bis 1.8 m

Grenzgeschwindigkeiten: 16.7 m/s (Windklasse 4)

Vertialmarkisen

Produkt: n.a.

Abstand zur Fassade: 100 – 300mm

Breite: Bis 4.2 m

Höhe: Bis 3.1 m

Grenzgeschwindigkeiten: 25.6 m/s (Windklasse 6)

3.5 Automatisierungseinstellungen

Steuerung

Sobald die Grenzgeschwindigkeit erreicht ist, werden die Storen hochgefahren und gesperrt.

Wartezeit Tieffahren

Die Wartezeit für erneutes Tieffahren nach Überschreitung wurde mit 10 Minuten angenommen.

3.6 CFD-Berechnung

Bild 7 zeigt das Geschwindigkeitsfeld auf 10 m unter 0°-Anströmung. Die gemessenen Geschwindigkeiten wurden für alle Windrichtungen tabellarisch zusammengezogen. Bild 8 zeigt diese Tabelle der Werte 0 bis 30. Hohe Geschwindigkeiten sind graduell rot hinterlegt.

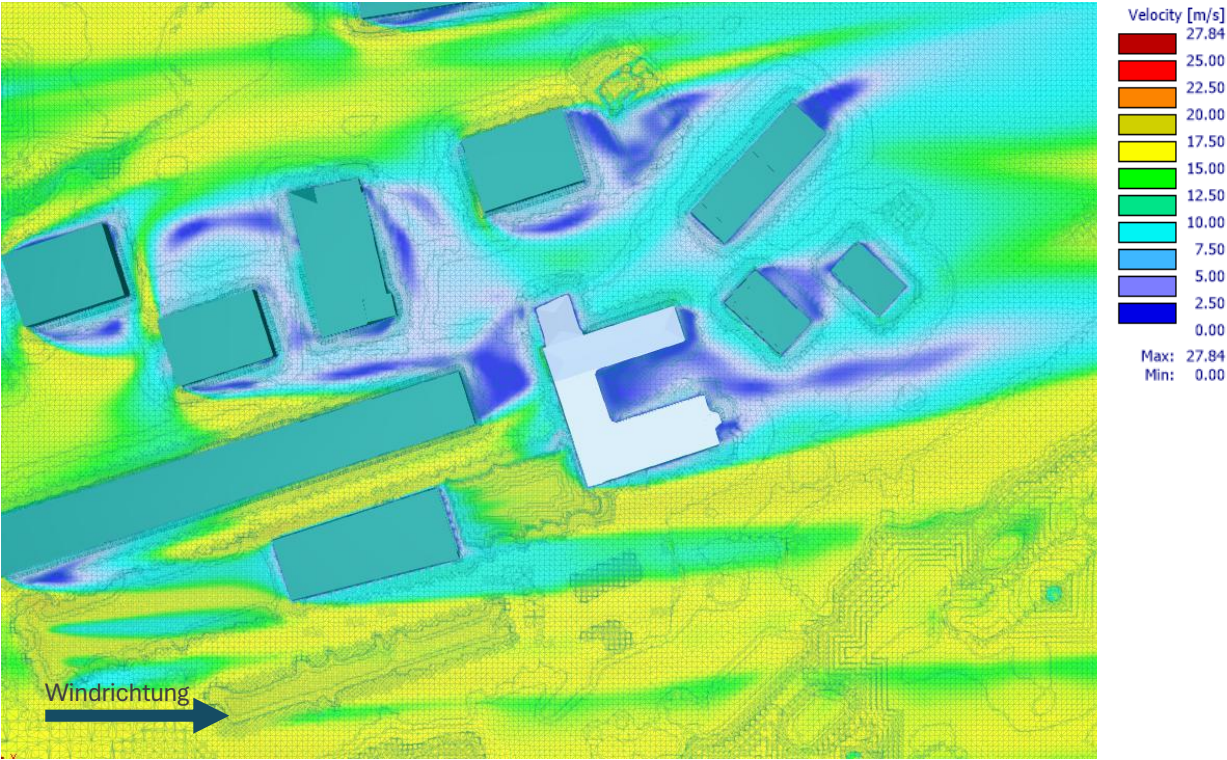


Bild 7 Simulation mit Messpunkten, Anströmung 0°, Geschwindigkeiten auf 10m

Punkt	Windrichtung															
	0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5
0	2.9	3	1.2	2.4	3.3	8.5	4.9	1.9	4.7	6.7	3.8	1.8	9.4	0.9	2	1
1	4.3	2.7	1.6	2.6	4	11.1	8.5	4.8	11.7	12.5	8.3	2.4	5.9	2.4	3.7	2
2	4.7	2.9	1.3	2.7	1.8	5.1	5.1	6	6.5	10.8	4.6	8.5	6.3	7.9	2.5	0
3	4.2	3.9	1.1	3.2	0.8	2.8	2.7	3.1	4.7	6.4	3.1	5.7	12	12.2	1	1
4	4	4.1	0.9	3.1	1.5	3.5	3.3	3.5	6.8	8.4	2.7	8.2	10.6	11	0.6	2
5	5.1	3	1	2.9	1.8	4	5.2	3.9	8.4	10.2	3	6.3	8.9	9.3	1	1
6	4.3	3.8	1.2	4.1	2.5	3.1	2.9	4.6	7.4	7.6	2.5	8.5	14.4	14.7	3.7	2
7	4.5	5.3	1.9	4.3	2.9	4.3	3.5	5.6	8.6	9.6	4.6	8.9	13.3	14	2.9	1
8	5.1	4.4	2	4.5	3.3	4.9	4.3	6.8	10.1	11.7	5.6	7.3	12.2	12.8	2.1	2
9	5.4	4.6	2	4.4	3.5	5.7	4.5	7.6	10.6	12.3	6.2	11.2	11.2	12.3	1.8	2
10	6	4.4	2.1	4	4	9	4.7	9.6	11.3	13.2	7.9	8.5	12.2	11.5	1.6	1
11	5.7	3.7	2.4	1.5	4.8	8.6	4	8.5	12.4	14.5	10.6	7.7	11.5	9.9	2.8	1
12	4.3	1.1	2.1	2.4	5.4	4.1	3.9	2.8	12.3	14.4	11.2	6.4	10.7	9.1	3.8	0
13	3.3	2.8	0.5	2.7	6	12.7	8.9	4.2	9.3	12.9	11.5	2.3	9.3	7.5	5.1	2
14	4.9	4	1.8	2.8	5.2	12.5	5.9	3	1.3	6.6	1.4	2	7.9	4.8	2.5	2
15	4.4	3	1.2	2.8	5.7	13.1	8.2	1.5	5.2	10.2	11.4	2	10	6	5	2
16	4	2.8	1.5	2.8	5.3	12.3	6.9	1.6	3	7.4	10.9	1.3	9.9	4.3	4.6	2
17	3.6	2.7	1.4	2.6	4.4	9.7	5.6	2.1	4.4	7.7	7.9	2.1	9.3	2	3.3	
18	0.8	1.7	2	2.3	3	2.7	5	3	8.1	14	5.4	6.2	10.3	14.5	7.2	2
19	4.1	3.7	2.3	3.7	4.6	6.6	5.9	7.4	11	13.5	6.1	10.1	10.3	12.9	3.7	3
20	2.7	1.6	2.3	2.5	5.1	2.5	8	3.4	11.2	15.7	6.8	6.4	7.6	13.1	6.9	
21	0.9	1.4	2.8	2.3	5.5	5.3	6.3	5.2	12.5	16.1	9.3	5.8	6.5	11.9	6.4	2
22	5.2	3.9	2.6	3.1	5.3	9.4	7.2	9.8	12.3	14.6	9	7.3	8.8	11.6	1.5	2
23	3.2	2	2.8	1.7	5.4	7.4	6.8	7.3	13	16.4	9.2	5.7	5.5	10.6	5.3	2
24	5.7	3.1	2.7	2.8	5.3	9.9	8.1	9.9	13	15	10.1	6.9	10.5	11.1	1.1	2
25	4.4	2	2.9	1.5	3.7	7.9	3.9	6.2	13.6	16.4	9.3	4.8	6.2	9.1	3.3	1
26	6.2	3.8	2.8	2.5	5.3	9.1	8.1	9.8	13.4	15.2	11	5	10.9	10.6	1.6	1
27	5.2	2.8	3	2.4	4.8	8.4	5.4	8.1	14.2	16.3	11.1	3.7	5.8	9.5	1.3	1
28	6.5	3.1	2.8	3.1	5.4	7.4	8.4	8.1	13.7	15.3	11.6	3	11.1	10.1	2.3	1
29	5.8	3.1	3.1	3.2	5.1	8.4	6.3	8	14.5	14.6	12.1	2.1	9.4	7.5	0.4	1
30	5.5	1.2	3.1	3.3	5.8	7.6	4.1	1.9	15	15.9	10.6	2.6	7.8	3.7	1.7	0

Bild 8 Geschwindigkeiten an den Messpunkte 0 bis 30 (exemplarisch)

4. Windwächter

4.1 Ermittlung zentraler Windwächterstandorte

Für die Ermittlung der Windwächterstandorte wurde zunächst ein zentrales Windwächterkonzept verfolgt. Grundvoraussetzung für ein solches System ist eine unverschattete Anströmung aus allen 16 Windrichtungen, damit eine ungestörte Korrelation zwischen der am Windwächter gemessenen Windgeschwindigkeit und der Anströmung der Beschattungselemente hergestellt werden kann. Die Auswertung der CFD-Berechnungen zeigt jedoch, dass der Windwächter bei einzelnen Windrichtungen durch die Nebengebäude im Areal beeinflusst wird. Aus diesem Grund wird ein dezentrales Windwächtersystem bevorzugt, bei dem die Messstellen fassadennah angeordnet werden und die lokale Anströmung der jeweils zugeordneten Beschattungselemente unmittelbar erfassen.

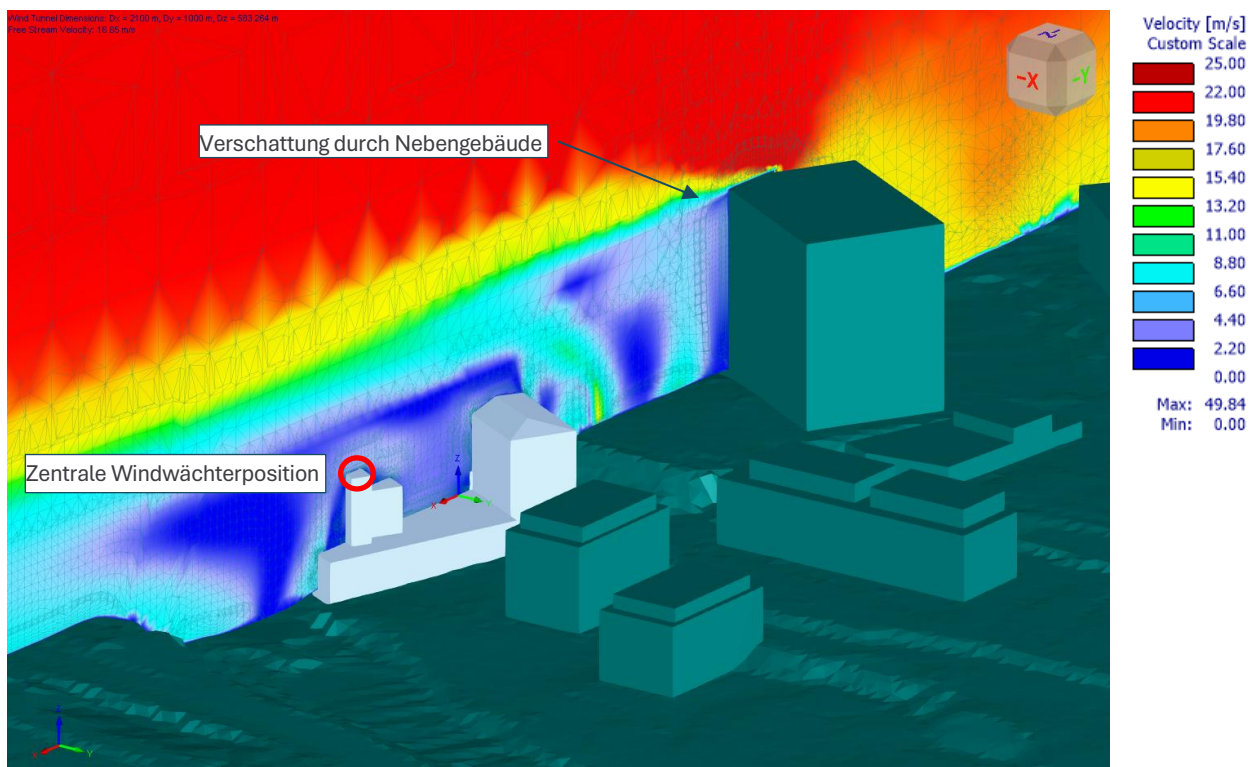


Bild 9 Simulationsergebnisse Windrichtung 247.5°

4.2 Ermittlung dezentraler Windwächterstandorte

Für die Ermittlung der Windwächterpositionen werden die massgebenden Windrichtungen pro Fassadenseite betrachtet. Die Windgeschwindigkeiten wurden in mehreren Höhen entlang der Fassade ausgewertet und für die Analyse wie folgt visualisiert. Bild 10 zeigt die Verteilung des Geschwindigkeitsverlaufs in Fassadennähe. Die Höhe der Säulen beschreibt die Verteilung der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Windrichtung. Die Windwächterpositionen in Bild 11 und Bild 12 wurden so gewählt, dass sie die auftretenden Spitzenwerte gut abdecken und im Falle einer Überschreitung die Beschattungselemente frühzeitig hochgefahren werden können.

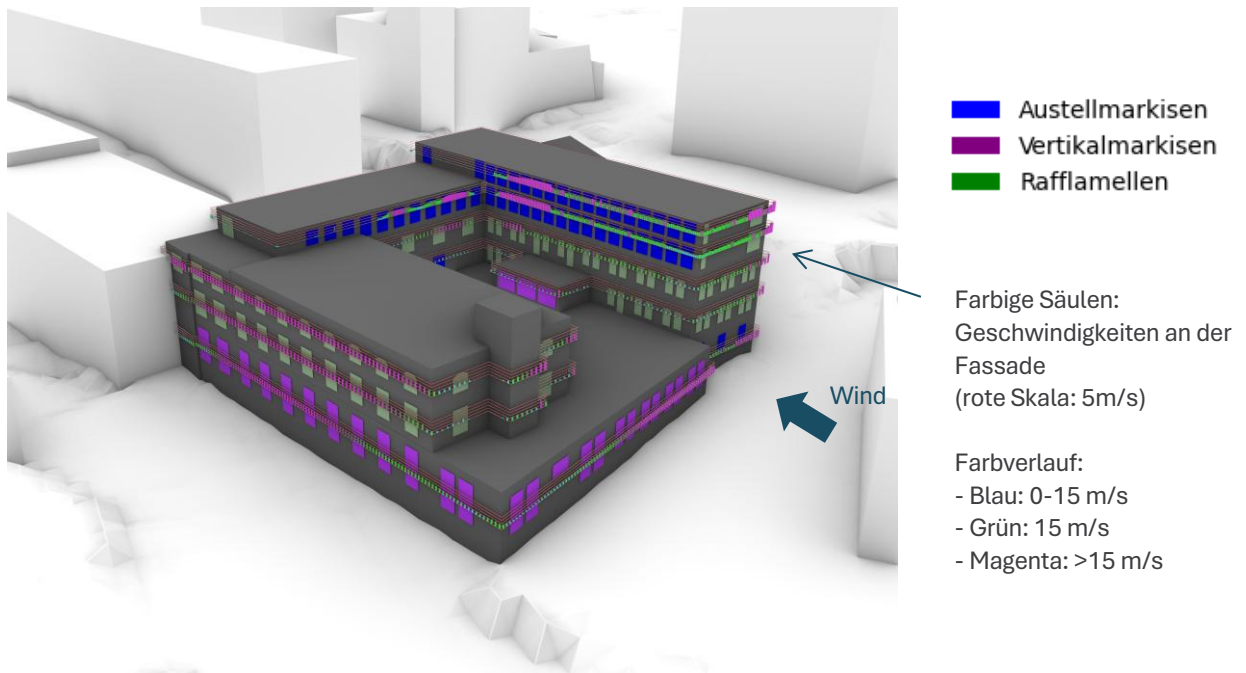


Bild 10 Visualisierung Windgeschwindigkeit entlang der Fassade

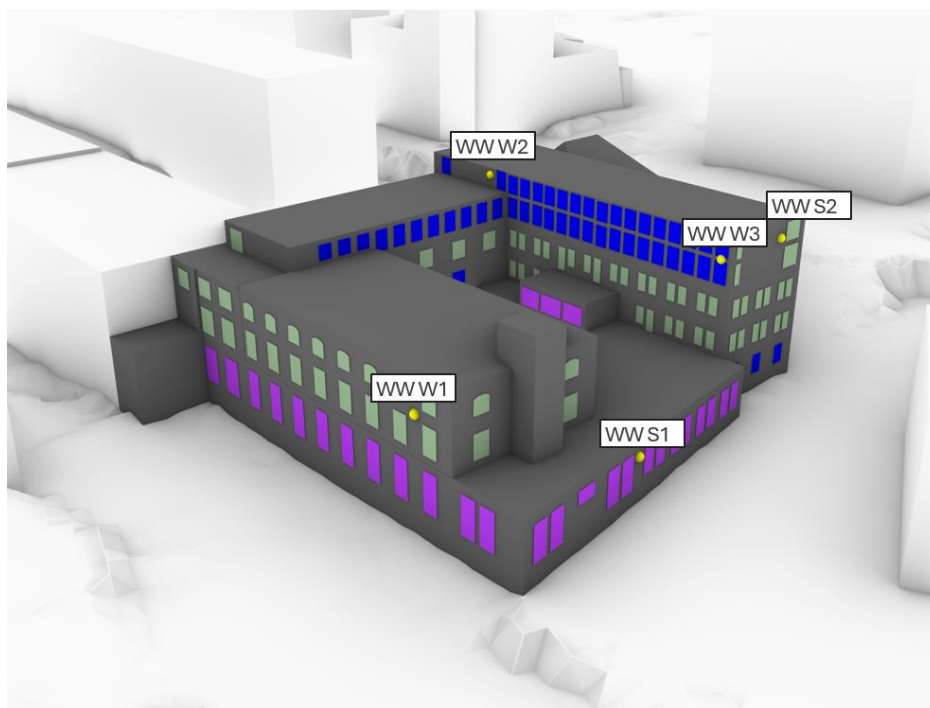


Bild 11 Windwächterstandorte Südwest

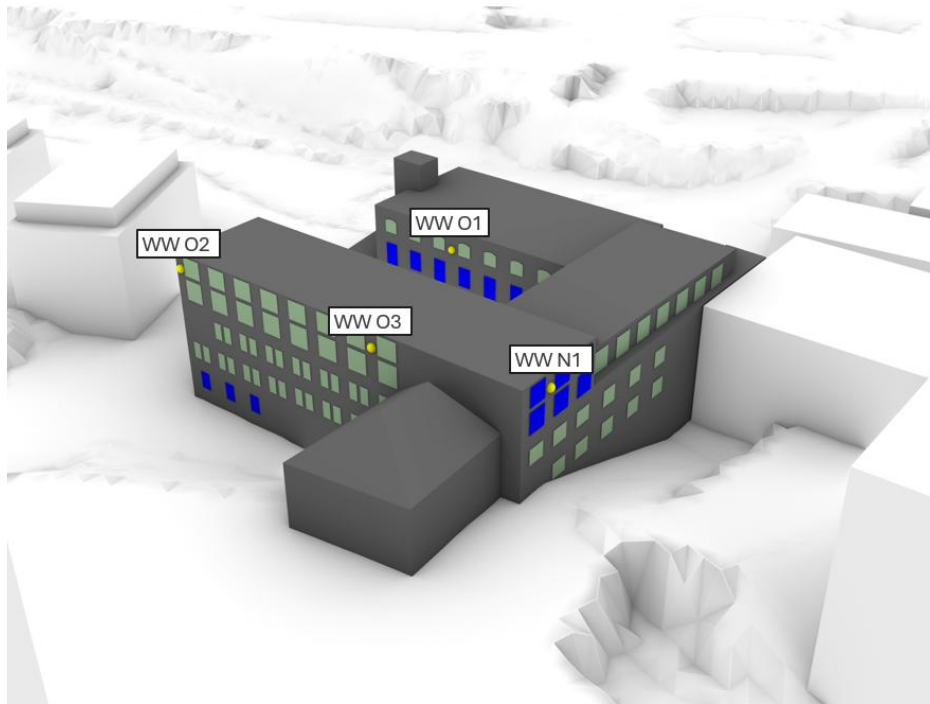


Bild 12 Windwächterstandorte Nordost

4.3 Zonenaufteilung

Zone	Typ / Grenzgeschwindigkeit	Windwächter
N1	Rafflamellen: 16.7 m/s	WW N1
N2	Ausstellmarkisen: 16.7 m/s	WW N1
W1	Rafflamellen: 16.7 m/s	WW W1
W2	Vertikalmarkisen: 25.6 m/s	WW W1
W3	Ausstellmarkisen: 16.7 m/s	Max. WW W2, WW W3
W4	Rafflamellenstoren: 16.7 m/s	Max. WW W2, WW W3
W5	Vertikalmarkisen: 25.6 m/s	Max. WW W2, WW W3
O1	Rafflamellenstoren: 16.7 m/s	WW O1
O2	Ausstellmarkisen: 16.7 m/s	WW O1
O3	Rafflamellenstoren: 16.7 m/s	Max. WW O2, WW O3
O4	Ausstellmarkisen: 16.7 m/s	WW O2
S1	Ausstellmarkisen: 16.7 m/s	WW S2
S2	Rafflamellenstoren: 16.7 m/s	WW S2
S3	Ausstellmarkise: 16.7 m/s	WW S2
S4	Vertikalmarkise: 25.6 m/s	WW S1
S5	Rafflamellen: 16.7 m/s	WW S2
S6	Ausstellmarkisen: 16.7 m/s	WW S2
S7	Rafflamellen: 16.7 m/s	WW S2

5. Sonnenstandanalyse

5.1 Grundlagen

Die Sonnenstandanalyse wurde auf Basis des gleichen 3D-Modells des Gebäudes wie jenes der Windanalyse durchgeführt. Ergänzend zum untersuchten Gebäude und den Umgebungsbauten wurde auch ein Geländemodell berücksichtigt. Die Analyse wurde in 10-Minuten Zeitintervall und damit im gleichen Intervall wie die aufgezeichneten Winddaten durchgeführt. Damit lassen sich in Kapitel 6 die beiden Daten verknüpfen.

Gesamtmodell inkl. Gelände:

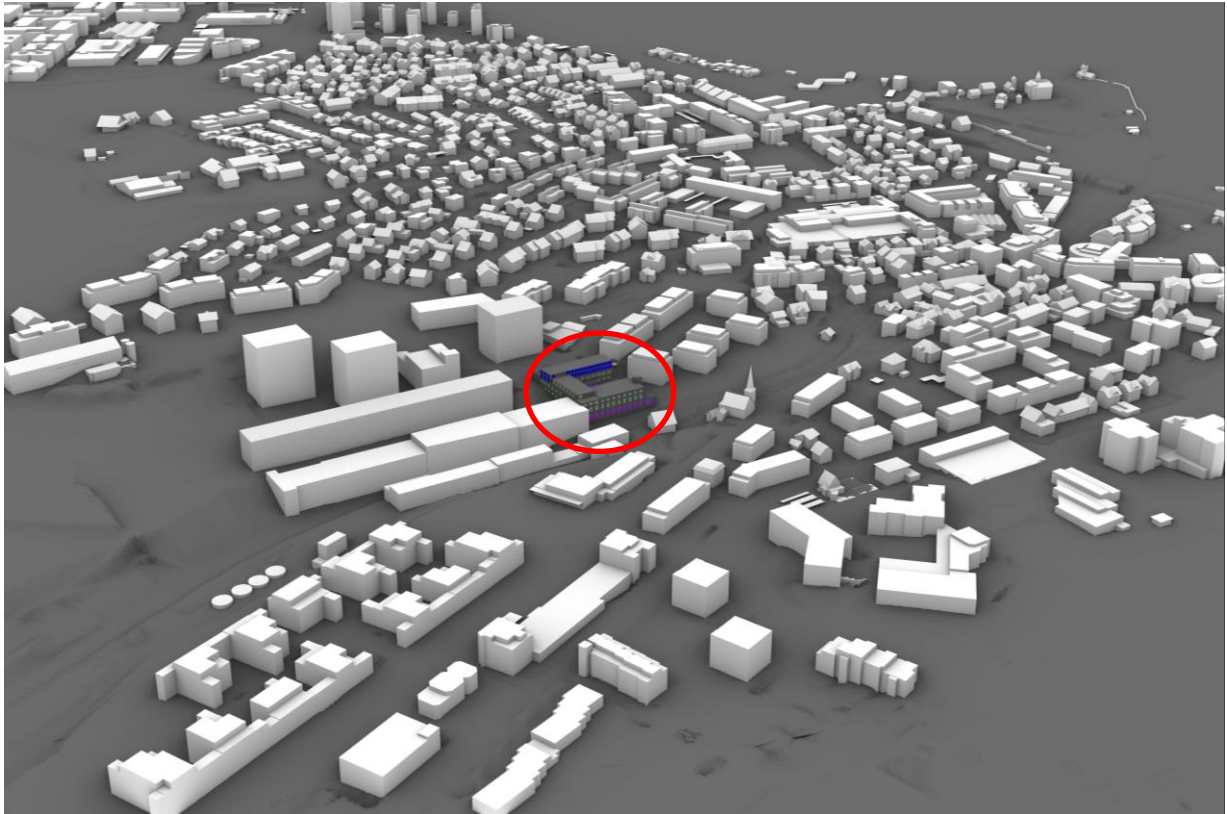


Bild 13 Modell Sonnenstandanalyse (Blickrichtung Nordwest)

Parameter:

- Lage: 47°18'48.000"N 8°45'78.150"E (WGS 84)
- Zeitzone GMT-1
- Höhe 416 m.ü.M.
- Zeitintervall: 10 Minuten

5.2 Messpunkte

Für die Sonnenstandanalyse wurden dieselben Messpunkte wie bei der Windanalyse verwendet. Aufgrund der Fragestellung und der Gebäudegeometrie wurde die Lage nicht angepasst.

5.3 Auswertung

Die Auswertung der einzelnen Punkte werden analog der Windstudie in Zonen zusammengefasst. Die Zone gilt als besonnt, sobald ein Messpunkt der Zone direktes Sonnenlicht erhält. Die Auswertungsmatrix der Untersuchung kann als Excel-Datei mit zwei Tabellen zur Verfügung gestellt werden:

- Binäre Auswertung pro Punkt / Zone für ein Jahr im 10-min Intervall
- Anzahl Sonnenstunden pro Punkt / Zone pro Tag

Nachfolgend werden ausgewählte Punkte der vier Fassaden visuell für die vier Jahreszeiten ausgewertet.

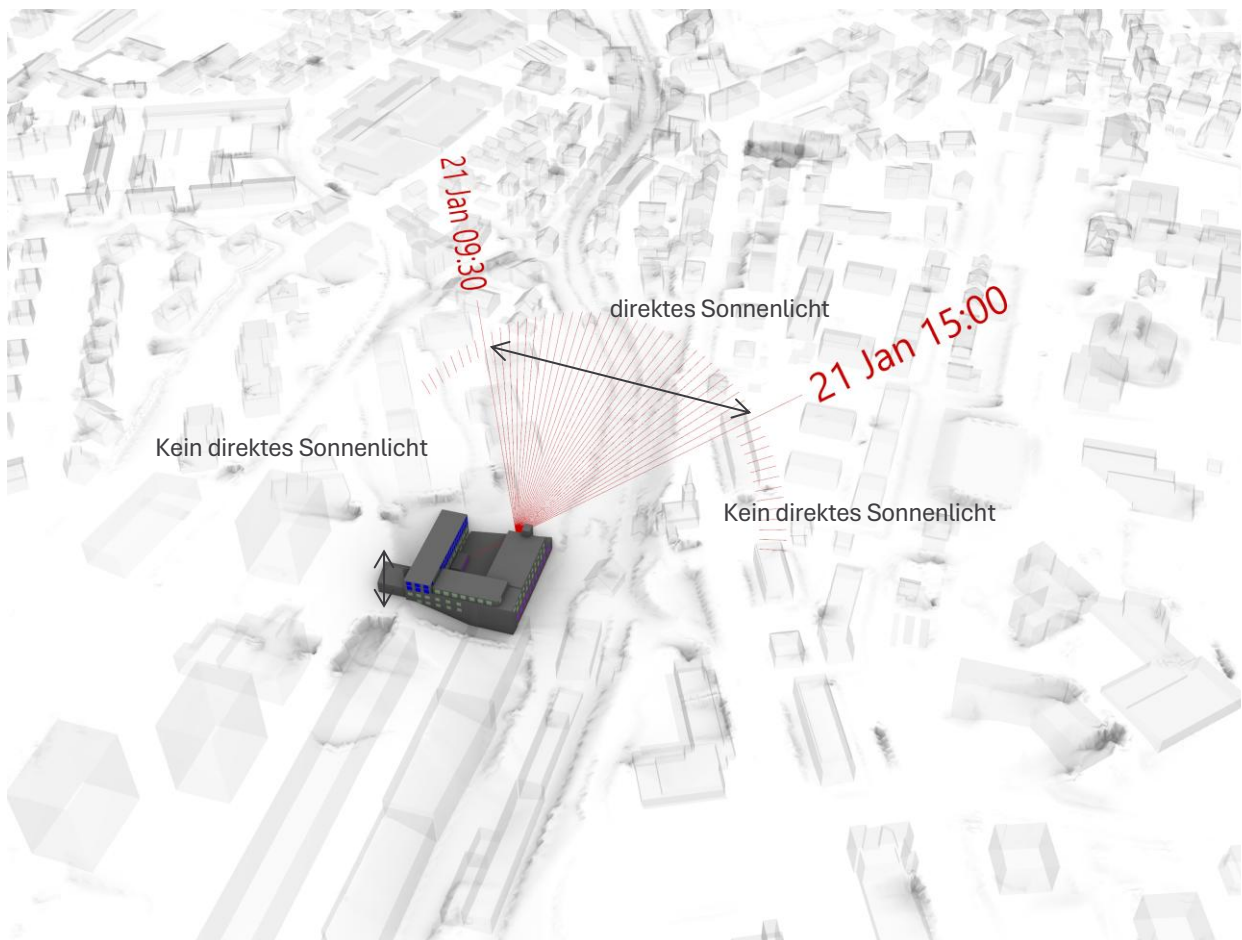


Bild 14 Beispiel

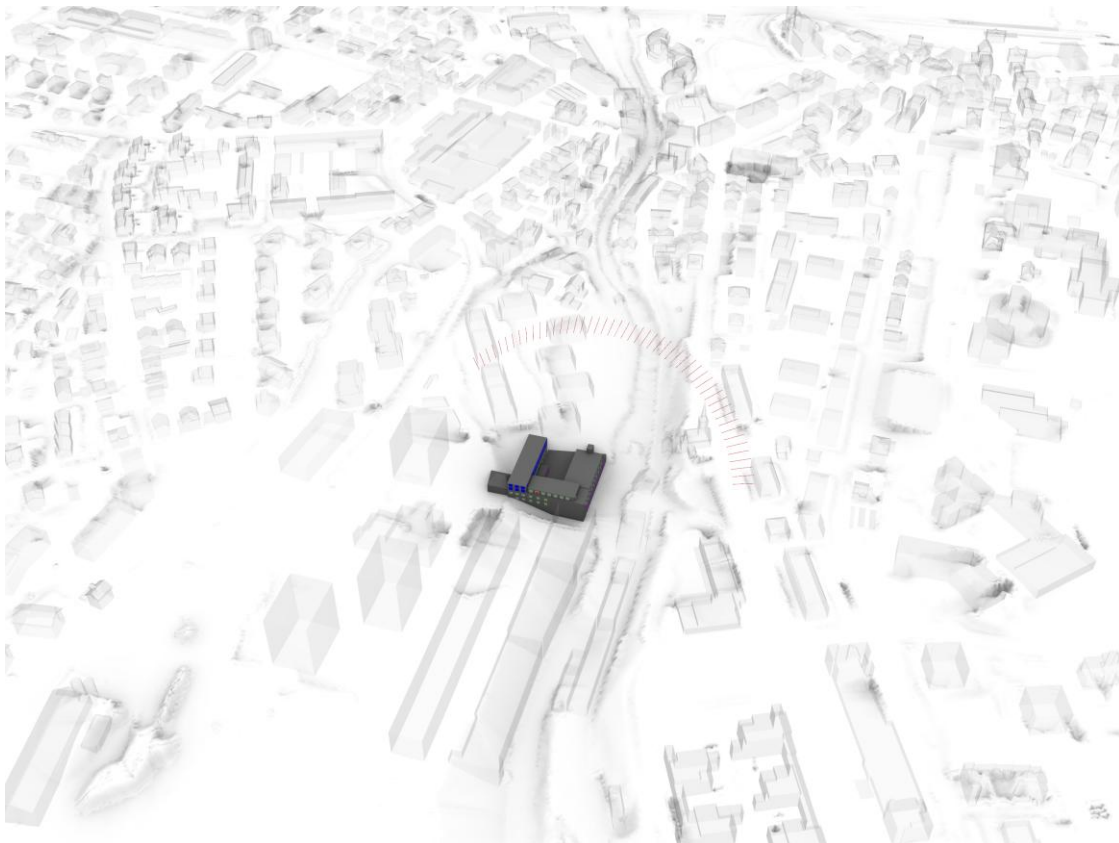


Bild 15 Nordfassade am 21. Dezember

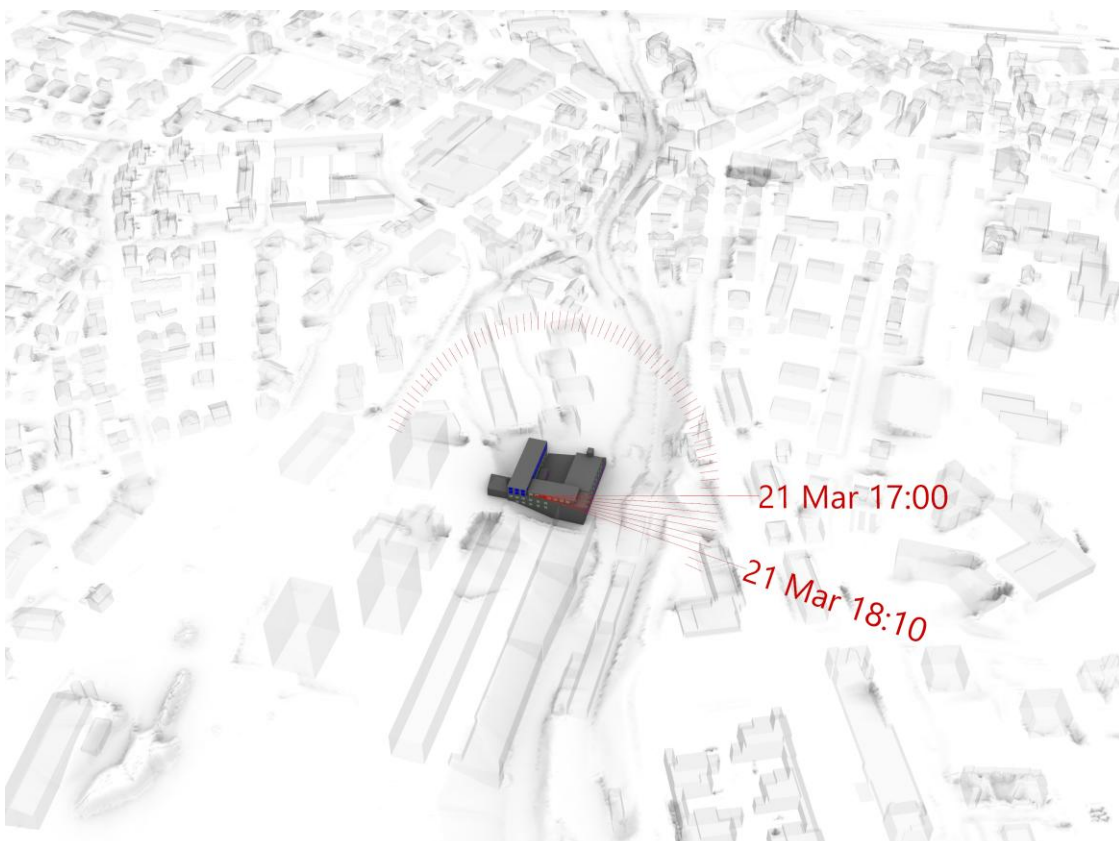


Bild 16 Nordfassade am 21. März

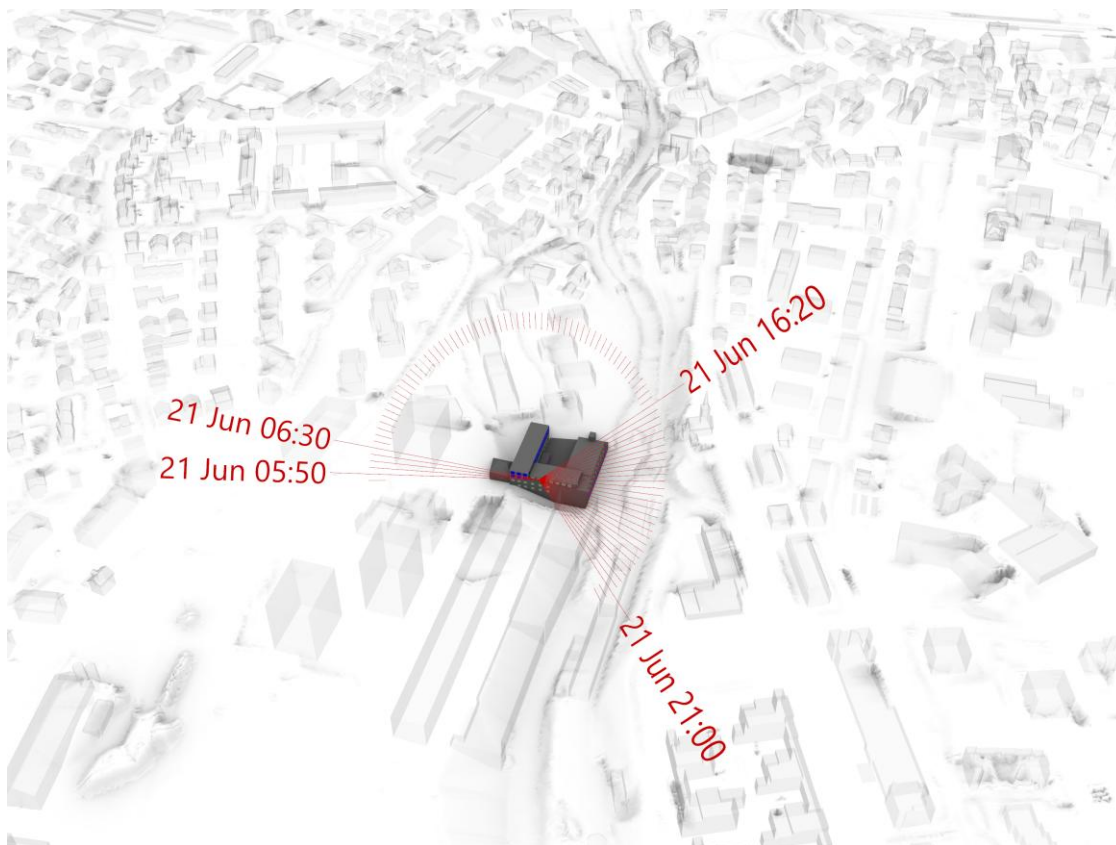


Bild 17 Nordfassade am 21. Juni

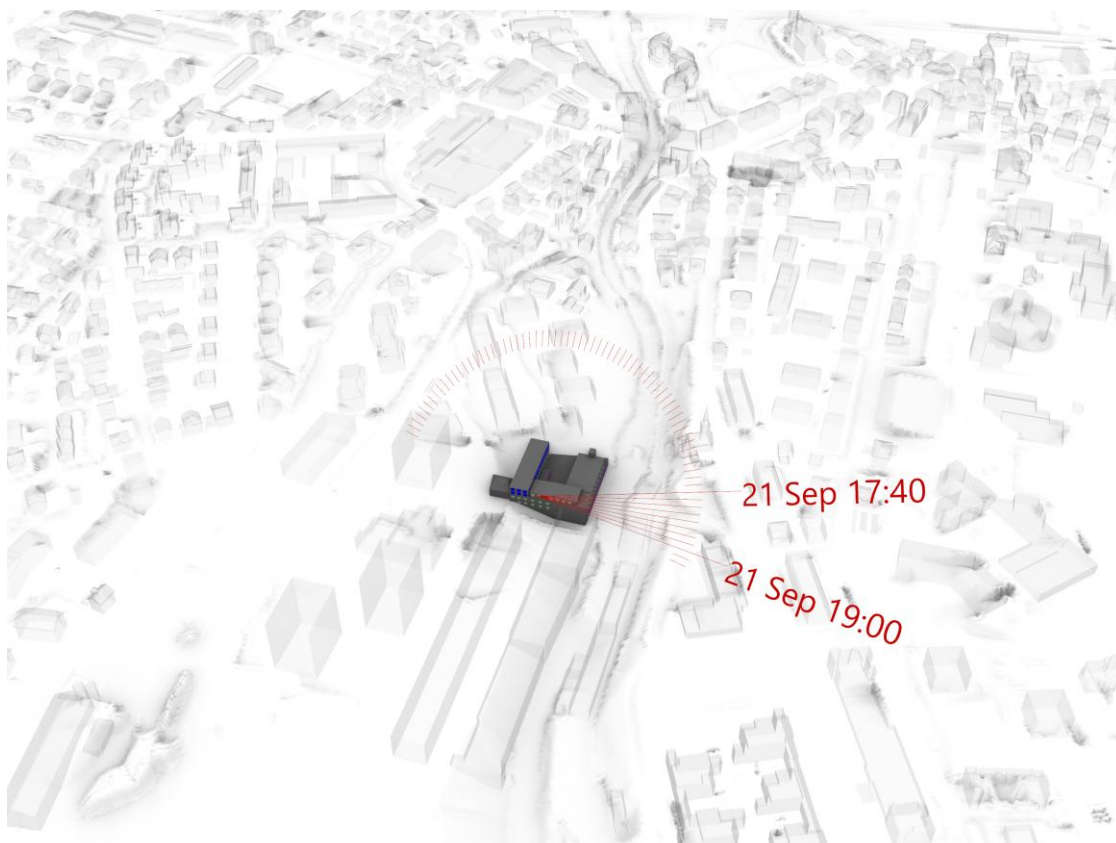


Bild 18 Nordfassade am 21. September

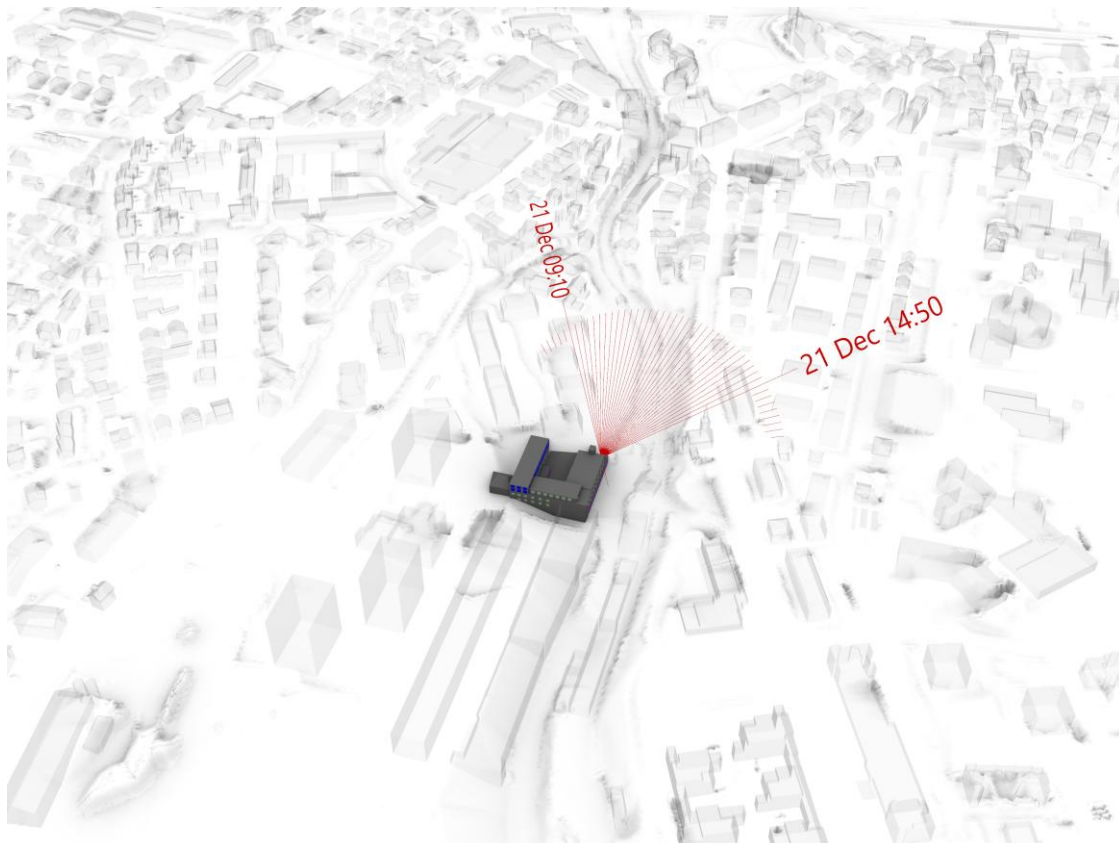


Bild 19 Südfassade am 21. Dezember

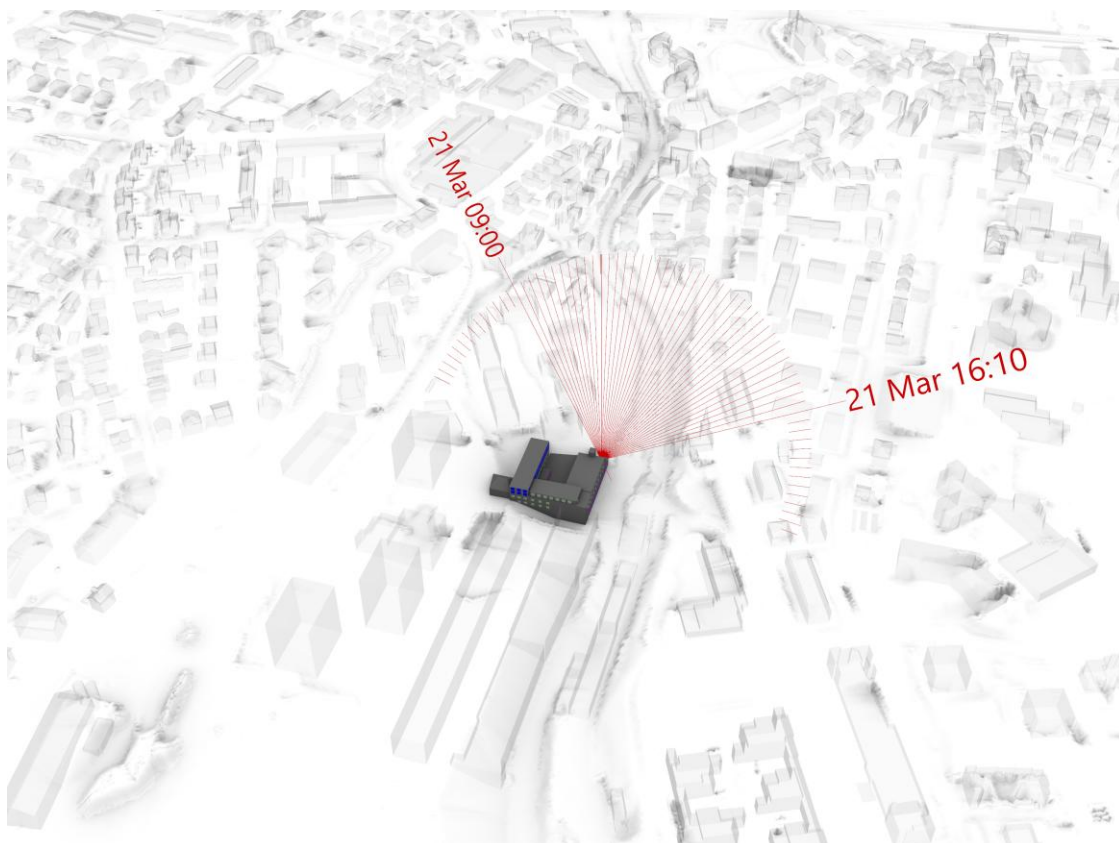


Bild 20 Südfassade am 21. März

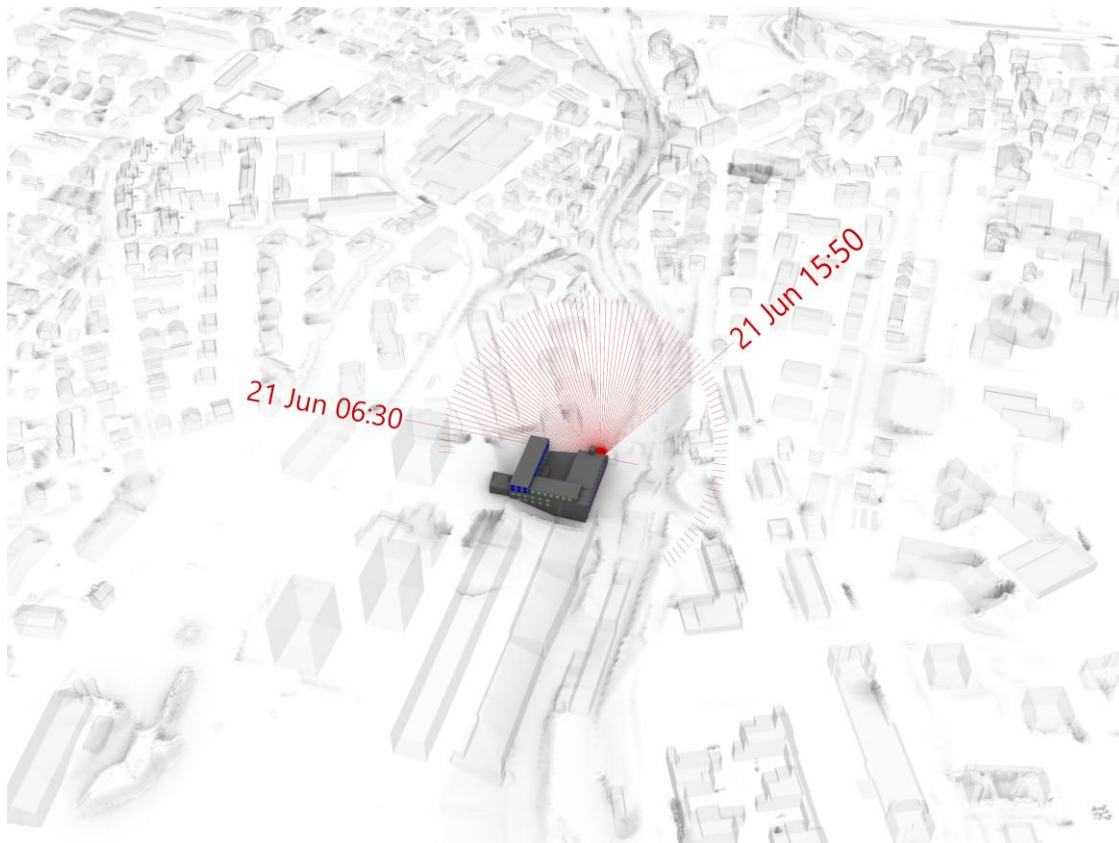


Bild 21 Südfassade am 21. Juni

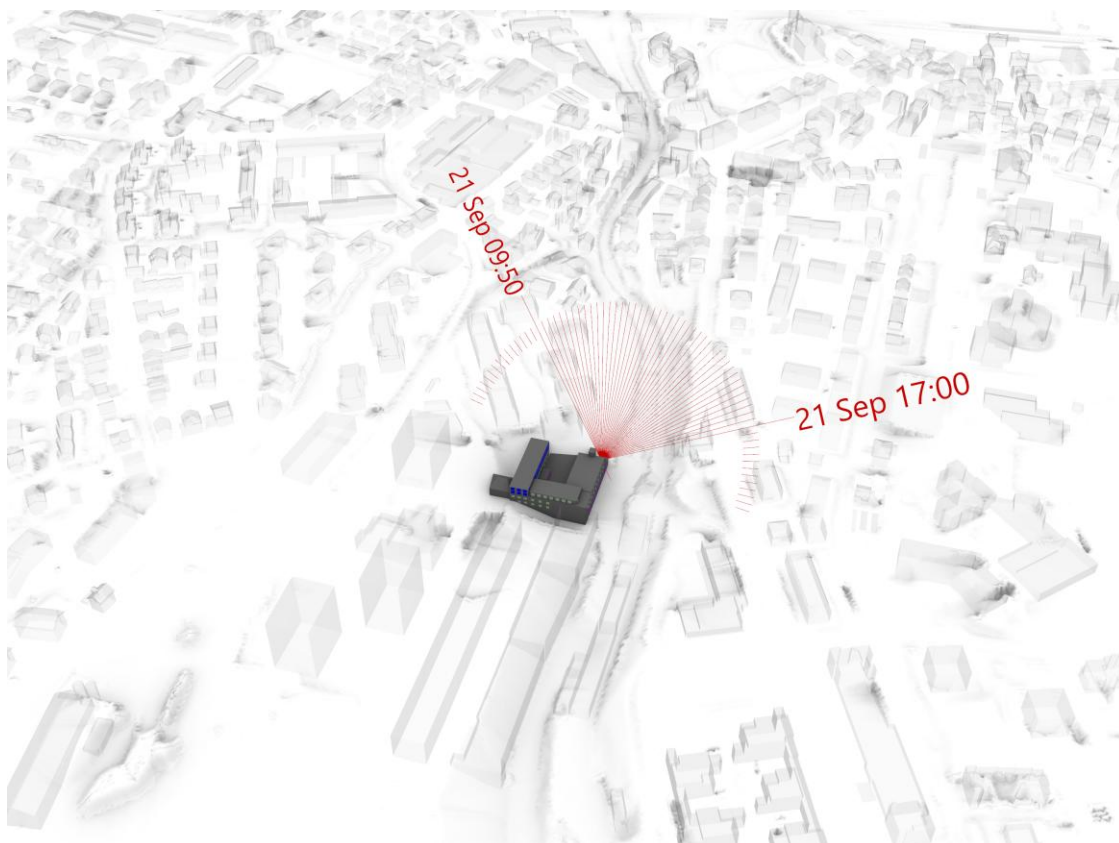


Bild 22 Südfassade am 21. September

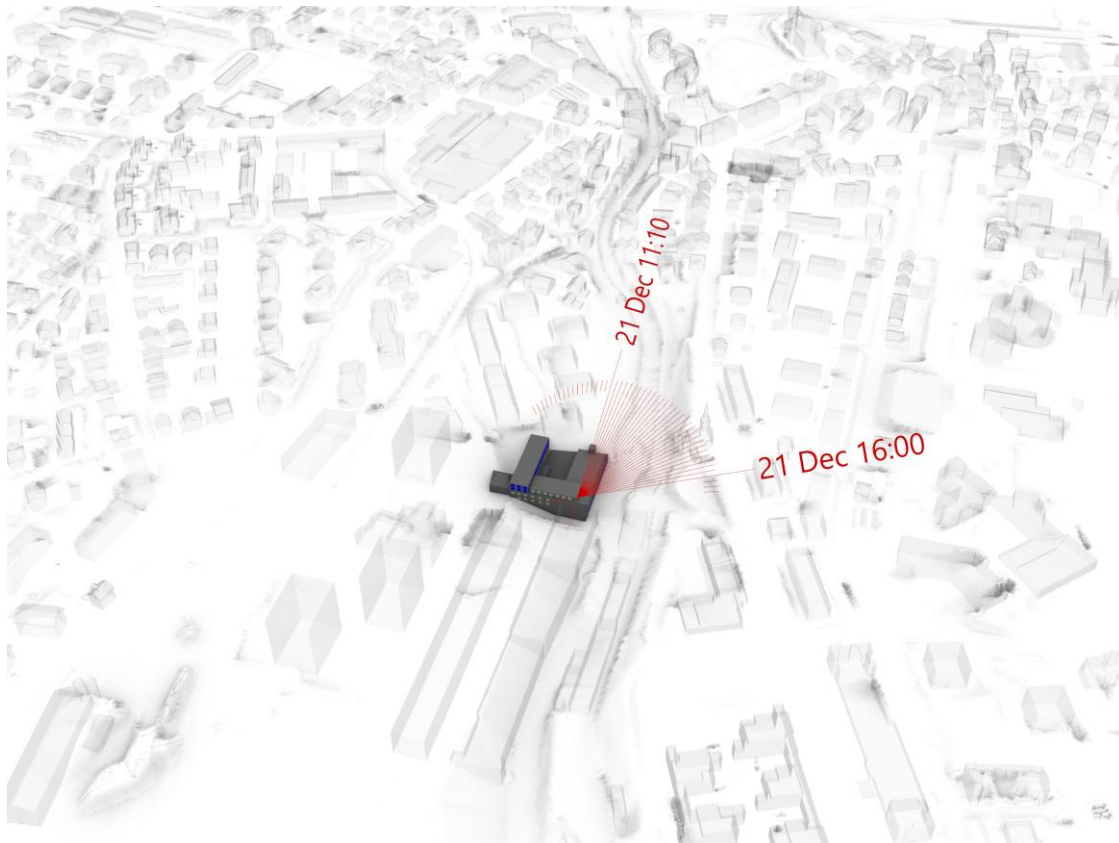


Bild 23 Westfassade am 21. Dezember

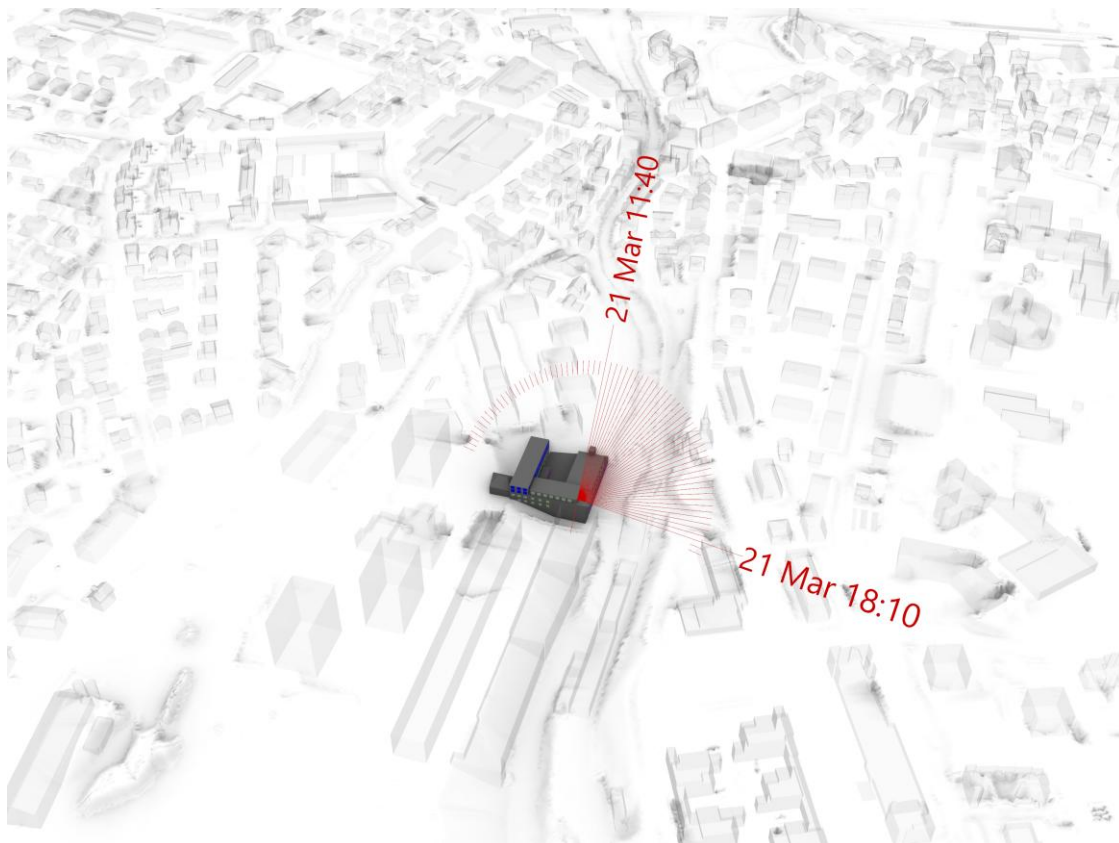


Bild 24 Westfassade am 21. März

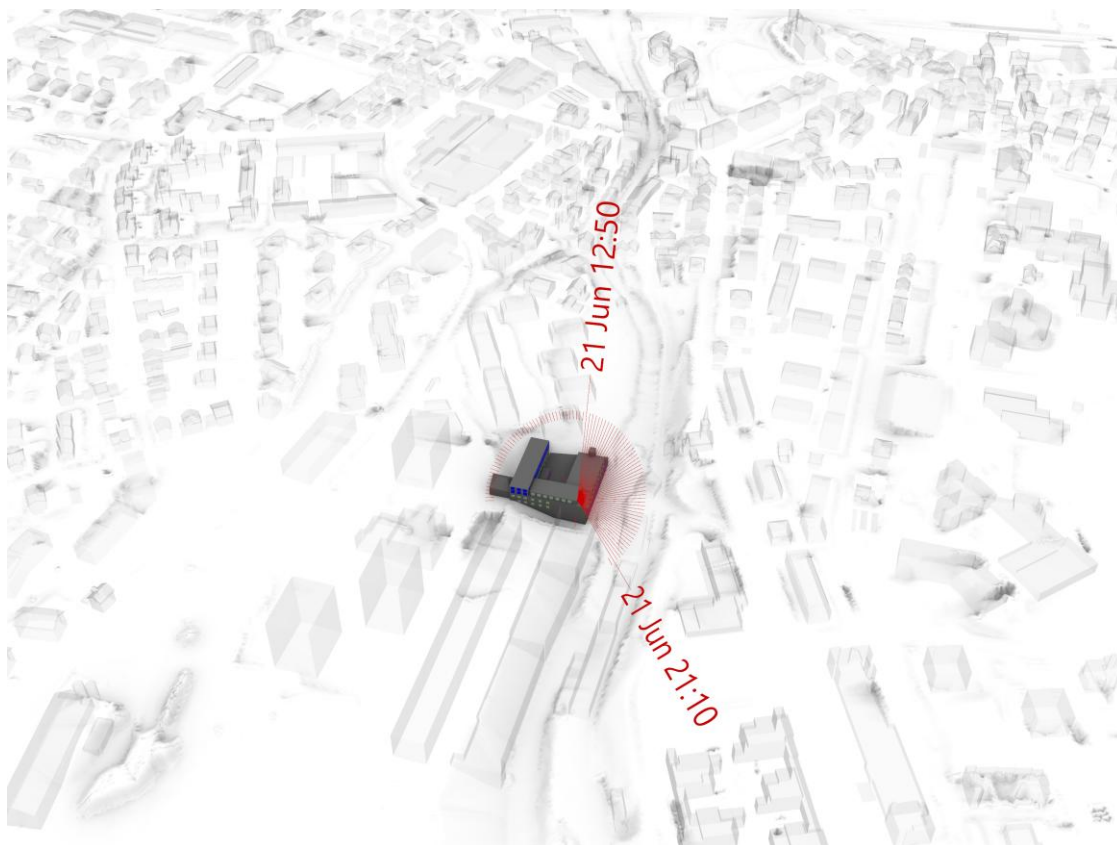


Bild 25 Westfassade am 21. Juni

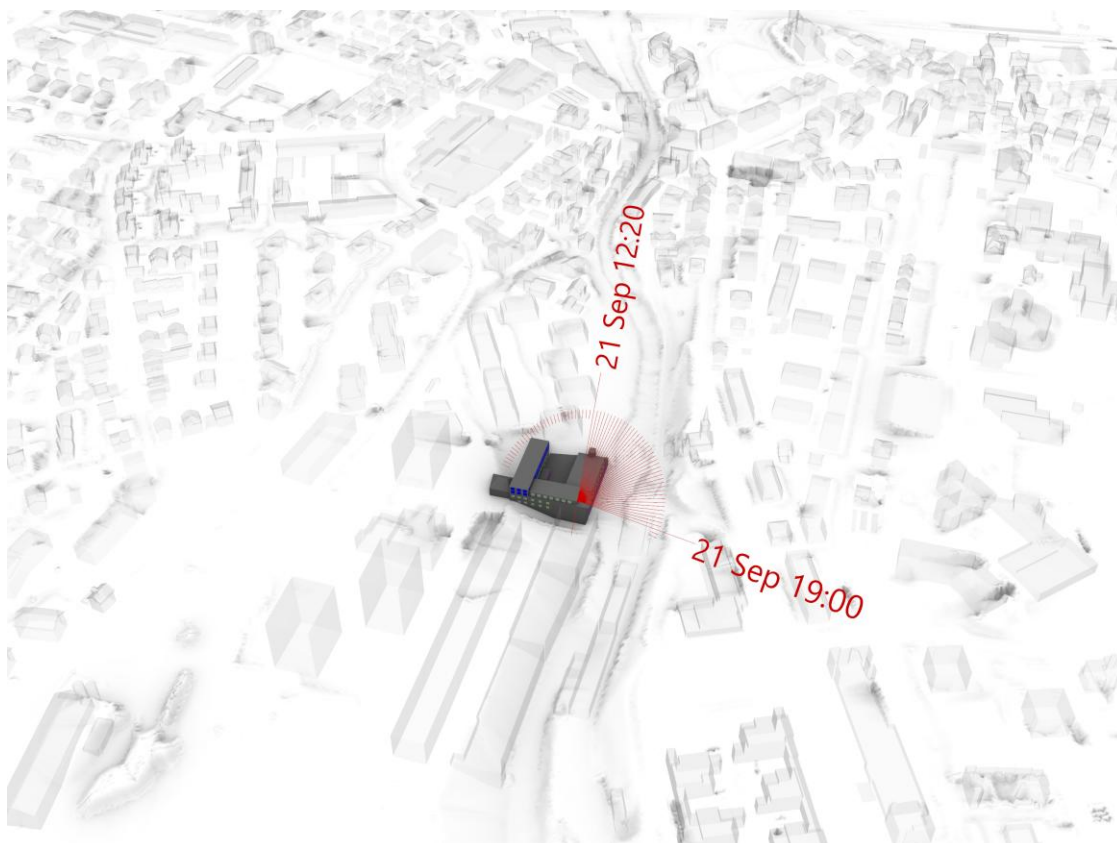


Bild 26 Westfassade am 21. September

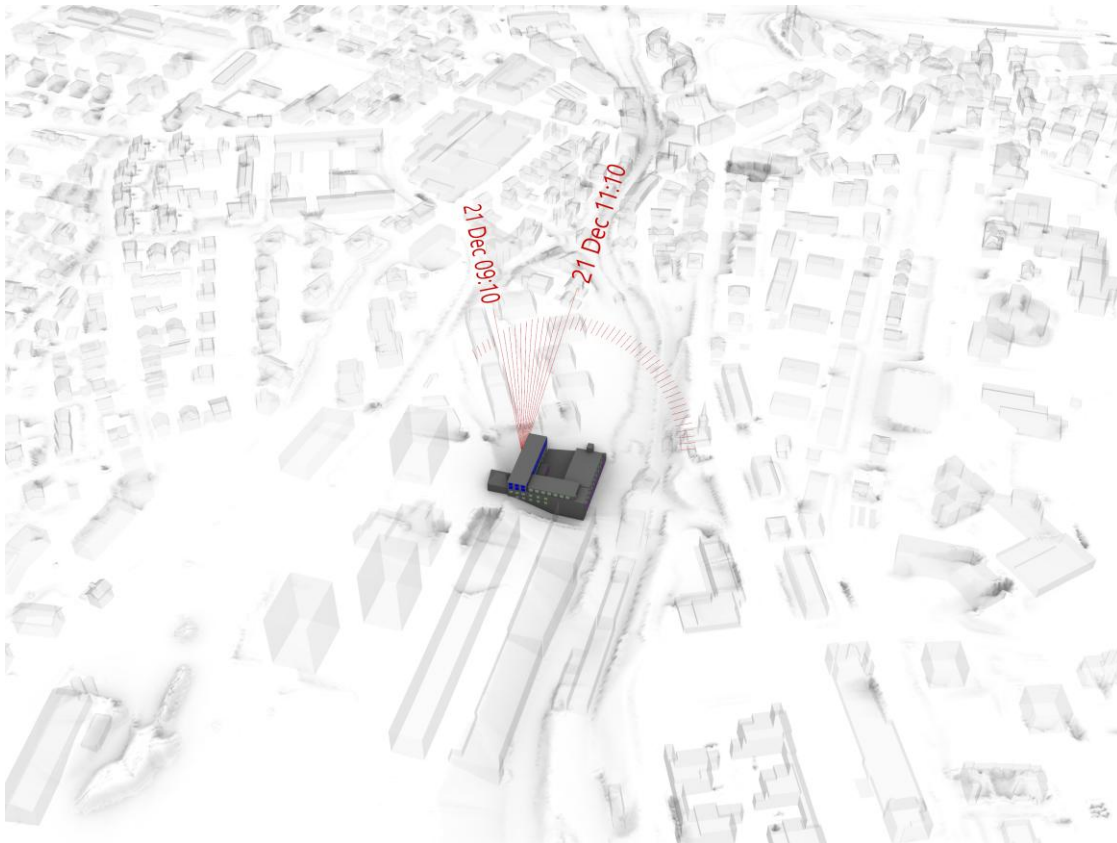


Bild 27 Ostfassade am 21. Dezember

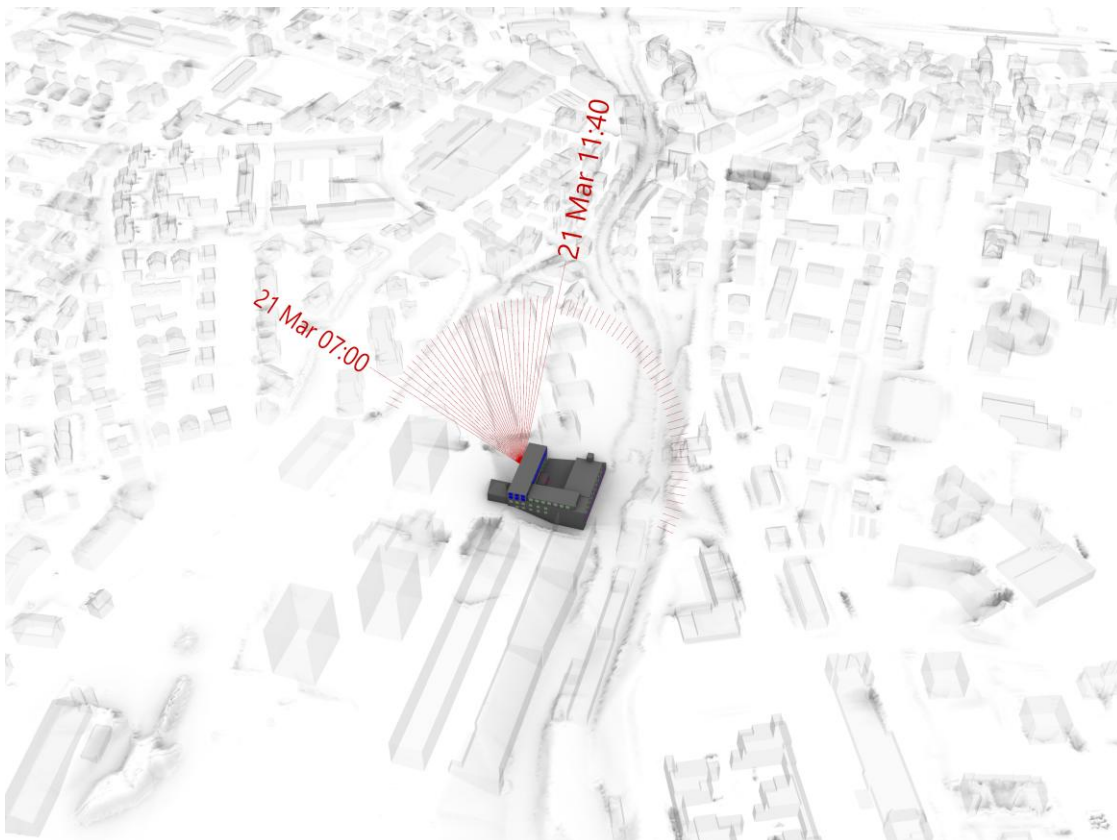


Bild 28 Ostfassade am 21. März

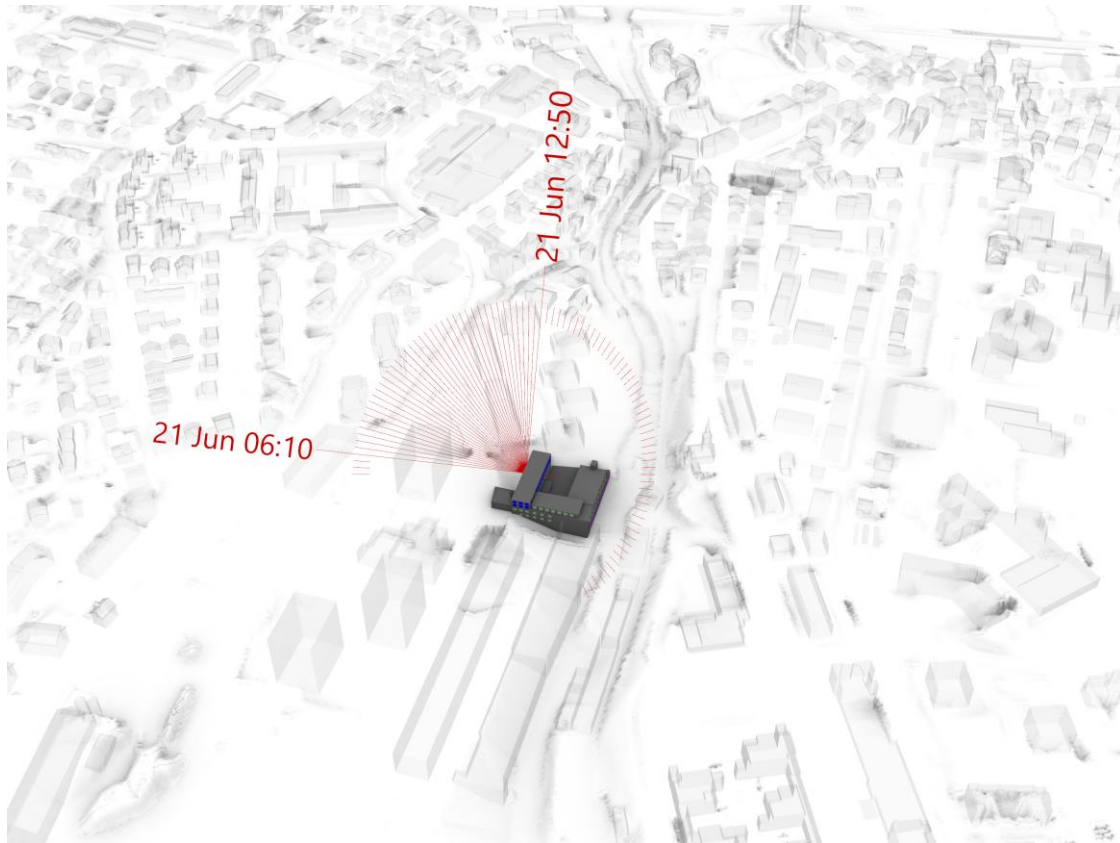


Bild 29 Ostfassade am 21. Juni

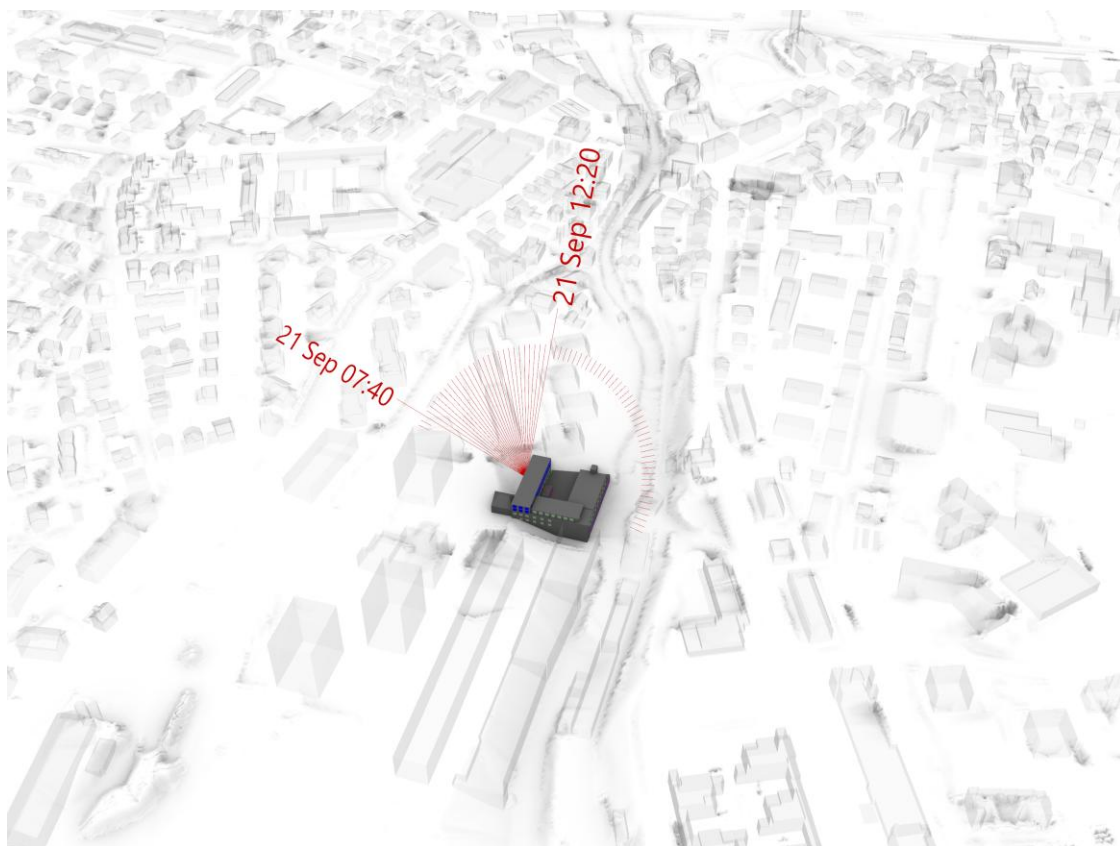


Bild 30 Ostfassade am 21. September

6. Statistische Auswertung Wind / Sonne

6.1 Messstationen / Gelände

Für eine aussagekräftige Windstatistik sind langjährige Messwerte erforderlich. In der Nähe des betrachteten Standorts (Papieri, Cham) befinden sich die Messstation Cham (CHZ) von Meteo Schweiz. Die Station verfügt über seit Juli 2014 über eine Messung der Globalstrahlung, welche für die Auswertung erforderlich ist. Zur Vervollständigung der 10 Jahre Auswertung wurde der Frühling vom Jahr 2015 und die Monate November und Dezember vom Jahr 2022 angefügt.

Die Messstation Cham (CHZ) befindet sich 10m Meter über Boden auf einem freien Feld. Die Station liegt rund 500m östlich des Papieri-Areals in vergleichbarer Topografie. Eine Umrechnung aufgrund des Geländes ist daher nicht erforderlich.

6.2 Windstatistik

Die Windrose der Station Cham (Bild 31) zeigt, dass die starken Winde vorherrschend aus südwestlicher und west-südwestlicher Richtung auftreten. Dies zeigen dunkel eingefärbten Flächen. Weitere Häufungen von erhöhten Geschwindigkeiten sind aus süd-südöstlicher und nordöstlicher Richtung zu beobachten. Tiefe und mittlere Geschwindigkeiten treten auch sehr häufig aus nordwestlicher Richtung auf.

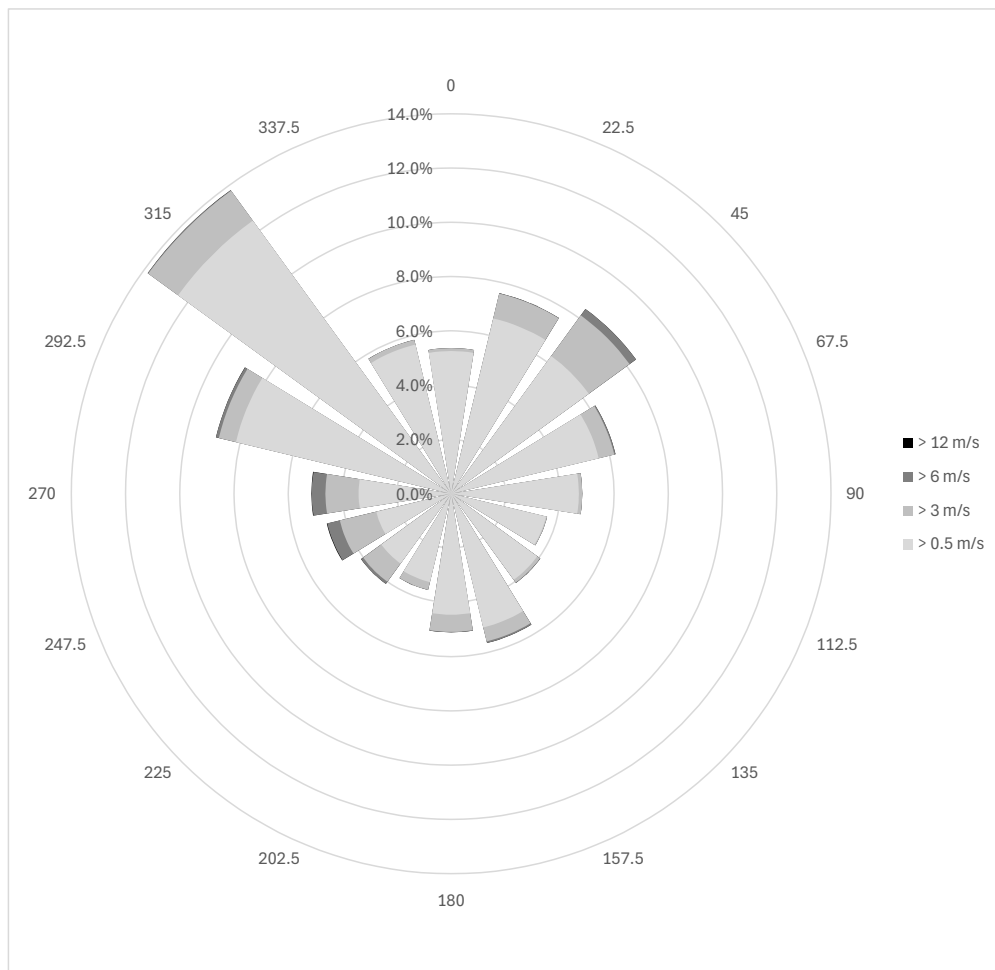


Bild 31 Windrose Messstation Cham (2014-2023)

6.3 Eingangsparmeter Messwerte

6.3.1 Windwerte

Als Messwerte stehen die Stundenmittelwerte, die 10-Minutenmittelwerte und die 10-Minuten Böenwerte zur Verfügung. Da die Storensteuerung in der Regel nach einer 15 Sekunden andauernden Überschreitung der Grenzgeschwindigkeit anspricht, wird als Eingangsparameter der Böenwert herangezogen. Dieser liegt etwas auf der konservativen Seite.

6.3.2 Globalstrahlung

Werden nur die Windmesswerte in der Auswertung berücksichtigt, so wird die Statistik durch Ausfallzeiten bei Dunkelheit oder starker Bewölkung miteinbezogen. Um eine genauere Auswertung zu erhalten, wurde zusätzlich die Globalstrahlung als Parameter einbezogen. Die Globalstrahlung liegt als Stundenmittelwert vor. Für eine 10 Minuten-Auswertung der Winddaten wurden die Werte der Globalstrahlung linear interpoliert.

6.3.3 Sonnenstand

Als zusätzliche Verfeinerung der Auswertung werden in einer weiteren Auswertung nur die Ausfallzeiten berücksichtigt, bei denen sowohl der Strahlungswert überschritten wird und eine direkte Sonneneinwirkung auf die Fassade stattfindet.

6.4 Auswertung

6.4.1 Grenzgeschwindigkeit

Für die statistische Auswertung wird die Grenzwindgeschwindigkeit an der Fassade gemäss Kapitel 3.1 auf das freie Feld (Messstelle CHZ auf $h_0 = 10\text{m}$) umgerechnet. Dafür werden die Grenzwerte gemäss Kapitel 3.4 angewendet.

6.4.2 Globalstrahlung

Als Kriterium für die Erfordernis der Beschattung wurde für die Auswertung 150 Watt angenommen. Dieser Grenzwert kann an sonnigen Tagen auch durch Diffusstrahlung, d.h. ohne direkte Sonneneinstrahlung erreicht werden. Die Unterscheidung der Direkt- und Diffusstrahlung kann auf Basis der vorliegenden Klimadaten nicht erfolgen. Aus diesem Grund wird die Auswertung auch mit dem Kriterium der richtungsunabhängigen Globalstrahlung gezeigt.

6.4.3 Resultate

Die Auswertung erfolgt auf Basis folgender Parameter:

- Auswertungsdauer 10 Jahre. Für eine Schätzung pro Jahr können die Zahlen durch 10 dividiert werden.
- Sonnenstand:
 - Sonnenstand nicht berücksichtigt
 - Globalstrahlung allgemein 150 W
 - Sonnenstand berücksichtigt und Globalstrahlung 150 W
- Sperrzeit nach Überschreitung: 10 Minuten

Auswertung nach Zonen

Mit Sonnenstand berücksichtigt	N1	N2	W1	W2	W3	W4	W5	O1	O2	O3	O4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Ausfallstunden total	0	0	4	0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
Tage mit Ausfall	1	1	7	0	10	11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9	0	0

Bild 32 Überschreitungen nach Zonen

Folgerungen

Die höchsten Ausfallzeiten treten jeweils in den Zonen S5, W4, W3 und W1 auf. Generell lässt sich jedoch feststellen, dass die Ausfallstunden insgesamt sehr gering sind. Die Zone mit den meisten Ausfällen (S5) weist über einen Zeitraum von zehn Jahren lediglich 11 Ausfallstunden an insgesamt 9 Tagen auf.

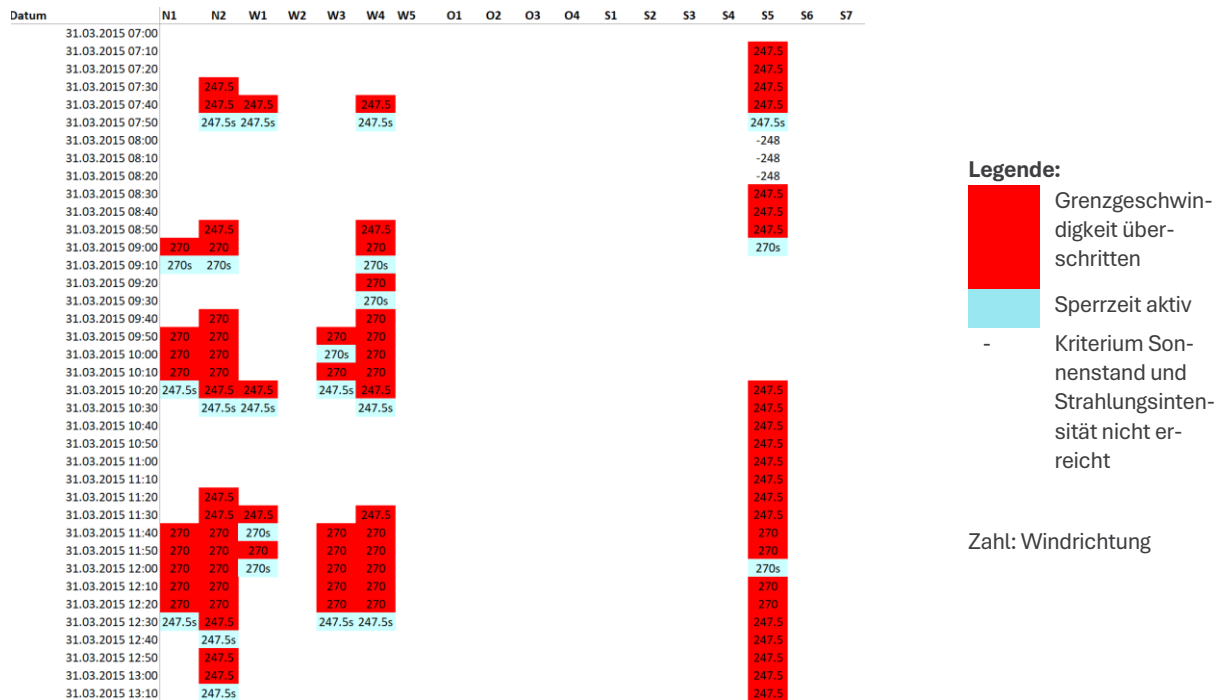


Bild 33 Beispiel Kriterium Tieffahren

6.4.4 Variation der Parameter

Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung

Bild 34 zeigt, dass der Einfluss, ob die direkte Sonneneinstrahlung berücksichtigt wird, ziemlich deutlich ist. Je nach Orientierung der Fassaden reduzieren sich die Ausfallstunden sehr unterschiedlich. An der Nordfassade ist gut ersichtlich, dass die Ausfallzeiten aufgrund der seltenen direkten Sonneneinstrahlung von der globalen Berücksichtigung nochmals stark reduziert werden.

Sonnenstand nicht berücksichtigt	N1	N2	W1	W2	W3	W4	W5	O1	O2	O3	O4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Ausfallstunden total	21	28	14	0	18	27	0	1	0	6	1	0	0	0	0	31	0	2
Tage mit Ausfall	30	30	24	1	30	30	0	1	0	5	2	1	1	1	1	30	1	1
Mit Globalstrahlung allgemein	N1	N2	W1	W2	W3	W4	W5	O1	O2	O3	O4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Ausfallstunden total	7	11	5	0	6	11	0	1	0	3	0	0	0	0	0	12	0	0
Tage mit Ausfall	10	10	8	0	10	11	0	1	0	2	1	1	0	0	1	10	0	0
Prozentual gegenüber nicht berücksichtigt:																		
Ausfallstunden total	35%	38%	33%	0%	33%	39%	-	-	-	39%	50%	-	0%	0%	-	37%	0%	0%
Tage mit Ausfall	33%	33%	33%	0%	33%	37%	-	-	-	40%	50%	-	0%	0%	-	33%	0%	0%
Mit Sonnenstand berücksichtigt	N1	N2	W1	W2	W3	W4	W5	O1	O2	O3	O4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Ausfallstunden total	0	0	4	0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
Tage mit Ausfall	1	1	7	0	10	11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9	0	0
Prozentual gegenüber nicht berücksichtigt:																		
Ausfallstunden total	2%	1%	25%	0%	22%	25%	-	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	36%	0%	0%
Tage mit Ausfall	3%	3%	29%	0%	33%	37%	-	0%	-	0%	0%	-	0%	0%	-	30%	0%	0%

Bild 34 Überschreitungen in Abhängigkeit der Sonneneinstrahlung

Auswertung nach Windrichtung

Die Gliederung der Ausfallzeiten nach Windrichtung zeigt eine vorherrschende Windrichtung aus West-Südwest und Windrichtung West.

Ausfall nach Windrichtung																		
Windrichtung 0	22.5	45	67.5	90	112.5	135	157.5	180	202.5	225	247.5	270	292.5	315	337.5			
Ausserhalb GS Grenze [h]	0	4	4	3	0	0	18	23	1	6	23	259	181	76	23	0		
Innerhalb GS Grenze [h]	0	0	1	0	0	0	24	3	4	1	3	139	92	17	7	0		

Bild 35 Auswertung nach Windrichtung

Auswertung mit variabler Strahlungsintensität

Die Festlegung der Strahlungsintensität beeinflusst die Ausfallzeiten der Markise wesentlich. Dies veranschaulicht Bild 36. Vom Grenzwert 150 Watt auf 300 Watt ergeben sich Abminderungen der Ausfallszeiten von bis zu 44% bei der Zone S5.

		N1	N2	W1	W2	W3	W4	W5	O1	O2	O3	O4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
150 W	Ausfallstunden total	0	0	4	0	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
	Tage mit Ausfall	1	1	7	0	10	11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9	0	0
		N1	N2	W1	W2	W3	W4	W5	O1	O2	O3	O4	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
300 W	Ausfallstunden total	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
	Tage mit Ausfall	0	0	2	0	4	4	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4	0	0
Prozentual gegenüber nicht berücksichtigt:																			
Ausfallstunden total		0%	0%	24%	-	33%	33%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21%	-	-
Tage mit Ausfall		0%	0%	29%	-	40%	36%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44%	-	-

Bild 36 Auswertung mit variabler Strahlungsintensität

7. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie gibt an, wo die dezentralen Windwächter an der Fassade positioniert werden sollen, um eine möglichst differenzierte Ansteuerung der Storen und Markisen zu ermöglichen. Durch die umliegenden Gebäude kommt es neben Windverschattungen vereinzelt auch zu Beschleunigungen des Windes. Im Detail werden zu jeder Zone die zugehörigen Windsensoren definiert und die vorgegebene Grenzgeschwindigkeit angegeben. Anhand der Sonnenstandanalyse konnte für die einzelnen Fassadenzonen aufgezeigt werden, zu welchen Zeiten die Fassade besonnt wird und eine Beschattung erforderlich ist.

Im Allgemeinen lässt sich sagen das mit wenigen Ausfallstunden pro Jahr gerechnet werden kann. Unter Berücksichtigung des Sonnenstandes gibt es maximal 11 Ausfallstunden in 10 Jahren.

Um eine optimale Ansteuerung des Hochfahrens zu ermöglichen, können die Beschattungselemente mit der maximalen Geschwindigkeit aller Windwächter angesteuert werden ->

Beschattungselement n = MAX (WW N1, WW W1, WW W2, WW W3, WW O1, WW O2, WW O3, WW S1, WW S2)

Die Auswertung zeigt, dass auch bei einer solchen kollektiven Ansteuerung über das Maximum aller Windwächter nur wenige Ausfallstunden resultieren. Eine zonenweise differenzierte Ansteuerung bringt demnach keinen massgeblichen Mehrwert, weshalb auf zusätzliche dezentrale Windwächter verzichtet werden kann.

Die Untersuchung zeigt, dass der Einsatz angegebenen Markisen bezüglich der Ausfallzeiten eine gute Wahl ist.