

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 140 (2014)
Heft: 48: Radarstation Plaine Morte : Bauen im Grenzbereich

Artikel: Virtueller Windkanal
Autor: Schmid, Markus
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-515393>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

FASSADE

Virtueller Windkanal

Sind Bauwerke geometrisch aussergewöhnlich oder stehen sie an exponierter Lage, bekommt das Gefährdungsbild Wind entsprechendes Gewicht. Für die Verifizierung der Lastannahmen bieten moderne Simulationswerkzeuge wirtschaftliche Alternativen zu Windkanalversuchen.

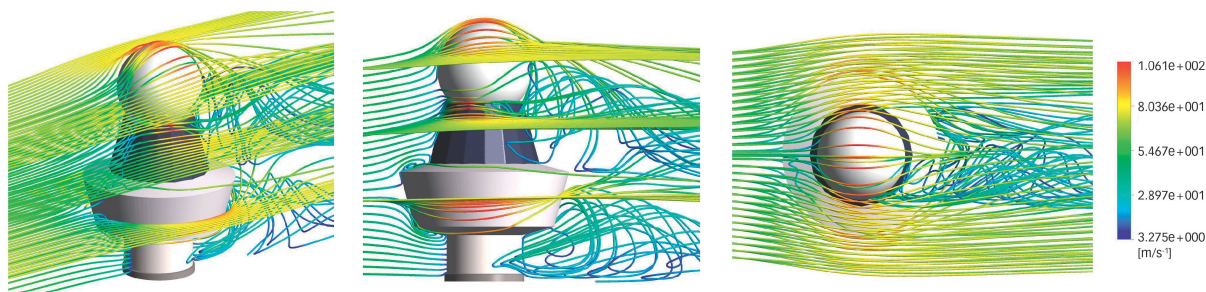
Text: Markus Schmid

Was ist Winddruck? Welche Faktoren beeinflussen ihn? Wie fühlt es sich an, bei einer Windgeschwindigkeit von 100 km/h in einem Windkanal zu stehen? Wie schnell ist ein Wind, der einen Staudruck von 1 kN/m^2 erzeugt? Wer nicht regelmässig mit Fragestellungen rund um Winddruck und Aerodynamik zu tun hat, kann die entsprechenden Antworten nicht ohne Weiteres geben. Gute Hilfestellung liefert die SIA-Dokumentation D 0188:2006, die auch nach Erscheinen der neuen Norm SIA 261:2014 weiterhin Gültigkeit hat. Um auf die Eingangsfragen zurückzukommen: Winddruck ist im Prinzip ein Ergebnis des ständigen Bestrebens der Natur nach Gleichgewicht – in diesem Fall, wenn sich Luftteilchen aus dem Hochdruckgebiet zum Tiefdruckgebiet hin bewegen. Sturmböen von 100 km/h entsprechen dem Bereich der Beaufort-Skala mit Windstärken 10 und 11. Diese Skala definiert schon bei Windstärke 8 die Auswirkung «erschwert erheblich das Gehen im Freien». Eine Windböe, die einen Staudruck von 1 kN/m^2 erzeugt, ist ca. 144 km/h schnell. Solch starke Windböen sind in normalen Lagen des Schweizer Mittellands ungewöhnlich und entsprechend selten. Einzig der Orkan «Lothar», der im Dezember 1999 über die Schweiz zog, brachte verbreitet Spitzenwerte dieser Grössenordnung bis in die Tallagen. So wurden damals in Brienz Böenspitzen bis 181 km/h und in Vaduz solche bis 165 km/h registriert. Das entspricht Staudrücken von ca. 1.58 kN/m^2 resp. 1.31 kN/m^2 .

Staudruck auf der Plaine Morte

Die Verantwortlichen von MeteoSchweiz hatten für die Nutzungsvereinbarung der neuen Radarstation auf der Plaine Morte umfangreiche Randbedingungen zu berücksichtigen. In Bezug auf die Windeinwirkung konnten sie auf Messresultate von benachbarten Bergstationen zurückgreifen. Daraus resultierten zwei Windgeschwindigkeiten für die Auslegung der Tragstruktur und der Gebäudehülle. Für die Gebrauchstauglichkeit sind das 45 m/s resp. 162 km/h und für die Tragsicherheit 70 m/s resp. 252 km/h. Zum Vergleich: Das Orkantief «Lothar» führte auf dem Jungfraujoch zu einer Spitzenböe von 249 km/h. Mit der Berücksichtigung der üblichen Last- und Widerstandsbeiwerte ergeben sich also ausreichend Reserven, um auch noch stärkeren Ereignissen zu widerstehen. Der Wert für die Gebrauchstauglichkeit dient in diesem Fall vor allem der Betriebssicherheit des Radars. Diese sieht vor, dass die Auslenkung der vertikalen Gebäudeachse bis zu dieser Windgeschwindigkeit nicht grösser als 0.1° von der Lotrechten sein darf. Ab da wird die Rotation des Radarschirms automatisch gestoppt und die Anlage abgestellt.

An dieser Stelle ist bemerkenswert, dass die SIA-Norm 261 am Standort der Radaranlage Plaine Morte die Zone «Kreten und Gipfel» definiert, was einem Referenzwert des Staudrucks von 3.3 kN/m^2 entspricht. Dies ergibt eine Windgeschwindigkeit von knapp 73 m/s resp.



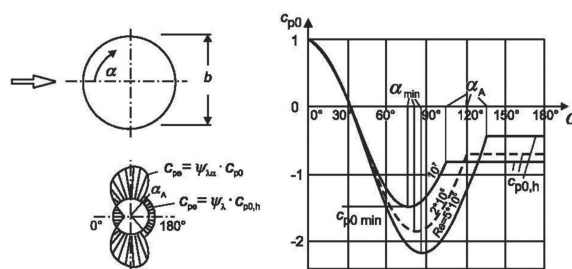
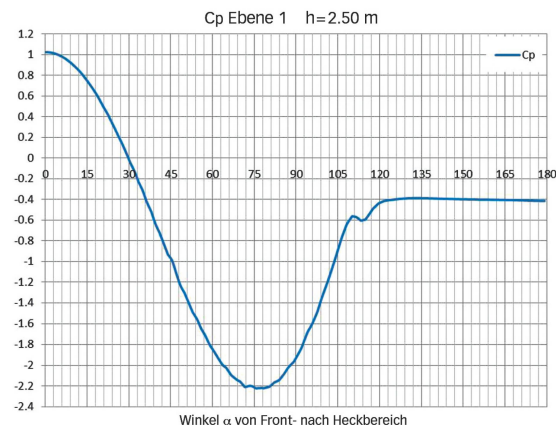
Strömungsverlauf und Windgeschwindigkeiten: Isometrie (links), Seitenansicht (Mitte) und Aufsicht (rechts) mit ausgewählten Strömungsverläufen und zugehörigen Geschwindigkeiten. Insbesondere an der Seitenansicht ist zu erkennen, dass die Verwirbelungen am runden Radom, an der segmentierten Photovoltaikanlage und dem schräg ausragenden Betriebsraum sehr unterschiedlich ausgeprägt sind.

262 km/h. Mit der Berücksichtigung der geltenden Normvorgaben und der entsprechenden Dimensionierung der Tragstrukturen ist man also auch an solch exponierten Standorten durchaus auf einem passenden Lastniveau, um ohne Gewerke mit gravierenden Lücken oder zu grossen Reserven zu bauen. Daraus darf man schliessen, dass Sturmschäden infolge Wind an Bauten neueren Datums ausschliesslich einer unzulänglichen Planung und/oder Ausführung zuzuschreiben sind. Denn auch wenn bei der Wahl von Profilbeiwerten und Druckbeiwerten etwas zu tief gegriffen wird, wiegen die vorgeschriebenen Last- und die Widerstandsbeiwerte im statischen Nachweis solche Abweichungen auf.

Lokaler Winddruck am Baukörper

Der lokale Winddruck ist das Produkt aus Staudruck und Druckbeiwert, wobei Letzterer die Anströmrichtung und die Bauwerksform berücksichtigt. Diese Druck-, Sog- und bei rauen Oberflächen auch Reibungsbeiwerte werden für die Dimensionierung der Gebäudehülle benötigt. Im Fall der neuen Radarstation hat man Antworten gesucht, wie gross die lokalen Druckbeiwerte an den verschiedenen Gebäudehüllenebenen sind, wie stark sich die segmentierte Form der PV-Elemente mit ihren kantigen Richtungswechseln auf die Spitzensogwerte abzeichnet und wie sich die Winddrücke auf dem kugelförmigen Radom einstellen. Auch die Auslegung der Foundation, der Rohbausteifigkeit und die Dimensionierung der Blitzfangstangen ist direkt abhängig von diesen Winddrücken.

An diesem Punkt kam ein interdisziplinäres Team der Hochschule Luzern, Departement Technik und Architektur (HSLU T&A) aus den Kompetenzzentren Konstruktiver Ingenieurbau (CKKI), Fassaden- und Metallbau (CCFM) und Fluidmechanik und Hydromaschinen (CC FMHM) ins Spiel. Zielvorgabe war, mittels einer numerischen Strömungsberechnung (Computational Fluid Dynamics) die lokalen Winddrücke zu bestimmen. Dazu wurde zu Beginn vom CCFM ein CAD-Volumenmodell erstellt. Das CC FMHM konnte diese Daten übernehmen und die passende Geometrie des virtuellen Windkanals bestimmen. Dieses sogenannte Preprocessing ist nebst einer passenden Modellvernetzung und der Wahl der passenden Solver die wichtigste Arbeit, um plausible Resultate zu erhalten. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Kompetenzzentren konnten laufend Zwischenergebnisse bewertet und bei Bedarf entsprechende Anpassungen an der Simulation vorgenommen werden. Die finalen Resultate gingen anschliessend in Form von Rohdaten zum CCFM zur Auswertung und zum CKKI zur Plausibilitätsprüfung. Insbesondere in den zylindrischen Zonen des Baukörpers zeigten die extrahierten Druckbeiwerte eine äusserst gute Übereinstimmung mit den bekannten Daten aus der Fachliteratur (Abb. rechts oben). Mit diesen Übereinstimmungen konnte entsprechend auch die Plausibilität der übrigen Resultate positiv bewertet werden. Die gewonnenen Grundlagen wurden auch für die Auslegung der Blitzfangstangen herangezogen.



Die obere Grafik zeigt die berechneten Druckbeiwerte am Zylinderfuss der Radarstation. Darunter, als Vergleich mit den Normvorgaben, Bild 7.27 aus SN EN 1991-1-4 2005, das sehr ähnliche Beiwerte darstellt.

Dimensionierung der Gebäudehülle

Mit den Erkenntnissen aus der CFD-Simulation konnten sämtliche statischen Fragestellungen am Rohbaukörper, an der Foundation und der Gebäudehülle bearbeitet werden. Letztere übernimmt die Winddrücke als erstes Bauteil und leitet sie via Unterkonstruktion an den Rohbau weiter. Für die Bekleidung boten sich Aluminium-Verbundplatten an. Diese Produkte erfüllen alle Anforderungen durch Witterungseinflüsse, Temperatur, Transportgewicht und die Architektur. Um möglichst glatte und geschlossene Oberflächen zu erhalten, wurden die Platten an ihren Rändern nicht in ein dahinterliegendes Fugenprofil gekantet, sondern flach auf vertikal durchlaufende Aluminiumprofile vernietet. Diese Profile sind immer genau hinter den Plattenstössen platziert, damit Wasser, Schnee und Eis nicht unkontrolliert in den Hinterlüftungsraum gelangen kann.

Fix- und Gleitpunkte gewähren die zwangsfreie Lagerung, was in Anbetracht der zahlreichen und starken Temperaturwechsel für eine lange Lebensdauer der Produkte unbedingt notwendig ist. Für die Festlegung der Anordnung und Anzahl der Nietpunkte stehen normalerweise Tragtabellen des Produktelieferanten zur Verfügung. Diese Tabellen decken aber üblicherweise Windsogbereiche bis gut 2.0 kN/m² ab, was in diesem speziellen Fall nicht ausreichend war. Deshalb wurden die massgebenden Plattenkörper im CAD modelliert und mit FEM-Software (Finite-Elemente-Methode) einer Strukturanalyse unterzogen. Damit wurden Spannungen und Nietkräfte genau bestimmt



Die **Unterkonstruktionsprofile** mussten wegen des hohen lokalen Windsogs dicht platziert werden.

Windbemessung für das Tragwerk

Die Nachweise für die Windbemessung wurden für Windgeschwindigkeiten von 70 m/s (Tragsicherheit) und 45 m/s (Gebrauchstauglichkeit) durchgeführt. Der Nutzer begrenzte die Auslenkung des Radars zur Gebrauchstauglichkeit auf maximal 0.1°. Dies bedeutet, dass sich der Turm infolge Setzungen auf dem Baugrund und Verformungen der Tragstruktur an der Turmspitze bei einer Windgeschwindigkeit von 45 m/s (= 162 km/h) maximal 25 mm verformen darf. Es wurde ein zylindrischer Baukörper gewählt, der in den Nachweisen eine grosse Steifigkeit aufweist. Die Setzungen im vorhandenen Baugrund sind sehr gering, daher konnten die Anforderungen auch ohne Zuhilfenahme einer Pfählung erfüllt werden. Für

die Überprüfung der Felsverformungen (Setzungen) infolge der Windlasten auf Gebrauchsniveau wurde ein nicht-lineares Modell mit Kontaktflächen gerechnet. Die Fläche zwischen der Fundamentplatte und dem Fels wurde als Kontaktfläche definiert, die auch ein Anheben erlauben würde. Bei der Berechnung der Setzungen wurden die Windgeschwindigkeiten beider Lastfälle (Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit) berücksichtigt. Die Berechnungen zeigten, dass die Stauchung des Felsens unter Gebrauchslast 3.1 mm beträgt und auf der Zugseite der Fundation kein Abheben stattfindet.

Rolf Liechti, r.liechti@mmin.ch

und die optimale Einteilung festgelegt. Das Foto oben zeigt, wie dicht die Unterkonstruktionsprofile platziert werden mussten, damit die Nachweise von Platten, Profilen und Verbindungsmitteln bei einem lokalen Windsog von 6.5 kN/m² möglich waren.

Auswertungen mit Augenmass

Spezielles Augenmerk lag auf der statischen Dimensionierung des segmentierten Photovoltaikgürtels. Die errechneten lokalen Druckbeiwerte stiegen bei den Richtungswechseln der einzelnen Paneele auf bis zu -2.95. Bei einem Staudruck von 3.06 kN/m² ergäbe das einen lokalen Windsog von gut 9.0 kN/m². Betrachtet man den Verlauf der Druckbeiwerte (Abb. rechts unten) jedoch genau, erkennt man, wie lokal begrenzt die Spitzenwerte auftreten. Solche Peaks können mit Rücksicht auf die lokalen Bauteilgrössen ohne Weiteres mit den benachbarten Werten ausgemittelt werden, um praxisgerechte Werte zu erhalten. Im vorliegenden Fall wurden die Paneele auf einen Windspitzensog von 6.5 kN/m² dimensioniert. Dieses Beispiel zeigt exemplarisch, wie wichtig die Auswertungen von Resultaten aus Computersimulationen im Bereich der Baustatik

sind. Blindes Übertragen von errechneten Werten und Falschfarbenbildern ergibt niemals eine ausgewogene Dimensionierung von Bauteilen und Verbindungsmitteln. Nur mit Erfahrung und Augenmass werden diese Werkzeuge im Bauprozess zum Gewinn. •

Markus Schmid, dipl. Bauing. HTL/SIA, markus.schmid@hslu.ch



AM BAU BETEILIGTE

Architektur
studer architekten, Bern

Tragwerk
Mange+Müller, Bern

Geologie
Geotest, Zollikofen

Blitzschutz
Scopi, Gümliigen

HLKS-Planung
Basler&Hofmann West,
Zollikofen

Fassadenplanung
feroplan engineering,
Zürich

Elektro-Planung
Herzog Kull Group,
St. Gallen

Bauphysik
Grolimund&Partner, Bern

Numerische Strömungssimulation
Hochschule Luzern T&A
CCCK/CCFM/CC FMHM

Isometrie: Grafische Darstellung der Staudrücke. Man erkennt die linienförmig auftretenden Spitzenwerte an den Kanten der Photovoltaikanlage.

Diagramm: Grafische Darstellung/Ableitung der Druckbeiwerte in Bezug auf den Horizontalschnitt am Photovoltaikgürtel.

