



Seilbahnen Schweiz
Remontées Mécaniques Suisses
Funivie Svizzere
Pendicularas Svizras

Ermittlung der Staudrücke auf Seilbahnanlagen

Wegleitung für Windgutachten

Dählhölzliweg 12
CH-3000 Bern 6
www.seilbahnen.org

Tel +41 (0)31 359 23 33
Fax +41 (0)31 359 23 10
info@seilbahnen.org



Verantwortlich für die Herausgabe

Seilbahnen Schweiz SBS, Dählhölzliweg 12, 3000 Bern

Fachliche Begleitgruppe (Arbeitsgruppe Wind)

Dr. Michael Baur, Hochschule Luzern T&A

René Cattin, Meteotest AG

Dr. Paul Froidevaux, Meteotest AG

Alain Gilliand, Bundesamt für Verkehr BAV

Bernd Populorum, Garaventa AG

Andreas Gudenrath, Bauingenieur ETH / SIA

Ernst Steiger, Bauingenieur HTL

Patrick Schibli, BACO AG

Fritz Jost, Seilbahnen Schweiz SBS

Adrian Jordan, Engadin St. Moritz Mountains AG

Auftraggeber

Management Board; Bundesamt für Verkehr BAV

Version

1. Feb. 2020, Version 1

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Stellenwert Windgutachten gegenüber SIA 261	4
3	Windmessungen	5
4	Transfer Windmessung ins Gelände	6
5	Extremwertstatistik.....	7
6	Vertikale Extrapolation	8
7	Darstellung der Resultate.....	8
8	Einordnung der Resultate	8

1 Einleitung

Regelmässig tauchten Fragen bei der Erstellung von Windgutachten im Zusammenhang mit der Umsetzung der Norm SIA 261 auf. Das hat in der Vergangenheit wiederholt zu Grundsatzdiskussionen zwischen dem BAV, dem Hersteller, dem Gutachter und der Seilbahnunternehmung geführt.

Das Ziel des Dokumentes ist es, eine praxistaugliche Wegleitung zu erstellen, welche die Anforderungen der SebV und der gültigen Normen erfüllt. Hierzu wurde im Rahmen des Management Boards Seilbahnen der Auftrag erteilt in einer Arbeitsgruppe (Arbeitsgruppe Wind) die notwendigen Grundlagen zu schaffen. Diese Grundlagen beinhalten Arbeitshilfen für den Gutachter und Verhaltensvereinbarungen der beteiligten Parteien für die zukünftige Erstellung von Windgutachten.

Die Arbeitshilfen bestehen aus zwei Dokumenten: Eine Wegleitung zur Erstellung für Windgutachten und ein Beispiel eines fiktiven Windgutachtens. Die beiden Dokumente werden von Seilbahnen Schweiz SBS herausgegeben und verwaltet.

2 Stellenwert Windgutachten gegenüber SIA 261

Grundsätzliche gelten für die Bestimmung der Windeinwirkungen für Tragwerke die folgenden Normen:

- [1] SIA 261:2014, «Einwirkung auf Tragwerke», Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [2] D0188, 2003: „Wind – Kommentar zum Kapitel 6 der Normen SIA 261 und 261/1 – Einwirkung auf Tragwerke“, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [3] SN EN 1994-1-4:2005, 2016:“ Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten - Nationaler Anhang NA zu SN EN 1994-1-4:2005, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.

Der Staudruck q_p eines Windgutachtens, welches gemäss den vorliegenden Vorgaben der Wegleitung für Windgutachten erstellt wurde, ersetzt den Staudruck q_p gemäss Norm SIA 261: 2014 Gl.(11), da ein Windgutachten spezifischer, vertiefter und damit genauer auf die lokalen Gegebenheiten eingeht.

3 Windmessungen

Windmessungen sind die zentrale Grundlage für die Erstellung eines belastbaren Windgutachtens für Seilbahnen.

Ein Windgutachten muss auf mindestens einer mehrjährigen, repräsentativen Windmessung beruhen (empfohlen > 10 Jahre).

Wenn nur eine repräsentative, mehrjährige Windmessung vorliegt, muss der Transfer der Windmessung ins Gelände und die Repräsentativität der Windmessung für die Gesamtsituation dokumentiert sein. Es soll mindestens eine zusätzliche Windmessung einfließen, um durch Quervergleiche eine Plausibilisierung und damit die Repräsentativität der Resultate sicherzustellen. Die Zusatzmessungen dürfen eine kürzere Messdauer aufweisen und es dürfen Windmessungen von bestehenden Seilbahnen eingesetzt werden.

Alle Windmessungen, die ins Windgutachten eingeflossen sind, sind gemäss den folgenden Punkten zu dokumentieren:

- Verwendete Messstationen
- Standort, Quelle, Länge der Messreihe, zeitliche Auflösung, Höhe über Grund
- Vollständigkeit, Konsistenz, Drift der Messreihe
- Exposition und Repräsentativität der Messung (z.B. Windrosen, Gelände, Landnutzung, Distanz zu Seilbahn)
- Plausibilitätschecks von Böenspitzen und Extremereignissen (beispielsweise zeitlicher Verlauf, benachbarte Messungen, aktuelle Wetterlage, Radarbild, Medienberichte). sollen durchgeführt werden, sofern Unsicherheit in der Datengrundlage besteht.

Idealerweise basiert ein Windgutachten auf effektiv gemessenen Böenspitzen. Die World Meteorological Organization WMO empfiehlt dafür die Aufzeichnung von 3-Sekunden-Böenspitzen¹. An den Stationen der nationalen Messnetze der Schweiz (SwissMetMet, NABEL und IMIS) werden die Böenspitzen dementsprechend aufgezeichnet.

Falls keine effektiv gemessenen Böenspitzen vorliegen, dürfen alternativ Mittelwerte verwendet werden. Im Normenbereich (Eurocode/SIA) wird zum Beispiel immer vom 10-Minuten-Mittelwert ausgegangen. Solche Daten sind immer unter Anwendung eines plausiblen Böenfaktors zu korrigieren. Die Herleitung des Böenfaktors ist im Gutachten zu dokumentieren.

¹ Recommendations of the World Meteorological Organization, chapter 5, measurement of surface wind", https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=19662#.Xc0fjNVCeM9

Die Genauigkeit der gemessenen Böenspitzen ist von der Trägheit des verwendeten Anemometers abhängig. Ein grosses Schalenkreuzanemometer ist davon stärker betroffen als ein berührungsloses Ultrasonic-Anemometer. In der SIA werden die gemessenen Böengeschwindigkeiten grundsätzlich um 10% erhöht, um diesem Umstand Rechnung zu tragen. Idealerweise ist der verwendete Anemometer-Typ der Messung bekannt und der Gutachter kann entsprechend beurteilen, ob eine Korrektur der gemessenen Böenspitzen anzuwenden ist oder nicht.

4 Transfer Windmessung ins Gelände

Für den Transfer der Windmessungen an die Standorte der Seilbahnstützen sind CFD-Modelle gut geeignet. In komplexem Gelände sollte die räumliche Auflösung des Modells im Bereich von 20 bis 30 m liegen. Folgende Punkte zur Modellierung sind im Windgutachten zu dokumentieren:

- Verwendetes CFD-Modell
- Ausdehnung des Modellgebiets
- Räumliche Auflösung (horizontal und vertikal, Volumenelemente)
- Visualisierung des Modellgebiets mit den Messstationen und der Seilbahntrasse
- Verwendetes Höhenmodell
- Verwendete Landnutzungsdaten
- Relevante technische Angaben zur Berechnung der Windfelder (z.B. Randbedingungen, Konvergenz-Kriterien, Turbulenzmodell)

CFD-Modelle, die eine Simulation mit einer horizontalen Auflösung in einer Größenordnung von 10 bis 30 Meter über eine Fläche von mehreren km² erlauben, sind entweder stationär oder erlauben nur die Berechnung von einzelnen kurzen Ereignissen. Solche Modelle sind nicht auf die Simulation von langfristigen Statistiken der Böenspitzen optimiert, da Böenspitzen nicht stationärer Natur sind. Die Modelle repräsentieren einen stationären, mittleren Zustand unter Berücksichtigung der gewählten Randbedingungen. Im Windgutachten ist zu dokumentieren, wie diesem Umstand in der Auswertung Rechnung getragen wurde.

Es dürfen auch andere Ansätze als CFD-Modelle eingesetzt werden. Die Vorgehensweise ist zu dokumentieren.

5 Extremwertstatistik

Gemäss SIA Norm 261 soll in einem Windgutachten der "charakteristische Wert" von q_p berechnet werden. Dieser charakteristische Wert basiert auf der Böenspitze mit einer Wiederkehrperiode von 50-Jahren, bzw. einer Böenspitze mit einer 2%-Überschreitungswahrscheinlichkeit pro Jahr.

Die Böenspitze mit einer Wiederkehrperiode von 50-Jahren wird mittels Extremwertstatistik berechnet.

In der Norm SIA 261 basiert die Extremwertstatistik auf der Gumbel-Verteilung. Die Gumbel-Verteilung stellt einen Spezialfall der allgemeinen Extremwertverteilung (Generalized Extreme Value Distribution GEV) dar. Für die Anwendung dieser Verteilung müssen die Extremwerte gemäss der Blockmaxima-Methode identifiziert werden. Hierfür wird normalerweise eine Zeitreihe von jährlichen Maxima verwendet (Annual Maxima Series AMS). Um mit dieser Methode belastbare Werte zu erhalten, muss die Zeitperiode der Windmessungen mindestens 15 Jahre umfassen.

Ein anderer Ansatz der Extremwertstatistik basiert auf der Identifikation von Extremwerten, welche einen bestimmten Schwellwert überschreiten (Peak over Threshold POT). Diese Werte folgen nicht der allgemeinen Extremwertverteilung (GEV). Für diesen Ansatz sollte daher bevorzugt die allgemeine Paretoverteilung (Generalized Pareto Distribution GPD) verwendet werden. Dieser Ansatz kann auch für kürzere Zeitreihen eingesetzt werden.

Es liegt in der Verantwortung des Gutachters, welche Methodik er basierend auf den vorliegenden Messdaten für die Extremwertstatistik verwendet. Dabei soll sein Augenmerk auf den folgenden Punkten liegen:

- Verwendung einer genügend grossen Anzahl von Maxima (> 15 Werte).
- Extraktion homogener Maxima (Monatsmaxima sind nicht zwingend homogen)
- Plausibilitätscheck der verwendeten Maxima: Elimination von Ausreissern und Fehlerten
- Möglichst guter "fit" der Extremwertverteilung

Zur Plausibilisierung werden die erhaltenen 50-Jahres-Werte mit den an den Stationen gemessenen Maxima verglichen.

6 Vertikale Extrapolation

Im Windgutachten soll der Wert q_p direkt auf Höhe Stützenkopf/Bauwerkshöhe bestimmt werden. Der Gutachter soll Wahl und Plausibilisierung der Methodik für die Bestimmung der Vertikalprofile dokumentieren.

7 Darstellung der Resultate

Die Resultate sollen in Tabellenform mit den folgenden Spalten dargestellt werden:

- Stütze/Bauwerk
- Position
- Höhe über Grund des Stützenkopfs/Bauwerks [m]
- Staudruck q_p [N/m²]

8 Einordnung der Resultate

Kurze Zusammenfassung / Fazit der relevanten Erkenntnisse:
z.B. qualitative Einordnung der Resultate hinsichtlich Gesamtsituation, kleinräumiger Meteorologie, allfälliger Besonderheiten, Unsicherheiten in der Datengrundlage und der Methodik. Falls ein CFD-Modell eingesetzt wurde, wird empfohlen im Anhang eine Windfeldkarte des bearbeiteten Gebiets darzustellen.