



Leitung TR1360 220kV-380kV La Punt – Sils

Swissgrid AG

Windanalyse, Windgeschwindigkeit und
Windrichtung entlang der Leitung

Kunde: Swissgrid AG
Bleichemattstrasse 31
CH-5001 Aarau

Kontakt: David Konradt
Tel. +41 58 580 26 16

Datum: 05.07.2024

Dokument-Nr.: 68001762-Windanalyse

Version: 2.0

Technische Kontakte: Nicola Guerrini
Tel.: +41 76 281 46 39
n.guerrini@bouygues-es.com

Karim Ganour
Tel.: +41 62 703 54 20
karim.ganour@bouygues-es.com



Kontaktdaten:

Unternehmen:

Swissgrid SA

Route des Flumeaux 41
CH-1008 Prilly

Ansprechpartner:

David Konradt

Tel. +41 58 580 26 16
David.konradt@swissgrid.ch

Unternehmen:

Bouygues E&S EnerTrans SA

Route des Flumeaux 45
CH-1008 Prilly
Tel.: +41 21 703 54 00
Fax: +41 21 703 54 01
enertrans.ch

Kontaktpersonen:

Nicola Guerrini

Tel.: +41 76 281 46 39
n.guerrini@enertrans.ch

Karim Ganour

Tel.: +41 62 703 54 20
karim.ganour@enertrans.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Änderungsnachweis	3
2	Referenzdokumente	4
3	Einleitung	4
4	Winddatenerfassung und -verarbeitung	5
4.1	Station Samedan.....	6
4.1.1	Winddatenanalyse.....	6
4.1.2	Hauptrichtung des Windes.....	7
4.2	Station Andeer	7
4.2.1	Winddatenanalyse.....	7
4.2.2	Hauptrichtung des Windes.....	8
4.3	Station Bergün	9
4.3.1	Winddatenanalyse.....	9
4.3.2	Hauptrichtung des Windes.....	10
5	Leitungsverordnung LeV 734.31	11
6	CENELEC-Norm	11
7	Risikobeurteilung	12
7.1	Gefährdungs- und Schadensanalyse	12
7.2	Risikoeinschätzung, Wahrscheinlichkeit und Schweregrad	12
7.2.1	Schätzung des Schweregrads des Schadens.....	13
7.2.2	Schätzung der Schadenswahrscheinlichkeit.....	13
7.3	Risikobewertung	14
7.4	Massnahmen zur Risikominderung	15
8	Zusammenfassung	15
9	Schlussfolgerungen	16
10	Anhänge	17
Anhang 1: Station Andeer – Tagesdaten seit 2008		17
Anhang 2: Station Bergün – Tagesdaten seit 2015		18
Anhang 3: Station Samedan – Tagesdaten seit 1981.....		19
Anhang 4: Ausrichtungsindex der Leitung		21
Anhang 5: Einzelheiten der Berechnungen der CENELEC-Norm		23

1 Änderungsnachweis

Version	Datum	Beschreibung	Verfasser	Genehmiger
0	03.05.2024	Dokumentation erstellt	GUENI	GAKAR
1	31.05.2024	Dokumentation angepasst	GUENI	GAKAR
2	05.07.2024	Übersetzung ins Deutsche	SPAAL	GAKAR

2 Referenzdokumente

- MeteoSchweiz: AND, LAT, SAM (Wetterdaten der Stationen Andeer, Bergün, Samedan)
- CENELEC-Norm: SNEN50341-1{2012}D
- Norm SIA 261_2020: 261_d
- Stromleitungsverordnung (LeV 1994) in Kraft (Stand am 1. Juli 2021)
- Technischer Bericht MeteoSchweiz Nr. 268, "Der Wintersturm Eleanor/Burglind in der Schweiz"

3 Einleitung

Die Überprüfungen der Abstände zwischen den Phasen, der Auslenkung der Ketten und den dem Wind ausgesetzten Schlaufen sind interne geometrische Überprüfungen, die im Rahmen der Dimensionierung einer Starkstromfreileitung durchgeführt werden müssen.

Gemäss der LeV 1994 beträgt der Winddruck, welcher auf die Leiter senkrecht zur Leitung ausgeübt wird, um diese Auslenkung zu überprüfen, 650 Pa für Masten mit einer Höhe bis zu 80 m. Die Höhe des Mastes ist für die Wahl des Winddruckes ausschlaggebend.

Dieser Winddruck ist verbindlich. Er kann den umfangreichen Einsatz von Gegengewichten an den Tragmasten und von Hilfsketten an einem erheblichen Teil der Abspannmasten zur Folge haben. Dieser Wert, der nach der LeV 1994 senkrecht anzuwenden ist, berücksichtigt unter anderem nicht die tatsächlichen, örtlichen Gegebenheiten und die Ausrichtung der Leitung.

Gemäss der LeV 1994 ist möglich, für die statischen Nachweise der Tragfähigkeit einen von der Spannweitenlänge abhängigen Reduktionsfaktor zu berücksichtigen. Die Risikoanalyse ermöglicht es, ihren Einsatz auf die geometrische Prüfung für einen Betriebsgrenzzustand (GZG) auszudehnen und nachzuweisen, dass diese Überlegung angemessen ist. Da das Schadenspotenzial geringer ist als bei statischen Berechnungen, ist es angemessen, die Verwendung dieses Reduktionsfaktors auf GZG-Prüfungen auszudehnen.

Auf Anfrage von Swissgrid, die die elektrische Abstände überprüfen muss, wurde eine Windanalyse (Geschwindigkeit und Richtung) in der Nähe der Leitung TR1360 La Punt – Sils durchgeführt, um den Einfluss des Windes in der Region zu überprüfen. Ziel dieser Windstudie ist es, die von der LeV 1994 auferlegten theoretischen Windannahmen zu bewerten, um festzustellen, inwieweit der Winddruck für diese Überprüfungen angepasst werden könnte.

Diese Wahl muss von einer Risikoanalyse begleitet werden, die die Auswirkungen aussergewöhnlicher Ereignisse auf die Leitung berücksichtigt. Die Abstände zur geerdeten Teile müssen nämlich eine zufriedenstellende dielektrische Festigkeit der Anlage in den verschiedenen angenommenen Klimabedingungen (Ruhe und Ausschwingen) ermöglichen. Diese Bedingungen sollten in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Wetterereignissen und Schäden definiert werden. Es ist zu beachten, dass sich bei der Überprüfung der elektrischen Abstände um eine Überprüfung im Betriebsgrenzzustand handelt. Diese Überprüfung ermöglicht es, die Funktionsfähigkeit und den ordnungsgemässen Betrieb der Leitung zu gewährleisten, beeinträchtigt jedoch in keiner Weise die Tragsicherheit der Anlage oder die Sicherheit von Personen.

In der vorliegenden Studie werden drei Windvariablen analysiert:

- Die Amplitude, d. h. die maximale Windgeschwindigkeit (Durchschnitt über 10 Minuten)
- Die Häufigkeit
- Die Richtung

Diese drei Variablen ermöglichen eine Bewertung des Risikos und der Anfälligkeit bzw. Empfindlichkeit der Stromleitung gegenüber der Windlastüberprüfungen im Betriebsgrenzzustand.

4 Winddatenerfassung und -verarbeitung

BYES hat sich mit MeteoSchweiz in Verbindung gesetzt, um Informationen über die Windrichtung und -Geschwindigkeit in der Nähe der Leitung zu erhalten. Drei Stationen in der Nähe der Leitung wurden identifiziert.

- Andeer
- Bergün
- Samedan

Die Wahl dieser drei Stationen wurde getroffen, um die Leitung zu umfassen und ein gutes Bild der verschiedenen Winde zu erhalten, die aus den diversen Tälern kommen, in denen sich die Leitung befindet.

Für die drei Wetterstationen wurden folgende Daten analysiert:

- o Tagesdaten + Windrose
 - Windgeschwindigkeit; Durchschnitt über 10 Minuten
 - Windböe (Integration 1 s); Maximalwert über 10 Minuten
 - Windrichtung; Durchschnitt über 10 Minuten [°]

Die Geschwindigkeiten werden in einer Höhe von 10 m über dem Boden gemessen.

Der Messzeitraum ist bei allen sechs Wetterstationen nicht identisch und hängt von deren Inbetriebnahme ab. In der Schweiz haben sich in den letzten Jahren zwei Stürme ereignet: 1999 (Lothar) und 2018 (Elaonor/Burglind/). Die Aufzeichnungsperioden dieser Stationen erlauben es, nur das zweite grosse Ereignis zwischen diesen beiden mit Sicherheit zu beurteilen, da 1999 nicht alle Stationen in Betrieb waren (nur eine von drei). Die ebenfalls aussergewöhnlichen Ereignisse von 2023 wurden auch im für die Studie verwendeten Zeitrahmen erfasst (Daten ab Inbetriebnahme der Stationen bis 28. Februar 2024).

Darüber hinaus ermöglicht die CENELEC-Norm die Extrapolation der Windgeschwindigkeit auf eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren in Abhängigkeit von der verfügbaren Messperiode. Diese Extrapolation wird in der vorliegenden Studie verwendet und ist in §5 beschrieben.

In dieser Abbildung 1 wird der Leitungsverlauf sowie die Lage der Stationen von MeteoSchweiz um die Leitung dargestellt.

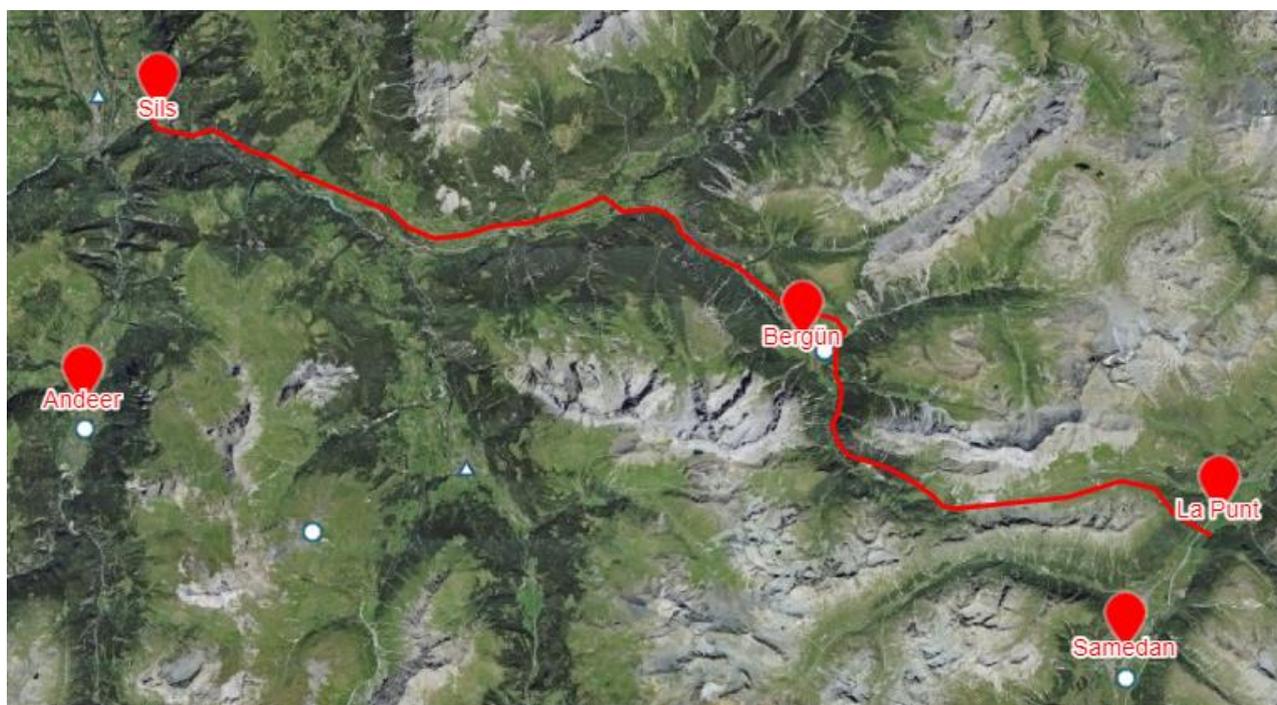


Abbildung 1. Aktueller Verlauf der Leitung La Punt - Sils und in der Studie berücksichtigte Wetterstationen.

Anmerkung:

In der Schweiz kann der Wert der Luftdichte je nach Höhe variieren. Die Website Windenergie-Daten der Schweiz (wind-data.ch) gibt den Wert $\rho_{\text{air}} = 1,165 \text{ kg/m}^3$ an, was einer Höhe von 650m entspricht. Für die Luftdichte wird in EN 1991-1-4 ein konservativer Wert angegeben: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$. Dieser Wert wird von Swissgrid gewählt.

Gemäss der Beschreibung der Geländearten der CENELEC EN 50342-1:2012 haben wir geschätzt, dass die Lage der Leitung einer Geländekategorie II entspricht, die zum Geländefaktor führt:

- $k_r = 0,189$ und $z_0 = 0,05 \rightarrow$ Geländekategorie II auf dem Abschnitt 1360x147 – 1360x126
- $k_r = 0,214$ et $z_0 = 0,300 \rightarrow$ Geländekategorie III auf dem Abschnitt UW Sils – 1360x147

Die Geländekategorie II entspricht einem Gebiet mit niedriger Vegetation wie Gras und einzelnen Hindernissen (Bäume, Gebäude), die mindestens das 20-Fache ihrer Höhe voneinander entfernt sind. Die Geländekategorie III entspricht einem Gebiet mit regelmäßiger Vegetationsdecke, einzelnen Gebäuden oder Hindernissen, die höchstens das 20-fache ihrer Höhe voneinander entfernt sind (z. B. Dörfer, vorstädtische Gebiete, Dauerwald).

4.1 Station Samedan

4.1.1 Winddatenanalyse

Die jährlichen Maximaldaten der Station Samedan seit 1981 sind im Anhang 1 enthalten.

Tabelle 1 enthält eine Übersicht der Extremdaten und des Jahres des Auftretens:

Max. jährliche Windböen (Integration 1 Sek.)	135,0 km/h (879 Pa) im Jahr 2008
Jahresdurchschnitt der Windböen (Integration 1 Sek.)	86,84 km/h
Maximale Durchschnittsgeschwindigkeit über 10 Minuten in 10 m Höhe	52,20 km/h im Jahr 2020

Tabelle 1. Jährliche Extremwerte der Station Samedan: Windböen und Integration über 10 Min.

4.1.2 Hauptrichtung des Windes

Anhand der Daten zu den Windrosen lässt sich erkennen, dass die vorherrschende Windrichtung einer Achse von **216° – 36°** entspricht.

Die unten dargestellte Windrose entspricht **dem durchschnittlichen stündlichen Wind (über 1 Stunde)** der Station, entsprechend den verschiedenen Windrichtungen.

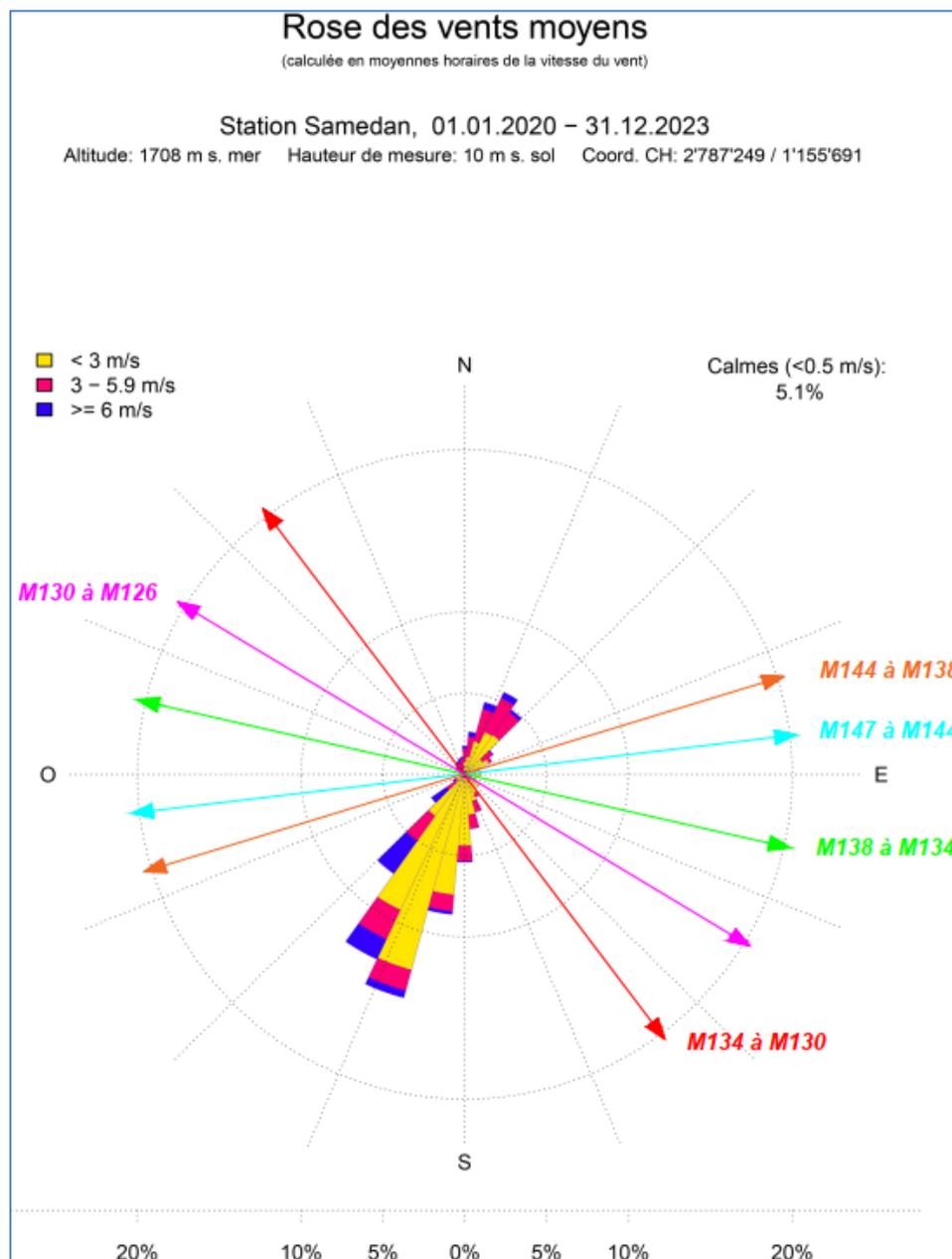


Abbildung 2. Windrose Station Samedan.

4.2 Station Andeer

4.2.1 Winddatenanalyse

Die jährlichen Maximaldaten der Station Andeer seit 2008 sind im Anhang 2 enthalten.

Tabelle 2 enthält eine Übersicht der Extremdaten und des Jahres des Auftretens:

Max. jährliche Windböen (Integration 1 Sek.)	90 km/h (966 Pa) im Jahr 2012
Jahresdurchschnitt der Windböen (Integration 1 Sek.)	74,92 km/h
Maximale Durchschnittsgeschwindigkeit über 10 Minuten in 10 m Höhe	46,4 km/h im Jahr 2022

Tabelle 2. Jährliche Extremwerte der Station Andeer: Windböen und Integration über 10 Min.

4.2.2 Hauptrichtung des Windes

Die unten dargestellte Windrose ermöglicht es, die vorherrschende Windrichtung zu identifizieren, die einer Achse von **16° – 196°** entspricht.

Die Windrose wird auf der Grundlage **des stündlichen Durchschnitts (über 1 Stunde)** der Station gemäss den verschiedenen Windrichtungen ermittelt.

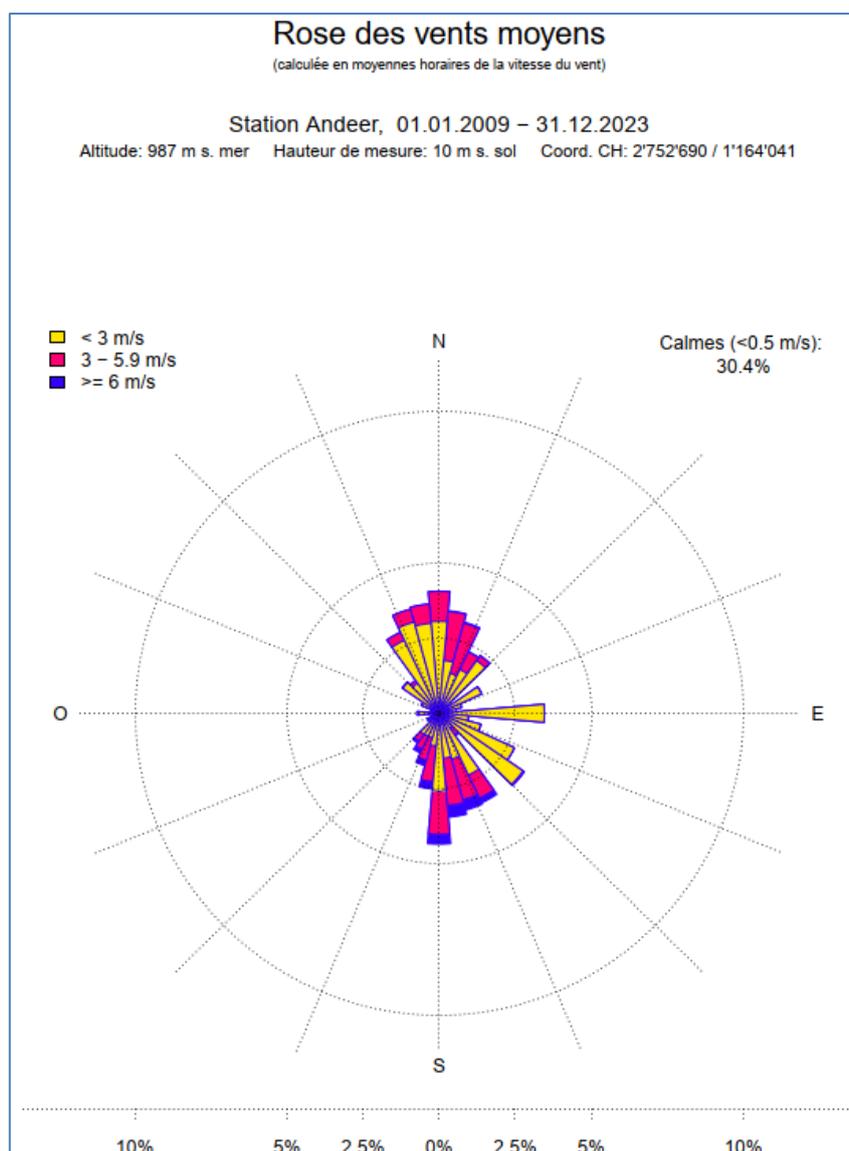


Abbildung 3. Windrose Station Andeer.

Da die Windrose an der Station Andeer nicht die Windrichtung in der Nähe der Leitung repräsentiert, wird beschlossen, für die Untersuchung nach der Norm CENELEC die folgenden Daten für den Leitungsabschnitt UW Sils – 1360x229 zu verwenden:

- Windgeschwindigkeit: Die an der Station Andeer gemessene Geschwindigkeit.
- Hauptwindrichtung: Richtung 50m über dem Boden auf maps.geo.admin.ch (siehe Abbildung 4).

Die Hauptwindrichtung, die für die Analysen verwendet wurde, folgt einer Achse von 315° – 135°. **Diese Windrichtung wird für die Berechnungen nach der Norm CENELEC (Abschnitt UW Sils – 1360x229) verwendet.**

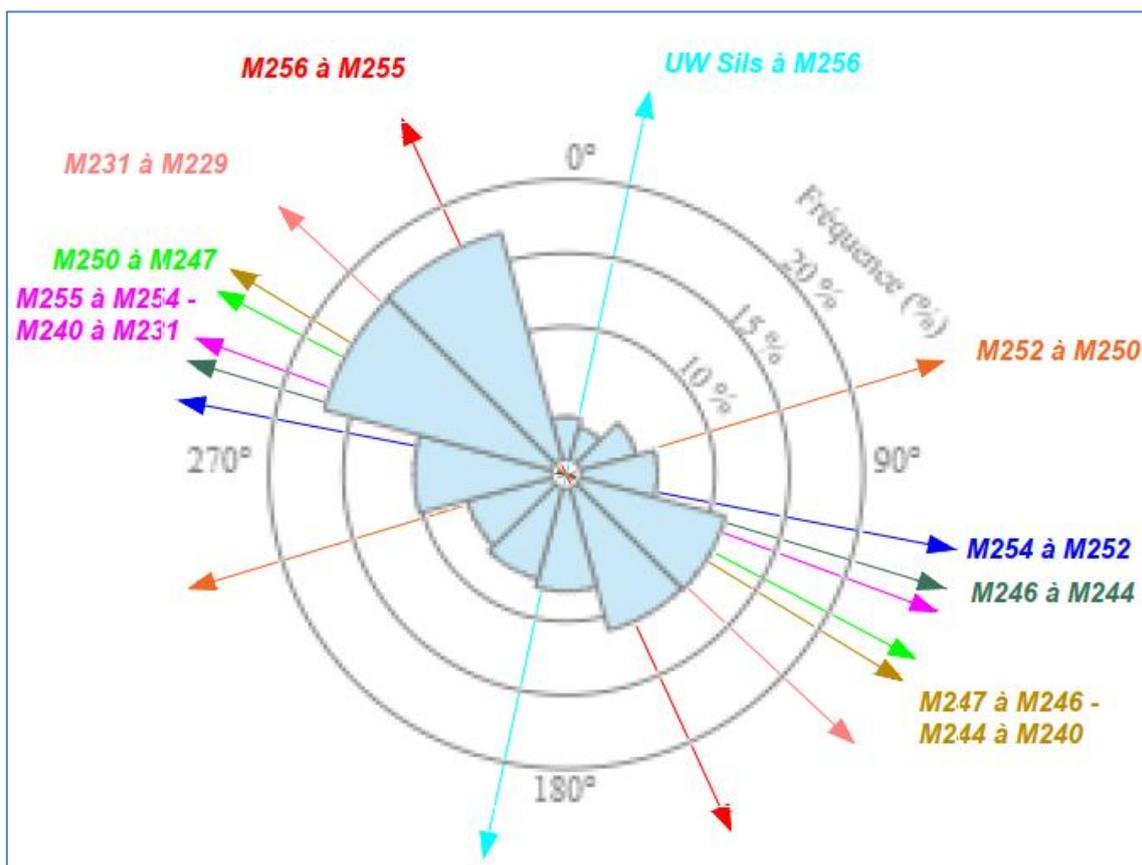


Abbildung 4. Windrose in der Nähe der Leitung (Abschnitt UW Sils – 1360x229).

4.3 Station Bergün

4.3.1 Winddatenanalyse

Die jährlichen Maximaldaten der Station Bergün seit 2015 sind im Anhang 3 enthalten.

Tabelle 3 enthält eine Zusammenfassung der Daten:

Max. jährliche Windböen (Integration 1 Sek.)	79,6 km/h (306 Pa) im Jahr 2015
Jahresdurchschnitt der Windböen (Integration 1 Sek.)	66,0 km/h
Maximale Durchschnittsgeschwindigkeit über 10 Minuten in 10 m Höhe	29,2 km/h im Jahr 2019

Tabelle 3. Jährliche Extremwerte der Station Bergün: Windböen und Integration über 10 Min.

4.3.2 Hauptrichtung des Windes

Anhand der unten dargestellten Windrosen kann die vorherrschende Windrichtung identifiziert werden, die einer Achse von **313° – 133°** entspricht.

Die Windrose in Abbildung 5, wurde auf der Grundlage des **stündlichen Durchschnitts (über 1 Stunde)** der Station nach den verschiedenen Azimuten ermittelt.

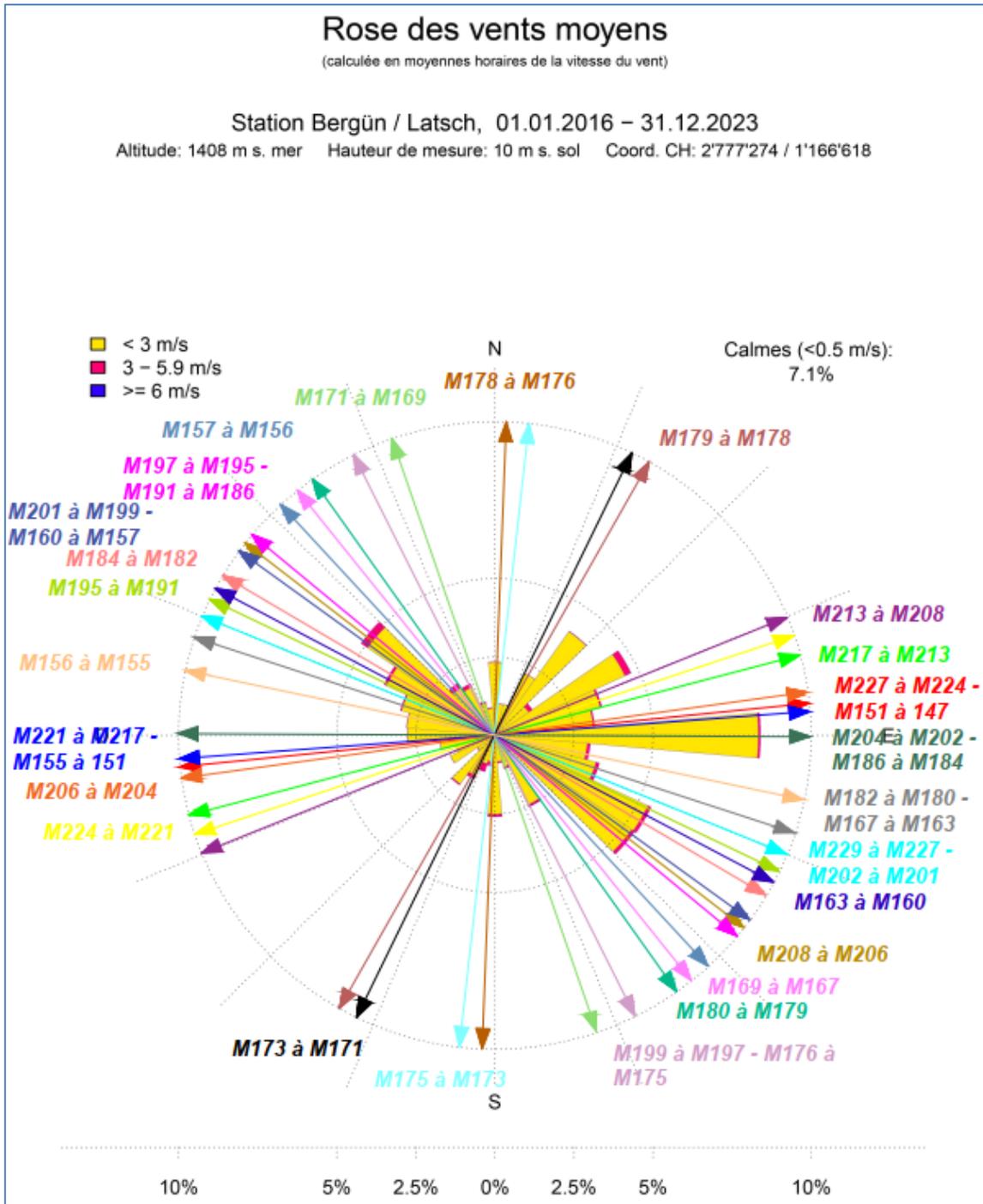


Abbildung 5. Windrose Station Bergün.

5 Leitungsverordnung LeV 734.31

Der Winddruck, welcher senkrecht zur Leitung angelegt werden muss, um die Auslenkungen zu überprüfen, beträgt laut LeV 1994 650 Pa für Masten mit einer Höhe bis 80 m.

Gemäss Artikel 2 vom Anhang 15 können die Belastungen für die Bemessung der Tragwerke gemäss Diagramm 3 reduziert werden, wenn die Längen der äquivalenten Spannweiten 225 m überschreiten.

Auf der Leitung beträgt die durchschnittliche Spannweite 330 m. Daher können wir von einem durchschnittlichen Reduktionsfaktor von 0,86 ausgehen.

Somit wäre der zu berücksichtigende Winddruck **559 Pa**.

6 CENELEC-Norm

In diesem Kapitel wird versucht, den Winddruck, der auf die Seile angewendet wird, gemäss den Empfehlungen der CENELEC-Norm 50341-1 zu bestimmen, um ihn mit dem von der LeV 1994 auf die runden Körper von 650 Pa anzuwendenden Druck zu vergleichen.

Für die Analyse nach CENELEC-Norm wurden drei Stationen ausgewählt:

- Andeer: für den Leitungsabschnitt zwischen der UW Sils und dem Mast 1360x229
- Bergün: für den Leitungsabschnitt zwischen dem Mast 1360x229 und dem Mast 1360x147
- Samedan: für den Leitungsabschnitt zwischen dem Mast 1360x147 und der UW La Punt

Gemäss §4.3 der CENELEC-Norm wird die Referenzgeschwindigkeit V_r angegeben, die einer Durchschnittsgeschwindigkeit entspricht.

Gemäss den Daten von MeteoSchweiz und der zuvor durchgeführten Analyse wird Folgendes berücksichtigt:

- Station Andeer: eine Geschwindigkeit V_r von 12,89 m/s
- Station Bergün: eine Geschwindigkeit V_r von 8,11m/s
- Station Samedan: eine Geschwindigkeit V_r von 14,50 m/s

Zur Klarstellung: Die obigen Werte sind die Höchstgeschwindigkeiten über die gesamte Messperiode.

Gemäss der Beschreibung der Geländearten der CENELEC EN 50341-1:2012 haben wir geschätzt, dass die Position der Leitung einer Geländekategorie II oder III entspricht, die zum Geländefaktor führt:

- $z_0 = 0,05$ und $k_r = 0,189$
- $z_0 = 0,300$ und $k_r = 0,214$

Die Berechnungen nach der CENELEC-Norm ermöglichen die Bestimmung der Absolutwerte der auf die Leiter aufzubringenden Winddrücke:

- **Station Andeer: 251 Pa, für den Abschnitt UW Sils – 1360x229.**
- **Station Bergün: 280 Pa, für den Abschnitt 1360x229 – 1360x169.**
- **Station Bergün: 280 Pa * 1.98 = 409 Pa, für den Abschnitt 1360x169 – 1360x147**
- **Samedan Station: 318 Pa * 1.31 = 416 Pa, für den Abschnitt 1360x147 – 1360x134.**
- **Samedan Station: 318 Pa, für den Abschnitt 1360x134 – 1360x126**

Anmerkung:

Der oben für die Stationen Bergün und Samedan angewandte Koeffizient wird am Ende von Anhang 5 beschrieben. Er ermöglicht eine Korrektur aufgrund der Entfernung der Messstationen und der Besonderheiten der lokalen Bergtopographie.

Details zu den Berechnungen finden Sie im Anhang 5.

Da der Beobachtungszeitraum für alle drei Stationen unterschiedlich ist, wurde in der Berechnung eine Umrechnung auf eine 50-jährige Wiederkehrperiode gemäß Anhang B.2 der Norm CENELEC EN 50341-1:2012 vorgenommen.

Dieser Index ermöglicht es, die Abspannstrecken zu identifizieren, in denen das Ausschlagen der Leiter am stärksten vom Wind beeinflusst wird, und eventuell nur an diesen Stellen und nicht auf der ganzen Leitung Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Die senkrecht anzuwendenden Druckwerte entsprechen den mit den Ausrichtungsindizes multiplizierten Absolutwerten.

7 Risikobeurteilung

In den vorangegangenen Absätzen haben wir anhand einer Analyse der Winddaten von MeteoSchweiz die Möglichkeit untersucht, den durch die Leitungsverordnung vorgeschriebenen Winddruck für die Berechnung der Kettenauslenkungen anzupassen.

Die elektrischen inneren Abstände müssen zwischen dem Träger und den unter Spannung stehenden Teilen (Leiter, Ende von Isolierketten oder des Isolatorschirms, das sich am nächsten an den Trägern befindet, Gegengewichte usw.) überprüft werden. Diese Überprüfungen werden an allen Masten der Leitung, Trag- und Abspannmasten durchgeführt.

Bei Hängeketten wird die Einhaltung der elektrischen Abstände durch einen Vergleich zwischen den zulässigen Auslenkungswinkeln und den durch das Gleichgewicht des Leiters verursachten Auslenkungswinkeln sichergestellt.

Bei Abspannketten sind die elektrischen Abstände zwischen den spannungsführenden Teilen des Kettenendes (oder des letzten Schirms des Isolators) und der Erde sowie zwischen der Schlaufe und der Erde zu überprüfen, d. h. nur die dem Wind ausgesetzten Schlaufen werden ausgelenkt.

Um eine Ausnahmeregelung festlegen zu können, wünscht das ESTI, dass eine Risikoanalyse unter Berücksichtigung aussergewöhnlicher klimatischer Ereignisse durchgeführt wird.

7.1 Gefährdungs- und Schadensanalyse

Jedes gefährliche Phänomen kann zu einem Ereignis führen, das einen Schaden verursachen kann. In der folgenden Tabelle identifizieren wir die gefährlichen Phänomene und die damit verbundenen Ereignisse.

Gefährliche Phänomene	Gefährliche Ereignisse	Schäden
Übermäßiger Winddruck (Böen eines aussergewöhnlichen Sturms) Hoher Winddruck, der lange genug ausgeübt wird	Auslenkung der Kette oder der Schlaufe über den zulässigen Winkel hinaus, um den Kurzschlussabstand einzuhalten	Durchschlag, Lichtbogen, Kurzschlussstrom Leitungsstrang beschädigt Elektroschock Menschen - Tiere

Tabelle 4 Gefährliche Phänomene im Zusammenhang mit der Annäherung der unter Spannung stehenden Teile an geerdete Elemente.

7.2 Risikoeinschätzung, Wahrscheinlichkeit und Schweregrad

Das Risiko ist der quantitative Wert eines gefährlichen Phänomens. Dieser Wert setzt sich aus dem Schweregrad des Schadens und der Wahrscheinlichkeit, dass dieser Schaden eintritt, zusammen.

Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens wird bestimmt durch:

- die Häufigkeit und Dauer der Exposition gegenüber dem gefährlichen Phänomen
- die Eintrittswahrscheinlichkeit des gefährlichen Ereignisses
- die Möglichkeit, den Schaden durch technische Lösungen zu vermeiden oder zu begrenzen

7.2.1 Schätzung des Schweregrads des Schadens

Wir beschliessen, den Schweregrad des Schadens in drei Kategorien zu unterteilen.

Kategorie	Umfang des Schadens	Definition der Folgen
1	Sehr schwer	Gefährdung der Nachbarschaft
2	Mittel	Abschaltung der Leitung, aber unwirksame automatische Wiedereinschaltungen (schwerer Fehler)
3	Gering	Ausserbetriebnahme der Leitung und Betrieb der automatischen Wiedereinschaltungen (keine neuen Unterbrechungen – geringfügige Schäden)

Tabelle 5 Schweregrade.

Ein zu geringer Abstand zwischen Mast und Kette kann dazu führen, dass bei übermässiger Auslenkung der Kette (oder der Schlaufe) ein Durchschlag auftritt.

Die Leitungen sind mit automatischen Wiedereinschaltvorrichtungen (an den UW) ausgestattet. Wenn ein Fehler auftritt, geht die Leitung in den Sicherheitsmodus über. Normalerweise gibt es zwei automatische Wiedereinschaltungen, eine schnelle (nach einigen Zehntelsekunden) und eine langsame (nach einigen Sekunden).

Wenn der Defekt fortbesteht (z. B. abgestürzter Mast), ist ein menschliches Eingreifen erforderlich, um den Defekt zu identifizieren und eine Lösung zu finden. In diesem Fall wird die Leitung je nach Ursache und Schaden für eine unterschiedliche Dauer ausser Betrieb genommen. In diesem Fall wird der Strom oft über andere Leitungen (Netzdichte und n-1 Sicherheit) transportiert.

Leitende Teile, die normalerweise nicht unter Spannung stehen, sind geerdet, um die Gefahr für Personen durch Berührungs- und Schrittspannungen sowie die Gefahr für Objekte durch Erdschluss- oder Kurzschlussströme zu verringern. Um die Gefahr für Personen und Einrichtungen zu begrenzen, werden alle Masten geerdet. Die Erdung stellt sicher, dass die Berührungs- und Schrittspannungen im Einflussbereich des Mastes gemäss den Sicherheitsvorschriften und -Regeln eingehalten werden. Diese Erdungen werden anschliessend gemessen, überprüft (gemäss Swissgrid-Standard "SG_BL_ZE_UZ00.0002") und bei Bedarf korrigiert, um den geltenden Vorschriften zu entsprechen.

Das Durchschlagen des Lichtbogens auf das Tragwerk hat keinen Einfluss auf die mechanische Festigkeit und Stabilität des Mastes. Die Leiter und Isolatorketten können beschädigt werden, ohne ihre mechanische Festigkeit zu gefährden.

Deshalb wird der Schweregrad des Schadens als **gering** eingeschätzt.

7.2.2 Schätzung der Schadenswahrscheinlichkeit

Folgende Wahrscheinlichkeitskategorien werden definiert:

Kategorie	Wahrscheinlichkeitsskala	Vorkommen
A	Häufig	< einmal pro Jahr
B	Gelegentlich	< einmal in 10 Jahren > einmal pro Jahr
C	Sehr unwahrscheinlich	> einmal in 10 Jahren < einmal in 100 Jahren

Tabelle 6 Kategorie der Vorkommnisse.

Die Windgeschwindigkeit, welche für die Berechnung des Winddrucks nach der CENELEC Norm verwendet wurde, deckt die Gesamtheit der 10 Minuten gemittelten Aufzeichnungen über die Zeiträume der Verfügbarkeit der Stationen ab, d.h. im Rahmen dieser Studie 9, 16 und 43 Jahre (auf 50 Jahre hochgerechnet).

Die Referenzwindgeschwindigkeit entspricht der maximalen Durchschnittsgeschwindigkeit, gemessen in 10 m Höhe über dem Boden über 10 Minuten auf allen verfügbaren Daten der Wetterstation.

Ein Durchschlag Ketten - Mast kann potenziell stattfinden:

- Bei Windböen, die grösser als $V_{b,0}$ sind und lange genug wirken: < 2% der Winde über einen Zeitraum von 50 Jahren
- Bei Stürmen (Wiederkehrzeit 50 bis 100 Jahre) – in solchen Situationen ist ein Schwingen der Ketten ein geringes Problem

Die Schadenswahrscheinlichkeit wird als **sehr unwahrscheinlich** eingeschätzt.

Hierbei wird berücksichtigt, dass aufgrund der globalen Erwärmung immer häufiger starke Böen zu erwarten sind.

7.3 Risikobewertung

Zur Risikobewertung kann die folgende Matrix verwendet werden:

Wahrscheinlichkeit	A			
	B			
	C	X		
		3	2	1
		Umfang des Schadens		

Tabelle 7: Risikobewertungsmatrix.

Bereich: akzeptables Risiko, die menschliche Sicherheit ist gewährleistet, das Material ist nicht oder nur geringfügig beschädigt und muss langfristig repariert werden

Bereich: mittleres Risiko, die menschliche Sicherheit ist gewährleistet, das Material ist beschädigt und muss mittelfristig repariert werden

Bereich: hohes Risiko, die menschliche Sicherheit ist nicht mehr gewährleistet, das Material ist stark beschädigt und muss sehr kurzfristig repariert werden

Ein Durchschlag durch übermässiges Auslenkung einer Kette oder einer Schlaufe stellt ein geringes Risiko dar. Dies liegt daran, dass Personen und Material nicht gefährdet werden und Lösungen zur Behebung des Problems, wenn es fortbesteht, einfach zu implementieren sind.

7.4 Massnahmen zur Risikominderung

Wie wir untersucht haben, ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Durchschlages Mast – Ketten ein gelegentliches Ereignis. Die Folgen eines solchen Ereignisses sind eher gering.

Sollte sich das Ereignis auf einem Mast wiederholen (besondere Windzone, ungleiche Gewichtsverteilung usw.), ist es wichtig zu beachten, dass man den Abstand zum Tragwerk erhöhen oder die Auslenkungen begrenzen kann, indem man nacheinander oder durch Kombination die folgenden Massnahmen umsetzt:

Aufhängungsarten	Mögliche Lösungen
Hängeketten	<ul style="list-style-type: none"> – Verwendung einer V-Kette – Verschiebung der Aufhängung, wenn diese Möglichkeit am Mast oder an dem Trägers vorgesehen ist und im Falle eines kleinen Winkels – Einbau oder Erhöhung von Gegengewichten
Abspannketten	<ul style="list-style-type: none"> – Versetzte Aufhängung – Verlängerungsstück zwischen dem Tragwerk und der Kette – Einbau einer Hilfskette (auch Retentionskette genannt), um die Schlaufe von der Tragwerk oder des Trägers zu entfernen oder Gegengewichte an der Schlaufe anzubringen

Tabelle 8: Lösung zur Verringerung oder Beseitigung des potenziellen Fehlers.

Durch den Einsatz dieser Vorrichtungen (je nach Fall anzupassen) wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des Schadens weiter verringert. Diese Massnahmen haben keinen Einfluss auf den Schweregrad des Unfalls, können aber die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls erheblich verringern.

8 Zusammenfassung

Im Auftrag der Swissgrid AG wurde auf der Leitung 380/220 kV La Punt - Sils eine Windanalyse (Geschwindigkeit, Häufigkeit und Richtung auf Basis von Messungen) durchgeführt. Die Winddrücke wurden nach den folgenden zwei Quellen definiert:

Stromleitungsverordnung (LeV)

Der Winddruck, der senkrecht zur Leitung angewendet wird, um die Schwingungen unter Berücksichtigung des Reduktionsfaktors zu überprüfen, beträgt 559 Pa.

CENELEC-Norm

Anhand meteorologischer Daten konnten realistischere Winddruckwerte ermittelt werden. Die statistische Untersuchung ergibt eine Übereinstimmung, die für mehr Sicherheit im Leitungsbetrieb und die erwartete Zuverlässigkeit sorgt.

- **Station Andeer: 251 Pa**
- **Station Bergün: 207 Pa**
- **Station Samedan: 318 Pa**

Diese Werte, die aus den Messdaten an den Stationen der MeteoSchweiz berechnet werden, berücksichtigen nicht die Linienführung. Die Werte, die die Linienführungen berücksichtigen, sind Anhang 4 zu entnehmen.

Es sei daran erinnert, dass die Lasten nicht direkt miteinander verglichen werden können, da die Normen Teilfaktoren mit Winddrücken in Verbindung bringen, die auch unterschiedlich sein können und auch mit der Beurteilung des Risikos, der Zuverlässigkeit der Anlage, des Ansatzes der Norm (probabilistisch, semi-probabilistisch und deterministisch) und des Berechnungsmodells verbunden sind.

9 Schlussfolgerungen

Die CENELEC-Norm wurde speziell für die Dimensionierung von Hochspannungsleitungen entwickelt.

Diese Norm basiert auf Referenzgeschwindigkeiten, die nach meteorologischen Daten, in unserem Fall von Meteo-Schweiz, ermittelt werden. Die Wahl der Referenzgeschwindigkeit ist angesichts der Bedeutung der Infrastruktur von Swissgrid auf eine sehr hohe Zuverlässigkeit ausgerichtet. Wir wählten eine Referenzgeschwindigkeit (je nach Intensität und Hauptwindrichtung an der Messstation), die höchste aller Stationen unter Berücksichtigung des Ausrichtungsindex darstellt. Höchste Durchschnittsgeschwindigkeit über 10 min an der Station Andeer und Bergün gemäss CENELEC-Verfahren.

Die Wahl dieser drei Stationen für die Berechnungen nach der CENELEC-Norm ist auf die geografische Beschaffenheit der Region und die Windrichtung zurückzuführen.

Ein zusätzliches Kriterium ist der „Ausrichtungsindex“. In der Tat ist die Betrachtung des in §6 berechneten senkrechten Drucks zu konservativ, während die tatsächliche Richtung oft eine schwächere Wirkung des effektiven Winddrucks verursacht.

Die Berechnung der Kettenauslenkungen ohne Berücksichtigung der Leitungsausrichtung könnte zu einem übermässigen Einsatz von Gegengewichten oder Hilfskette führen. Die CENELEC-Norm ermöglicht es, sich auf diesen Ausrichtungsindex zu beziehen, um den Winddruck zu verringern, wenn die Ausrichtung des Mastes günstig ist.

In Anbetracht der erhaltenen Ergebnisse wird für die Windanalyse und vorbehaltlich der Zustimmung von Swissgrid der zur Leitungsachse senkrechte Winddruck in Übereinstimmung mit den in Anhang 4 (Tabelle 12, 4. Spalte) berechneten Werten vorgeschlagen.

Da der berechnete Druck auf einigen Abschnitten höher ist als der von der LeV 1994 angegebene Wert, wird in Absprache mit Swissgrid vorgeschlagen, den von der LeV 1994 vorgeschriebenen Druckwert auf diese Bereiche anzuwenden (559 Pa = Wert bei 10 °C nach LeV 1994 mit dem Reduktionsfaktor 0,86).

Durch die Analyse der gemessenen Windgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet wird eine Referenzgeschwindigkeit ermittelt und der Druck mit der Leitungsführung gemäss Anhang 4 angewendet.

Die empfohlenen Winddruckwerte (senkrecht zur Leitung anzuwenden) sind wie folgt:

- **UW Sils – 1360x169 → 300 Pa**
- **1360x169 – 1360x134 → 420 Pa**
- **1360x134 – 1360x126 → 300 Pa**

10 Anhänge

Anhang 1: Station Andeer – Tagesdaten seit 2008

Jahr	Max. Geschwindigkeit der Windböe über 1 s (km/h)	Durchschnittliche max. Geschwindigkeit 10 Min. (km/h)
2008	67,3	36,7
2009	80,3	38,9
2010	71,3	39,6
2011	65,9	37,8
2012	90	38,9
2013	70,2	36,7
2014	76,7	41,4
2015	80,6	46,1
2016	74,5	41,4
2017	72,7	43,9
2018	76,3	42,8
2019	72,4	40,3
2020	81,7	44,3
2021	72	40,3
2022	81,7	46,4
2023	74,5	40,7
2024	65,5	36,4

Tabelle 9. Maximale Geschwindigkeiten pro Jahr (Integration bei 1 Sek. und 10 Min.). Station MeteoSchweiz in Andeer.

Anhang 2: Station Bergün – Tagesdaten seit 2015

Jahr	Max. Geschwindigkeit der Windböe über 1 s (km/h)	Durchschnittliche max. Geschwindigkeit 10 Min. (km/h)
2015	79,6	27,4
2016	65,2	24,5
2017	69,5	27
2018	73,4	27,4
2019	69,5	29,2
2020	69,1	28,4
2021	58,7	24,1
2022	70,2	21,2
2023	79,6	26,3
2024	25,2	14

Tabelle 10. Maximale Geschwindigkeiten pro Jahr (Integration bei 1 Sek. und 10 Min.).
Station MeteoSchweiz in Bergün.

Anhang 3: Station Samedan – Tagesdaten seit 1981

Jahr	Max. Geschwindigkeit der Windböe über 1 s (km/h)	Durchschnittliche max. Geschwindigkeit 10 Min. (km/h)
1981	81	42,5
1982	76	39,6
1983	103,3	38,5
1984	97,9	46,4
1985	88,9	38,9
1986	87,5	45
1987	77,8	41
1988	91,8	38,5
1989	85,7	38,5
1990	111,6	43,2
1991	74,2	38,9
1992	79,9	36,7
1993	82,1	47,2
1994	85,7	36
1995	82,8	34,2
1996	72	37,8
1997	78,1	35,3
1998	77,8	37,8
1999	95,4	35,3
2000	77,4	34,2
2001	74,5	41
2002	75,2	37,8
2003	76,7	36,4
2004	79,2	44,3
2005	89,6	34,2
2006	71,3	36,7
2007	93,2	41,8
2008	135	48,2
2009	75,6	37,8
2010	76,7	36,4
2011	94,7	46,4
2012	92,2	44,6
2013	74,5	43,6
2014	84,6	38,2
2015	117,7	40
2016	74,5	37,8

2017	89,3	42,1
2018	94,7	42,5
2019	100,1	42,8
2020	101,5	52,2
2021	90	49
2022	83,5	47,5
2023	87,5	48,6
2024	82,1	37,8

Tabelle 11. Maximale Geschwindigkeiten pro Jahr (Integration bei 1 Sek. und 10 Min.).
Partnerstation von MeteoSchweiz in Samedan.

Anhang 4: Ausrichtungsindex der Leitung

Um die Ausrichtungsindizes der Leitung zu berechnen, wurden die Hauptwindrichtungen verwendet.

- Andeer Station: 313°
- Station Bergün: 315°
- Samedan Station: 216°

Abschnitte/ Masten	Ausrichtung Mast zur vor- herrschenden Windrichtung (Grad)	Windstärke (Pa) Maximalwert für Re- ferenzstation	Berechnung: Pa $\times \sin$ Winkel	Ausrich- tungsindex
UW Sils – 1360x256	137,0	251	210	0,84
1360x256 – 1360x255	177,0	251	89	0,35
1360x255 – 1360x254	227,0	251	103	0,41
1360x254 – 1360x252	238,0	251	141	0,56
1360x252 – 1360x250	269,0	251	222	0,88
1360x250 – 1360x247	219,0	251	74	0,29
1360x247 – 1360x246	215,0	251	59	0,23
1360x246 – 1360x244	231,0	251	117	0,47
1360x244 – 1360x240	216,0	251	62	0,25
1360x240 – 1360x231	225,0	251	96	0,38
1360x231 – 1360x229	202,0	251	8	0,03
1360x229 – 1360x227	223,0	280	99	0,35
1360x227 – 1360x226	254,0	280	210	0,75
1360x226 – 1360x224	255,0	280	213	0,76
1360x224 – 1360x223	268,0	280	245	0,88
1360x223 – 1360x222	269,0	280	247	0,88
1360x222 – 1360x221	268,0	280	245	0,88
1360x221 – 1360x217	253,0	280	207	0,74
1360x217 – 1360x213	264,0	280	236	0,84
1360x213 – 1360x208	272,0	280	253	0,90
1360x208 – 1360x206	206,0	280	26	0,09
1360x206 – 1360x204	257,0	280	219	0,78
1360x204 – 1360x202	247,0	280	188	0,67
1360x202 – 1360x201	223,0	280	99	0,35
1360x201 – 1360x199	208,0	280	35	0,13
1360x199 – 1360x198	177,0	280	99	0,35
1360x198 – 1360x197	176,0	280	103	0,37
1360x197 – 1360x195	204,0	280	18	0,06
1360x195 – 1360x191	219,0	280	82	0,29
1360x191 – 1360x190	204,0	280	18	0,06

1360x190 – 1360x189	203,0	280	13	0,05
1360x189 – 1360x186	205,0	280	22	0,08
1360x186 – 1360x184	247,0	280	188	0,67
1360x184 – 1360x182	214,0	280	61	0,22
1360x182 – 1360x180	228,0	280	119	0,43
1360x180 – 1360x179	187,0	280	57	0,20
1360x179 – 1360x178	115,0	280	272	0,97
1360x178 – 1360x176	145,0	280	213	0,76
1360x176 – 1360x175	177,0	280	99	0,35
1360x175 – 1360x173	141,0	280	224	0,80
1360x173 – 1360x171	119,0	280	268	0,96
1360x171 – 1360x169	169,0	280	131	0,47
1360x169 – 1360x167	191,0	554	78	0,14
1360x167 – 1360x163	229,0	554	244	0,44
1360x163 – 1360x160	217,0	554	146	0,26
1360x160 – 1360x158	208,0	554	69	0,13
1360x158 – 1360x157	209,0	554	78	0,14
1360x157 – 1360x156	195,0	554	43	0,08
1360x156 – 1360x155	235,0	554	289	0,52
1360x155 – 1360x154	253,0	554	410	0,74
1360x154 – 1360x151	252,0	554	404	0,73
1360x151 – 1360x147	255,0	554	421	0,76
1360x147 – 1360x144	148,0	416	304	0,73
1360x144 – 1360x138	159,0	416	250	0,60
1360x138 – 1360x134	126,0	416	382	0,92
1360x134 – 1360x130	81,0	318	304	0,96
1360x130 – 1360x126	105,0	318	317	1,00

Tabelle 12. Ausrichtungsinde und äquivalente Windgeschwindigkeit (Analyse Stationen Andeer, Bergün und Samedan).

Anhang 5: Einzelheiten der Berechnungen der CENELEC-Norm

Annahmen für Berechnungen, Referenzen in EN50341-1 {2012}

- $z_0 = 0,05$ und $k_r = 0,189$ → Gelände der Kategorie II auf dem Abschnitt 1360x147 – 1360x126
- $z_0 = 0,300$ et $k_r = 0,214$ → Gelände der Kategorie III für den Abschnitt UW Sils – 1360x147
- $h = 40$ m. Referenzhöhe (h) der zu untersuchenden Leitungskomponente. Vereinfachung für Berechnungen.
- $\rho_{\text{air}} = 1,25$ kg/m³
- Mittlere Reichweite = 300 m, Vereinfachung bei Berechnungen
- $c_{\text{dir}} = 1$: Windrichtungskoeffizient. Der Wind gilt als senkrecht zur Leitung
- $c_o = 1$, Faktor der Geländetopographie. Ein angepasstes Verfahren zur Bestimmung des Koeffizienten c_o ist in A.3 von EN 1991-1-4:2005 für isolierte Gipfel angegeben. In dieser Studie wird die spezifische Situation am Albulapass am Ende dieses Anhangs 5 untersucht.
- $G_c = 0,70$, Strukturkoeffizient für Leiter oder Spannweitenfaktor, in einer Höhe von 40 m; gemäss §4.4.1.2 Tabelle 4.4.c (Gelände der Kategorie II)
- $G_c = 0,64$, Strukturkoeffizient für Leiter oder Spannweitenfaktor, in einer Höhe von 40 m; gemäss §4.4.1.2 Tabelle 4.4.d (Gelände der Kategorie III)
- $C_x = 1$, Widerstandskoeffizient (oder Kraftkoeffizient) abhängig von der Form des zu untersuchenden Leitungsbauteils
- C_t (16 Jahre) = 1,187 für die Station Andeer gemäss Anhang B.2
 C_t (10 Jahre) = 1,289 für die Station Bergün gemäss Anhang B.2
 C_t (40 Jahre) = 1,029 für die Station Samedan gemäss Anhang B.2

Auswahl der Referenzstationen für die Berechnungen

- Andeer: für den Leitungsabschnitt zwischen der UW Sils und dem Mast 1360x229
- Bergün: für den Leitungsabschnitt zwischen dem Mast 1360x229 und dem Mast 1360x147
- Samedan: für den Leitungsabschnitt zwischen dem Mast 1360x147 und der UW La Punt

Berechnungen

$V_{b,0}$ ist nach §4.3.1 der CENELEC-Norm ein Kennwert mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von 0,02, was einer durchschnittlichen Wiederkehrperiode von 50 Jahren entspricht. Mit Zustimmung von Swissgrid wurde beschlossen, diese Geschwindigkeit während der gesamten möglichen Aufzeichnungsdauer als die an der Messstation aufgezeichnete Höchstgeschwindigkeit bei 10 Minuten zu wählen. Diese Wahl ist eine konservative Wahl.

Mit den Daten der drei Wetterstationen wurden die folgenden Höchstgeschwindigkeiten bei 10 min, $V_{\text{max},10\text{min}}$ gewählt:

- Andeer: **46,4** km/h (oder 12.9 m/s)
- Bergün: **45,2** km/h (oder 12.6 m/s)
- Samedan: **52,2** km/h (oder 14.5 m/s)

Die Station Bergün befindet sich in einem Gelände der Kategorie 3 (und nicht der Kategorie 2, wie es die Norm CENELEC vorschreibt). Die Umrechnung der durchschnittlichen Höchstgeschwindigkeit in 10 Minuten von einem Gelände der Kategorie 3 in ein Gelände der Kategorie 2 ergibt eine Referenzgeschwindigkeit von **45,2** km/h (oder **12,6** m/s) für diese Station.

$V_{b,0} = V_r$ = Referenzgeschwindigkeit über die Wiederkehrperiode von 50 Jahren wird durch die Beziehung bestimmt:

$$V_{b,0} = V_{\max,10\min} \cdot C_t$$

Also:

- Andeer: $V_{b,0} = 15,34$ m/s
- Bergün: $V_{b,0} = 16,20$ m/s
- Samedan: $V_{b,0} = 14,92$ m/s

D. h. $V_h(h)$ ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit auf der Befestigungshöhe der Leiter. „Wenn es keine Anforderungen in den NNA gibt, ist eine Höhe von 60 m in der Regel akzeptabel“ (§4.3.1). In der vorliegenden Studie beträgt die durchschnittliche Höhe über dem Boden der Leitung 40 m.

$V_h(h)$ wird durch die Beziehung §4.3.2 definiert:

$$V_h(h) = V_{b,0} \cdot C_{dir} \cdot C_0 \cdot k_r \cdot \ln(h / z_0)$$

Wir ermitteln also $V_h(h) = V_{b,0} \cdot k_r \cdot \ln(h / z_0)$:

- Andeer: $V_h(h) = 16,06$ m/s
- Bergün: $V_h(h) = 16,96$ m/s
- Samedan: $V_h(h) = 18,85$ m/s

Daraus lässt sich der dynamische Druck nach Beziehung ableiten:

$$q_h = \frac{1}{2} \rho_{air} V_h^2$$

D. h.:

- Andeer: $q_h(h) = 222$ Pa
- Bergün: $q_h(h) = 752$ Pa
- Samedan: $q_h(h) = 407$ Pa

Die Turbulenzintensität wird durch folgendes Gesetz, §4.3.4, definiert:

$$I_v(h) = 1 / [c_0 \ln(h / z_0)]$$

D. h.:

- Andeer: $I_v(h) = 0,204$
- Bergün: $I_v(h) = 0,204$
- Samedan: $I_v(h) = 0,145$

Der dynamische Druck des Böenwindes, $q_p(h)$, auf der Referenzhöhe über dem Boden h , der die Turbulenzintensität $I_v(h)$ berücksichtigt, wird gemäss folgender Gleichung ermittelt:

$$q_p(h) = [1 + 7 I_v(h)] q_h(h)$$

D. h.:

- Andeer: $q_p(h) = 391$ Pa
- Bergün: $q_p(h) = 437$ Pa
- Samedan: $q_p(h) = 455$ Pa

Anschliessend wird der Winddruck, der von einem horizontal wehenden Wind in der Referenzhöhe über dem Boden h senkrecht zu einer Leitungsteil ausgeübt wird, in §4.3.5 angegeben:

$$Q_{wx} = q_p(h) G_x C_x A_x$$

Wobei:

G_x ist der Strukturkoeffizient für die zu untersuchende Leitungsstrukturkomponente

A_x ist die Fläche der Leitungsstrukturkomponente, welche auf eine Ebene senkrecht zur Windrichtung projiziert wird

Man erhält einen senkrechten Druck auf einen Leiter (Pa) 40 m über dem Boden:

- Andeer: $Q_{k1}/A_{ref} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot G_q = 391 \cdot 0.71 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{251 \text{ Pa}}$
- Bergün: $Q_{k1}/A_{ref} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot G_q = 437 \cdot 0.71 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{280 \text{ Pa}}$
- Samedan: $Q_{k1}/A_{ref} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot G_q = 455 \cdot 0.71 \cdot 1 \cdot 1 = \mathbf{318 \text{ Pa}}$

Die Erfahrung zeigt, dass die Region Albulapass durch sehr intensive Windböen gekennzeichnet ist. Es wird eine zusätzliche Berechnung durchgeführt, um die Besonderheiten dieser Region und die Entfernung zur entsprechenden MeteoSchweiz-Messstation zu berücksichtigen.

Es wird ein Vergleich zwischen den von MeteoSchweiz aufgezeichneten Böen an den drei für die Studie gewählten Stationen und einer vom BAFU erstellten Gefahrenkarte [Böen mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren (Bundesamt für Umwelt BAFU) ([Karten der Sturmgefährdung \(admin.ch\)](http://www.admin.ch/karten-sturmgefaehrderung))] durchgeführt.

Mit folgenden Formeln wird ein Verhältnis zwischen den an den Messstationen gemessenen Windgeschwindigkeiten und den tatsächlichen Geschwindigkeiten in der Nähe der Leitung (an Stellen im Hochgebirge, die weit von der Messstation entfernt sind) ermittelt.

Man erhält ein "Ratio" zwischen den Geschwindigkeiten, und der Wert des "Ratio²" wird dann zur Multiplikation der entsprechenden Drücke verwendet.

Abschnitt 1360x169 – 1360x147

- Albulapass (1360x169 – 1360x147):
Böen: 155 ± 33 km/h oder 43 ± 9 m/s (Quelle: Wert lt. Karte.)
- Station Bergün/Latsch:
Böen: 135 ± 28 km/h oder 37 ± 8 m/s.

Das Verhältnis zwischen diesen Geschwindigkeiten wird angewendet, um die für die Station Bergün erhaltenen Druckwerte zu multiplizieren (eine Geschwindigkeit der Böen von 43+9=52 m/s wird gewählt, um den gesamten Unsicherheitsbereich abzudecken):

Ratio = 52/37 = 1,40 → die Windgeschwindigkeit wird mit dem Faktor (Ratio) korrigiert.

Ratio² = 1,40² = 1,98 → zum Winddruck wird mit dem Faktor (Ratio)² korrigiert.

Abschnitt 1360x147 – 1360x134

Der gleiche Vergleich wird für einen anderen Abschnitt der Leitung durchgeführt (Abschnitt 1360x147 – 1360x134):

- Station Samedan:
Böen: 125 ± 27 km/h oder 35 ± 7 m/s.
- Teil der Leitung 1360x147 - 1360x134:
Böen: 143 ± 30 km/h oder 40 ± 8 m/s.

Das Verhältnis zwischen diesen Geschwindigkeiten wird angewendet, um die für die Station Samedan ermittelten Druckwerte für den Streckenabschnitt 1360x147 – 1360x134 zu multiplizieren. Dies berücksichtigt die Tatsache, dass die Leitung viel höher liegt als die MeteoSchweiz-Messstation:

Ratio = 40/35 = 1,14 → die Windgeschwindigkeit wird mit dem Faktor (Ratio) korrigiert.

Ratio² = 1,14² = 1,31 → zum Winddruck wird mit dem Faktor (Ratio)² korrigiert.