



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

MeteoSchweiz

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 268

Der Wintersturm Burglind/Eleanor in der Schweiz

MeteoSchweiz



ISSN: 2296-0058

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 268

Der Wintersturm Burglind/Eleanor in der Schweiz

Redaktion

Simon Scherrer

Autoren

Kapitel 1: Simon Scherrer

Kapitel 2: Christophe Salamin

Kapitel 3: Christophe Salamin

Kapitel 4: Tanja Weusthoff, Pirmin Kaufmann

Kapitel 5: Stephan Bader, Simon Scherrer

Kapitel 6: Thomas Rössli

Kapitel 7: Nina Aemisegger, Monika Gut

Empfohlene Zitierung:

MeteoSchweiz, 2018: Der Wintersturm Burglind/Eleanor in der Schweiz, *Fachbericht MeteoSchweiz*, **268**, 35 pp.

Herausgeber:

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2018

MeteoSchweiz

Operation Center 1

CH-8044 Zürich-Flughafen

T +41 58 460 99 99

www.meteoschweiz.ch

Zusammenfassung

Am Vormittag des 3. Januar 2018 erfasste der Sturm Burglind/Eleanor grosse Teile der Schweiz. Es war der stärkste Wintersturm seit Lothar 1999 und brachte vor allem im Jura und im Flachland der Alpennordseite aussergewöhnlich starke Winde. So wurden im Flachland verbreitet Windspitzen von 90 bis gut 130 km/h, in Berglagen 140 bis 170 km/h und an exponierten Lagen stellenweise bis 200 km/h gemessen. Das Rhonetal, Nord- und Mittelbünden waren nur am Rand betroffen, die Alpensüdseite wurde grösstenteils vom Sturm verschont.

Die numerischen Wettermodelle zeigten schon vier Tage vor dem Ereignis Anzeichen für einen starken Sturm. Diese Hinweise erhärteten sich und MeteoSchweiz warnte frühzeitig vor starkem Sturm (Warnstufe 3, erhebliche Gefahr) mit Windspitzen von 80 bis 110 km/h im Flachland, 100 bis 130 km/h in leicht erhöhten Lagen des Flachlands und 130 bis 160 km/h in den Höhenlagen des Jura und der Alpen. Die Warnung war grossräumig gesehen korrekt. Am Jurasüdfuss, vom Neuenburger Jura über die zentralen Voralpen bis ins Toggenburg und im nordöstlichsten Mittelland wurden jedoch lokal Windspitzen der Warnstufe 4 (grosse Gefahr) erreicht.

Die numerischen Wettermodelle COSMO-1 und COSMO-E von MeteoSchweiz tendierten vielerorts vorerst zu einer Unterschätzung der Windspitzen. Die Unterschätzung nahm jedoch mit zunehmender Nähe zum Ereignis deutlich ab. Das Wettermodell COSMO-1 lieferte, gemittelt über die ganze Schweiz, die besten Vorhersagen im Kurzfristbereich. Es hob sich aber im Flachland nördlich der Alpen nicht gegen die anderen verfügbaren Modelle ab.

Burglind/Eleanor ist der stärkste Wintersturm der Schweiz seit Lothar 1999 und zählt zu den vier stärksten Winterstürmen seit 1981. Punktuell lieferte Burglind/Eleanor Rekordwindspitzen. In den meisten Regionen lieferten Lothar 1999 und Vivian 1990 allerdings deutlich höhere Windspitzen. Ein Sturm wie Burglind/Eleanor ist im Schweizer Mittelland etwa alle 5 bis 20 Jahre zu erwarten.

Burglind/Eleanor verursachte die grössten Infrastruktur- und Waldschäden durch einen Wintersturm seit Lothar 1999. Die geschätzten Infrastrukturschäden beliefen sich auf rund 165 Mio. CHF (Stand Februar 2018). Es gab Beeinträchtigungen im Strassen- und Schienenverkehr sowie wenige Unterbrüche im Stromnetz. Der Sturm fällte rund 1.3 Millionen Kubikmeter Holz in Schweizer Wäldern.

MeteoSchweiz informierte die Behörden und Bevölkerung gut und sachorientiert. Die wichtigsten Kommunikationsmittel waren die MeteoSchweiz Webseite und die MeteoSwiss App. Rasch konnte eine klimatologische Einordnung des Ereignisses geliefert werden. MeteoSchweiz fand auf allen Medienkanälen positive Erwähnung.

Abstract

During the morning of 3 January 2018, storm Burglind/Eleanor reached large parts of Switzerland. It was the strongest winter storm since Lothar in 1999 and brought exceptionally strong winds, especially in the Jura mountains and on the Swiss Plateau. Wind gusts of 90-130 km/h have been recorded on the Plateau, gusts of 140-170 km/h in mountain areas and up to 200 km/h in some exposed places. The Rhone valley, the northern and central Grisons have been affected only moderately by the storm. The southern slopes of the Alps have been mostly untroubled by the storm.

The weather model predictions have shown signals of an upcoming storm already four days before the event. The evidence was confirmed later on and MeteoSwiss issued a “heavy storm” warning (warning level 3, serious danger) timely with wind gusts of 80-110 km/h on the Plateau, 100-130 km/h in slightly elevated areas and 130-160 km/h in higher elevations of the Jura mountains and the Alps. The warning was broadly correct. On the southern slopes of the Jura mountains, in the Jura around Neuchâtel, along the central Prealps, in the Toggenburg and in the north-easterly parts of the Plateau, wind gusts of warning level 4 (serious danger) have been reached.

The numerical weather models COSMO-1 and COSMO-E from MeteoSwiss underestimated the wind gusts in the predictions in the beginning. The underestimation decreased clearly with increasing proximity to the event. The COSMO-1 model provided the best short-term forecasts and averaged over the whole of Switzerland. However, there was no additional benefit of the COSMO-1 model with respect to the other models on the Plateau north of the Alps.

Burglind/Eleanor is the strongest winter storm in Switzerland since Lothar in 1999 and is one of the four strongest winter storms since 1981. In some places, record breaking wind gusts have been registered. In most regions however, the wind gusts of Lothar and Vivian were clearly stronger. A winter storm like Burglind/Eleanor is expected about every 5-20 years for most places on the Swiss Plateau.

Burglind/Eleanor caused the largest infrastructure and forest damage from a winter storm since Lothar in 1999. The estimated infrastructure damage was around 165 Mio CHF (as of February 2018). There have been impairments in road- and rail-traffic and some interruptions in the power supply system. The storm felled around 1.3 million cubic metres of wood in Swiss forests.

MeteoSwiss informed the authorities and the general public well and fact based. The most important means of communication were the MeteoSwiss website and the MeteoSwiss App. A climatological classification of the event was quickly provided. MeteoSwiss was positively mentioned on all media channels.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	V
Abstract	VI
1 Einleitung	1
2 Grossräumige Wetterlage	3
3 Vorhersagen, Warnungen und Messungen	7
3.1 Analyse der Situation	7
3.2 Warnungen	10
3.3 Gemessene Windspitzen	11
3.4 Warnverifikation	13
4 Verifikation der numerischen Wettervorhersagemodelle	15
4.1 Verwendete Wettermodelle und deren Vorhersagen	15
4.2 Verifikation Windspitzen und mittlerer Wind	15
4.3 Bewertung und Einordnung	18
5 Klimatologische Einordnung	21
5.1 Die wichtigsten Winterstürme seit 1981	21
5.2 Vergleich mit Lothar und Vivian	23
5.3 Zeitliche Entwicklung der starken Sturmtage	25
6 Schäden und Auswirkungen	27
7 Kommunikationsstrategie und Medienresonanz	31
7.1 Kommunikation MeteoSchweiz	31
7.2 Medienresonanz und Distributionskanäle	31
7.3 Fazit Medien-/Öffentlichkeitsarbeit	32
Danksagung	33
Literaturverzeichnis	35

1 Einleitung

Nach einer mehrjährigen „Wintersturmpause“ zeigte sich der Winter 2017/2018 von seiner stürmischen Seite. Im Dezember 2017 und vor allem Januar 2018 fegten mehrere Stürme über die Schweiz. Der stärkste Sturm «Burglind/Eleanor» erfasste am Vormittag des 3. Januar 2018 vor allem das westliche und nördliche Mittelland. Das Rhonetal und östlichen Alpenregionen der Schweiz waren nur leicht, die Alpensüdseite fast gar nicht betroffen.

Dieser Bericht beleuchtet die grossräumige Wetterlage, die Prognose und Warnung des Ereignisses, die Verifikation der Prognose und Modelle sowie die klimatologische Einordnung und die grobe Beurteilung der Schäden bis hin zur Kommunikation von MeteoSchweiz.

Der Aufbau des Berichts ist wie folgt: In **Kapitel 2** wird die Wetterlage und Wetterentwicklung vom 2. bis 4. Januar 2018 besprochen. **Kapitel 3** behandelt die Vorhersage, die ausgegebenen Warnungen sowie deren Verifikation anhand von Messungen an Stationen. In **Kapitel 4** wird gezeigt, wie gut die numerischen Wettermodelle das Ereignis vorausgesagt haben. **Kapitel 5** ordnet den Sturm klimatologisch ein und vergleicht ihn mit Lothar und Vivian, den grossen Stürmen des späten 20. Jahrhunderts. In **Kapitel 6** folgt eine Übersicht über die Schäden und Auswirkungen des Sturms in der Schweiz. **Kapitel 7** dokumentiert die MeteoSchweiz Kommunikationsstrategie und Medienresonanz.



Burglind/Eleanor am Zugersee (Zug, 3. Januar 2018, 12:14 Uhr mitteleuropäische Zeit MEZ).

Foto: Andreas Hostettler

2 Grossräumige Wetterlage

Die Entwicklung eines Sturmtiefs wie Burglind/Eleanor erfordert eine besonders dynamische Wetterlage. Diese ist im Winter in Nordeuropa häufig gegeben, so insbesondere während des Winters 2017/2018.

Während der Wintersaison verstärkt sich der Temperaturunterschied zwischen den polaren und tropischen Luftmassen in der nördlichen Hemisphäre. Daraus entsteht in grosser Höhe zwischen diesen beiden Luftmassen ein ausgeprägtes horizontales Druckgefälle, das für die starke Westströmung, den sogenannten „Jetstream“, verantwortlich ist. Dieser markiert in der oberen Troposphäre die Grenze zwischen den beiden Luftmassen, während sie sich am Boden durch das Auftreten von Fronten manifestiert (Kalt-, Warmfronten oder Okklusionen).

Im Winter verschiebt sich diese Frontalzone Richtung Süden und kommt im westeuropäischen Raum häufig zwischen den Britischen Inseln und Spanien beziehungsweise entsprechende Breitengrade über dem offenen Nordatlantik zu liegen. Der Jetstream stellt keinen kontinuierlichen Luftstrom einheitlicher Stärke dar, vielmehr variiert er beträchtlich bezüglich Geschwindigkeit und Richtung. Er mäandriert wellenförmig zwischen niederen und höheren Breiten und interagiert dabei auf komplexe Art und Weise mit den darunterliegenden bodennahen Luftmassen. Zonen divergenter Strömung, welche sich entlang starker Abschnitte des Jetstreams in der Höhe bilden, sind bevorzugte Gebiete mit Hebung und somit starker Tiefdruckbildung oder –intensivierung am Boden.

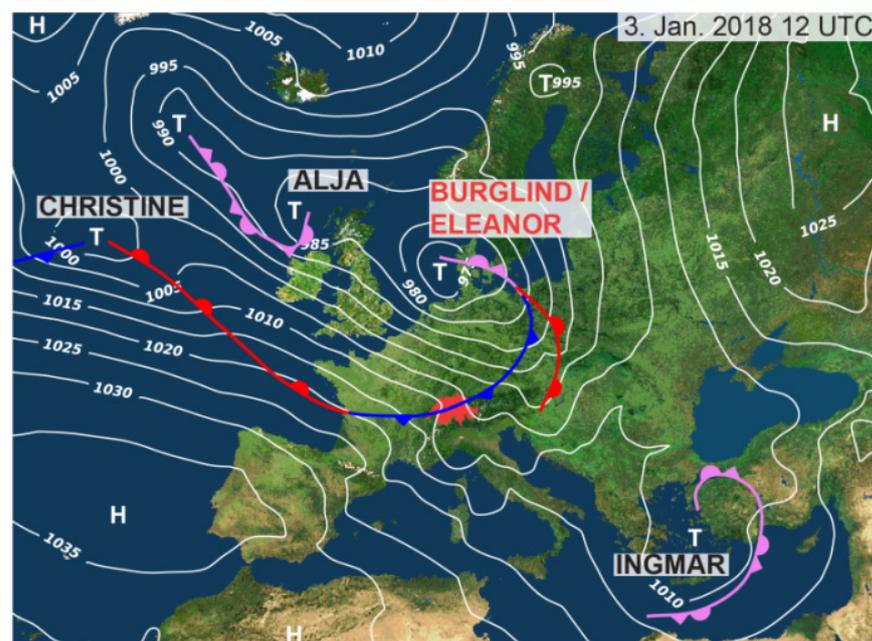


Abbildung 1: Bodendruck und Fronten am 3. Januar um 12 UTC (13 Uhr MEZ).

Das Sturmtief Burglind/Eleanor (Burglind: Benennung der Freien Universität (FU) Berlin und Eleanor: Benennung des Met Office in Grossbritannien) hat sich wie die Mehrheit der Weststürme, die in der Wintersaison über Westeuropa ziehen, nach diesem Schema gebildet. **Abbildung 1** zeigt die Druckverteilung am Boden rund zwei Stunden nach Auftreten der maximalen Windspitzen in der Schweiz. In **Abbildung 2, 3** und **4** ist die Entwicklung des Sturms im Detail ersichtlich.

Am Dienstag 2. Januar 2018 um 12 UTC (**Abbildung 2**) liegt der Jetstream zonal orientiert westlich von Irland. Nördlich angrenzend ist eine Anomalie der Tropopause erkennbar, der ein Absinken von trockener stratosphärischer Luft impliziert (schwarzer Bereich auf dem „Wasserdampf“-Infrarotbild, links). Burglind/Eleanor bildet sich zu diesem Zeitpunkt westlich von Irland (Pfeile). Es befindet sich in einem frühen Stadium („Wellentief“), daher ist noch keine Okklusion erkennbar (rechts).

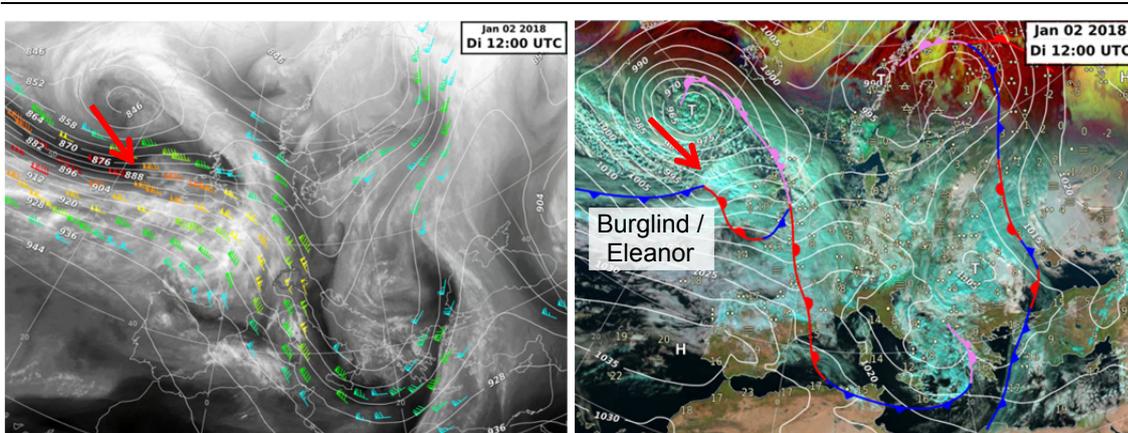


Abbildung 2: Links dargestellt ist das Satelliten-Infrarotbild im „Wasserdampf“-Kanal (6.2 µm, helle Bereiche entsprechen feuchter bzw. bewölkter, dunkle Bereiche trockener Luft) am Dienstag, 2. Januar 2018, 12 UTC (13 Uhr MEZ). Überlagert sind die Isohypsen und Windfelder (rot die Zone der stärksten Windgeschwindigkeit über 140 kt / 260 km/h) auf der 300hPa Geopotentialfläche in rund 9 km Höhe. Es illustriert die Strömung, Feuchte und Bewölkung der höheren Troposphäre. Rechts dargestellt ist das „Natural“ Satellitenprodukt zum selben Zeitpunkt dargestellt: Hohe Bewölkung aus Eiskristallen erscheint in Blau-, tiefe Bewölkung in weissen oder gräulichen Tönen, Landmassen sind grünbraun, Wasserflächen schwarz eingefärbt. Überlagert ist das Bodendruckfeld und manuell analysierte Fronten gemäss Standardsignaturen. Alle Druck- und Windfelder sind Analysen des globalen Wettermodells des ECMWF, deterministischer Modelllauf HRES (www.ecmwf.int). Die Namen der Tiefdruckgebiete wurden nachträglich ergänzt.

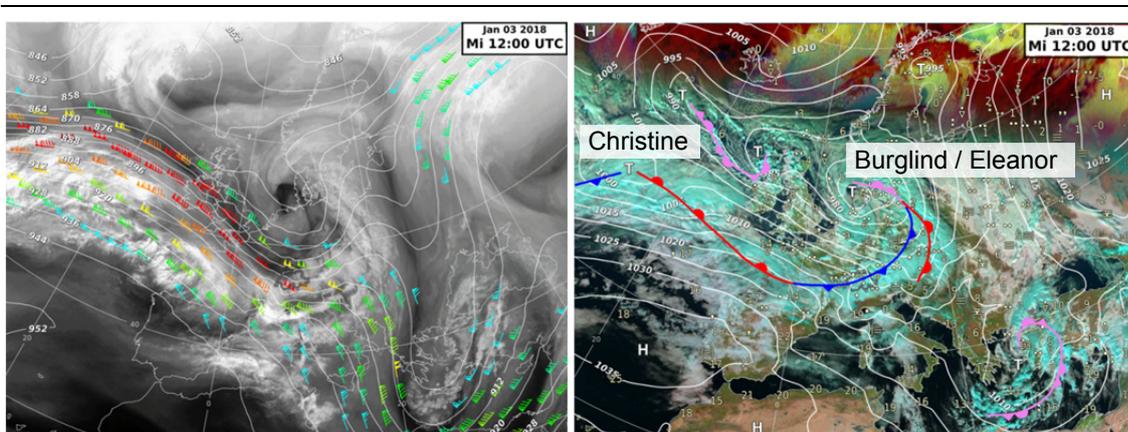


Abbildung 3: Wie in Abbildung 2 für Mittwoch, 3. Januar 2018, 12 UTC (13 Uhr MEZ).

24 Stunden später, am Mittwoch 3. Januar 2018 12 UTC, liegt der Jetstream mit Windgeschwindigkeiten von über 250 km/h aus west-nordwestlicher Richtung genau über der Schweiz (**Abbildung 3**). Auf der kalten Seite des Jetstreams liegt das Zentrum des Sturmtiefs Burglind/Eleanor über der südlichen Nordsee. Kurz vor Mittag zieht die Kaltfront zusammen mit den maximalen Windspitzen am Boden über die Schweiz. Die mit dem Kaltfrontdurchgang verbundene Zunahme der Instabilität der Atmosphäre bewirkt ein punktuell Hinabgreifen der aussergewöhnlich starken Höhenwinde bis ins Flachland, welche dem an sich schon sehr starken Gradientwind die Sturmböen hinzuaddiert. In diesem Stadium bildet sich ein neues Sturmtief (Christine) über dem nördlichen Atlantik.

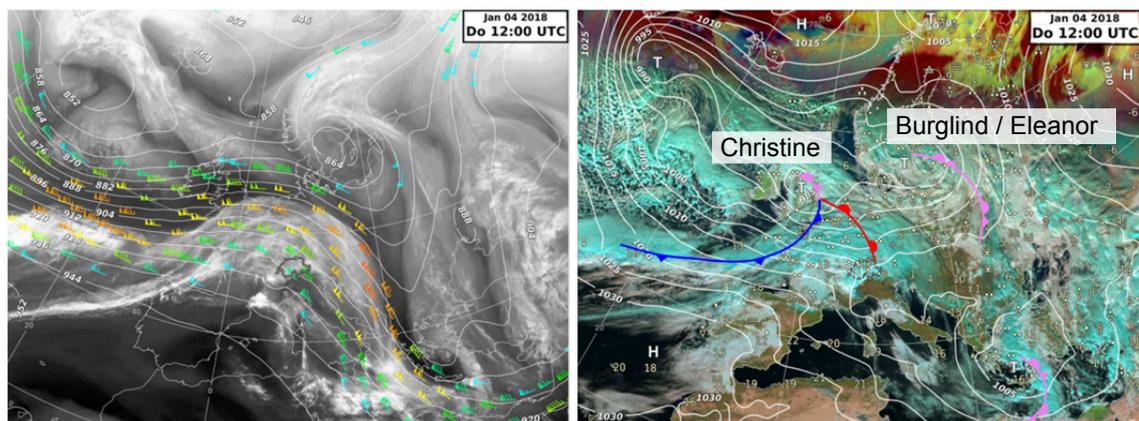


Abbildung 4: Wie in Abbildungen 2 und 3 oben für Donnerstag, 4. Januar 2018, 12 UTC (13 Uhr MEZ).

Am Donnerstag 4. Januar 2018 12 UTC hat sich der Jetstream deutlich abgeschwächt und von der Schweiz entfernt (**Abbildung 4**). Zudem herrscht über der Schweiz eine leicht antizyklonale Strömung, was mit einer Stabilisierung und Wetterberuhigung einhergeht. Das Sturmtief Christine über den Britischen Inseln ist weniger stark als Burglind/Eleanor. An diesem Tag erreicht eine weitere Kaltfront die Schweiz, die starke Niederschläge in Form von Regen unterhalb von rund 2300 m zur Folge hat. Daraus wiederum resultieren Überschwemmungen und Schlammlawinen.

3 Vorhersagen, Warnungen und Messungen

Vorhersagen und Warnungen in Zusammenhang mit Stürmen sind eine komplexe Angelegenheit. Numerische Vorhersagemodelle liefern eine ausgezeichnete Grundlage zur Beurteilung der grossräumigen Wettersituation. Die quantitative Abschätzung der maximalen Windspitzen in Bodennähe ist allerdings mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Im Fall des Sturmtiefs Burglind/Eleanor waren die Anzeichen für ein aussergewöhnliches Ereignis relativ früh erkennbar. Dies führte dazu, dass zwei Tage vor dem Sturm eine Vorwarnung und ein Tag vorher eine Warnung der Stufe 3 (erhebliche Gefahr) herausgegeben wurden. Insgesamt stellten sich diese Warnungen als korrekt heraus. Punktuell wurden Windspitzen der Warnstufe 4 erreicht.

3.1 Analyse der Situation

Der Fall des Sturmtiefs Burglind/Eleanor vom 3. Januar 2018 war in dem Sinne besonders, als dass es nur recht wenige Hinweise gab, aufgrund dessen der Sturm mit Sicherheit als aussergewöhnliches Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von über fünf Jahren hätte eingestuft werden konnte. Genau genommen beschränkten sie sich auf besonders starke Höhenwinde, wie sie exemplarisch in **Abbildung 5** für den 00 UTC ungestörten Lauf („Control“) der COSMO-E (MeteoSchweiz, 2018) Modellvorhersage vom 2. Januar 2018 dargestellt sind. Stürmische Höhenwinde sind für sich alleine noch keine hinreichende Bedingung um Sturmböen in den Niederungen auszulösen.

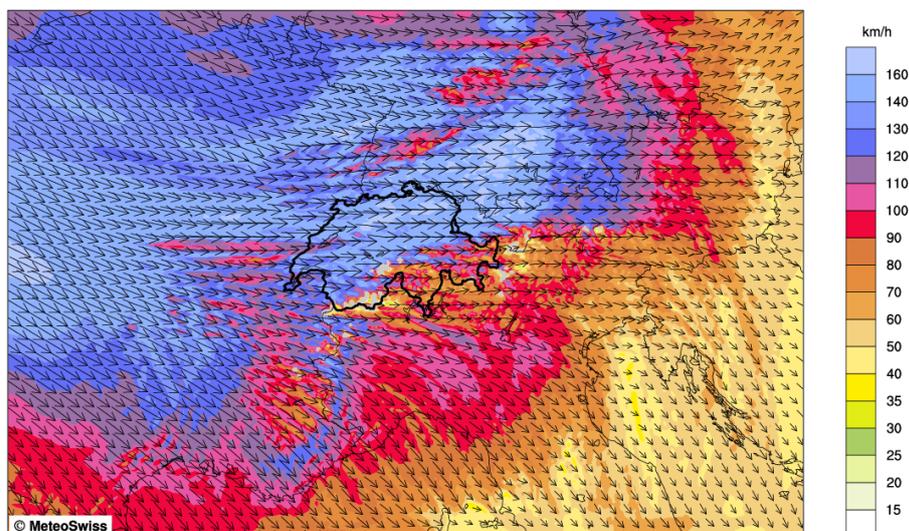


Abbildung 5: Prognose der Höhenwinde auf 3000 m für den 3. Januar 2018 um 09 UTC (10 Uhr MEZ) im Control-Lauf des Modells COSMO-E (Startzeit der Berechnung 00 UTC, am 2. Januar 2018). Auf dieser Höhe wurden für diesen Zeitpunkt über einem grossen Gebiet der Schweiz Windgeschwindigkeiten zwischen 130 und 170 km/h erwartet.

Für die lokal sehr hohen Windspitzen hat sich die relativ grosse Instabilität der Luftmasse im Bereich der Kaltfront als ursächlich herausgestellt. Die stürmischen Höhenwinde konnten bis in die höheren Regionen des Mittellands und in Teile der Alpentäler hinabgreifen.

Weiter konnte das Sturmtief Burglind/Eleanor aufgrund zahlreicher Indizien zwar als markantes, aber nicht zwingend als aussergewöhnliches Ereignis eingestuft werden. Dazu gehören:

1. Das Tiefdruckzentrum mit einem Kerndruck von 975 hPa hatte ein Zugbahn relativ weit nördlich der Schweiz. **Abbildung 2, 3 und 4** lassen eine Zugbahn von den Britischen Inseln über die Nordsee bis in den Süden Dänemarks erahnen. Zur Erinnerung: Das Zentrum des Orkans Lothar mit 960 hPa Kerndruck zog über Elsass-Lothringen und die mittleren Gebiete Deutschlands hinweg.
2. **Abbildung 6** zeigt, dass das probabilistische Modell des EZMW (genannt „ENS“, cf. ECMWF, 2018) am 30. Dezember 2017, d.h. vier Tage vor dem Sturm, ein aussergewöhnliches Ereignis vorhergesehen hatte. Signale dieser Art, die sich auf den Wind beziehen, treten allerdings während der Wintersaison häufig auf und können nicht direkt in Ereignisse einer bestimmten Warnkategorie „übersetzt“ werden.

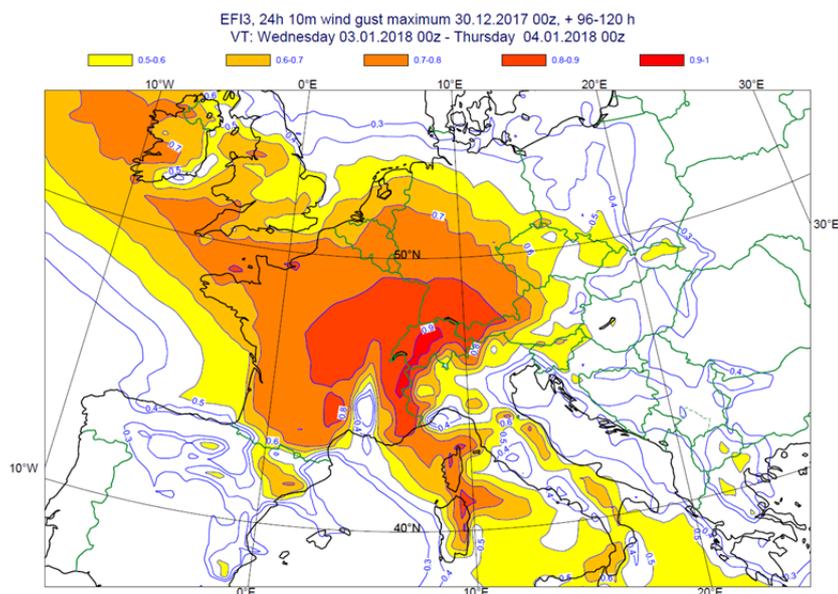


Abbildung 6: Der „Extreme Forecast Index“ (EFI, Laulaurette, 2003) des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (EZMW) vom 30. Dezember 2017 zeigt klare Anzeichen für ein aussergewöhnliches Ereignis am 3. Januar 2018. Der EFI liegt zwischen -1 und $+1$. Eine Zahl von -1 verweist auf ein ungewöhnlich schwaches oder, im negativen Sinne, „extremes“ Ereignis, während eine Zahl von $+1$ auf ein aussergewöhnlich starkes oder, im positiven Sinne, „extremes“ Ereignis hinweist. Für Wind werden nur positive Werte von über 0.5 farblich hervorgehoben.

3. Die von den verschiedenen Modellen vorhergesagten Windspitzen wurden zum Zeitpunkt der Warnausgabe eher unterschätzt (siehe Kapitel 4, **Abbildung 13**). **Abbildung 7** zeigt die von COSMO-1 vorhergesagten Windspitzen zum Zeitpunkt der Warnausgabe am 2. Januar 2018. Für das Mittelland und den Jura wurden Windspitzen zwischen 80 und 110 km/h mit punktuellen Spitzenwerten von bis zu 130 km/h vorhergesagt. Betrachtet man die Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsvorhersagen des COSMO-E Modells (**Abbildung 8**), stellt man mit zunehmender zeitlicher Nähe des Sturms deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeiten für alle Schwellwerte fest. Dies ist ein wichtiges Anzeichen, denn die verschiedenen Modellergeb-

nisse sowie deren Tendenzen müssen als Ganzes und dürfen nicht für sich isoliert betrachtet werden.

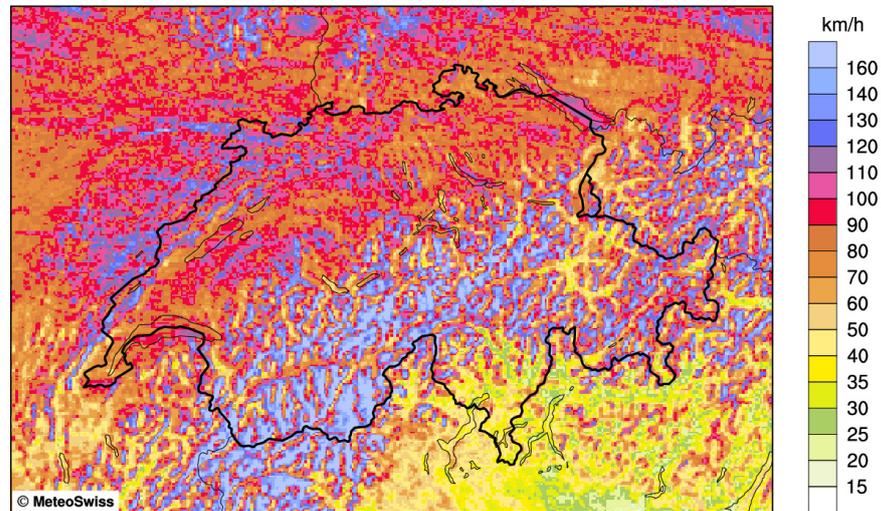


Abbildung 7: Vorhergesagte Windspitzen vom 3. Januar 2018 (COSMO-1, Modelllauf vom 2. Januar 03 UTC). Die Windspitzen lagen grösstenteils zwischen 80 (braun) und 110 km/h (lila). Stellenweise wurden im Flachland auch Spitzenwerte von über 110 km/h bis gut 130 km/h vorhergesagt (z.B. in der Ajoie).

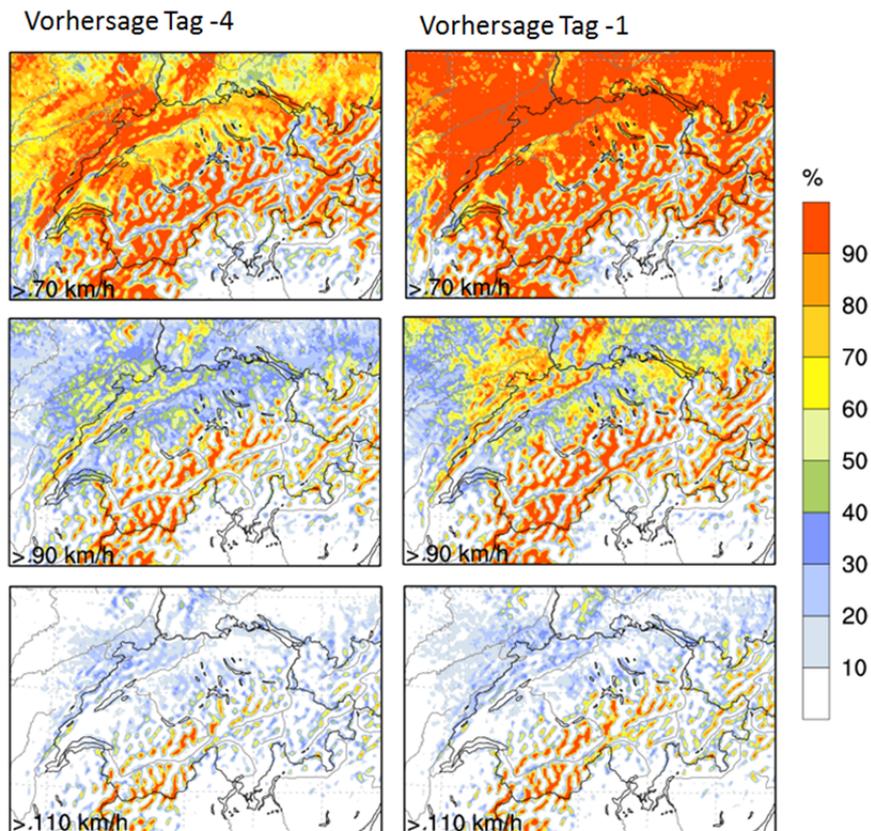


Abbildung 8: COSMO-E Überschreitungswahrscheinlichkeiten (in Prozent) der Warnschwellen der Stufe 2 (70 km/h, oben), Stufe 3 (90 km/h, Mitte) und Stufe 4 (110 km/h, unten). Links: vier Tage vor dem Sturm (Modelllauf vom 30. Dezember 2017, 00 UTC), rechts: ein Tag vor dem Sturm (Modelllauf vom 2. Januar 2018, 00 UTC).

4. Ein im Prognosedienst häufig verwendeter Gradient, um die Stärke von West- und Südwestwinden im Mittelland zu beurteilen, ist die Druckdifferenz zwischen Genf und Basel. Der COSMO-E Control-Lauf wies auf einen Gradienten zwischen 6 und 9 hPa hin (**Abbildung 9**), wie es für Ereignisse der Stufe 3 typisch ist. In Realität erreichte der Gradient kurzzeitig einen Wert von 12 hPa, was das Sturmtief Burglind/Eleanor in diesem einen Punkt in die Nähe von Lothar rückt.

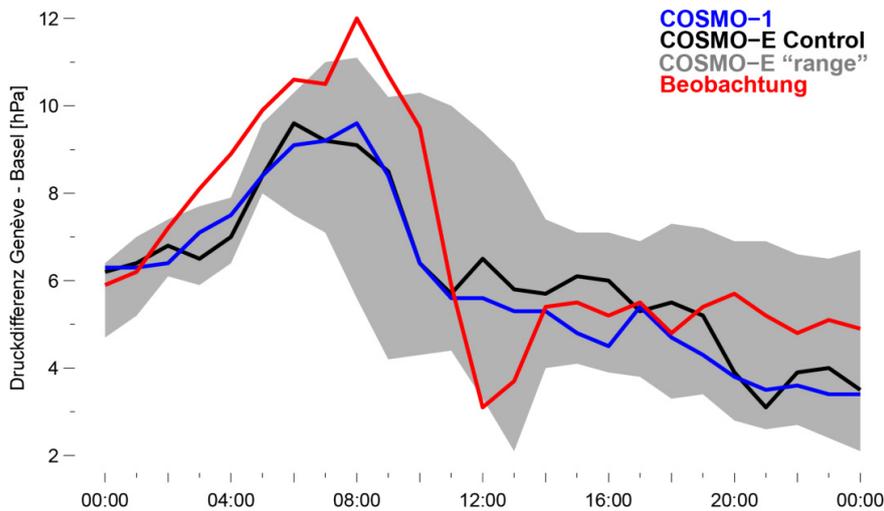


Abbildung 9: Entwicklung der Druckdifferenz (in hPa) zwischen Genf und Basel am 3. Januar 2018 gemäss den Modellen COSMO-1 (blau, Modelllauf vom 2. Januar 2018 03 UTC), COSMO-E (schwarz, Control-Lauf, grau: Streubereich der 21 Ensemblemember; Modelllauf vom 2. Januar 2018 00 UTC) und den Beobachtungen (rot). Der Unterschied zwischen der beobachteten Druckdifferenz gegenüber der prognostizierten ein Tag vor dem Ereignis ist erheblich.

3.2 Warnungen

Ein Sturm dieser Art wird allgemein mehrere Tage im Voraus als „zu beobachtendes Ereignis“ identifiziert. Eine gute Beurteilung der Lage, speziell was die Einzelheiten des Ereignisablaufs und die Windspitzen betrifft, ist oft erst relativ kurz vor dem Ereignis möglich. Im vorliegenden Fall gab MeteoSchweiz seit dem 30. Dezember 2017 eine „Outlook-Warnung“ in Zusammenhang mit dem Sturm heraus. Dieser folgte am 1. Januar 2018 eine Vorwarnung, die ausschliesslich für die kantonalen Behörden vorgesehen ist (**Tabelle 1** und **Tabelle 2**). Am 2. Januar 2018 wurde gleichzeitig eine Warnung der Stufe 3 für die Regionen im Flachland und die Alpen veröffentlicht (**Abbildung 10**), wobei aber die jeweilige Warndauer unterschiedlich war. Der Sturm hielt in den Bergen bis am 5. Januar 2018 an, während er im Mittelland und Jura bereits am 3. Januar 2018 zu Ende ging. Im Rahmen der Warnausgabe der Stufe 3 (erhebliche Gefahr) wurden im Zusatztext für das Flachland auch mögliche Windspitzen von 100 bis 130 km/h in leicht erhöhten Gebieten vermerkt, was der Warnstufe 4 entspricht.

Tabelle 1: Chronologie der Ausgabe von Warnungen der **Stufe 3** für das *Mittelland* und den *Jura*. Zeitangaben in MEZ.

Art	Ausgegeben am...	Gültigkeit der Warnung	Wiederholung
Vorwarnung	1. Jan. 2018, 11:31 Uhr	3. Jan. 2018, 00:00 Uhr bis 4. Jan. 2018, 12:00 Uhr	Dienstag, 2. Jan., 11:00 Uhr
Warnung	2. Jan. 2018, 12:00 Uhr	3. Jan. 2018, 03:00 Uhr bis 3. Jan. 2018, 21:00 Uhr	-
Entwarnung	3. Jan. 2018, 17:39 Uhr	-	-

Tabelle 2: Wie Tabelle 1, aber für die *Alpen* und *Voralpen*.

Art	Ausgegeben am...	Gültigkeit der Warnung	Wiederholung
Vorwarnung	1. Jan. 2018, 11:31 Uhr	3. Jan. 2018, 00:00 Uhr bis 4. Jan. 2018, 12:00 Uhr	Dienstag, 2. Jan., 11:00 Uhr
Warnung	2. Jan. 2018, 11:57 Uhr	3. Jan. 2018, 03:00 Uhr bis 5. Jan. 2018, 09:00 Uhr	-
Entwarnung	5. Jan. 2018, 08:04 Uhr	-	-

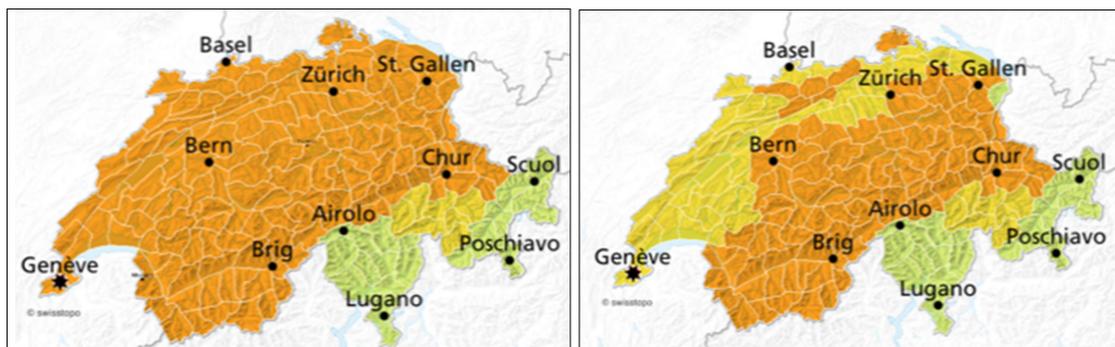


Abbildung 10: Gefahrenkarte von MeteoSchweiz. Links: Unwetterkarte für Wind ab Dienstag, 2. Januar um 12:00 Uhr MEZ. Rechts: Unwetterkarte für Wind, ab Donnerstag, 4. Januar. Das Sturmereignis setzte sich am 4. Januar in den Bergen fort, während zahlreiche Regionen im Flachland auf Stufe 2 zurückgestuft wurden.

3.3 Gemessene Windspitzen

Die gemessenen Windspitzen waren beeindruckend (vgl. **Abbildung 11**). Es wurden zahlreiche Werte zwischen 110 und 130 km/h (orange) oder sogar über 130 km/h (rot) registriert. Das Rhonetal und ein grosser Teil Graubündens waren vom Sturm weniger, das Tessin fast gar nicht betroffen (Windspitzen unter 90 km/h, grün). Die geografische Verteilung der Windspitzen ist sehr inhomogen und es ist kein klares räumliches Muster ersichtlich. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich darin, dass die stürmischen Winde in den oberen und mittleren Schichten der Troposphäre (vgl. **Abbildung 5**), bedingt durch quasi zufällig verteilte konvektive Phänomene, den Boden nur punktuell erreichten.

Bei mehreren Stationen im Flachland, die extreme Werte von über 130 km/h aufgezeichnet haben, ist zweifellos ein Venturi-Effekt (Beschleunigung aufgrund einer topografischen Verengung) im Spiel. Dies ist insbesondere bei den Stationen Bouveret, Brienz und Bad Ragaz der Fall. Die in den Bergen gemessenen Windspitzen waren nicht aussergewöhnlich. Eine Ausnahme bildet die Station Pilatus, wo ein neuer Rekordwert von 195 km/h gemessen wurde.

Bemerkenswert ist der Vergleich der Windspitzen mit dem Mittelwind, gemessen über das Standard-Messintervall von 10 Minuten. Windspitzen sind Ausdruck der auf kurzer Zeitskala wirkenden Turbulenz der Atmosphäre und können nur wenige Sekunden andauern. Während des Sturmtiefs Burglind/Eleanor betragen die mittleren 10-Minuten Windgeschwindigkeiten zwischen 40 und 50 km/h, während die mittleren Windgeschwindigkeiten bei Lothar mit 50 bis 65 km/h deutlich höher lagen.

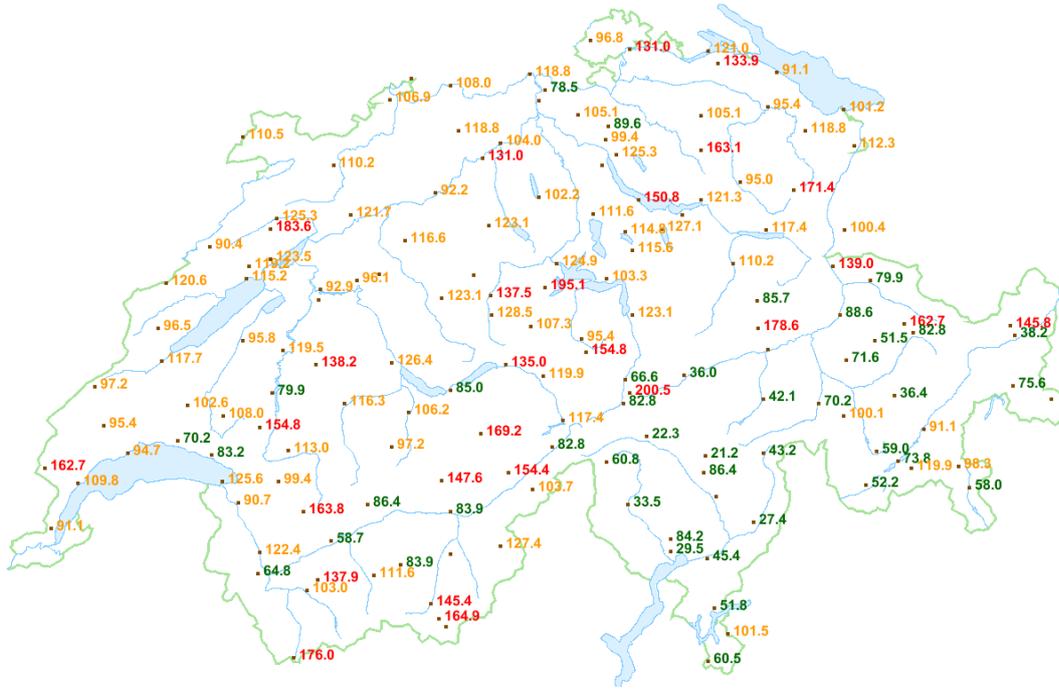


Abbildung 11: Windspitzen vom Mittwoch, 3. Januar 2018 in km/h. Werte über 130 km/h (rot), zwischen 90 und 130 km/h (orange), Werte unterhalb von 90 km/h (grün).

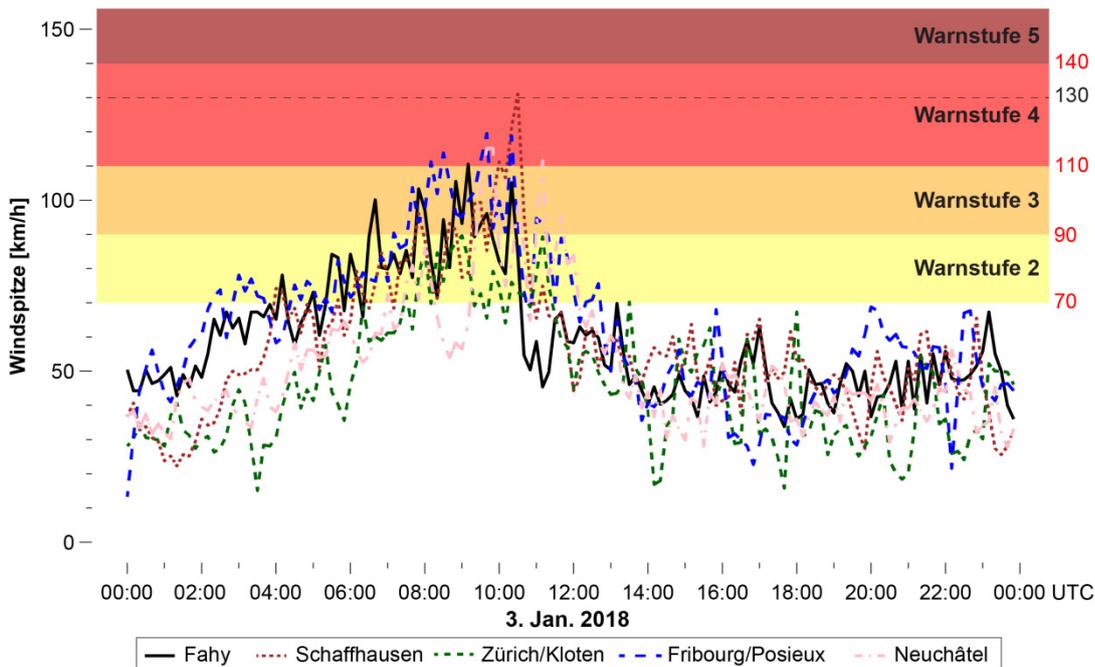


Abbildung 12: Windspitzen am 3. Januar 2018 (Zeit in UTC) gemessen alle 10 Minuten für die fünf Flachlandstationen Fahy (schwarz), Schaffhausen (braun), Zürich/Kloten (grün), Fribourg/Posieux (blau) und Neuchâtel (rosa).

Die zeitliche Entwicklung der Windspitzen am 3. Januar 2018 ist für ausgewählte Stationen in **Abbildung 12** gezeigt. Die Windspitzen erreichten meistens Stufe 3. Die maximale Windspitze eines Tages dauert oft nur sehr kurz. Bei bestimmten, dem Sturm besonders ausgesetzten Stationen lagen die maximalen Windspitzen hingegen über dem Höchstwert der Stufe 3 (> 110 km/h). Im Extremfall der Station Wädenswil (150.8 km/h), der hier nicht dargestellt ist, übersteigt sie sogar den Schwellenwert der Stufe 5. Diese Messstation ist auf dem Dach eines mehrstöckigen Gebäudes aufgestellt, was den hohen Wert jedoch nur teilweise erklärt.

3.4 Warnverifikation

Burglind/Eleanor war vor allem im Flachland der Alpennordseite ein aussergewöhnliches Ereignis. Um die Güte der Warnung zu verifizieren wurden daher alle 54 Messstationen in den Warnregionen des Flachlands und des Jura (Höhe <1000 m ü M) ausgewertet. Für alle Regionen wurde Warnstufe 3 (erhebliche Gefahr, Windspitzen 90-110 km/h im Flachland) ausgegeben (vgl. **Abbildung 10**). Die Warnung wurde ergänzt mit der Information, dass am Juranordfuss und in leicht erhöhten Lagen (hier definiert als >500 m ü. M.) auch Windspitzen von 110-130 km/h, also Windspitzen der Stufe 4, zu erwarten sind.

Basierend auf diesen Kriterien war die Warnung für rund 73% der Regionen richtig. Diese Zahl beinhaltet auch die Stationen, wo meist aufgrund ihrer Exposition die Warnstufe 3 nicht erreicht wurde. In gut 27% der Regionen registrierten Messstationen Windspitzen, die etwas höher waren als in der Warnung ausgesprochen, also >110 km/h in Lagen unter 500 m ü M oder >130 km/h für Lagen über 500 m ü. M. Da gemäss Warnanleitung die grossflächige Warnung für die Orte ausgesprochen werden soll, wo das Ereignis am meisten Wirkung auf die Infrastruktur und/oder die Bevölkerung hat, war die grossflächige Warnung mit Warnstufe 3 mit Textzusatz «korrekt». Windspitzen der Warnstufe 4 (grosse Gefahr) wurden vor allem am Jurasüdfuss, vom Neuenburger Jura über die zentralen Vor-alpen bis ins Toggenburg und im nordöstlichsten Mittelland öfter erreicht.

4 Verifikation der numerischen Wettervorhersagemodelle

Die Qualität der Wettervorhersagemodelle hat sich seit dem Sturm Lothar deutlich verbessert. Burglind/Eleanor wurde bereits früh erkannt. Die in allen Modellen beobachtete anfängliche Unterschätzung nahm dabei mit zunehmender Nähe zum Ereignis deutlich ab. Das hochaufgelöste Modell COSMO-1 lieferte, gemittelt über die ganze Schweiz, die besten Vorhersagen im Kurzfristbereich. Es hob sich aber im Flachland nördlich der Alpen nicht gegen die anderen Modelle ab.

4.1 Verwendete Wettermodelle und deren Vorhersagen

Numerische Wettervorhersagemodelle prognostizieren die zukünftige Entwicklung des Wetters auf Basis eines möglichst guten Abbildes des aktuellen Zustands der Atmosphäre und physikalischer Gesetzmässigkeiten. Eine einzelne Vorhersage wird hierbei als deterministische Vorhersage bezeichnet. Wenn man solch eine Vorhersage mit einer Variation verschiedener Anfangsbedingungen oder sonstiger kleinerer „Störungen“ in der Modellphysik mehrmals berechnet, so erhält man ein Ensemble, mit dem man Wahrscheinlichkeitsaussagen machen und somit z.B. die Unsicherheit einer Vorhersage abschätzen kann. MeteoSchweiz stehen mit dem Ensemble des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage EZMW (ENS, cf. ECMWF, 2018) und dem MeteoSchweiz eigenen Ensemble COSMO-E (vgl. Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2018) zwei probabilistische Modelle zur Verfügung. Diejenige Vorhersage des Ensembles, der keine Störung auferlegt wird, wird als „Control“ bezeichnet.

In den Prognosen der an der MeteoSchweiz verwendeten numerischen Wettervorhersagemodelle war der Sturm Burglind/Eleanor schon früh gut erfasst. Bereits vier Tage vor dem Ereignis gab es ein deutliches Signal für einen ungewohnt starken Sturm, sowohl in den Modellen des EZMW (**Abbildung 6**) als auch im von MeteoSchweiz betriebenen Modell COSMO-E (**Abbildung 8**). Je näher die Startzeit der Berechnung dem Ereignis kam, also je kürzer die Vorlaufzeit, desto stärker wurde das Signal. Dabei zeigten alle Modellläufe konsistent hohe Windgeschwindigkeiten und Windspitzen an. Für die genauere, quantitative Betrachtung der Modellqualität in Bezug auf den Sturm Burglind/Eleanor werden im Folgenden alle 6 Stunden die maximalen Windspitzen über die vorangehenden 6 Stunden sowie stündlich die mittlere Windgeschwindigkeit mit den entsprechenden Messungen verglichen.

4.2 Verifikation Windspitzen und mittlerer Wind

In der quantitativen Evaluation werden die Modellvorhersagen des hochaufgelösten Modells des EZMW (HRES), COSMO-E Control und COSMO-1 mit den Beobachtungen über dem Schweizer Flachland verglichen. Dabei wird über alle 54 verfügbaren Stationen der Alpennordseite unter 1000

m ü M gemittelt (Quadrate in **Abbildung 14**), um den zeitlichen Verlauf zu betrachten, oder über den gesamten Tag des Sturmes (also den 3. Januar 2018), um die räumliche Verteilung anzuschauen.

Abbildung 13 zeigt den mittleren Fehler in der Modellvorhersage der Windspitzen für unterschiedlich lange Vorlaufzeiten, beginnend mit Tag 4 vor dem Ereignis bis zum Lauf um 00 UTC am Tag des Ereignisses (= Tag 0). Für Tag -1 wird hierbei für HRES und COSMO-E jeweils der Lauf um 00 UTC verwendet, für COSMO-1 der Lauf um 03 UTC, der bis +45 h reicht und somit den gesamten Folgetag abdeckt.

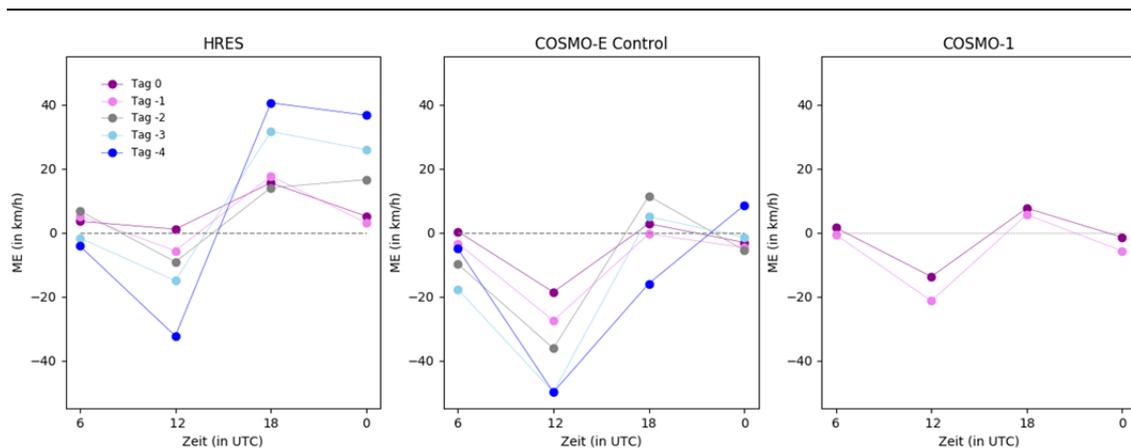


Abbildung 13: Mittlerer Fehler (Vorhersage minus Beobachtung in km/h) für die Windspitzen in den vorangehenden 6 Stunden für HRES, COSMO-E Control, COSMO-1 und unterschiedliche Vorlaufzeiten (Tag-4: dunkelblau, Tag-3: hellblau, Tag-2: grau, Tag-1: rosa und am Tag des Ereignisses (Tag 0): violett).

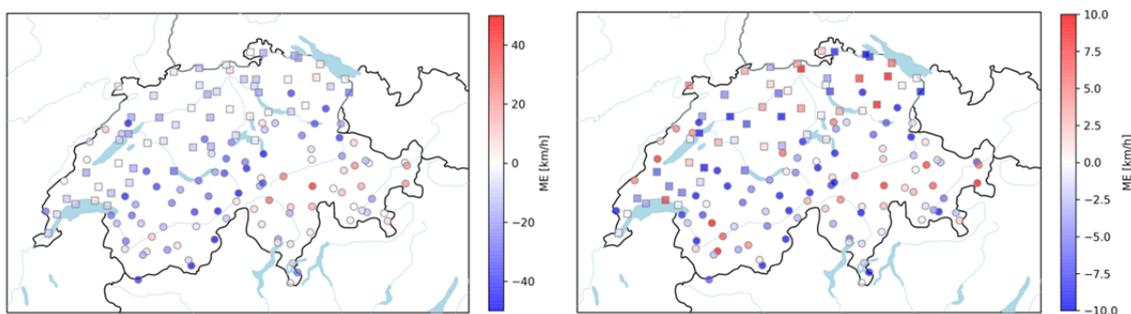


Abbildung 14: Karten des mittleren Fehlers (Vorhersage minus Beobachtung in km/h) der Windspitzen der vorangehenden 6 Stunden (links) sowie des mittleren Windes (rechts) für den COSMO-E Control Lauf vom 2. Jan. 2018, 00 UTC, gemittelt für den 3. Jan. 2018. Für die Windspitzen liegen die Fehler von 80% aller Stationen zwischen -39 km/h und +8 km/h, für den mittleren Wind zwischen -15 km/h und +7 km/h. Die Flachland-Stationen (unter 1000 m Höhe) nördlich der Alpen, die für die quantitative Betrachtung verwendet wurden, sind als Quadrate dargestellt, alle anderen Stationen als Kreise.

COSMO-E Control unterschätzt das Ereignis anfänglich im Mittel um mehr als 40 km/h bei einem mittleren Absolutwert von 109 km/h, während HRES die Windspitzen am Vormittag mehr als 30 km/h unterschätzt und am Nachmittag über 40 km/h überschätzt. Die grössten Fehler in den COSMO-Modellen sind hierbei zum Zeitpunkt der stärksten Windspitzen zu beobachten (maximale Windspitzen zwischen 09 und 12 UTC). Mit zunehmender Nähe zum Ereignis werden die Fehler kleiner, aber auch am Tag 0 unterschätzt COSMO-E die Windspitzen um bis zu 20 km/h, während das HRES die gemessenen Werte zum Zeitpunkt des Ereignisses ziemlich gut trifft, im weiteren Verlauf die Windspitzen aber deutlich überschätzt. Die Kurzfristprognose des hochauflösten Modells COSMO-1

liefert über die gesamte Schweiz die beste Vorhersage mit einer leichten Unterschätzung am Vormittag und einer leichten Überschätzung am Nachmittag des 3. Januar 2018. COSMO-1 zeigt für die Stationen im Flachland nördlich der Alpen aber keinen grossen Mehrwert gegenüber den anderen Modellen. Die räumliche Darstellung des mittleren Fehlers für COSMO-E an allen Messstationen (**Abbildung 14** links) zeigt die bereits besprochene starke Unterschätzung der Windspitzen an der Mehrheit der Stationen. Im Mittelland ist die Unterschätzung meist kleiner als in den Alpen.

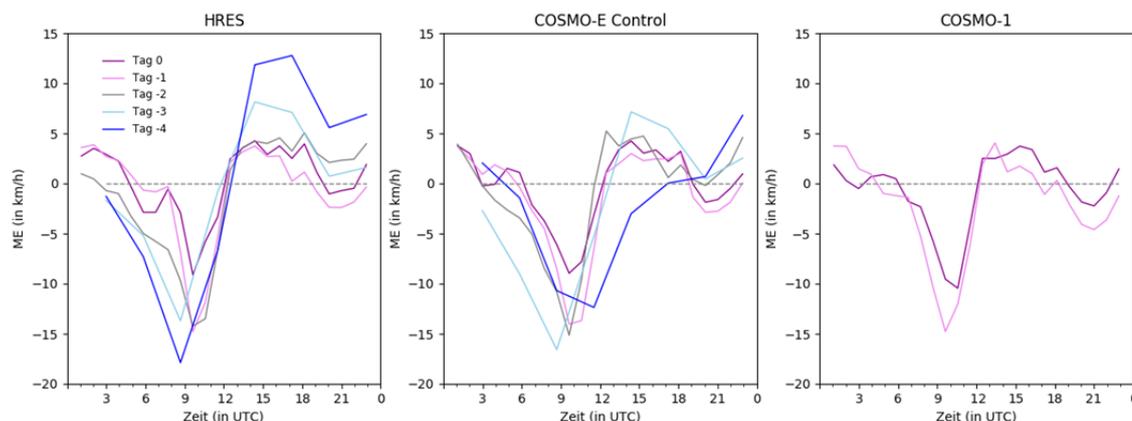


Abbildung 15: Mittlerer Fehler (Vorhersage minus Beobachtung in km/h) für den mittleren Wind für HRES, COSMO-E, COSMO-1 und unterschiedliche Vorlaufzeiten (Tag-4: dunkelblau, Tag-3: hellblau, Tag-2: grau, Tag-1: rosa und am Tag des Ereignisses (Tag 0): violett). Für die kürzeren Vorlaufzeiten (Tag 0, -1 und -2) sind stündliche Werten dargestellt, für Tag -3 und -4 ein Wert alle 3 Stunden.

Tabelle 3: Vergleich von Mittelwerten der Beobachtungen und Tag -1 Modellvorhersagen für die Windspitzen der vorangehenden 6 Stunden sowie den mittleren Wind (jeweils in km/h) im Schweizer Flachland nördlich der Alpen. Der jeweils kleinste relative Fehler (Vorhersage minus Beobachtung dividiert durch Beobachtung mal 100) ist fett markiert. Die Werte um den Zeitpunkt des Windmaximums sind für den mittleren Wind stündlich angegeben und rot gezeit.

Zeit [UTC]	03	06	09	10	11	12	15	18	21	00
Windspitze [km/h]										
Beobachtung		56.9				108.8		68.7		56.1
HRES		62.0				103.1		86.3		59.1
relativer Fehler [%]		9				-5		26		5
COSMO-E Control		53.5				81.2		68.2		51.3
relativer Fehler [%]		-6				-25		-1		-8
COSMO-1		56.2				87.4		74.2		50.3
relativer Fehler [%]		-1				-19		8		-10
mittlerer Wind [km/h]										
Beobachtung	18.6	27.1	40.3	46.2	42.3	34.7	21.9	21.3	22.2	18.6
HRES	21.3	26.4	33.4	31.4	30.4	29.3	25.7	21.5	19.8	18.2
relativer Fehler [%]	-14	-2	-17	-32	-28	-15	17	1	-11	-2
COSMO-E Control	19.5	26.7	31.8	32.2	28.6	28.1	24.9	23.7	19.3	16.6
relativer Fehler [%]	-5	-1	-21	-30	-32	-18	13	11	-13	0
COSMO-1	20.1	25.9	29.9	31.4	30.3	28.6	23.1	20.2	18.1	17.4
relativer Fehler [%]	7	-4	-26	-32	-28	-17	5	-5	-18	-7

Der Vorhersagefehler für den mittleren Wind ist absolut gesehen kleiner als der für die maximalen Windspitzen (**Abbildung 15**). Für den 3. Januar 2018 betrug der mittlere Fehler von COSMO-E Control vier Tage vor dem Ereignis bis zu 15 km/h (bei Absolutwerten des mittleren Windes bis 40 km/h) aber nur noch maximal 9 km/h kurz vor dem Ereignis. Alle Modelle (HRES, COSMO-E Control und COSMO-1) liefern für das Flachland Vorhersagen vergleichbarer Qualität, vor allem bei kurzen Vor-

laufzeiten. Der Vorteil der höheren Auflösung, den man bei COSMO-1 in orographisch anspruchsvollem Gelände beobachtet, zeigt sich hier nicht (**Tabelle 3**). Der 00 UTC-Lauf von COSMO-E Control vom 2. Januar 2018 zeigt räumlich gesehen ein sehr heterogenes Bild aus Über- und Unterschätzung an einzelnen Stationen (**Abbildung 14** rechts). Die Amplitude des Fehlers ist dabei verglichen mit den Absolutwerten des Fehlers in den Windspitzen eher klein. Der relative Fehler des mittleren Windes ist aber zum Zeitpunkt der höchsten Windgeschwindigkeit vergleichbar mit dem relativen Fehler der Windspitzen (**Tabelle 3**).

4.3 Bewertung und Einordnung

Die numerischen Wettervorhersagemodelle haben sich seit dem Sturm Lothar im Jahr 1999, der auch 24 Stunden vor Eintreffen in seiner Stärke noch nicht erkannt wurde, deutlich verbessert.

Die Fachleute mussten enttäuscht feststellen, dass sich ein Orkan mit solch dramatischen Folgen nicht 24 Stunden vor seinem Eintreffen richtig vorausberechnen lässt.

Zitat aus „Lothar. Der Orkan 1999“ (WSL/BAFU, 2001).

Bereits vier Tage vor dem Sturm Burglind/Eleanor gab es in allen Modellen deutliche Hinweise auf ein starkes Sturmereignis. So sagte das COSMO-E am 30. Dezember 2017 grosse Wahrscheinlichkeiten für eine Überschreitung der Schwellen für eine Windwarnung voraus. Dieses Signal verstärkte sich noch, so dass am 2. Januar 2018 eine Warnung basierend auf dem 00 UTC-Lauf von COSMO-E ausgesprochen wurde (**Abbildung 8**), also bereits einen Tag vor dem Ereignis.

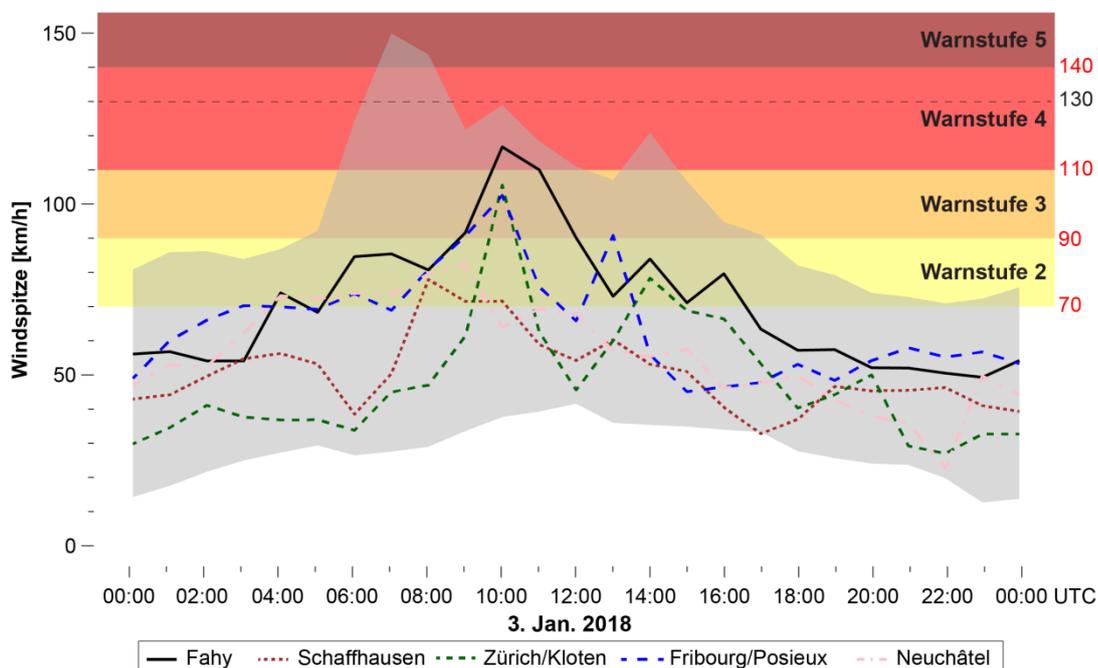


Abbildung 16: Modellvorhersage der stündlichen Windspitzen (Zeit in UTC) am nächsten Gitterpunkt für die fünf Flachlandstationen Fahy, Schaffhausen, Fribourg-Posieux, Zürich-Kloten und Neuchâtel (vgl. **Abbildung 12** für Messungen an den Stationen). Gezeigt werden die Werte des COSMO-1 Laufes vom 2. Jan. 2018 03 UTC (Linien) und der gesamte Unsicherheitsbereich von COSMO-E von 2. Jan. 2018 00 UTC an den Gitterpunkten der fünf Stationen.

Die Vorhersage des mittleren Windes ist im Mittel über eine Saison im Allgemeinen recht gut (COSMO-E Fehler < 1 km/h für den Winter 2016/17). Für die starken Winde des Sturmes Burglind/Eleanor beträgt der mittlere Fehler zum Zeitpunkt der Warnausgabe (d.h. ein Tag vor dem Ereignis) allerdings noch mehr als 10 km/h im COSMO-E Control. Die Vorhersage der Windspitzen in COSMO-E zeigt im saisonalen Mittel über die gesamte Schweiz betrachtet ebenfalls eine leichte Unterschätzung von weniger als 4 km/h für den Winter 2016/17, ist aber vor allem für hohe Schwellen deutlich schlechter. Dies zeigt sich auch im Fall Burglind/Eleanor an der starken Unterschätzung durch COSMO-E Control.

Betrachtet man allerdings die gesamte Information des Ensembles, zeigt sich, dass das Ereignis vom Ensemble nicht schlecht erfasst wurde. Die Streubreite der vorhergesagten Windspitzen, d.h. die Breite des Bereichs, den die Ensemblevorhersage abdeckt, beinhaltet auch die tatsächlich erreichten Warnstufen (vgl. grauer Bereich in **Abbildung 16**).

Das hochaufgelöste Modell COSMO-1 produzierte, gemittelt über die ganze Schweiz, für beide betrachtete Parameter die besten Vorhersagen im Kurzfristbereich (null bis ein Tag vor dem Ereignis), hebt sich aber im Flachland nördlich der Alpen nicht gegen die anderen Modelle ab.

5 Klimatologische Einordnung

Burglind/Eleanor ist der stärkste Wintersturm der Schweiz seit Lothar 1999 und zählt zu den vier stärksten Winterstürmen seit 1981. Punktuell lieferte Burglind/Eleanor Rekordwindspitzen. In den meisten Regionen lieferten Lothar 1999 und Vivian 1990 allerdings deutlich höhere Windspitzen. Ein Sturm wie Burglind/Eleanor ist im Schweizer Mittelland etwa alle 5 bis 20 Jahre zu erwarten.

Die Einordnung eines Sturmereignisses ist nicht einfach. Wind ist lokal sehr variabel und so muss ein Sturm, der im Mittelland grosse Auswirkungen hatte nicht unbedingt auch im Alpenraum zu den stärksten zählen und umgekehrt. Erschwerend hinzu kommt die sich verändernde Datenlage. Seit 1981 werden Windmessungen automatisch aufgezeichnet (ANETZ), allerdings wurde das Windmessnetz Anfang der 1990er Jahre mit dem Ergänzungsnetz (ENET) deutlich verdichtet. Somit ist ein Vergleich von Lothar (1999) mit Burglind/Eleanor (2018) deutlich objektiver als ein Vergleich mit weiter zurückliegenden Stürmen wie zum Beispiel Vivian (1990), wo deutlich weniger Messungen für Vergleiche zur Verfügung stehen.

In einem ersten Schritt identifizieren wir anhand der Rangierung der zehn höchsten Windspitzen die wichtigsten Winterstürme seit 1981. Der Fokus wird hier analog zu den anderen Kapiteln auf die bewohnten Gebiete der Alpennordseite (Stationshöhe unter 1000 m ü. M.) gelegt. Die Alpensüdseite ist deutlich weniger von Winterstürmen betroffen. Um ein über die Zeit konstantes Bild zu gewinnen, werden nur Stationen berücksichtigt, die seit 1981 automatisch Windspitzen registriert haben.

5.1 Die wichtigsten Winterstürme seit 1981

Basierend auf der Rangsumme der Windspitzen wurden die folgenden „flächigen“ Winterstürme identifiziert: Der Orkan **Lothar** vom 26. Dezember 1999 (vgl. WSL/BAFU, 2001; Wernli et al., 2002), der Orkan **Vivian** vom 27. Februar 1990 (vgl. Schüepp et al., 1994; Schüepp, 1995), der Sturm **Wilma** vom 26. Januar 1995 und der Sturm **Burglind/Eleanor** vom 3. Januar 2018. Als fünftes folgt der namenlose Sturm vom 24. März 1986. Dieser lieferte jedoch deutlich weniger hohe Windspitzen. Somit sind die vier genannten Stürme die stärksten seit 1981, vielleicht sogar seit 1901.

Abbildung 17 zeigt Karten der Rangierung der Windspitzen für die vier Winterstürme Lothar, Vivian, Wilma und Burglind. Der Orkan **Lothar** aus dem Jahr 1999 lieferte an der grossen Mehrzahl der Stationen der Westschweiz, des Schweizer Mittellandes, im Wallis und entlang der zentralen Voralpen Windspitzen im Rekordbereich (Top 3, rot), oft sogar den höchsten Wert seit 1981 überhaupt. Als einzige nicht stark von Lothar betroffen waren die Alpensüdseite sowie die Kantone Glarus und Graubünden. Der Orkan **Vivian** aus dem Jahr 1990 brachte in vielen Regionen der Schweiz Windspitzen im Rekordbereich (Top 3, rot); vor allem in den Alpen und in einem Streifen von Fribourg bis Zürich. An vielen anderen Mittellandstationen wurden Top 10 aber nicht Top 3 Spitzen registriert. Man beachte die relativ schlechte Datenlage bei Vivian. Der Sturm **Wilma** 1995 erreichte Windspit-

zen im Rekordbereich (meist Rang 2 oder 3) vor allem in einem Dreieck von Basel über Luzern bis nach Schaffhausen. Auch in weiten Teilen des Jura und dem Rest des Schweizer Mittellandes wurden Top 10 Windspitzen registriert. Nicht von Top 10 Windspitzen betroffen waren die Alpen sowie die Alpensüdseite. Der Sturm **Burglind/Eleanor** 2018 erreichte Windspitzen im Rekordbereich (Top 3) vor allem in einem Streifen vom Neuenburger Jura, über den Jurasüdfuss, entlang den zentralen Voralpen bis ins Toggenburg. Auch im nördlichen Mittelland, im südlichen Kanton Fribourg, in der östlichen Waadt und im westlichen Berner Oberland wurden Top 10 Windspitzen registriert. Im östlichen Jura, in der Region Zürich, am Genfersee, in grossen Teilen der Alpen und auf der Alpensüdseite hingegen wurden keine Top 10 Windspitzen registriert.

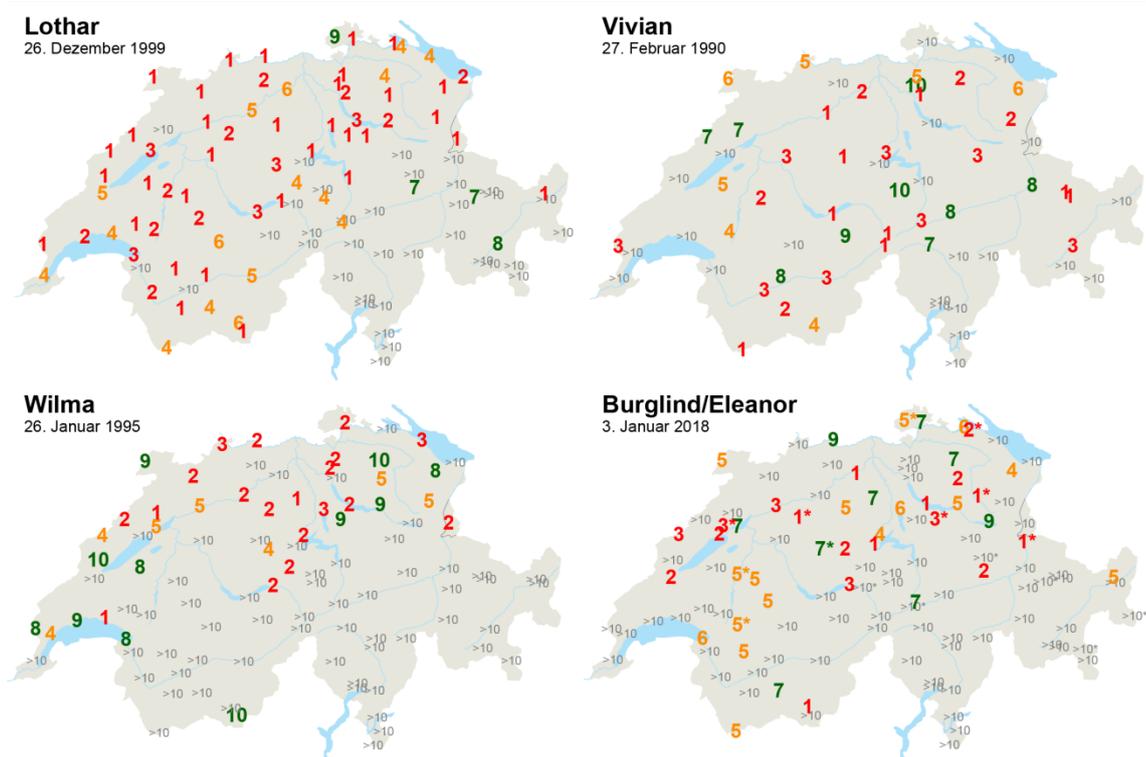


Abbildung 17: Rangierung der Windspitzen für die vier relevantesten Winterstürme in der Nordschweiz: Lothar (26. Dezember 1999, oben links), Vivian (27. Februar 1990, oben rechts), Wilma (26. Januar 1995, unten links) und Burglind/Eleanor (3. Januar 2018, unten rechts). Die Ränge 1 bis 3 (Top 3) sind in rot, die Ränge 4 bis 6 in orange und die Ränge 7 bis 10 in grün dargestellt. Erreichte die Windspitze nicht die zehn höchsten Werte, wird der Wert „>10“ gezeigt. Es werden nur Stationen gezeigt, die seit mehr als 20 Jahren kontinuierlich messen. Werte mit * kennzeichnen Stationen für die zwar mehr als zwanzig Jahre Beobachtungen der maximalen täglichen Windspitze zur Verfügung stehen, die aber seit weniger als zehn Jahren automatisiert sind. Die Vergleichbarkeit der manuellen Ablesung mit der automatischen Messung kann problematisch sein und die Ränge sind mit Unsicherheiten behaftet. Man beachte auch die deutlich kleinere Stationsdichte für Vivian vor der Einführung des Ergänzungsnetzes ENET Anfang der 1990er Jahre.

Basierend auf der Ranganalyse oben und mit Berücksichtigung der sich verändernden Datengrundlage ist Burglind/Eleanor der stärkste Wintersturm seit Lothar 1999. Allerdings kommt er, was die flächige Verteilung der Windspitzen betrifft, nicht an die Orkane Lothar (klare Nummer 1) und Vivian (Nummer 2) heran. Wilma und Burglind/Eleanor spielen in einer ähnlichen Liga. Der räumliche Einflussbereich von Burglind/Eleanor scheint etwas grösser als derjenige von Wilma, allerdings traten bei Wilma Windspitzen in Rekordnähe konzentrierter auf (vgl. **Abbildung 17**).

5.2 Vergleich mit Lothar und Vivian

Windspitzen

Sowohl Lothar, wie auch Vivian lieferten an deutlich mehr Stationen hohe Windspitzen als Burglind/Eleanor (vgl. **Abbildung 18**). An 89 Messstandorten liegen sowohl für Lothar als auch für Burglind/Eleanor Messwerte von Windspitzen im Sturmbereich vor (≥ 75 km/h). Lothar lieferte an 57 Messstandorten Windspitzen über 125 km/h. Burglind/Eleanor schaffte es an 30 Messstandorten auf über 125 km/h. Über 150 km/h verursachte Lothar an 27 Messstandorten, Burglind/Eleanor an 16 Messstandorten. Über 175 km/h Wind gab es während Lothar an 14, während Burglind/Eleanor an 5 Standorten des gemeinsamen Messnetzes. Die Grenze von 200 km/h wurde bei Lothar an den 5 Messstandorten Säntis (229.7 km/h), Hörnli (208.1 km/h), Jungfrauoch (203.8 km/h), Gornergrat (203.4 km/h) und La Dôle (201.2 km/h) überschritten, bei Burglind/Eleanor nur an einer, nämlich auf dem Güttsch (200.5 km/h).

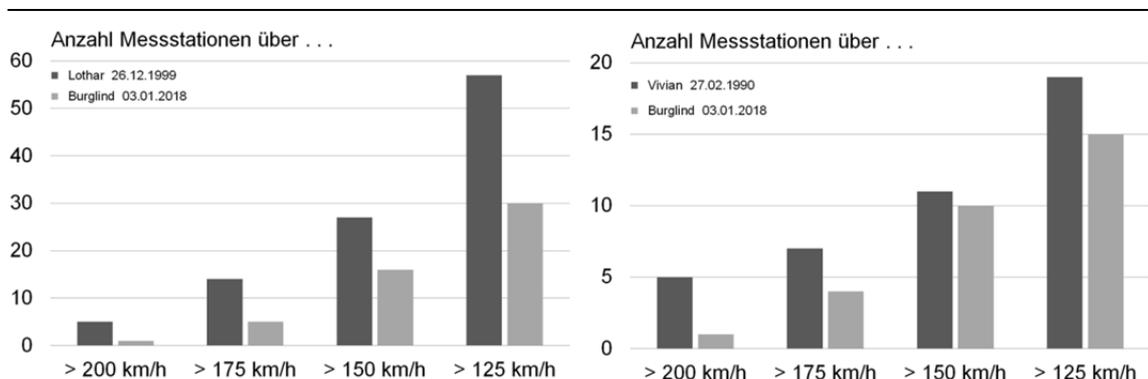


Abbildung 18: Lothar (links) und Vivian (rechts) erreichten im Vergleich zu Burglind/Eleanor an deutlich mehr Messstandorten sehr hohe Windspitzen. Man beachte, dass das Messnetz bei Vivian noch deutlich weniger dicht war als heute, was automatisch zu kleineren Zahlen führt.

Beim weiter zurückliegenden Wintersturm Vivian vom 27. Februar 1990 war das Windmessnetz in der Schweiz weniger dicht. Nur an 53 Messstandorten liegen sowohl für Vivian als auch für Burglind/Eleanor Messwerte von Windspitzen im Sturmbereich vor (≥ 75 km/h). Vor allem in den Bergregionen, wo Vivian besonders wütete, standen im Vergleich zu heute wenige Messstationen. Das beeinflusst die Analyse der Zahl der Messstationen mit hohen Windgeschwindigkeiten. Trotzdem wird ersichtlich, dass Vivian im Vergleich zu Burglind/Eleanor an mehr Messstandorten hohe Windgeschwindigkeiten verursachte. Das stimmt mit den grossen Waldschäden überein, die Vivian in den Bergen hinterliess (BUWAL, 1994; Schüepp et al. 1994; Schüepp 1995).

Die Windspitzen waren während Lothar und Vivian an vielen Messstandorten deutlich höher als während Burglind/Eleanor. Die zehn grössten Unterschiede liegen meist im Bereich zwischen 30 und 70 km/h, wie **Abbildung 19** verdeutlicht. Auf dem Grossen St. Bernhard waren die Windspitzen während Vivian sogar mehr als 90 km/h höher als Burglind/Eleanor. Burglind/Eleanor übertraf Lothar und Vivian auch an einigen Messstandorten. Die zehn grössten Unterschiede bewegen sich aber meist nur zwischen 10 und 40 km/h. Einzig auf dem Pilatus lag Burglind/Eleanor 50 bis 60 km/h über Lothar und Vivian, wobei sowohl der Messgerättyp wie auch der Messstandort heute nicht mehr dieselben sind wie bei Lothar und Vivian. In Wädenswil, wo auf einem mehrstöckigen Gebäude gemessen wird, lag Burglind/Eleanor rund 50 km/h über Vivian.

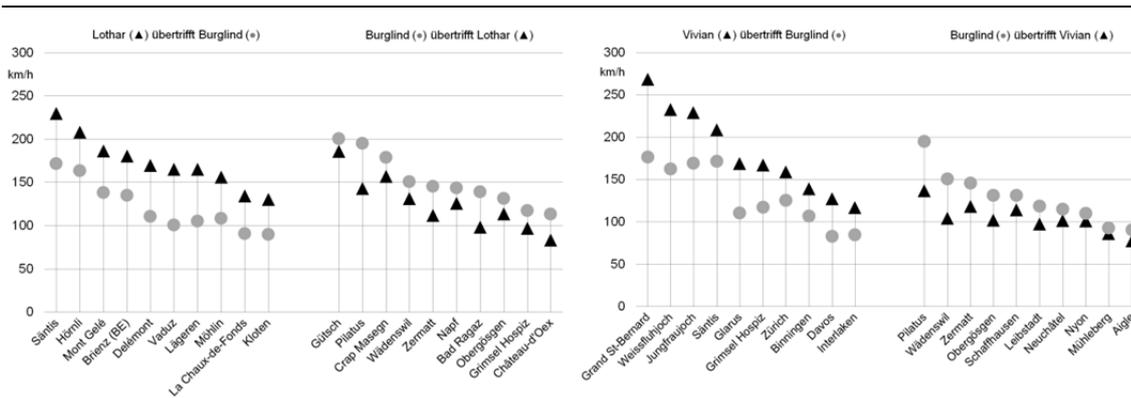
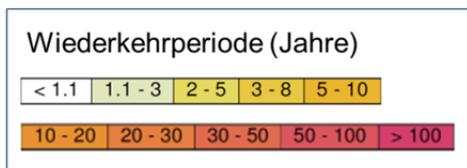
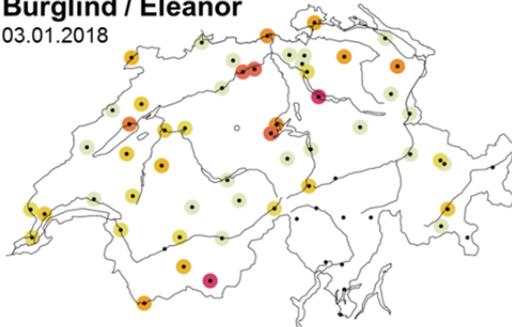


Abbildung 19: Die Stationen mit den zehn grössten Windspitzenunterschieden zwischen Lothar und Burglind/Eleanor (links) und zwischen Vivian und Burglind/Eleanor (rechts). Lothar und Vivian sind mit einem schwarzen Dreieck, Burglind/Eleanor mit einem grau gefüllten Kreis gekennzeichnet.

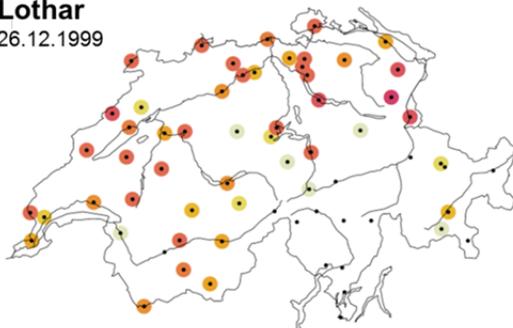
Wiederkehrperioden

Die Daten vieler Windmessreihen stellen keine optimale Basis für extremwertstatistische Analysen (z.B. Coles, 2013) dar. Deshalb erfolgt hier nur eine grobe Zuordnung der Wiederkehrperioden. Die während Burglind/Eleanor aufgezeichneten Windspitzen sind an den meisten Messstandorten mit verfügbarer Extremwertstatistik etwa alle 5 bis 20 Jahre oder häufiger zu erwarten. In einigen Regionen sind Windspitzen mit höheren Wiederkehrperioden aufgetreten (**Abbildung 20**). Die Messstation Wädenswil am Zürichsee registrierte mit 151 km/h einen rekordhohen Wert. Eine solche Windspitze ist am Messstandort Wädenswil nur alle 100 Jahre oder seltener zu erwarten. Einen weiteren Rekordwert meldete Zermatt mit 145 km/h. Auch hier ist ein solches Windereignis nur alle 100 Jahre oder seltener zu erwarten. Lothar war an den meisten Stationen ein deutlich selteneres Ereignis mit Wiederkehrperioden nicht selten von 50 Jahre oder mehr. Vivian war vor allem in den Alpen (höhere Lagen) ein deutlich selteneres Ereignis als Burglind.

Burglind / Eleanor 03.01.2018



Lothar 26.12.1999



Vivian 27.02.1990

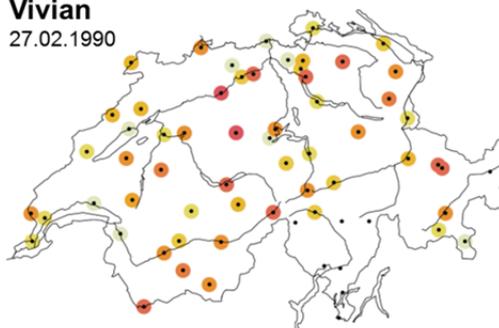


Abbildung 20: Wiederkehrperioden in Jahren der Windspitzen während Burglind/Eleanor, Lothar und Vivian.

5.3 Zeitliche Entwicklung der starken Sturmtage

In den letzten Jahren wurden in der Schweiz eher wenig Tage mit hohen Windspitzen registriert (vgl. **Abbildung 21**). Das gilt sowohl für Messstandorte im Mittelland, wie Zürich-Fluntern, als auch für extrem windexponierte Gipfellagen, wie dem Säntis. Das Winterhalbjahr 2017/2018 setzte wieder einen stürmischeren Akzent. Dieser ist auch am Messstandort Rünenberg im Jura zu beobachten. An den höher gelegenen Messstandorten Napf und Säntis ist die Sturmtätigkeit im Winterhalbjahr 2017/2018 hingegen nicht besonders auffällig.

Es ist davon auszugehen, dass die Schwankungen in **Abbildung 21** vorwiegend durch natürliche Schwankungen des Klimasystems bedingt sind. Momentan gibt es auch in den Klimaszenarien keine eindeutigen Hinweise, dass sich starke Windspitzen in Zukunft in eine bestimmte Richtung bewegen. Allerdings ist noch nicht klar, wie vertrauenswürdig die heutigen Klimamodelle mögliche Änderungen von Windspitzen darstellen können.

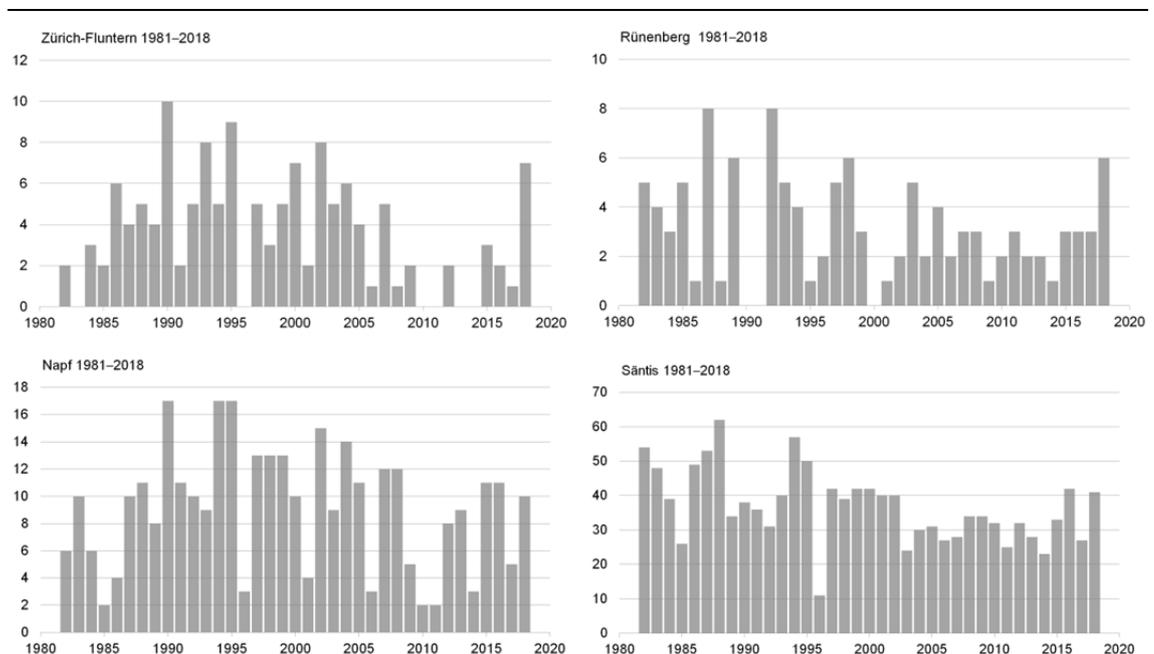


Abbildung 21: Anzahl Tage mit Windspitzen von 100 km/h oder mehr im Winterhalbjahr Oktober bis März an den Messstandorten Zürich-Fluntern (556 m ü. M., oben links), Rünenberg (611 m ü. M., oben rechts), Napf (1404 m ü. M., unten links) und Säntis (2502 m ü. M., unten rechts). Man beachte die unterschiedlichen Achsen je nach Station.

6 Schäden und Auswirkungen

Burglind/Eleanor führte zu direkten Schäden und indirekten Auswirkungen in der Schweiz. Die im Februar 2018 geschätzten Gebäudeschäden erreichen einen Gesamtwert von 165 Millionen CHF, was den höchsten Wintersturmschaden seit Lothar 1999 darstellt. Es gab Beeinträchtigungen im Strassen- und Schienenverkehr sowie lokale Unterbrüche im Stromnetz. Im Wald wurden rund 1.3 Millionen Kubikmeter Holz geworfen, ein Viertel einer Jahresnutzung.

Wintersturm Burglind/Eleanor zählt zu den vier stärksten Winterstürmen der Schweiz seit 1981. Winterstürme dieser Stärke führen zu Schäden an Gebäuden, Waldflächen und für die Gesellschaft wichtigen Infrastrukturen. Durch grobe Schätzungen der Personen- und Sachschäden sechs Wochen nach dem Ereignis kann die nationale Bedeutung des Wintersturms Burglind/Eleanor aus einer Schadensperspektive abgeschätzt werden. Die hier publizierten Zahlen sind Schätzungen und stammen teilweise aus nicht abgeschlossenen Erhebungen. Es ist zu erwarten, dass sich diese Schätzungen im Verlaufe der nächsten zwei Jahren noch ändern.

Bei Lothar 1999 sind in der Schweiz 14 Personen während des Ereignisses zu Tode gekommen. Bei Burglind/Eleanor sind glücklicherweise keine direkt durch den Sturm verursachte Todesopfer bekannt. Bei Forstarbeiten sind jedoch gemäss Beratungsstelle für Unfallverhütung in der Landwirtschaft (BUL) bis Februar 2018 drei Personen tödlich verunfallt, bei denen ein Zusammenhang zu Aufräumarbeiten von Sturmschäden wahrscheinlich ist. Drei weitere Personen wurden schwer verletzt. Die Angaben des BUL sind mangels einer Meldepflicht nicht abschliessend.

Die geschätzten versicherten Gebäudeschäden von 165 Millionen CHF (vgl. **Tabelle 4**) erreichen nur ein Viertel der Schäden von Lothar und bewegen sich auf ähnlichem Niveau wie der Sturm Vivian von 1990, der besonders in hohen, kaum bewohnten Lagen der Alpen wütete. Die grössten Gebäudeschäden durch Burglind/Eleanor entstanden in den Kantonen Bern mit 20 Millionen CHF, Luzern mit 18 Millionen CHF sowie in Solothurn, Aargau und Zürich (vgl. **Abbildung 22**). Nicht berücksichtigt sind die sieben Kantone Genf, Uri, Schwyz, Tessin, Appenzell Innerrhoden, Wallis und Obwalden, in denen anstelle staatlicher Gebäudeversicherungen private Versicherer Windschäden abdecken. Diese Kantone werden vom Schweizerischen Versicherungsverband SVV auf ein Schadenstotal von 35-40 Millionen CHF geschätzt.

Der dem BAFU gemeldete Waldschaden von 1.3 Millionen Kubikmeter geworfenem Holz entspricht etwa einem Viertel einer Jahresnutzung der Schweiz. Das BAFU erwartet gemäss der Medienmitteilung vom 18. Januar 2018, dass der Markt das verwertbare geworfene Holz ohne Preiszerfall aufnehmen kann. Anders war die Situation bei Lothar als zehnmal mehr Holz geworfen wurde oder bei Vivian mit vier Mal so hohem Schaden. Am stärksten von Waldschäden betroffen wurden durch Burglind/Eleanor die Kantone Bern, Luzern, Solothurn, Zürich und Aargau. Besonders die Kantone Bern, Luzern und Solothurn verzeichneten einige grössere Flächenschäden und damit Schadens-

mengen in der Höhe von bis zu zwei Drittel ihrer durchschnittlichen Jahresnutzung. Grosse Auswirkungen haben ebenfalls Streuschäden von Nadelbäumen, deren Entfernung zur präventiven Eindämmung von Borkenkäferbefall viel Arbeit verursacht. Aufräumarbeiten im Wald sind sehr gefährlich. Bei den Aufräumarbeiten nach dem Sturm Lothar starben 15 Menschen (BUWAL, 2001). Es bleibt zu hoffen, dass die Aufräumarbeit nach Burglind/Eleanor zu keinen weiteren Todesfällen führt.

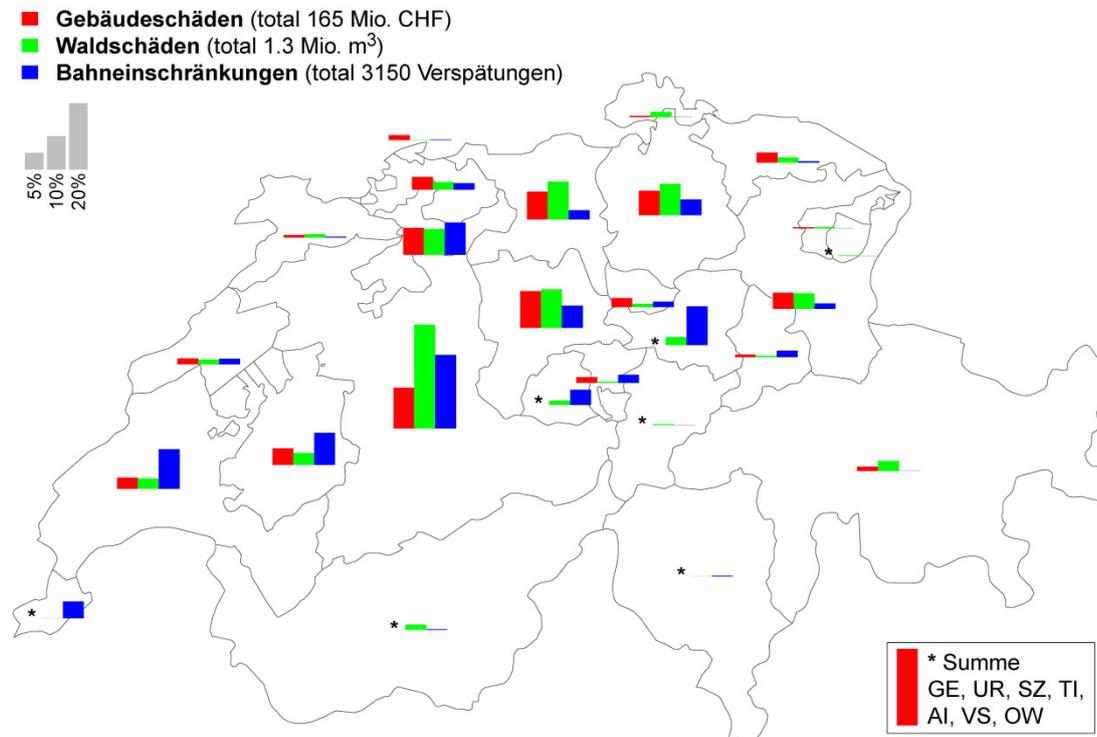


Abbildung 22: Verteilung der Gebäudeschäden (rot), Waldschäden (grün) und Einschränkungen im Bahnverkehr (blau) pro Kanton. Es wird der Anteil der kantonalen Schäden am gesamten Schaden der Schweiz gezeigt. Über die Gebäudeschäden der sieben Kantone Genf, Uri, Schwyz, Tessin, Appenzell Innerrhoden, Wallis und Obwalden ist nur ein Summenwert bekannt. Datenstand: Februar 2018.

Zusätzlich zu Schäden an Gebäuden und im Wald haben starke Winterstürme auch indirekte Auswirkungen durch Unterbrechung oder Ausfälle von Dienstleistungen oder kritischer Infrastruktur. Diese Unterbrechungen betreffen einen viel grösseren Anteil der Bevölkerung als direkte Schäden und können zu weiteren Folgekosten führen. Beim Sturm Lothar werden diese Kosten auf mindestens weitere 17 Millionen CHF geschätzt. Als Beispiele indirekter Auswirkungen von Burglind/Eleanor werden hier die Mobilität und die Stromversorgung betrachtet.

Erfreulicherweise meldet Swissgrid, dass das Übertragungsleitungsnetz der Schweiz trotz einzelner Schäden keine Versorgungslücke bei Verteilerstationen ausgelöst hat. Bei Lothar haben 70 beschädigte Übertragungsleitungsverbindungen zu grossflächigen Stromausfällen geführt. Bei Burglind/Eleanor haben Schäden im kleinräumigeren Verteilernetz, gemäss Recherchen des SRF, bei tausenden Haushalten in den Kantonen Bern, Luzern, Zürich und Graubünden zu einem Stromausfall geführt, die Beeinträchtigungen waren jedoch deutlich weniger massiv als bei Lothar.

Die SBB hat mit 168 Störungsereignissen (wie zum Beispiel Bäume auf Geleisen) ebenfalls Auswirkungen des Sturms im gesamten Bahnverkehr der Schweiz festgestellt, die bis zu 400'000 Passagiere betroffen haben. Von Verspätungen waren besonders stark die Romandie (920 Verspätungen)

gefolgt vom Mittelland (680 Verspätungen) und dem Netz der BLS (430 Verspätungen) betroffen. Die direkt oder indirekt von Burglind/Eleanor ausgelösten Ereignisse müssen aber im Kontext der täglich im Durchschnitt 550 Ereignisse anderer Ursachen als nicht besonders schwerwiegend betrachtet werden.

Tabelle 4: Zusammenstellung der Schäden verschiedener Winterstürme. Diese Tabelle vergleicht die Schäden an Wald und Gebäude der Stürme Burglind/Eleanor, Lothar und Vivian. Quellen Gebäudeschäden: Kantonale Gebäudeversicherungen / Kantonaler Rückversicherungsverband / Schweizerischer Versicherungsverband, Waldschäden: BAFU, Todesfälle: BUWAL (2001) und Beratungsstelle für Unfallverhütung in der Landwirtschaft. Datenstand: Februar 2018.

Sturm	Todesfälle [Anzahl Personen]	Gebäudeschäden [Mio. CHF]	Waldschäden [Mio. m ³]
Burglind/Eleanor 2018	mind. 3	165	1.3
Lothar 1999	29	630	12.7
Vivian 1990	24	255	4.9

Die nationale Verkehrsinformationszentrale der Schweiz (viasuisse) hat am 3. Januar 2018 über 1000 Meldungen zu unterschiedlichen Beeinträchtigungen, von Sperrung bis zu stockendem Verkehr im National- oder Kantonalstrassennetz, versendet. Das sind zehn Mal mehr als am ereignislosen 3. Januar 2017. 455 Meldungen standen im direkten Zusammenhang mit dem Sturm Burglind/Eleanor.

Die verschiedenen Kantone wurden unterschiedlich stark von Burglind/Eleanor betroffen. Die Schäden waren in den Kantonen Bern, Solothurn, Aargau, Luzern und Zürich besonders stark. Mit indirekten Auswirkungen ebenfalls in der Westschweiz, im restlichen Mittelland und in den Voralpen bis Graubünden. Die räumliche Aufteilung der Schäden (vgl. **Abbildung 22**) entspricht gut der klimatologischen Rangierung der Windspitzen in **Abbildung 17** und der von der MeteoSchweiz veröffentlichten Gefahrenkarte in **Abbildung 10**.

7 Kommunikationsstrategie und Medienresonanz

MeteoSchweiz informierte die Behörden und Bevölkerung während und nach dem Sturmereignis sachorientiert vor allem via Webseite und MeteoSwiss App. Rasch konnte eine klimatologische Einordnung des Ereignisses geliefert werden. MeteoSchweiz fand auf allen Medienkanälen positiv Erwähnung.

7.1 Kommunikation MeteoSchweiz

MeteoSchweiz äusserte sich vergleichsweise zurückhaltend, während einige private Wetterdienste bereits im Vorfeld des Sturms via Communiqué informierten und in den Medien häufig – zum Teil mit dramatisierenden Aussagen – zitiert wurden. MeteoSchweiz verfolgt die Strategie, sachorientiert zu informieren sowie möglichst rasch eine klimatologische Einordnung zu liefern. Als hauptsächliches Kommunikationsmittel beim Sturmereignis Burglind/Eleanor setzte MeteoSchweiz den Blog auf der Webseite ein: Ankündigung am Vortag, Beschrieb und Aussicht der Sturmspitzen am Ereignistag sowie eine klimatologische Einordnung am Tag danach. Der Blog wurde zusätzlich an den Medienverteiler verschickt. Nach der Herausgabe einer Warnung für Niederschlag in einzelnen Regionen im Nachgang des Sturmereignisses kommunizierte MeteoSchweiz einen Zusatztext zum Blog zuhanden der Medien in den betroffenen Regionen. Auf den Versand einer klassischen Medienmitteilung wurde hingegen verzichtet.

7.2 Medienresonanz und Distributionskanäle

MeteoSchweiz fand auf allen Medienkanälen Erwähnung in ausschliesslich positiver Tonalität, zitiert als Expertin für Wetter und Klima. Diese Einschätzung trifft auch auf die privaten Wetterdienste zu, wobei diese eine stärkere Resonanz in den sozialen Medien, in den Online Newsportalen sowie allgemein in der Deutschschweiz erfahren haben. MeteoSchweiz wurde vor allem in Online-Newsportalen in der französisch- und italienisch-sprachigen Schweiz sehr häufig erwähnt sowie in der Deutschschweiz im Print-Bereich. Die Hauptdistributionskanäle während und nach dem Sturmereignis waren die MeteoSchweiz Webseite und die MeteoSwiss App (Pushwarnungen).

Medienresonanz Online

Insgesamt wurde MeteoSchweiz zwischen dem 3. und 5. Januar 2018 654 mal auf Onlineplattformen (Newsportale, Social Media) erwähnt (276 mal am 3.1., 271 mal am 4.1. und 107 mal am 5.1.).

Medienresonanz Print und Radio/TV

Insgesamt wurde MeteoSchweiz in den Printmedien sowie im Radio&TV 133 mal erwähnt (3.1.: 24 Print und 2 TV; 4.1.: 53 Print, 2 TV und 16 Radio, 5.1.: 31 Print, 2 TV und 3 Radio). Der Grossteil der Radio- und TV-Beiträge wurden in der französischen sowie italienischen Schweiz ausgestrahlt. Printartikel gab es am häufigsten in den Deutschschweizer-, gefolgt von Westschweizer Zeitungen.

Distributionskanäle

Die MeteoSchweiz-Webseite (mit Blog) erreichte in der Sturmwoche (1.-5.1.18) im Vergleich zu einer normalen Woche (hier im Vergleich 8.-12.1.18) eine Zunahme der Zugriffe von insgesamt 70% (Deutschschweiz: +102%; französische Schweiz: +83%; italienische Schweiz: +23%).

Die App erreichte in der Sturmwoche 65% mehr Aufrufe als in einer regulären Woche. Die Gefahren-Übersichtskarte wurde in der Sturmwoche 1.15 Mio. mal aufgerufen, die Detailgefahrenkarten rund 0.94 Mio. mal. Im Zeitraum vom 1. bis und mit 5. Januar 2018 wurden knapp 10 Mio. Pushwarnungen versendet. Hier sind alle Warntypen eingerechnet, also auch die anderen Naturgefahren wie Lawinen, Hochwasser etc.

Tabelle 5: Kennzahlen zur Medienresonanz Online, Print, TV und Radio vom 3. bis 5. Januar 2018 sowie der Distributionskanäle MeteoSchweiz Webseite, App und Pushwarnungen. *: Zeitraum 1. bis 5. Januar 2018, Veränderung (Webseite und App) relativ zum 8. bis 12. Januar 2018.

Medium	3. Jan. 2018	4. Jan. 2018	5. Jan. 2018	Total
Online	276	271	107	654
Print	24	53	31	108
TV	2	2	2	6
Radio	-	16	3	19
MeteoSchweiz Webseite*	+70% (D-CH: +102%, F-CH: +83%, I-CH: +23%)			
MeteoSchweiz App*	+65% Übersichtsgefahrenkarte: 1.15 Mio. Aufrufe Detailgefahrenkarte: 0.94 Mio. Aufrufe			
Pushwarnungen*	~10 Mio.			

7.3 Fazit Medien-/Öffentlichkeitsarbeit

Die Blogs haben sich als effizientes Kommunikationsmittel erwiesen, das von den Medienschaffenden wie auch von der Öffentlichkeit gleichermaßen geschätzt wird. Fragen und Kommentare können direkt und für alle sichtbar beantwortet werden, was teilweise eine logistische, inhaltliche und zeitliche Herausforderung sein kann. Grundsätzlich erscheint die eher zurückhaltende Kommunikationsstrategie auch im Rückblick adäquat. Allerdings hätte man bereits im Vorfeld des Sturmes die Medien aktiv informieren können (z.B. Versand von Blog). Wichtig und für künftige Ereignisse beizubehalten ist die rasche klimatologische Einordnung, die MeteoSchweiz aufgrund ihres fundierten Expertenwissens vornehmen kann.

Danksagung

Wir danken folgenden Personen und Organisationen für Daten zu den Schäden und Auswirkungen von Burglind/Eleanor: **Christoph Welker** und **Mirco Heidemann** (beide Gebäudeversicherung Zürich), **Markus Imhof** (Interkantonaler Rückversicherungsverband), **Gunthard Niederbäumer** (Schweizerischer Versicherungsverband), **Gabriela Vrecko** (SBB), **Joshu Jullier** (Swissgrid AG), **Rolf Manser**, **Erica Zimmermann** und **Gerda Jimmy** (alle Bundesamt für Umwelt), **Jessica Ladanie** (viasuisse), **Dominique Thiévent** (Beratungsstelle für Unfallverhütung in der Landwirtschaft).

Wir danken folgenden Personen von MeteoSchweiz für die Begutachtung des Berichts: **Christof Appenzeller**, **Marco Arpagaus**, **Heike Kunz**, **Mischa Croci-Maspoli**, **Marco Gaia**, **Roland Mühlbach**, **Christoph Schmutz**, **Cornelia Schwierz** und **Marco Stoll**.

Literaturverzeichnis

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2018: Online Dokumentation zum COSMO Prognosesystem, <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/mess-und-prognosesysteme/warn-und-prognosesysteme/cosmo-prognosesystem.html>.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2018: Winterstürme Anfang 2018: Rund 1.3 Mio m³ Holz liegen am Boden, Medienmitteilung vom 18.01.2018.

Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) 2017: Jahrbuch Wald und Holz 2017. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1718: 110 S.

Coles S, 2013: An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values, Springer Series in Statistics, 209pp, ISBN: 9781447136750.

Eidg. Forschungsanstalt WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.) 2001: Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse. Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 365 S.

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ECMWF, 2018: Online Dokumentation zum ECMWF Prognosesystem, <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support>.

Gebäudeversicherung Bern: Sturmtief „Burglind“ Schäden in der Höhe von 30 Millionen Franken, Medienmitteilung 11.01.2018.

Lalurette F, 2003: Early detection of abnormal weather conditions using a probabilistic extreme forecast index, QJRMS, 129: 3037-3057, doi:10.1256/qj.02.152.

Schüepp M, 1995: Vivian. Sturmperiode Februar 1990. Arbeitsberichte der SMA, 182, Schweizerische Meteorologische Anstalt.

Schüepp M, Schiesser HH, Huntrieser H, Scherrer HU, Schmidtke H, 1994: The winterstorm Vivian of 27 February 1990 – about meteorological development, wind forces and damage situation in the forests of Switzerland., Theor Appl Clim, 49 (3), 183-200.

Wernli H, Dirren S; Liniger MA, Zillig M, 2002: Dynamical aspects of the life cycle of the winter storm 'Lothar' (24-26 December 1999), QJRMS, 128 (580), 405-429.

MeteoSchweiz
Operation Center 1
CH-8044 Zürich-Flughafen
T +41 58 460 99 99
www.meteoschweiz.ch

MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno Monti
T +41 58 460 97 77
www.meteosvizzera.ch

MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2
T +41 58 460 98 88
www.meteosuisse.ch

MétéoSuisse
Chemin de l'Aérogologie
CH-1530 Payerne
T +41 58 460 94 44
www.meteosuisse.ch

