

2.10. Winterstürme

Heini Wernli, Stephan Bader und Patrick Hächler

Winterstürme entstehen im Zusammenhang mit intensiven Tiefdruckgebieten. In Mitteleuropa steigt die Häufigkeit von Sturmereignissen in Perioden mit hoher atlantischer Zyklonenaktivität. Die Häufigkeit der starken Tiefdruckgebiete über dem Nordatlantik hat seit den 1930er Jahren zugenommen. Als Folge der Klimaänderung sagen viele Modellrechnungen eine Zunahme der Zyklonenaktivität im östlichen Nordatlantik und über Westeuropa voraus. In Westeuropa werden intensivere Stürme vorsichtig als mögliche Entwicklung eingestuft. Über die zukünftige Veränderung der Föhnhäufigkeit liegen keine Abschätzungen vor.

Einleitung

Extreme Winterstürme wie Lothar (Dezember 1999) oder Vivian (Januar 1990) sind seltene Einzelfälle. Deshalb ist es nicht möglich, statistisch gesicherte Aussagen über die Veränderung von Häufigkeit und Intensität solcher Ereignisse zu machen. Trendangaben, ob die Ereignisse häufiger oder seltener werden, sind daher sehr unsicher.

Die Intensität eines Sturms wird über die Windgeschwindigkeit in Bodennähe (auf 10 m Höhe) bestimmt. Dabei ist konsequent zwischen Böenspitzen (Sekundenwerte) und dem mittleren Wind (meist über 10 Minuten) zu unterscheiden. Für die Berichterstattung in den Medien werden in der Regel die Böenspitzen verwendet. Auch hat sich die Versicherungswirtschaft zur Festlegung der Schadengrenze daran orientiert, und zwar bei 75 km/h. Der dabei verwendete Begriff „Sturm“ ist nicht glücklich gewählt und widerspricht den nachfolgenden Ausführungen. Die bekannteste und älteste Norm zur Klassierung von Winden ist wohl diejenige nach Beaufort. Dabei wird allerdings auf die gemittelten Werte zurückgegriffen. Und hier spricht man nun ab Windstärke 9 von Sturm, somit bei Mittelwerten ab 75 km/h. Der Begriff „Orkan“ (extremes Ereignis) entspricht der Stärke 12 der Beaufort-Skala und gilt ab mittleren Werten von 118 km/h, was im Binnenland in tiefen Lagen praktisch nicht vorkommt. Um aufgrund der Windmittelwerte auf die Böenspitzen schliessen zu können, müssen meist zwischen 30 und 80% zur Windstärke addiert werden.

Meteorologische Voraussetzungen

Winterstürme entstehen im Zusammenhang mit intensiven Tiefdruckgebieten (vgl. Kapitel 1.3.). Diese entstehen in Regionen mit grossen hori-

zontalen Temperaturunterschieden, d.h. im Übergangsbereich zwischen den warmen Subtropen und kalter Polarluft. Eine Region mit einem klimatologisch starken, von Norden nach Süden gerichteten Temperaturunterschied ist der westliche Nordatlantik, wo viele Tiefdruckgebiete entstehen, die dann oft nach Nordwesteuropa weiterziehen. Die Zugbahn der Tiefdruckgebiete führt selten direkt über Zentraleuropa, deshalb erreichen uns in der Schweiz meist nur die Kaltfronten als Ausläufer dieser Tiefdruckgebiete. Während Wetterlagen mit einem grossen Druckunterschied zwischen den Azoren und Island nimmt die atlantische Westwindströmung zu und



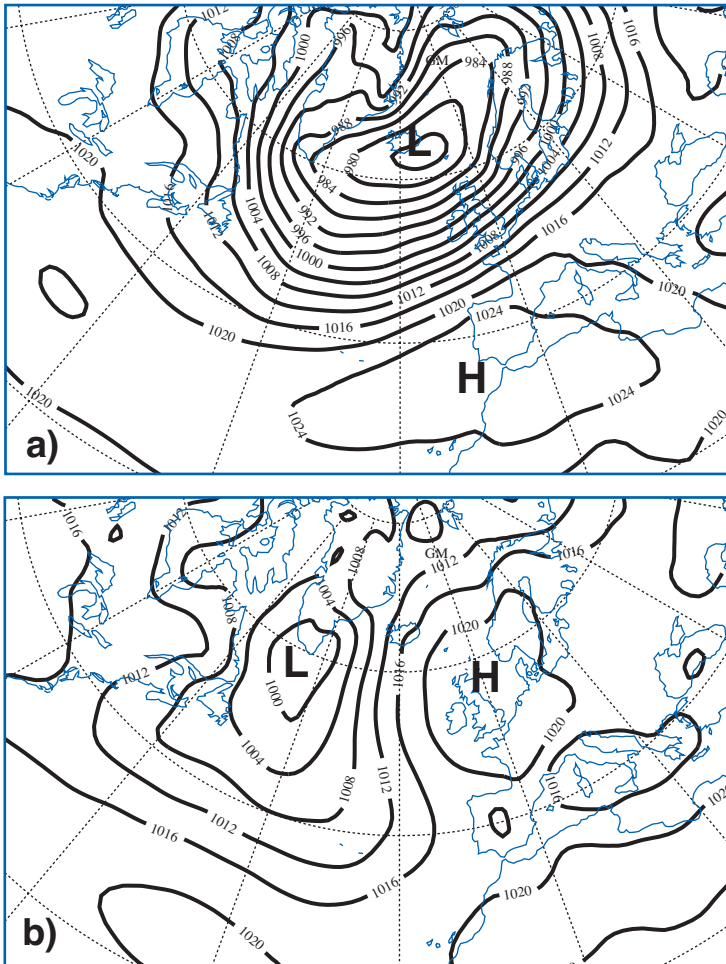


Abbildung 46: Bodendruckverteilung für (a) einen Monat mit einem stark positiven NAO-Index (Februar 1990) und (b) einen Monat mit einem stark negativen NAO-Index (Januar 1987). Der Abstand der Isobaren beträgt 4 hPa. Im Falle einer positiven NAO-Phase zeigt sich im Monatsmittel ein starkes Islandtief und ein über Spanien ausgedehntes Azorenhoch. In der negativen Phase ergibt sich im Monatsmittel ein Hoch über Nordwesteuropa und ein mässig starkes Tief an der Südspitze von Grönland.

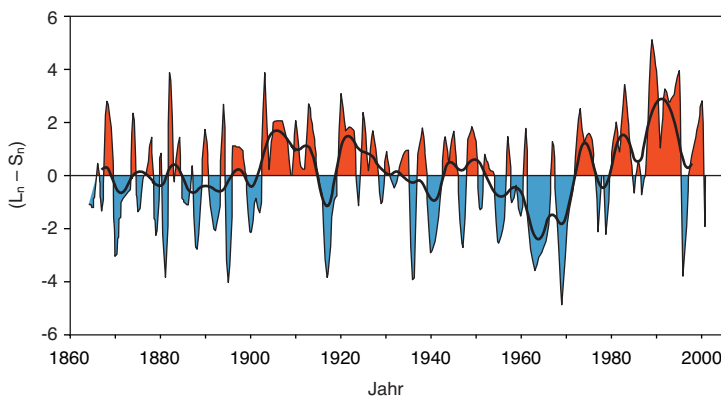


Abbildung 47: Rekonstruktion des NAO-Index seit 1864. Der NAO-Index bezeichnet den Druckunterschied zwischen den Azoren und Island.⁴ Bei hohem NAO-Index ist dieser Druckunterschied gross. Seit Beginn der 1970er Jahre ist der NAO-Index mehrheitlich positiv.

ebenso die Häufigkeit von Tiefdruckgebieten, die bis nach Europa hineinlaufen.

Extreme Winterstürme werden durch das Zusammenspiel zahlreicher Prozesse (starke Nord-Süd-gerichtete Temperaturunterschiede; starker Jetstream; Störungen auf einer Höhe von ca. 9 km [Niveau der Tropopause]; Kondensation von Wasserdampf) ausgelöst, die für die einzelnen Fälle unterschiedlich wichtig sind. Im Falle von Lothar (Dezember 1999) zeigen Computersimulationen, dass die Kondensation von Wasserdampf eine ganz wesentliche Rolle spielte bei der Entstehung und Intensivierung des Systems über dem Atlantik¹ (vgl. Abbildung 10 und Kasten *Lothar – eine Prozessstudie*).

Beobachteter Trend im 20. Jahrhundert

In Perioden mit hoher atlantischer Zyklonenaktivität steigt auch die Häufigkeit von Sturmereignissen in Mitteleuropa. Ein Indikator für die Stärke der monatlichen Zyklonenaktivität über dem Nordatlantik und Europa ist der Index der Nordatlantischen Oszillation (NAO).^{2,3} Der NAO-Index entspricht dem Druckunterschied am Boden zwischen den Azoren (oder Portugal) und Island (Abbildung 46).⁴ In Perioden mit einem hohen NAO-Index ist dieser Druckunterschied gross.

Seit rund 30 Jahren dominiert ein hoher NAO-Index die winterlichen Strömungsverhältnisse über dem Nordatlantik und Europa (Abbildung 47). Auch die Winter 1989/90 und 1999/2000 mit den Stürmen Vivian und Lothar liegen in dieser Zeit. Ein gesicherter Zusammenhang zwischen der Häufigkeit von starken Stürmen in Mitteleuropa und dem NAO-Index lässt sich jedoch nicht zeigen.

Statistische Untersuchungen aller starken und schwachen winterlichen Tiefdruckgebiete von 1958–1999 zeigen, dass diese über dem Nordatlantik etwas seltener geworden sind. Ihre Zugbahnen haben sich nach Norden verschoben.³ Im mitteleuropäischen Raum sind die Änderungen nicht signifikant. Die Häufigkeit der starken Tiefdruckgebiete über dem Nordatlantik hat seit den 1930er Jahren dagegen zugenommen⁵ (Abbildung 48). Ihre Zugbahnen haben sich ebenfalls nach Norden verschoben. Die Schweiz liegt deshalb heute vermehrt am südlichen Rand der Sturmfelder oder sogar ausserhalb davon.⁶ Zwischen 1880 und 1930 lag in der Nordostschweiz die Anzahl Tage mit hohen Windgeschwindigkeiten deutlich höher als in der jüngeren Zeit (Abbildung 49). Bemerkenswert ist auch, dass sich der Beginn der starken Stürme in der Schweiz im Laufe der Zeit immer mehr vom Oktober/November in den Dezember hinein verlegt hat. Global gesehen, gibt es bei Intensität und Häufigkeit von nicht tropischen Stürmen keine signifikanten Trends bezüglich der Klimaänderung.⁷

Zukunftsaussichten mit Klimaänderung

Die globale Klimaänderung könnte die Wahrscheinlichkeit der Voraussetzungen für die Entstehung von extremen Winterstürmen verändern. So wird zum Beispiel praktisch einhellig eine Zunahme des Wasserdampfs in der Atmosphäre vorausgesagt, was sich verstärkend auf Intensität und Häufigkeit von Sturmtiefs auswirken kann.

Viele Studien mit globalen Klimamodellen sagen voraus, dass die Zyklonenaktivität im östlichen Nordatlantik und über Westeuropa zunehmen wird.^{8,9} Die verantwortlichen physikalischen Prozesse sind jedoch noch nicht klar.⁷ So bleibt unbeantwortet, ob die Zyklonenaktivität wegen einer erhöhten Häufigkeit oder einer

erhöhten Intensität von Tiefdruckgebieten zunimmt.

Voraussagen über die Häufigkeit von starken (und extremen) Winterstürmen sind mit Vorsicht zu interpretieren. Die globalen Klimamodelle zeigen oft relativ grosse Fehler bei der Wiedergabe der Zugbahnen von einzelnen Tiefdruckgebieten.¹⁰ Zudem stellen sie möglicherweise einige der Prozesse, die bei relativ kleinen und sehr intensiven Tiefdruckgebieten (Lothar, Vivian) wichtig sind, noch nicht genügend gut dar. Die Maxima der bodennahen Windgeschwindigkeit sind z.B. stark durch die lokale Topographie beeinflusst und müssen mit aufwändigen numerischen Methoden abgeschätzt werden.¹¹

Sowohl aufgrund der Messungen als auch der Modelle werden intensivere Stürme in den mittleren Breiten (z.B. Westeuropa) deshalb vorsichtig

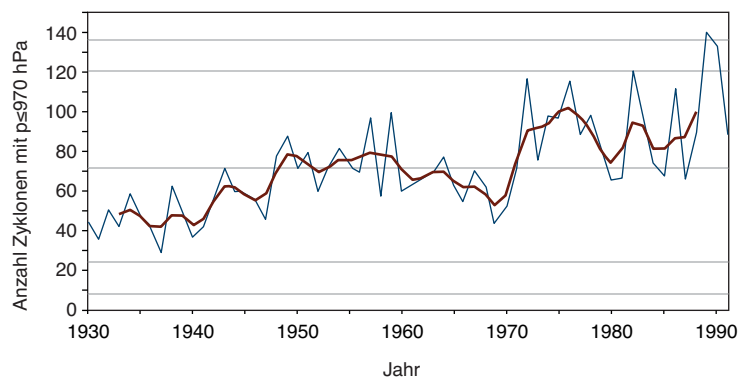


Abbildung 48: Zeitreihe der jährlichen Anzahl starker Tiefdruckgebiete im Nordatlantik und in Europa von 1930–1990. Ein Tiefdruckgebiet gilt als stark, wenn der minimale Luftdruck kleiner als 970 hPa ist.⁵ Die Abbildung zeigt eine deutliche Zunahme der Häufigkeit dieser starken Tiefdruckgebiete in der betrachteten Zeitperiode.

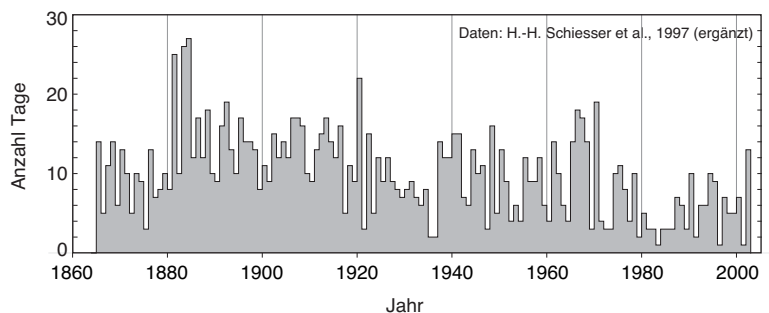


Abbildung 49: Anzahl Starkwindtage (Böenspitzen 90 km/h [50 Knoten] und mehr) im Winterhalbjahr für die Periode 1864/65–2001/02 an der Messstation Zürich⁶ (ergänzt). Die Station wird als repräsentativ für die Nordostschweiz angesehen. Einige umliegende Stationen wurden für Quervergleiche und für die Ergänzung fehlender Daten verwendet.

Föhn als Extremwind

Neben den klassischen Weststürmen gehören in der Schweiz auf der Alpennordseite auch Föhnstürme zu den Sturmrisiken. Auch hier sind Extremereignisse eingeschlossen. Der Föhnsturm vom 7./8. November 1982 hinterliess in den Alpen massive Waldschäden.

In unseren Alpentälern ist der Föhn ein sehr häufiges Phänomen. Meist liegen die Windspitzen, die bei Föhn erreicht werden, im Bereich unter 100 km/h. Eine Analyse der Jahreshöchstwerte zeigt aber, dass vor allem in Süd-Nord-Tälern, welche die Föhnströmung ideal kanalisieren und dadurch zusätzlich beschleunigen, immer wieder starke Stürme auftreten. Für die Messstelle in Altdorf muss jedes Jahr mit einer stärksten Föhnböe von mindestens etwa 110 km/h gerechnet werden. Alle 10 Jahre werden 140 km/h erreicht, und das geschätzte 50-jährige Maximum liegt bei knapp 160 km/h. Für Vaduz konnten ähnliche Werte ermittelt werden, sie liegen jedoch im Durchschnitt etwa 5 km/h tiefer als in Altdorf.

Generell muss davon ausgegangen werden, dass in den meisten Föhntälern Föhnstürme mit Spitzen von über 100 km/h auftreten können. In seltenen Fällen werden dabei auch Gebiete erfasst, die nicht besonders föhnexponiert sind (Appenzellerland, Zugerberg, Obwalden, Berner Oberland). In Höhenlagen von über ca. 2000 Metern erreicht der Föhn praktisch im gesamten nordalpinen Raum öfters Sturmstärke, und in exponierten Lagen in Alpenkammnähe (z.B. Gütsch/Andermatt) können gar 200 km/h überschritten werden.

Neben den Risiken durch Winddruck stellt der Föhn auch eine nicht zu unterschätzende Gefahr im Zusammenhang mit Bränden dar. Die mitunter über lange Zeit anhaltenden Föhnwinde können sowohl Brände entfachen als auch anderweitig entstandene Brände schnell verstärken. Entsprechend problematisch ist die Brandbekämpfung unter Föhneinfluss.

Abschätzungen zur zukünftigen Entwicklung der Föhnhäufigkeit unter dem Aspekt der globalen Klimaänderung liegen vorderhand noch keine vor. Es steht fest, dass der Föhn sehr eng an bestimmte Wetterlagen und deren regionale Charakteristiken gekoppelt ist. Deshalb sind zunächst verlässliche Resultate zur zukünftigen regionalen Wetterlagenentwicklung abzuwarten.

Patrick Hächler

als mögliche Entwicklung eingestuft. Andererseits lassen die meisten Klimamodelle in hohen Breiten eine grössere Erwärmung erwarten als in tieferen. Somit würden die Temperaturgegensätze und damit das Potential für starke Tiefdruckbildung geringer.

- 1 Wernli H., S. Dirren, M. Liniger, and M. Zillig, Dynamical aspects of the life-cycle of the winter storm 'Lothar' (24–26 December 1999). *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 128, 405–429, 2002.
- 2 Wanner H., S. Brönnimann, C. Casty, D. Gyalistras, J. Luterbacher, C. Schmutz, D. B. Stephenson, and E. Xoplaki, North Atlantic Oscillation – concepts and studies. *Surveys in Geophysics*, 2002.
- 3 Gulev S. K., O. Zolina, and S. Grigoriev, Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data, *Clim. Dynam.*, 17, 795–809, 2001.
- 4 Hurrell J. W., Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation, *Science*, 269, 676–679, 1995.

- 5 Schinke H., On the occurrence of deep cyclones over Europe and the North Atlantic in the period 1930–1991, *Contrib. Atmos. Phys.*, 66, 223–237, 1993.
- 6 Schiesser H. H., C. Pfister, and J. Bader, Winter storms in Switzerland North of the Alps 1864/65–1993/94. *Theor. Appl. Climatol.*, 58, 1–19, 1997.
- 7 IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 881 p., 2001.
- 8 Sinclair M. R. and I. G. Watterson, Objective assessment of extratropical weather systems in simulated climates, *J. Climate*, 12, 3467–3485, 1999.
- 9 Ulbrich U. and M. Christoph, A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcing, *Clim. Dynam.*, 15, 551–559, 1999.
- 10 Carnell R. E., C. A. Senior, and J. F. B. Mitchell, An assessment of measures of storminess: Simulated changes in northern hemisphere winter due to increasing CO₂, *Clim. Dynam.*, 12, 467–476, 1996.
- 11 Goyette S., M. Beniston, P. Jungo, D. Caya, and R. Laprise, Numerical investigation of an extreme storm with the Canadian Regional Climate Model: The case study of windstorm Vivian, Switzerland, February 27, 1990. *Climate Dynamics*, 18, 145–168, 2001.