

Downbursts – wie verändern sie sich mit dem Klimawandel?



Eine Maturitätsarbeit der Kantonsschule Uster im Fach Geografie

Levin Zeunert (Jg. 2008)

Betreuer: Jonas Zimmermann

Expertin: Tanja Jäger

07.01.2026

Vorwort

Begründung der Themenwahl

Seit Jahren begeistern mich Gewitter und ähnliche Naturphänomene. Allgemein bin ich in sehr interessiert an allen Dingen, die mit Meteorologie und Klimatologie zu tun haben. Während meiner Themensuche stiess ich auf die schweren Downbursts vom 14. Juli 2021 in Zürich. Direkt war ich von diesem Phänomen begeistert und fing an zu recherchieren, merkte jedoch bald, dass ich fast nichts über die Veränderung der Downbursts in Bezug auf den Klimawandel fand. Bei Starkniederschlägen und ähnlichen Ereignissen findet man hingegen schon viel mehr. Deshalb habe ich beschlossen, meine Maturaarbeit genau diesem Thema, also der Veränderung der Downbursts mit dem Klimawandel zu widmen.

Dank

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mir im Verlauf meiner Arbeit in jeglicher Hinsicht geholfen haben.

Ich möchte mich besonders bei meinem Betreuer, Jonas Zimmerman, bedanken, der mir bei jeglichen Fragen während meiner Arbeit immer zur Seite stand und viele wichtige Anregungen lieferte.

Ein grosser Dank geht auch an all meine Interviewpartner, die sich die Zeit genommen und mir sehr wertvolle Antworten gelieferten haben und sogar teilweise später noch Studien geschickt haben, die für mein Thema relevant sind. Vielen Dank!

Ich möchte mich auch bei meinen Eltern bedanken, die mich während dem gesamten Verlauf der Arbeit unterstützt haben und mir unermüdlich Motivation zusprachen.

In dieser Maturitätsarbeit wird das generische Maskulinum verwendet. Dieses bezweckt eine bessere Lesbarkeit. Gemeint werden mit dem generischen Maskulinum selbstverständlich alle betroffenen Menschen, unabhängig von ihrem Geschlecht.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	1
BEGRÜNDUNG DER THEMENWAHL	1
DANK	1
ABSTRACT	4
1. EINLEITUNG	4
2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN ZU DOWNBURSTS UND GEWITTERN	5
2.1 EXTREMWETTEREREIGNISSE/GEWITTER	5
2.1.1 Extremwetterereignisse.....	5
2.1.2 Gewitterarten	5
2.2 DOWNBURSTS.....	6
2.2.1 Was sind Downbursts?.....	6
2.2.2 Entstehung von Downbursts	7
2.3 STAND DER FORSCHUNG IN BEZUG AUF DEN KLIMAWANDEL.....	8
2.3.1 Stand der Forschung bei Superzellen/Gewittern.....	8
2.3.2 Stand der Forschung bei Downbursts	8
3. MATERIAL UND METHODEN:	9
3.1 FORSCHUNGSDESIGN	9
3.2 AUSWAHL DER EXPERTEN	9
3.3 LEITFADENGESTÜTZTE INTERVIEWS	10
3.4 DURCHFÜHRUNG DER INTERVIEWS	10
3.5 TRANSKRIPTION DER INTERVIEWS.....	11
3.6 AUSWERTUNG DER INTERVIEWS NACH MAYRING (2019)	11
4. RESULTATE	12
4.1. DEDUKTIVE KATEGORIEN	12
4.1.1 Frage 1	12
4.1.2 Frage 2	13
4.1.3 Frage 3	14
4.1.4 Frage 4	14
4.1.5 Frage 5	15
4.2 INDUKTIVE KATEGORIEN	16
4.2.1 Kategorie «Mangelnde Datenlage/Modelle».....	16
4.2.2 Kategorie «Bezug auf Hagel»	16
4.2.3 Kategorie «schlecht verstandene Prozesse».....	17
5. DISKUSSION	17
6. FAZIT	20
EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	21
LITERATUR	22
ANHANG	24

Darstellungsverzeichnis

Titelbild: Chris Kridler, Getty Images. <https://www.treehugger.com/what-is-a-microburst-5114300>

Abb. 1: Schematische Darstellung eines Downbursts. (Seite 7)

<https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/meteoschweiz-blog/de/2023/07/was-ist-ein-downburst.html>

Abb. 2: Anzahl Downbursts pro Jahr in der Schweiz im Zeitraum 2008-2025. (Seite 15)

Daten Sturmarchiv Schweiz, <https://www.sturmarchiv.ch>

Tab. 1: Experten der Interviews mit Forschungsgebiet (Seite 10)

Abstract

Diese Arbeit untersucht die Veränderung der Downbursts durch den Klimawandel. Ziel ist es, die Änderungen der Intensität und der Häufigkeit der Downbursts in Bezug auf den Klimawandel aufzuzeigen. Um dies zu untersuchen, wurden mit fünf Experten Interviews durchgeführt, die dann mit der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet wurden. Die Auswertung der Interviews ergab, dass die Experten in ihren Aussagen dazu tendieren, dass die Downbursts in ihrer Intensität stärker werden, das heisst, die Geschwindigkeit der durch Downbursts verursachten Winde nimmt zu. Zur Häufigkeitsäusserung liess sich aus den Aussagen kein klarer Trend erkennen. Hinweise auf einen zukünftigen Anstieg von Downbursts könnten die Zunahme von Superzellen oder auch die Zunahme an günstigen atmosphärischen Bedingungen liefern, diese sind jedoch beide mit grossen Unsicherheiten behaftet. Ein möglicher Ansatz könnte auch der Vergleich zu bereits besser erforschten Hagelereignissen sein, da die atmosphärischen Grundvoraussetzungen ähnlich sind.

Die Experten jedoch betonten generell, dass die Forschungslage zu Downbursts bisher sehr dünn ist und noch eine grosse Wissenslücke besteht.

1. Einleitung

Die Intensität von Extremwetterereignissen wird im Zusammenhang mit dem Klimawandel grösstenteils stärker (Seneviratne, et al., 2021). Die meisten Teilgebiete, wie extreme Temperaturen, Starkniederschläge und Flussfluten, sind schon gut erforscht. Jedoch sind extreme Stürme und vor allem auch die mit ihnen verbundenen Starkwindereignisse weniger gut untersucht. Dies ist auch für Downbursts der Fall, obwohl diese immensen Schäden anrichten können. In der Schweiz sorgten in den letzten Jahren hauptsächlich zwei Downbursts für grosse Schäden sowie damit verbundene mediale Resonanz. 2021 verursachten eine Reihe von mehreren, durch eine Superzelle ausgelöste Downbursts einen hohen Schaden in Zürich (Tagesanzeiger, 2021). 2023 zerstörte ein extrem heftiger, ebenfalls durch eine Superzelle ausgelöster Downburst in La-Chaux-de-Fonds unter anderem mehrere Gebäude und verursachte einen immensen finanziellen Schaden von 120 Mio. Franken (MeteoSchweiz, 2024; SRF, 2024). Dieser Downburst forderte sogar ein Menschenleben. Während in den USA, in der Downbursts zahlreich auftreten (Romanic et al., 2022) schon mehr Forschung zu sogenannten «Straight Line Winds» existiert, zu welchen auch die Downbursts gehören, ist die Forschungslage in Europa und in der Schweiz sehr dünn. Es existieren bis jetzt nur wenige Studien zur

Veränderung der Intensität und gar keine zur Häufigkeitsänderung der Downbursts in der Schweiz und im Alpenraum, obwohl Downbursts ein grosses Schadenspotenzial haben.

Diese Arbeit versucht nun, das bereits vorhandene Wissen zu bündeln und durch die Durchführung von Interviews mit Experten, die mit diesem Fachgebiet vertraut sind, erste Anhaltspunkte, beziehungsweise Überlegungen über die Veränderungen von Downbursts mit dem Klimawandel zu treffen. Dabei wurde mit folgender, übergeordneter Fragestellung gearbeitet:

«Wie verändern sich Downbursts durch den Klimawandel in Bezug auf die Änderung der Intensität (Windgeschwindigkeit) und der Häufigkeit der Downbursts in der Schweiz?»

Um dies möglichst genau und vielseitig zu beantworten, wurden mit Experten aus verschiedenen, aber mit Downbursts verwandten Fachbereichen, Interviews durchgeführt.

2. Theoretische Grundlagen zu Downbursts und Gewittern

2.1 Extremwetterereignisse/Gewitter

2.1.1 Extremwetterereignisse

Laut IPCC versteht man unter einem Extremwetterereignis ein statistisch seltenes Ereignis. Oftmals sind diese Ereignisse sehr heftig und schadensreich, jedoch ist dies in der originalen Definition nicht verankert, da der Schaden immer auch von der Bebauung abhängig ist. Im IPCC-Bericht 2021 sind Extreme Winds, wozu auch Downbursts gehören, im «Kapitel 11: Wetter- und Klimaextreme Ereignisse in einem sich verändernden Klima» aufgeführt (Seneviratne, et al., 2021). Downbursts gehören somit zu den Extremwetterereignissen.

2.1.2 Gewitterarten

Es gibt verschiedene Arten von Gewittern. Man kann sie in drei Hauptkategorien einteilen. Die einfachste Art von Gewittern sind die einzelligen Gewitter (MeteoSchweiz). Dabei besteht dieses aus einem einfachen Auf- und Abwind (DWD, 2023). Diese Gewitter dauern nicht lange, maximal 30-60 Minuten und sind normalerweise relativ harmlos.

Die zweite Art von Gewittern sind die Multizellen-Gewitter. Diese Gewitter bestehen aus mehreren einzelnen Zellen, die zusammen eine komplexe Struktur bilden. Diese Art von Gewittern ist langlebiger als das einzellige Gewitter und kann grosse Intensitäten erreichen.

Die letzte Art von Gewittern sind die Superzellen. Sie sind die heftigste Art von Gewitterstürmen, unterscheiden sich jedoch von den beiden anderen Arten, da der Aufwind horizontal rotiert. Dadurch entsteht ein selbstregenerierendes System, das sehr langlebig und heftig ist. Superzellen sind die zerstörerischsten Gewitter (MeteoSchweiz). Sie machen in der Schweiz nur einen kleinen Bruchteil der Gewitter aus (Feldmann et al., 2021), sind aber für einen Grossteil des Schadens verantwortlich, der aus Gewittern entsteht (Feldmann, et al., 2025). Auf Superzellen wird folgend noch genauer eingegangen, da im Zusammenhang mit ihnen Prozesse auftreten, die im weiteren Verlauf der Arbeit erwähnt werden und auch bei der Bildung von Downbursts eine Rolle spielen. Superzellen brauchen nach Markowski & Richardson (2010) vier Grundvoraussetzungen, um zu entstehen: Feuchtigkeit, Instabilität der Atmosphäre, Hebung und Windscherung. Bei einer instabilen Schichtung der Atmosphäre steigt ein Luftpaket weiter auf als bei einer stabilen Schichtung, da das Paket wärmer und somit leichter ist als die Umgebungsluft, während bei einer stabilen Schichtung das aufsteigende Paket kälter als die Umgebung ist. Die Stärke der Instabilität wird an CAPE (Convective Available Potential Energy) gemessen. CAPE ist die Energie pro Masseneinheit, die ein aufsteigendes Luftpaket hat, um weiterhin aufzusteigen. Je höher der CAPE-Wert und somit die Instabilität ist, desto mehr begünstigt es die Bildung der Superzellen. Unter der Windscherung versteht man die Änderung der Windrichtung und/oder der Windgeschwindigkeit in der Höhe. Die Windscherung darf, für die optimale Voraussetzung für die Bildung von Superzellen, weder zu hoch noch zu niedrig sein. Wenn eine Superzelle unter den vier Grundvoraussetzungen entsteht, ist sie sehr stabil, langlebig und zerstörerisch (Markowski & Richardson, 2010).

2.2 Downbursts

2.2.1 Was sind Downbursts?

Bei einem Downburst handelt es sich um eine Fallböe, welche im Zusammenhang mit Gewittern oder auch Schauern auftreten kann. Bei einem Downburst wird Luft aus der Höhe vertikal nach unten beschleunigt und breitet sich bei Kontakt mit dem Boden schlagartig in alle Richtungen aus, wobei extreme Windgeschwindigkeiten von mehr als 200 km/h erreicht werden können (MeteoSchweiz, 2023). Ein Downburst definiert sich vor allem nach der Entstehungsart und dem Schadenspotential («damaging Winds») und weniger nach einer unteren Geschwindigkeitsmarke (Fujita, 1985). Nach dem National Weather Service (2021) in den USA werden jedoch für «Severe Thunderstorm Winds» eine Untergrenze von 58 mph oder 93 km/h definiert.

Daran richtet sich die Definition für die Mindestgeschwindigkeit für Downbursts in dieser Arbeit.

Bei kräftigen Gewittern können auch mehrere Downbursts auftreten, wodurch in Zugrichtung des Gewitters wiederholt Schäden auftreten können.



Abb. 1: Die Abbildung zeigt eine schematische Darstellung eines Downbursts. Dabei ist die Fallböe ersichtlich (Bildmitte), die sich bei Kontakt zum Boden in alle Richtungen ausbreitet, wobei grosse Windgeschwindigkeiten erreicht werden können. Bildquelle: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/meteoschweiz-blog/de/2023/07/was-ist-ein-downburst.html>

2.2.2 Entstehung von Downbursts

Es gibt im Wesentlichen zwei Prozesse, welche für die Bildung von Downbursts verantwortlich sind. Beide Prozesse verstärken einen Abwind in einem Gewitter (Downdraft), welcher dann bei Kontakt mit der Oberfläche zur Seite abgelenkt wird.

Der erste Prozess ist das Abkühlen der Luft aufgrund der Verdunstung des Regens, bzw. aufgrund schmelzenden Hagels. Die beiden Vorgänge, das Verdunsten sowie das Schmelzen sind endotherm, es wird also Energie benötigt. Diese Energie wird der Umgebungsluft entzogen, wodurch die Luft abkühlt und dann aufgrund der höheren Dichte, im Vergleich zur wärmeren Umgebungsluft, zu sinken beginnt.

Der zweite Prozess ist die Beschleunigung des fallenden Niederschlags selbst. Die Wasserpartikel «reissen» die Luft mit sich herunter, wodurch ein Downburst entstehen oder zusätzlich verstärkt werden kann (MeteoSchweiz, 2023).

2.3 Stand der Forschung in Bezug auf den Klimawandel

2.3.1 Stand der Forschung bei Superzellen/Gewittern

2021 stellte der 6. IPCC-Bericht fest, dass es bisher kaum möglich ist, abgesehen von der Zunahme der Niederschlagsintensität, Trends in der Vergangenheit für Superzellen, schwere Gewitter und Hagel nachzuweisen. Allerdings bestand schon mittleres Vertrauen in die Annahme, dass die atmosphärischen Bedingungen für schwere Gewitter, also eine Kombination aus CAPE und Windscherung, in gewissen Regionen zunimmt (Seneviratne, et al., 2021). Der letzte IPCC-Bericht ist jedoch nicht mehr auf dem neuesten Stand. Eine aktuelle Studie prognostiziert eine Zunahme der Superzellen im Alpennordraum um 52% bei einer Klimaerwärmung von 3 °C (Feldmann et al., 2025). Eine in 2024 veröffentlichte Studie über die jährlichen Hageltage der Schweiz zeigte einen deutlich steigenden Trend (Wilhelm et al., 2024). Diese Studie ist die erste in der Schweiz, die einen robusten Trend zeigen konnte.

Eine Studie, welche die Häufigkeitsveränderung der Gewitter bis 2100 untersuchte, konnte für Mitteleuropa, im Gegensatz zu anderen Regionen Europas, keinen klaren Trend finden (Rädler et al., 2019).

Im kürzlich erschienenen Klimabericht der Schweiz (Klimazukunft Schweiz) wurden erstmals Superzellen erwähnt (MeteoSchweiz & ETH Zürich, 2025). Darin wurde auf die 2025 erschienene Studie von Feldmann et al. hingewiesen.

2.3.2 Stand der Forschung bei Downbursts

Downbursts explizit sind weder im IPCC-Bericht von 2021, noch im Schweizer Klimabericht 2025 erwähnt. Jedoch werden im IPCC-Bericht schon «Severe Winds» behandelt, auch wenn dort die meisten Erkenntnisse noch mit grossen Unsicherheiten behaftet sind (Seneviratne, et al., 2021).

Die Merkmale von Downbursts wurden schon in den 1980er-Jahren in Studien untersucht, unter anderem aufgrund der Gefahr für den Flugverkehr (Fujita, 1985; Wakimoto, 1985). Somit ist das Ereignis an sich schon wissenschaftlich untersucht, allerdings ist die Forschungslage in Bezug auf die Änderung mit dem Klimawandel sehr spärlich. Zur Änderung der Intensität existieren dabei mehr Studien als zur Änderung der Häufigkeit. Eine Studie aus den USA fand 2023 eine Zunahme der Intensität von «Straight Line Winds», ein Sammelbegriff für in einer geraden Linie ausströmenden Winde, zu welchen auch Downbursts gehören (Prein, 2023). Eine weitere Studie aus den USA, welche die zukünftige Entwicklung der atmosphärischen Bedingungen, die Downbursts begünstigen, untersuchte, fand das Ergebnis, dass das Potenzial für stärkere Downbursts zunimmt (Williams & Fieweger, 2025).

Zur Frage der Häufigkeitsveränderung der Downbursts mit dem Klimawandel existieren fast keine wissenschaftlichen Studien. Die Studie von Williams & Fieweger (2025) sagt eine potentielle Zunahme der Downbursts voraus, jedoch wurden in der Studie nur die atmosphärischen Bedingungen, welche sich mit dem Klimawandel verändern, angeschaut und nicht die direkte Zunahme der Downbursts projiziert. Eine Studie, welche Downbursts in Kanada untersuchte, fand heraus, dass 36% der in der Studie erfassten Downbursts aus Superzellen entstammten (Hadavi & Romanic, 2024). Diese Studie vermag jedoch nicht einen Prozentsatz anzugeben, der aussagt, wie oft Downbursts in Superzellen vorkommen.

3. Material und Methoden:

3.1 Forschungsdesign

Ziel der Arbeit ist es, fachliche Einschätzungen zu den Veränderungen der Downbursts im Zuge des Klimawandels zu erhalten. Aufgrund dessen wurden leitfadengeführte, halbstrukturierte Experteninterviews als Methode zur Datenerhebung verwendet, wobei die Daten explorativ erfasst wurden. Es wurden qualitative Interviews durchgeführt. Die Interviews wurden nach der Durchführung transkribiert und angelehnt an der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring ausgewertet (Mayring & Fenzl, 2019) (Vgl. 3.6). Bei der Auswertung wurde darauf geachtet, die drei Gütekriterien Transparenz, Reichweite und Intersubjektivität (Mayring, 2022) einzuhalten, indem der gesamte Arbeitsprozess möglichst transparent dokumentiert wurde und die Auswertung möglichst objektiv geschah.

3.2 Auswahl der Experten

Im Rahmen der Arbeit wurden mit fünf Experten Interviews durchgeführt. Alle Personen, die als Experten für die Maturaarbeit dienten, arbeiten entweder in der Forschung im Bereich Meteorologie oder Klimaforschung oder haben viel Erfahrung in der wissenschaftlichen Arbeit mit Gewittern und/oder dem Klimawandel (siehe Tab. 1). Die Experten haben teilweise unterschiedliche Fachgebiete, z.B. in der Tornadoforschung, der Hagelforschung oder der Klimasimulation. Die verschiedenen Fachgebiete der Experten erlauben so eine Beantwortung der Frage aus verschiedenen Blickwinkeln. Sie können somit allesamt differenzierte und wissenschaftliche Antworten auf die Fragen des Interviews liefern. Alle Experten haben direkt bei der ersten Anfrage zugesagt.

Tab. 1: Experten der Interviews mit Forschungsgebiet.

Experten	Fachgebiet	Institution
Andreas Prein	Hoch aufgelöste Wetter- und Klimasimulation	ETH Zürich, (Institut für Atmosphäre und Klima (IAC))
Christian Matthys	Tornadoforschung	Sturmarchiv Schweiz (SSWD)
Killian Brennan	Klimasimulationen / Hagelforschung	Universität Bern (meteorologisches Institut)
Monika Feldmann	Superzellen	Universität Bern (meteorologisches Institut)
Willi Schmid	Hagelforschung	Lange ETH Zürich, dann eigenes Spinoff (Meteoradar)

3.3 Leitfadengestützte Interviews

Für die Interviews wurde mit einem Leitfaden gearbeitet, um die Vergleichbarkeit der Interviews zu gewährleisten. Im Leitfaden sind fünf Fragen aufgelistet, welche zum Teil offen und zum Teil im Ja/Nein-Format gestellt wurden, wobei bei Letzteren doch immer Erläuterungen erwartet wurden.

Die Fragen behandeln verschiedene Aspekte des Themas, um so die Fragestellung möglichst umfassend zu beantworten. Der Leitfaden enthielt Fragen zur Veränderung der Prozesse im Zuge des Klimawandels, zur Häufigkeitsänderung und zur Intensitätsänderung.

Der vollständige Interviewleitfaden mit allen Interviewfragen findet sich im Anhang der Arbeit (Anhang I).

Im Vorfeld der eigentlichen Durchführung wurde ein Pretest zur Überprüfung des Leitfadens mit einer externen Person, die ebenfalls in der Klimaforschung tätig ist, durchgeführt. Dabei wurden die Fragen durchgegangen, der Ablauf getestet und die technischen Details angeschaut. Anschliessend wurden die Fragen nochmals etwas in ihrer Reihenfolge geändert und angepasst.

3.4 Durchführung der Interviews

Die Interviews wurden zwischen dem 30. Oktober und dem 14. November 2025 durchgeführt und dauerten jeweils 20-30 Minuten. Alle Interviews wurden mit der Plattform Zoom mittels eines Videocalls durchgeführt. Zu Beginn des Interviews wurden die Experten jeweils um Erlaubnis gebeten, einer Videoaufzeichnung, für die spätere Auswertung, zuzustimmen.

Nach einer kurzen Einleitung des Maturanden folgte jeweils eine Vorstellung des Experten als Einstieg in das Interview. Danach wurde das eigentliche Interview durchgeführt, welches sich am Leitfaden orientierte. Bei allen Teilnehmenden wurden die Fragen in der gleichen Reihenfolge gestellt, bei Unklarheiten oder bei Bedarf wurden zu den einzelnen Fragen nochmals Nachfragen gestellt. Am Schluss des Interviews hatten die Experten je noch die Möglichkeit, eigene Anmerkungen anzufügen.

3.5 Transkription der Interviews

Die Interviews wurden nach der Durchführung für die anschliessende Auswertung mithilfe der Website *Turboscribe* transkribiert. Nachdem die Interviews mit dem Tool der Website transkribiert wurden, wurden sie als Word-Dokument (.docx) exportiert. In Folge wurde jedes Interview einzeln überarbeitet, um Fehler der automatischen Transkription der Website zu korrigieren. Dabei wurde Satz für Satz mithilfe der Aufzeichnung überprüft, und wenn nötig korrigiert. Die vollständigen Transkripte aller Interviews sind im Anhang zu finden (Anhang II a.- e.).

3.6 Auswertung der Interviews nach Mayring (2019)

Die Interviews wurden stark angelehnt an die strukturierende, qualitative Inhaltsanalyse von Mayring ausgewertet. Diese Methode dient dem Ziel, gut übersichtlich, die qualitativ wichtigen Aussagen der Experten darzustellen und in verschiedenen Kategorien sichtbar zu machen. Durch diese Methode ist zusätzlich eine hohe Vergleichbarkeit der Aussagen der verschiedenen Experten möglich.

Für die Auswertung wurden zuerst deduktive Kategorien erstellt. Deduktive Kategorien sind Kategorien, welche vor der eigentlichen Auswertung erstellt werden. In dieser Arbeit wurden alle Fragen des Interviews jeweils als eine einzelne Kategorie gewertet. Dadurch lassen sich auf einen Blick jeweils alle Aussagen der fünf Experten zu einer Frage vergleichen.

Nach dem Erstellen der deduktiven Kategorien wurde der Codierungsprozess gestartet. In einem ersten Schritt wurden alle relevanten Aussagen für die Beantwortung der Fragen in der Transkription angestrichen. Anschliessend wurden in einem Excel-Dokument alle relevanten Textstellen der jeweiligen Kategorie zugeteilt. Die Textstellen wurden wörtlich in die Tabelle übernommen und das Vorgehen für jeden Experten bei jeder Frage durchgeführt (Auszug in Anhang III).

Nach der Codierung der deduktiven Kategorien wurden die induktiven Kategorien (z.B. «Bezug auf Hagel») gebildet. Diese ergaben sich während dem Erfassen der anderen Kategorien, also

während des Codierungsprozesses. Die induktiven Kategorien dienen dazu, Informationen, die vor der Auswertung noch nicht als Kategorie definiert wurden, sich während der Auswertung aber als wichtig herausgestellt haben, darzustellen.

Es wurde jeweils nur ein Codierdurchgang durchgeführt, wobei dies von der originalen Inhaltsanalyse abweicht, welche mehrere Codierdurchgänge vorsieht. Nach dem Codiervorgang wurde von jeder Aussage einer Kategorie eine Zusammenfassung in eigenen Worten erstellt. Anschliessend wurden die Aussagen der einzelnen Experten zu jeder Kategorie verglichen, es wurden Themencluster zu den relevanten Themen erstellt und zum Schluss wurde alles in einem Fliesstext zusammengefügt.

4. Resultate

In diesem Abschnitt ist die Auswertung der Interviews aufgeführt. Die Aussagen der Experten werden im Folgenden in einem Fliesstext aufgeführt, die genauen Wortlaute der einzelnen Antworten der Experten finden sich im Anhang in den Transkripten (Vgl. Anhang II a. – e.).

4.1. Deduktive Kategorien

In diesem Abschnitt sind die deduktiven Kategorien aufgeführt, die sich aus den Interviewfragen ergeben.

4.1.1 Frage 1

Die erste Kategorie beinhaltet alle Antworten zur *Frage 1* des Interviews: «Welche Prozesse, die für die Bildung von Downbursts verantwortlich sind, verändern sich mit dem Klimawandel?»

Alle Experten haben mindestens einen Prozess genannt, der sich mit dem Klimawandel verändert, die meisten sogar mehrere. Fast alle Experten sind auf die Feuchtigkeitsveränderung eingegangen. Durch den Klimawandel wird mehr Feuchtigkeit in der Atmosphäre sein, pro 1 °C Erwärmung kann ein Luftpaket 7% mehr Feuchtigkeit aufnehmen. Mehrere Experten vermerkten, dass dadurch die Verdunstungssättigung zunehmen wird, wodurch wiederum mehr Wasser verdunsten kann. Daraus ergibt sich eine stärkere Abkühlung der Luft, woraus ein schnellerer, bzw. stärkerer Downburst resultiert (Vgl. 2.2.2). Ein anderer Experte vermerkte zusätzlich, dass durch die erhöhte Feuchtigkeit in der Atmosphäre die Auftriebe in einem Gewitter stärker sind. Dies passiert, da beim Aufstieg eines Luftpakets dieses, durch die Kondensation von

Wasserpartikeln (exotherm, setzt Wärme frei) im Vergleich zur Umgebungstemperatur wärmer wird. Durch den stärkeren Aufwind sind letztendlich mehr Wasserpartikel in der Höhe, die dann beim Herunterfallen verdunsten können und somit einen stärkeren Downburst produzieren.

Ein Experte nannte noch einen weiteren Vorgang. Durch den Klimawandel könnte die mittlere Troposphäre tendenziell etwas trockener werden (nicht zwingend in Bezug auf die absolute Feuchtigkeit, sondern vor allem die relative Feuchtigkeit). Durch die verhältnismässig trockenere Luft besteht wiederum ein grösseres Potential für die Verdunstung von Wasser, was zu einem stärkeren Downburst führen kann (Vgl. 2.2.2).

Ein anderer Experte erwähnte noch zwei zusätzliche, sich verändernde Prozesse. Zum einen den Anstieg des Gefrierpunktes, wodurch sich voraussichtlich die Höhe verändert, in der Downbursts entstehen, zum anderen die Windscherung, die sich mit dem Klimawandel auch ändern kann. Diese zwei Prozesse seien aber noch sehr unerforscht, so der Experte.

4.1.2 Frage 2

Die zweite Kategorie beinhaltet alle Antworten zur *Frage 2* des Interviews: «Wie häufig kommen in Verbindung mit Superzellen Downbursts vor?»

Die Experten waren allesamt ähnlicher Meinung. Alle Experten behaupteten, dass Downbursts relativ oft in Verbindung mit Superzellen vorkommen. Ein Experte hob hervor, dass bei Superzellen die stärksten Aufwinde und somit auch die stärksten Downdrafts vorkommen, wodurch ein häufiges Auftreten von Downbursts bei Superzellen erwartet werden kann. Fast alle Experten betonten aber auch, dass kein deterministischer Zusammenhang zwischen Downbursts und Superzellen besteht, da auch bei einzelligen oder Multizellen-Gewittern Downbursts auftreten können und nicht bei jeder Superzelle zwingend ein Downburst vorkommt. Einige Experten erwähnten zusätzlich, dass es immer auf die genaue Definition eines Downbursts ankommt. Je tiefer die definierte Windgeschwindigkeit für einen Downburst ist, desto wahrscheinlicher treten diese in einem Superzellengewitter auf, können jedoch auch häufiger in einer anderen Art von Gewittern vorkommen.

Wichtig zu erwähnen ist, dass mehrere Experten darauf hinwiesen, dass nur sehr spärlich Forschung zu dieser Frage existiert und somit keine Aussagen aufgrund einer Datenlage getätigt werden können. Alle Aussagen zu dieser Frage basieren somit auf theoretischen Überlegungen, weshalb keiner der Experten einen Prozentsatz nennen konnte, der besagen würde, wie oft ein Downburst in Superzellen vorkommt.

4.1.3 Frage 3

Die dritte Kategorie beinhaltet alle Aussagen zur *Frage 3* des Interviews: «Eine kürzlich veröffentlichte Studie unter der Leitung von Monika Feldmann hat herausgefunden, dass bei einer klimawandelbedingten Temperaturzunahme von 3° C im Alpenraum 52% mehr Superzallengewitter zu erwarten sind. Erwarten Sie durch die starke Zunahme der Superzallengewitter auch eine Zunahme der Downbursts im Alpenraum?»

Die Experten waren sich einig, dass durch eine Zunahme der Superzallengewitter auch eine Zunahme der Downbursts resultiert. Dies sei rein statistisch begründet. Wenn Downbursts häufig bei Superzellen auftreten und die Anzahl dieser steigt, nimmt so die Anzahl aus Superzellen resultierenden Downbursts zu. Die Mehrheit der Experten merkte aber noch an, dass nicht nur in Superzallengewittern Downbursts vorkommen, sondern diese auch bei anderen Gewitterarten auftreten und diese auch einen Beitrag leisten. Ein Experte vermerkte einen Gedanken, welchen die anderen nicht bedacht haben. Monika Feldmann (unveröffentlichte Studie) fand heraus, dass der totale Anteil von Superzellen in der Schweiz ca. 1% beträgt. Bezugnehmend darauf argumentierte er, dass bei einer Zunahme an Downbursts in Superzellen nicht zwingend die Anzahl der gesamten Downbursts zunimmt, da die Veränderung der Anzahl normaler Gewitter in Zukunft und somit die Anzahl aus ihnen resultierenden Downbursts nicht geklärt ist (Aussage des Experten). Der Experte erwähnte, gestützt auf eine Studie von Monika Feldmann et al. (2025), zusätzlich, dass die Windböen in ihrer Intensität tendenziell zunehmen werden, woraus man extrapolieren kann, dass bei einer Superzelle entweder die Intensität oder die Häufigkeit der Downbursts zunimmt. Ein anderer Experte erwähnte, dass die gesamte Anzahl wohl zunehmen könnte, jedoch noch nicht klar ist, ob dies mit Superzellen zusammenhängt, da noch grosse Unsicherheiten herrschen.

4.1.4 Frage 4

Die vierte Kategorie beinhaltet alle Antworten zur *Frage 4* und der damit verbundenen Grafik (Abb. 1): «Ich habe auf der Website des Sturmarchivs Schweiz alle datierten Downbursts der Jahre 2009-2025 analysiert. Dabei lässt sich in diesem Zeitraum kein Anstieg der Downbursts feststellen. Dieser Zeitraum ist sehr klein. Gab es Ihrer Einschätzung nach, eine Zunahme von Downbursts über einen längeren Zeitraum, z.B. 40 Jahre? Warum oder warum nicht?»

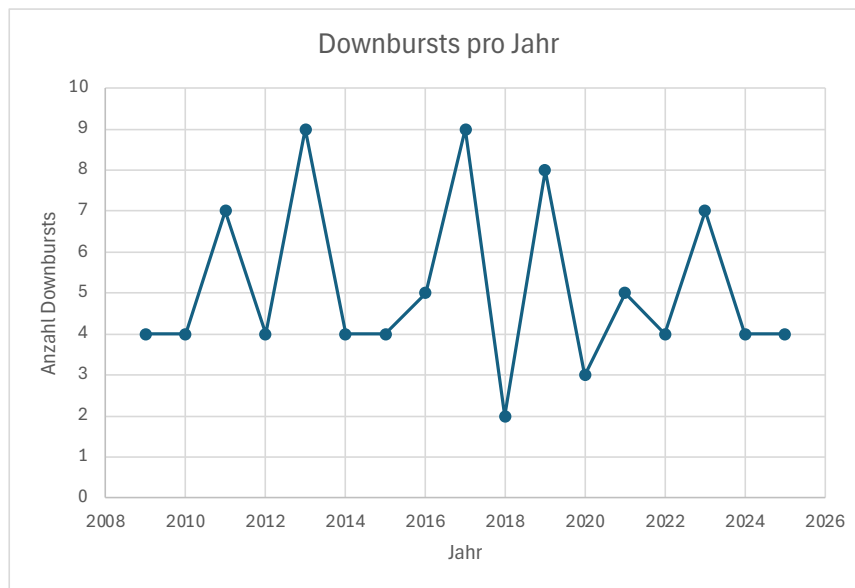


Abb. 2: Anzahl Downbursts pro Jahr in der Schweiz im Zeitraum 2008-2025. Die Daten entstammen dem Sturmarchiv Schweiz, <https://www.sturmarchiv.ch>

Von den Experten wurde darauf hingewiesen, dass die Aussagekraft der abgebildeten Downbursts in Abbildung 2 limitiert sei, da die Daten von einem Reporting-basierten System abhängen und somit nur schadensträchtige Downbursts dokumentiert wurden. Dadurch wurden Downbursts, die nicht schadensträchtig waren, nicht dokumentiert. Somit wurden viele Downbursts ausser Acht gelassen. Ausserdem sei der Zeitraum zu kurz, um einen klaren Trend zu zeigen. Bei Hagelstudien sind erst nach 40 Jahren aussagekräftige Trends zu erkennen, vermerkte ein Experte.

Fast alle Experten konnten diese Frage in Bezug auf die generelle Zunahme an Downbursts in Gewittern nicht beantworten, wobei ein Experte anfügte, dass eine Zunahme der Downbursts bei Superzellen in den vergangenen 40 Jahren durchaus plausibel sei. Ansonsten war der Experte aber gleicher Meinung und kann aufgrund der nicht vorhandenen Datenlage zu Downbursts keine Aussage machen.

Ein weiterer Experte hielt im Gegensatz zu den anderen jedoch eine Zunahme der Downbursts in den vergangenen Jahrzehnten für möglich. Er äusserte, dass eine Studie zu der Hagelhäufigkeit seit 1970 eine Zunahme der Hageltage festgestellt hat. Da die nötigen Voraussetzungen für die Entstehung von Downbursts und Hagel sehr ähnlich sind, könnte dies ein Hinweis auf eine Zunahme von Downbursts sein.

4.1.5 Frage 5

Die fünfte Kategorie beinhaltet alle Aussagen der Experten zur *Frage 5* des Interviews: «Werden Downbursts aufgrund des Klimawandels stärker in ihrer Intensität?»

Vier Experten haben diese Frage bestätigt und vermuten eine Zunahme der Intensität von Downbursts. Sie stützten sich bei ihrer Aussage allesamt auf thermodynamische Veränderungen, welche durch den Klimawandel auftreten (Vgl. 4.1.1). Ein Experte fügte noch an, dass allerdings auch dies noch ein offenes Forschungsgebiet sei.

Ein Experte hingegen vermutete keine Zunahme in der Intensität der Downbursts, begründet dies jedoch nicht.

4.2 Induktive Kategorien

Im Folgenden sind die induktiven Kategorien aufgeführt, also alle Kategorien, welche sich erst im Verlauf der Codierung der Interviews für die deduktiven Kategorien ergeben haben.

4.2.1 Kategorie «Mangelnde Datenlage/Modelle»

Fast alle Experten äusserten, ohne eine direkte Frage dazu gestellt bekommen zu haben, dass die Auflösungen der derzeitigen Klimamodellsimulationen nicht genügend genau seien, um Downbursts darauf zu erkennen. Nicht einmal die Wettervorhersagemodelle von Meteo-Schweiz seien hochauflösend genug.

Ausserdem vermerkten mehrere Experten, dass auch die sonstige Datenlage zu Downbursts nur spärlich sei, da nur vereinzelt Beobachtungsdaten verfügbar sind.

Daher sei die Forschung zu Downbursts schwierig, da man keine Datengrundlage habe, um daraus Annahmen zur Veränderung der Downbursts zu treffen.

Auch in Zukunft wird es wohl aufgrund der genannten Gründe schwer bleiben, Downbursts besser zu erfassen, vermerkte ein Experte. Er und ein anderer Experte erwähnten jedoch auch, dass man durch die aktive Förderung von Sturmarchiven aber wohlmöglich in der Zukunft bessere Daten erhalten wird. Ausserdem könnte man durch Remote Sensing, also der Auswertung aufgrund von Schadensmustern auf Satellitenbildern, womöglich noch bessere Daten erhalten. Ein Experte fügte noch an, dass die Produktion von Klimamodellen, die Downbursts erkennen, extrem teuer sei und sich dann die Frage nach dem Nutzen stelle, einen Downburst von anderen Windböen unterscheiden zu können.

4.2.2 Kategorie «Bezug auf Hagel»

Mehrere Experten kamen im Verlauf des Gesprächs auch auf Hagel zu sprechen, da die Bedingungen zur Entstehung, nach Aussage eines Experten, ähnlich zu Downbursts seien. Es wurde dabei von den meisten erwähnt, dass eine Zunahme von Hageltagen pro Jahr bei Hagel mit

grossen Hagelkörnern erwartet wird. Jedoch wird auch mehrmals erwähnt, dass bei Hagel mit kleinen Körnern eine Abnahme erwartet wurde, da diese aufgrund des Klimawandels wegschmelzen würden.

Ein Experte vermerkte zudem, dass es einen allgemeinen Anstieg der Hageltage in der Schweiz seit 1970 gab und bezog sich dabei auf die Studie unter der Leitung von Lena Wilhelm (2024).

4.2.3 Kategorie «schlecht verstandene Prozesse»

Einige Experten erwähnten in ihren Interviews auch noch explizit, welche Prozesse momentan noch sehr schlecht verstanden, also mit grossen Unsicherheiten belegt sind. Ein Experte bezog sich dabei auf die Prozesse zur Bildung der Downbursts, die sich vermutlich mit dem Klimawandel verändern. Er äusserte, dass ein Einfluss des Klimawandels auf die Änderung des Anstiegs des Gefrierpunktes und der Änderung der Windscherung mit dem Klimawandel (Vgl. 2.1.2) aktuell noch mit sehr grossen Unsicherheiten verbunden ist.

Ein anderer Experte erwähnte, dass aus Modellsimulationen der Geschwindigkeiten der Windböen ein kleinerer Anstieg als vermutet resultierte und noch nicht geklärt sei, woran dies liege. Mögliche Ursachen könnten zum einen die mangelnde Modellqualität, aber auch der Einfluss der Topografie sein. Diese sei zurzeit auch noch schlecht erforscht.

Ein Experte behauptete, dass fast alle Prozesse, bis auf die Änderungen der Temperatur noch mit gewissen Schwierigkeiten verbunden seien.

5. Diskussion

Aus den Aussagen in den Interviews geht hervor, dass die Experten grösstenteils von einer Intensitätssteigerung der Downbursts, in Bezug auf die maximale Windgeschwindigkeit, ausgehen. Begründet wurde dies mit thermodynamischen Änderungen durch den Klimawandel, welche auch schon bei Frage 1 benannt wurden. Konkret bezogen sich die Experten auf die Zunahme der Feuchtigkeit in der Atmosphäre, das höhere Startniveau von Downbursts und die trockenere mittlere Atmosphäre, woraus jeweils stärkere Downbursts resultieren können. Eine Studie aus den USA fand eine Zunahme für das Potential stärkerer Downbursts (Williams & Fieweger, 2025). Die Ursachen für die Zunahme gemäss dieser Studie sind höhere Temperaturen, Änderungen der relativen Feuchte und höhere Startniveaus der Winde, womit die Annahmen der Experten bestätigt werden. Diese Modellsimulation der Studie wurde für Bedingungen der USA erstellt und ist somit nicht direkt auf die Schweiz übertragbar. Eine Studie zur Intensitätsänderung von «Straight Line Winds» in den USA (Prein, 2023) zeigt, dass die

Geschwindigkeiten dieser Winde in den letzten Jahrzehnten angestiegen sind (13% pro 1 °C Klimaerwärmung). Allerdings ist in dieser Studie das verwendete Modell nicht hochauflösend genug, um Downbursts eindeutig zu klassifizieren. Ausserdem wurde die Studie in Nordamerika durchgeführt, die Übertragbarkeit in den Raum Schweiz ist also nicht direkt machbar. Dennoch bestärkt es die Aussagen der Experten, welche eine Zunahme der Intensität vermuten. Ein Experte vermutet jedoch im Gegensatz zu den anderen keine Zunahme der Intensität. Er begründet seine Aussage jedoch nicht weiter. Dies zeigt, dass dieses Themengebiet trotz der bereits bestehenden Forschung noch mit Unsicherheiten verbunden ist, da Downbursts nicht explizit in Modellen dargestellt werden können und so nur die sich verändernden atmosphärischen Bedingungen, nicht aber tatsächliche Downbursts untersucht werden können. Ein Experte erwähnte aus diesen Gründen, dass dies noch ein offenes Forschungsgebiet sei und mehr Forschung nötig sei, um feste Aussagen treffen zu können.

Die Zunahme der Häufigkeit von Downbursts lässt sich nicht so leicht beantworten. Es existieren keine Studien, die genau diese Fragestellung untersucht haben. Die meisten Experten haben in ihren Aussagen darauf hingewiesen, dass die Modelle der Forschung momentan nicht hochauflösend genug sind, um Downbursts explizit darzustellen. Somit fehlt die Datengrundlage für die Forschung. Allerdings lässt sich mit theoretischen Annahmen einiges aussagen. Zum einen gibt es die Verbindung zu den Superzellen. Die Auswertung hat ergeben, dass die Experten von einem häufigen Vorkommen von Downbursts in Superzellen ausgehen. Da Superzellen in der Schweiz auf der Alpennordseite bei einer Klimaerwärmung von 3 Grad Celsius um 52% zunehmen sollen (Feldmann et al, 2025), steigt rein statistisch die durch Superzellen verursachte Anzahl Downbursts. Auf Superzellen allein bezogen ist daher ein Anstieg in der Häufigkeit der Downbursts in der Schweiz zu erwarten. Ein Prozentanteil, der besagt wie oft in einer Superzelle ein Downburst vorkommt, lässt sich dabei nicht feststellen, da dazu keine Forschung existiert, so die Experten.

Hinzu kommt, dass Superzellen, nach Aussage eines Experten, in der Schweiz nur einen Bruchteil der Gewitter ausmachen (Feldmann et al., 2021). Ein Anstieg der Superzellen und somit der durch sie verursachten Downbursts bedeutet also keine allgemeine Zunahme der Downbursts, da Downbursts in allen Gewittertypen vorkommen können (Fujita, 1985). Eine Studie zur Häufigkeitsänderung von Gewittern allgemein fand für Mitteleuropa keinen klaren Trend, während für andere Regionen Europas teils zunehmende (Nord-, Osteuropa) und abnehmende Trends (Südwest-, Südosteuropa) für die Anzahl Gewitter im Jahr gefunden wurden (Rädler et al., 2019). Aufgrund dieser Tatsachen lässt sich nicht abschliessend sagen, ob die Anzahl

Downbursts in der Zukunft insgesamt zu- oder abnimmt. Ein Experte vermutet jedoch trotzdem eine allgemeine Zunahme der Downbursts, begründet dies jedoch nicht ausführlich.

Eine Studie, welche Downbursts in Kanada untersuchte, fand, dass 36% der in der Studie untersuchten Downbursts aus Superzellen entstanden (Hadavi & Romanic, 2024). Jedoch beantwortet auch dies nicht die Frage, wie oft Downbursts während einer Superzelle auftreten. Man kann allerdings, unter der Annahme, dass die Resultate auf die Schweiz übertragbar seien, folgern, dass rund ein Drittel der Downbursts aus Superzellen stammt. Wenn also die Anzahl der Superzellen stark ansteigt und gleichzeitig die anderen Gewitterarten nicht stark abnehmen und nicht dadurch weniger Downbursts generieren, könnte eine generelle Zunahme von Downbursts resultieren. Jedoch ist dies sehr spekulativ und beruht auf vielen Unsicherheiten und Annahmen. Die Studie von Williams & Fieweger (2025), welche bereits eine mögliche Zunahme der Intensität vorhersagt, findet auch, dass Bedingungen, die für die Bildung von Downbursts günstig sind, in Zukunft häufiger werden. Somit ist eine theoretische Zunahme der Anzahl Downbursts möglich, jedoch untersucht diese Studie, wie bereits erwähnt, nicht Downbursts direkt. Somit ist die Studie in Bezug auf Downbursts noch mit Unsicherheiten verbunden, da nicht bekannt ist, was in Realität wirklich geschieht, auch wenn eine potenzielle Zunahme möglich ist.

Mehrere Experten erwähnten explizit, dass es sich noch um ein offenes Forschungsgebiet handle und daher keine wirkliche Beantwortung der Fragestellung möglich sei.

Auch über die Häufigkeitsveränderung der Downbursts in der Vergangenheit bis in die Gegenwart ist nichts bekannt, es existieren keine Studien, welche sich mit jener Fragestellung auseinandersetzen. Ein Experte vermutete eine Zunahme der Downbursts in den letzten Jahrzehnten. Er stützt sich dabei auf eine Studie zur Veränderung der jährlichen Hageltage in der Schweiz (L. Wilhelm, 2024). Diese ergab einen steigenden Trend der jährlichen Hageltage in der Schweiz. Der Experte behauptete, dass die Bedingungen, welche für die Entstehungen von Downbursts und Hagel nötig sind, sehr ähnlich seien, woraus der Experte eine Zunahme der Downbursts in den letzten Jahrzehnten schlussfolgerte. Púčik et al. (2015) fand heraus, dass bei Superzellen-Lagen eine grosse Überlappung der Voraussetzungen von Hagel und Downbursts besteht, während sich bei weniger instabilen Lagen der Atmosphäre die Bedingungen signifikant unterscheiden (Vgl. 2.1.2) Dies unterstützt die Aussage des Experten teilweise, führt aber auch wieder nur zu einer Beantwortung der Frage in Bezug auf die Superzellen.

Die Grafik zu den Downbursts in der Schweiz (Abb. 2) zeigt ebenfalls keinen klaren Trend. Allerdings ist diese Grafik nur bedingt aussagekräftig, da einige Fehlerfaktoren das Ergebnis beeinflussen. Zum einen ist der beobachtete Zeitraum sehr kurz (16 Jahre). Ein Experte

erwähnte, dass bei einer vergleichbaren Untersuchung der Veränderung der jährlichen Hageltage erst nach 40 Jahren ein aussagekräftiger Trend zu erkennen war (Wilhelm et al., 2024). Der Experte fügte an, dass für ein aussagekräftiges Ergebnis wohl ein Zeitraum von 30 Jahren oder grösser hätte untersucht werden müssen. Zusätzlich ist der für das Diagramm verwendete Datensatz wahrscheinlich nicht vollständig. Die Datenquelle, die verwendet wurde (Sturmarchiv Schweiz, Stand Oktober 2025), basiert auf beobachteten Ereignissen. Da meistens nur schadensträchtige Downbursts im Sturmarchiv verzeichnet sind, fehlen Downbursts ohne Schadensmuster (Christian Matthys, Gründer von Sturmarchiv Schweiz). Dadurch wurden unvollständige Daten ausgewertet, die das Ergebnis verfälscht haben könnten. Es lässt sich dennoch ablesen, dass die Anzahl schadensträchtiger, verzeichneter Downbursts in 16 Jahren weder zu- noch abgenommen hat. Mehrere Experten erwähnten, dass es wichtig sei, solche Sturmarchive in Zukunft weiterzuführen und weiterzuentwickeln, da damit in Zukunft eventuell bessere Aussagen gemacht werden könnten.

6. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fragestellung nur teilweise beantwortet werden konnte. Bezüglich der Intensitätsänderung der Downbursts stimmen die Annahmen der interviewten Experten darin überein, dass die Windgeschwindigkeiten der Downbursts mit dem Klimawandel wohl zunehmen werden. Auch einige wissenschaftliche Arbeiten untermauern eine wahrscheinliche Intensitätssteigerung.

Zur Häufigkeitsänderung liefern die Interviewaussagen keine klare Tendenz. Die Experten konnten keine eindeutigen Aussagen treffen, auch die vorhandene Forschung ist noch mit grossen Unsicherheiten verbunden. Die Zunahme von Downburst förderlichen atmosphärischen Bedingungen, sowie die Anzahl der Downbursts, welche aus Superzellen resultieren, wird in Zukunft wohl zunehmen, die tatsächliche insgesamt Zunahme der Downbursts kann jedoch abschliessend weder verneint, noch bestätigt werden. Durch aktuell nicht ausreichend hochaufgelöste Modelle, die Downbursts nicht explizit darstellen können, fehlt die Datengrundlage, um aussagekräftige Annahmen zu treffen.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass keine Annahmen, die in dieser Arbeit zu Downbursts getroffen wurden auf tatsächlichen quantitativen Auswertungen von Downbursts basieren, da diese bisher nicht existieren. Es können also nur Vermutungen aufgrund theoretischer Überlegungen oder Vergleichen zu anderen Studien, die meistens nicht direkt mit Downbursts zusammenhängen,

getroffen werden. Somit sind keine eindeutigen Aussagen möglich. Dies war auch eine Schwierigkeit bei den Interviews, da die Experten oftmals, wenn überhaupt, nur Vermutungen oder Theorien äussern konnten, was wiederum die Interpretation der Aussagen der Interviews in der Auswertung erschwerte.

Jedoch zeigt genau diese fehlende Datengrundlage und die daraus folgende Wissenslücke über die Veränderung der Downbursts mit dem Klimawandel die Relevanz dieser Arbeit auf. Da einzelne starke Downbursts extreme Schäden anrichten und sogar Menschenleben fordern können, ist weitere Forschung zu diesem Thema wichtig, um in Zukunft die Gefahr besser einschätzen zu können. Für einen Fortschritt der Forschung braucht es nun bessere Modelle, welche Downbursts klar darstellen können, oder Sturmarchive, welche weiterentwickelt werden, um so zuverlässige Datenbanken zu erstellen, auf deren Basis in der Zukunft weitere Forschung betrieben werden kann. Jedoch ist die Entwicklung neuer Modelle teuer und dabei stellt sich die Frage, ob die Investition in die Forschung eines so kleinskaligen Prozesses die richtige Prioritätensetzung ist. Mehrere Experten betonten allerdings, dass die Forschung in diesem Bereich wichtig sei und es zudem überraschend sei, dass kaum Forschung zu diesem, schon seit längerem bekannten, Ereignis existiert.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich meine Maturaarbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der in den Verzeichnissen genannten Quellen und KI-/LLM-Tools angefertigt habe. Die Mitwirkung von anderen hat sich auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt. Alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen sind vollständig aufgeführt.

Ort, Datum:

Unterschrift:

Literatur

- DWD. (22. Juli 2023). *Deutscher Wetterdienst*. Abgerufen am 27.12 2025 von https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2023/7/20.html
- Feldmann, M., Blanc, M., Brennan, K. P., Turnherr, I., Velasquez, P., Martius, O., & Schär, C. (2025). European supercell thunderstorms—A prevalent current threat and an increasing future hazard. *Science Advances*.
- Feldmann, M., Germann, U., Gabella, M., & Berne, A. (2021). A characterisation of Alpine mesocyclone occurrence. *Weather and Climate Dynamics*.
- Fujita, T. T. (1985). *The Downburst, Microburst, and Macrobust*. Chicago: Satellite and Mesometeorology Research Project, University of Chicago.
- Hadavi, M., & Romanic, D. (2024). Atmospheric conditions conducive to thunderstorms with downbursts in Canada and a downburst precursor parameter. *Science Direct*.
- Markowski, P., & Richardson, Y. (2010). *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken*. Weinheim: Verlagsgruppe Beltz.
- Mayring, P., & Prenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In N. Baur, *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 633-648). Wiesbaden: Springer VS.
- MeteoSchweiz. (25. Juli 2023). *Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz*. Abgerufen am September 2025 von <https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueberuns/meteoschweiz-blog/de/2023/07/was-ist-ein-downburst.html>
- MeteoSchweiz. (23. April 2024). *Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz*. Abgerufen am September 2025 von <https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueberuns/meteoschweiz-blog/de/2024/04/gewitter-vom-24-juli-2023-in-la-chaux-de-fonds-untersuchung-des-verheerenden-windereignisses.html>
- MeteoSchweiz. (kein Datum). *Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz*. Abgerufen am 21.10 2025 von <https://www.meteoschweiz.admin.ch/wetter/wetter-und-klima-von-a-bis-z/gewitter/wie-gewitter-entstehen.html>
- MeteoSchweiz, & Zürich, E. (2025). *Climate CH2025 - Scientific Report*. Zürich: Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss.
- Púčik, T., Groenemeijer, P., Rýva, D., & Kolář, M. (2015). Proximity Soundings of Severe and Nonsevere Thunderstorms in Central Europe. *Monthly Weather Review*.

- Prein, A. F. (2023). Thunderstorm straight line winds intensify with climate change. *Nature Climate Change*.
- Rädler, A. T., Groenemeijer, P. H., Faust, E., Sausen, R., & Púčik, T. (2019). Frequency of severe thunderstorms across Europe expected to increase in the 21st century due to rising instability. *npj Climate and Atmospheric Science*.
- Romanic, D., Taszarek, M., & Brooks, H. (2022). Convective environments leading to microburst, macroburst and downburst events across the United States. *Science Direct*.
- Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., . . . Z. (2021). Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, . . . B. Zhou, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (S. 1513–1766). Cambridge: Cambridge University Press.
- SRF. (28. April 2024). *Schweizer Radio und Fernsehen*. Von <https://www.srf.ch/news/schweiz/sturm-von-2023-in-neuenburg-sturm-in-la-chaux-de-fonds-hinterlaesst-schaeden-von-120-millionen-abgerufen>
- Steinegger, M. (30. Juli 2021). *Tagesanzeiger*. Abgerufen am 4.9.2025 von <https://www.tagesanzeiger.ch/tagsueber-haette-es-todesopfer-gegeben-741796579042>
- Strassberg, G. (26. Juli 2021). Abgerufen am 29.12.2025 von National Weather Service: https://www.weather.gov/media/directives/010_pdfs/pd01016005curr.pdf
- Sturmarchiv Schweiz - Swiss Severe Weather Database*. (kein Datum). Abgerufen am Oktober 2025 von <https://www.sturmarchiv.ch>
- Turboscribe*. (kein Datum). Abgerufen im Dezember 2025 von <https://turboscribe.ai/de/>
- Wakimoto, R. M. (1985). *Forecasting Dry Microburst Activity over the High Plains*. *Monthly Weather Review*.
- Wilhelm, L., Schwierz, C., Schröder, K., Taszarek, M., & Martius, O. (2024). Reconstructing hail days in Switzerland with statistical models (1959–2022). *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Williams, I., & Fieweger, G. (2025). Mechanisms of Projected Changes in Thunderstorm Downburst Environments Across the United States. *Global Research Letters*.

Anhang

I.	Interviewleitfaden	S. 25
II.	Interviewtranskripte	S. 27
	a. Transkript Andreas Prein	S. 27
	b. Transkript Christian Matthys	S. 34
	c. Transkript Killian Brennan	S. 40
	d. Transkript Monika Feldmann	S. 46
	e. Transkript Willi Schmid	S. 54
III.	Auszüge aus der Auswertung	S. 60

I. Interviewleitfaden

Einleitung:

Ich würde für Auswertungszwecke das Gespräch gerne aufzeichnen, ist das für sie in Ordnung?

Kurze Vorstellung:

Guten Tag, mein Name ist Levin Zeunert, ich bin Schüler an der Kantonsschule Uster und mache meine Maturaarbeit über das Thema «Einfluss des Klimawandels auf Downbursts», in dessen Rahmen ich dieses Interview durchführe.

Ich werde im Verlauf dieses Interviews mit ihnen über die Einflüsse und Verbindungen von Superzellen auf Downbursts und über den Einfluss des Klimawandels auf die Häufigkeit und Intensität von Downbursts mit ihnen sprechen, um ihre Meinung als Experten in diesem Bereich zu erfahren.

Das Ziel dieses Interviews ist es, dass ich durch die durchgeführten Interviews meine Fragestellung am Schluss beantworten kann

Das Interview dauert ungefähr 30 min.

Hauptteil:

Können sie sich kurz vorstellen, in dem sie ihren beruflichen Hintergrund und ihre Tätigkeit in diesem Bereich erläutern?

Dann habe ich eine Einstiegsfrage:

Welche Prozesse, welche für die Bildung von Downbursts verantwortlich sind, verändern sich mit dem Klimawandel?

Wie häufig kommen in Verbindung mit Superzellen Downbursts vor?

Eine kürzlich veröffentlichte Studie unter der Leitung von Monika Feldmann hat herausgefunden, dass bei einer klimawandelbedingten Temperaturzunahme von 3° C im Alpenraum 52% mehr Superzellengewitter zu erwarten sind. Expecten sie durch die starke Zunahme der Superzellengewitter auch eine Zunahme der Downburst im Alpenraum?

- Evtl. Nachfrage: z.B. Können sie dies noch genauer erläutern?, ...

Für Christian Matthys: Ich habe alle auf ihrer Website (Sturmarchiv Schweiz) datierten Downbursts der Jahre 2009-2025 analysiert. ...

Für die anderen: Ich habe auf der Website des Sturmarchivs Schweiz alle datierten Downbursts der Jahre 2009-2025 analysiert. ...

... Dabei lässt sich in diesem Zeitraum kein Anstieg der Downbursts feststellen. Dieser Zeitraum ist natürlich sehr klein. Gab es ihrer Einschätzung nach, eine Zunahme von Downbursts über einen längeren Zeitraum, z.B 40 Jahre? Warum oder warum nicht?

- Evtl. Nachfrage: z.B. Warum?, können sie dies noch genauer erläutern?

Werden Downbursts aufgrund des Klimawandels stärker in ihrer Intensität?

- Hier auch wieder evtl. Nachfrage, je nach Zeit

Abschlussfrage: Gibt es noch etwas, das sie ergänzen möchten?

Schluss:

Vielen Dank, dass sie sich Zeit für das Interview genommen haben.

Kann ich sie, falls im Verlauf der Arbeit noch weitere Fragen auftreten?

Sobald meine Arbeit fertig ist, Abgabetermin ist am 7. Januar, erhalten sie gerne bei Interesse meine Arbeit.

II. Interview-Transkripte

a. Transkript Andreas Prein

Levin

Dann starte ich doch direkt. Ich mache eine kurze Vorstellung von mir und eine Einführung und dann kommen wir zum Hauptteil und somit zu den eigentlichen Fragen.

Mein Name ist Levin Zeunert und ich bin momentan an der Kantonsschule Uster. Wir machen derzeit unsere Matura-Arbeiten und ich mache, wie gesagt, meine Matura-Arbeit zum Thema Downbursts und der Einfluss des Klimawandels darauf. Ich mache mehrere Interviews und hatte jetzt schon drei, bzw. das ist mein viertes Interview jetzt und dann mache ich noch eins und dadurch kann ich diese dann analysieren und dann kann ich so meine Fragestellungen beantworten. Dieses Interview geht ca. 25 bis 30 Minuten, also länger sollte es sicher nicht gehen. Damit kommen wir gut durch. Also alle anderen gingen so 25 Minuten ungefähr. Meine erste Frage an Sie direkt ist, ob Sie sich kurz vorstellen können, beruflichen Hintergrund erläutern und was Ihre Tätigkeit in dem Bereich ist.

Andreas Prein

Ja, mein Name ist Andreas Prein. Ich bin Professor an der ETH Zürich und leite hier die hoch aufgelöste Wetter- und Klimasimulationsgruppe. Ich bin vor einem Jahr an die ETH berufen worden, war vorher zehn Jahre in den USA und meine Forschung, die Forschung meiner Gruppe fokussiert sich auf sehr hoch aufgelöste Klimasimulationen. Wir verwenden dort Wetter-Vorhersage-Modelle, wie zum Beispiel das ICON-Modell, das von Meteo-Schweiz auch benutzt wird für Vorhersage, aber in einem Klimawandel-Kontext.

Und meine Forschung dreht sich sehr stark um Gewitter. Ich habe relativ viel an Starkniederschlag geforscht, aber auch Hagel und vor ein paar Jahren dann auch mehr auf Windereignisse von Gewittern. Die heißen Straight Line Winds in Englisch und da gehören Downbursts dazu. Diese sind die kleinsten von den Ereignissen. Dann gibt es noch die Macrobursts. Ich habe vor zwei Jahren über das Thema eine Publikation geschrieben, wie Klimawandel sich auf solche Ereignisse in der Zentral-USA auswirkt.

Levin

Genau, danke. Ich habe den Artikel auch durchgelesen, aus Nature glaube ich, habe den überflogen, war auf jeden Fall sehr spannend.

Jetzt habe ich eine Einstiegsfrage, und zwar, welche Prozesse, die für die Bildung von Downbursts verantwortlich sind, verändern sich mit dem Klimawandel?

Andreas Prein

Das sind mehrere Prozesse. Das macht es dann auch schwierig da genau zu verstehen, was passiert. Einerseits wissen wir, dass durch die Temperaturhöhung des Klimawandels mehr Feuchtigkeit in der Atmosphäre gespeichert werden kann. Also man hat eine höhere Verdunstungssättigung.

Und dadurch kann man, wenn Niederschlag aus einer Wolke fällt, und was da den Downburst ... also den Downburst wirklich antreibt, ist Verdunstung von Wolkentropfen und von Niederschlag. Und man kann mehr verdunsten in einer wärmeren Atmosphäre und dadurch wird

dann der Downburst schneller. Weil die Temperatur in dem Downdraft kälter ist im Vergleich zur umliegenden Luft als im jetzigen Klima. Also das ist der Prozess, der relativ klar hervorgekommen ist in der Studie, die Sie sich auch schon angeschaut haben, in Nature Climate Change. Andererseits gibt es zusätzliche Veränderungen. Das könnte jetzt zum Beispiel der Anstieg vom Gefrierpunkt sein. Das ist dort, wo im Wasser zu frieren beginnt oder zu frieren beginnen kann, eine Nullgradlinie, und die wird höher. Und dadurch verändert sich dann aber auch ziemlich wahrscheinlich die Höhe, wo Downdrafts entstehen. Das ist noch extrem schlecht verstanden und auch relativ schwer zu modellieren.

Und dann das Dritte, was auch passieren kann, ist, dass oft diese Stürme, die wirklich sehr starke Downdrafts auslösen sind auch oft gut organisiert. Das ist ein Fach, die Gewitter, also wie gut, wie stabil ein Gewitter ist, mehr oder weniger, das hängt oft mit der Windgeschwindigkeit zusammen, am Boden und den oberen Atmosphären Schichten, das heißt dann Windscherung. Und die Windscherung sollte idealerweise relativ hoch sein.

Und das kann sich auch ändern mit Klimawandel. Und von den Prozessen sind die letzten zwei relativ schlecht verstanden. Der Erste, der wirklich mehr mit der Thermodynamik zusammenhängt, also die Befeuchtung der Luft und die größere Verdunstung, das ist sicher besser verstanden.

Levin

Danke, ja. Genau, dann zu meiner nächsten Frage. Die ist eine vorgelagerte Frage, zu der dritten Frage. Kurze Frage, ich habe Ihnen noch gestern ein E-Mail geschrieben, wo ich meine Fragen schon mal Ihnen geschickt habe. Ich weiß nicht, ob Sie das erhalten haben.

Andreas Prein

Ah, ich habe es gesehen, aber keine Zeit gehabt, die Fragen anzuschauen.

Levin

Ah ja, kein Problem. Ich wollte nur kurz wissen, ob Sie es erhalten haben. Kein Problem, dann meine Frage jetzt ist eine vorgelagerte Frage zur Frage nachher, die wahrscheinlich dann schon ein bisschen ineinander eingehen.

Und zwar, wie häufig in Verbindung mit Superzellen Downbursts vorkommen?

Andreas Prein

Ah, das ist eine gute Frage. Es ist schwer zu sagen. Superzellen sind genau solche Gebiete, die recht viel Scherung brauchen. Und die sind bekannt für Downbursts, aber nur, wenn man eine Superzelle hat, heißt es nicht, dass man einen Downburst bekommt. Das ist kein deterministischer Zusammenhang. Oft für Downbursts braucht man relativ trockene Luft in der mittleren Atmosphäre, die dann in die Verdunstung antreibt und dann eben den Downdraft stärker macht. Dadurch, dass mehr verdunstet wird, ist die Luft dann kälter in dem Downdraft. Superzellen sind auf jeden Fall zusammenhängend mit Tornados, aber das ist natürlich ein ganz anderer Prozess als Downbursts. Es kann auch aus nicht-Superzellen-Stürmen Downbursts entstehen.

Welcher Prozentsatz das ist, das könnte ich nicht sagen.

Levin

Genau, das war auch nicht die Frage. Es geht darum, ob es einen allgemeinen Zusammenhang gibt.

Meine nächste Frage. Diesen Sommer wurde eine Studie veröffentlicht von Monika Feldmann zu Superzellengewittern, die besagt, dass die hier im Alpenraum bei einer Temperaturerhöhung von drei Grad um 52 Prozent zunehmen. Ich weiß nicht, ob Sie die kennen oder davon gehört haben.

Andreas Prein

Ja, Monika kommt zu mir in die Gruppe im nächsten Frühling.

Levin

Mit ihr habe ich auch noch ein Interview diesen Freitag.

Andreas Prein

Ah super

Levin

Jetzt nochmal zurück zur Frage.

Erwarten Sie dadurch, dass die Superzellengewitter so stark zunehmen hier im Alpenraum, dann auch eine Zunahme der Downbursts hier im Alpenraum?

Andreas Prein

Ah, das ist eine gute Frage. Generell würde ich eine Zunahme der Downbursts vermuten. Im Klimawandel ist es aber mit relativ großen Unsicherheiten noch verbunden.

Ob das dann direkt mit den Superzellen zusammenhängt, ... könnte sein. Also ich würde sagen, es ist eine relativ große Fragestellung. Das Problem ist wirklich, dass wir Downbursts in den Modellen, die wir jetzt verwenden, also auch die Wettervorhersagemodelle, die Meteo Schweiz zum Beispiel verwendet, nicht darstellen können.

Die sind so kleinskalig, dass unsere Modelle die nicht auflösen. Von dem her ist es wirklich schwierig, die explizit zu studieren aus den Modellen heraus. Da müsste man dann irgendwie mit Proxys arbeiten.

Eben, dass man sagt, wie viele Superzellen gibt es, wie oft oder wie stark schaut jetzt der Cold Pool, der Kältepol unter dem Gewitter aus, dass man da irgendwie ein Verhältnis probiert herzustellen von Superzellen auf Downbursts.

Aber die Downbursts explizit zu simulieren, ist eigentlich fast unmöglich in Klimasimulationen.

Levin

Aber Sie erwarten schon, dass das tendenziell dann doch eher zunimmt, oder?

Andreas Prein

Ich würde eine Zunahme vermuten, aber da muss man wirklich noch mehr dran forschen.

Monika wird vielleicht darüber reden, sie hat ein Projekt, das sich genau um das dreht. Sie wird über die nächsten vier Jahre mehr zu Superzellen studieren, um dann besser zu verstehen, wie sich die mit Klimawandel ändern.

Levin

Dann werde ich Sie sicher am Freitag dazu noch fragen. Genau, dann meine nächste Frage. Ich hatte auf meinem Word-Dokument, das ich geschickt hatte, eine Grafik erstellt, ein Diagramm. Das ist nicht wirklich wichtig, ich kann es auch einfach erklären, das sagt nicht wirklich viel aus. Und zwar habe ich einen Zeitraum von 16 Jahren genommen, das ist kein großer Zeitraum, aber es gab nicht wirklich mehr Daten, und habe da mal alle Downbursts, die datiert waren, auf einer Webseite, - es gibt eine Webseite Sturmarchiv Schweiz, wo alle Starkwetterereignisse verzeichnet sind oder alle großen Starkwetterereignisse – da habe ich ein Diagramm erstellt und die aufgeschrieben, um zu sehen, ob da eine Abnahme, eine Zunahme existiert. Es kam dabei heraus, dass es ziemlich zufällig ist. Mal gab es viele, mal gab es wenige. Zusätzlich dazu sind nicht alle dokumentiert. Sachen, die keine Schadenereignisse haben, werden da nicht auftauchen.

Zu meiner Frage, gab es Ihrer Einschätzung nach eine Zunahme von Downbursts über einen längeren Zeitraum gesehen? Zum Beispiel seit den letzten 40 Jahren seit der Einführung des Begriffs der Downbursts, ob es da eine Zunahme allgemein der Downbursts gab?

Andreas Prein

In der Schweiz?

Levin

In der Schweiz, ja.

Andreas Prein

Man weiß es nicht. Das ist wirklich eine offene Forschungsfrage, genau aus den Gründen, die Sie nannten. Die ganzen Sturmarchive, die gibt es relativ kurz erst. Teilweise gibt es dann auch Zeitungsberichte von Downbursts aus früheren Zeiten, aber die sind wirklich sehr sporadisch und individuell. Da gibt es Riesenlücken dazwischen.

Man hat keinen guten Überblick, wie oft Downbursts wirklich auftreten, würde ich sagen. Von dem her ist unsere beste Chance, wirklich das mit Modellen zu probieren, das zu verstehen. Oder zu warten und die Archive wirklich gut weiterzuführen in die Zukunft und dann zu versuchen zu verstehen, wie sich das ändert.

Oder auch das Monitoring von den Ereignissen zu verbessern. Das könnte man zum Beispiel mit Remote Sensing machen. Bei Downbursts gibt es oft relativ klare Schadensmuster, wenn die zum Beispiel über Wald auftreten.

Aber..., ja es ist eine offene Forschungsfrage. Ich kann nur sagen, in den USA, das Paper, das ich geschrieben habe, da waren zumindest vom Modell her null Downbursts dabei. Das war einfach so ein Makroburst und wirklich dann Derechos.

Das sind größere Ereignisse, die wir sehr, sehr selten haben in Europa.

Levin

Dann kommen wir schon zu meiner letzten Frage, die ein bisschen ein anderes Thema ist. Und zwar: werden Downbursts aufgrund des Klimawandels stärker in der Intensität, also bezüglich der Windgeschwindigkeiten?

Andreas Prein

Theoretisch ja, würde ich sagen.

Also einfach aus thermodynamischen Gründen wahrscheinlich. Aber wie gesagt, auch das ist noch eine relativ offene Forschungsfrage. Also Downbursts und Klimawandel oder generell Gewitterstürme und Klimawandel ist ein relativ junges Forschungsgebiet.

Und wie Sie sagen, also die Datengrundlage, auch die Beobachtungsdaten sind relativ spärlich. Die Modelle haben Probleme, die zu simulieren. Also von dem her theoretisch ja, ob es dann wirklich so ist... .

Weil einfach wirklich viele Phänomene zusammenkommen müssen, um einen Downburst zu erzeugen. Von dem her, das wird es hoffentlich, werden wir in den nächsten paar Jahren mehr darüber wissen. Ich weiß nicht, ob Sie das mitbekommen haben: letzte Woche war die Veröffentlichung vom neuen Klimasachstandsbericht in der Schweiz. Wenn Sie den einmal ansehen, da steht null drin über Downbursts oder Gewitterstürme. Da stehen die Superzellen drin und da steht Hagel drin, Niederschlag, aber Windstürme kommen da dezidiert nicht vor. Und das ist wirklich ein Forschungsgebiet, das wir, also die Lücke wollen wir hoffentlich schließen bis zum nächsten Bericht. Aber das ist in sieben Jahren.

Also wir hoffen, dass wir da Vorstritte machen. Aber momentan sind da relativ viele Fragezeichen.

Levin

Okay, das ist spannend.

Ich habe das mitbekommen in den Zeitungen und ich habe auch so ein ausgedrücktes Meteo-Schweiz-Heftchen.

Andreas Prein

Die Broschüre?

Levin

Ja, ja, ja. Genau, die habe ich.

Andreas Prein

Da steht nichts über Gewitter drin.

Levin

Nein, da steht vor allem drin, dass es weniger Schnee gibt.

Andreas Prein

Genau, weniger Schnee. Die Hitzetage, so gesagt, Extreme Niederschläge. Aber ja, mit so konvektiven Ereignissen. Der Hagel steht drin, aber da müssten Sie wahrscheinlich den ganzen Report anschauen. Das ist ein neues Kapitel, das diesmal dabei ist. 2018 war das noch nicht.

Das ist Hagel und die Superzellen von Monika (Feldmann). Die Studie ist da auch mit drin. Aber wirklich nur am Rande.

Das ist ganz früh, dass wir auf die Sachen jetzt anschauen können überhaupt im Klimawandel-Kontext.

Levin

Ja, das ist auf jeden Fall ein spannendes Thema. Ich merke auch durch alle Interviews, dass man ein bisschen was weiß. Aber dann meistens ist es so, ja, das habe ich erforscht und das ist noch alles offen und so.

Andreas Prein

Ja, Sie könnten natürlich auch, ich weiß nicht, ob Sie die IPCC-Reporte kennen.

Levin

Ja, ich bin einen, glaube den 2021 in meiner Recherche einfach mal durchgegangen. Ich habe etwas zu Severe Wind gefunden, aber dann stand immer nicht aussagekräftig, nicht aussagekräftig und so.

Andreas Prein

Ja, das ist genau der Forschungsstand.

Da haben Sie sich jetzt wirklich ein super aktuelles Forschungsthema ausgesucht für die Matura Arbeit, aber auch ein schweres, weil einfach relativ wenig Forschung auf dem Betrieb, auf dem Gebiet betrieben worden ist und dass es einfach ein wirklich ein schweres Gebiet ist, dadurch, dass das so ein kleinskaliger Prozess ist.

Levin

Ja, aber ich hatte jetzt das vierte.

Ich habe schon gute Resultate erhalten, vor allem zu den ersten Fragen mit dem, welche Prozesse sich verändern und so. Ich werde sicher ein cooles Resultat dann rauskriegen. Das ist sehr cool.

Andreas Prein

Auf jeden Fall. Ich will ja nicht das demotivieren. Es gibt einfach sehr viele Unsicherheiten. Das ist dann wahrscheinlich auch gut, wenn Sie dann einfach aufzeichnen, dass man sagt, es gibt auch viel zu erforschen und das sind die Dinge, die man noch weiter erforschen möchte. Das ist eigentlich bei Forschung immer der Fall. Es gibt immer mehr zu tun.

Levin

Genau. Ich habe noch eine Abschlussfrage. Gibt es irgendwas, das Sie jetzt noch ergänzen wollen, das Ihnen zu dem Thema spontan einfällt oder irgendwelche Anmerkungen?

Andreas Prein

Ah, vielleicht wirklich das, dass wir, wie gesagt, Monika wird das wahrscheinlich vielleicht ein bisschen mehr besprechen, das Projekt, das sie jetzt bewilligt bekommen hat, an dem sie arbeitet, an Superzellen im Alpenraum.

Wir in meiner Gruppe, wir haben vor, jetzt wirklich viele Simulationen zu machen auf relativ hoher Auflösung, also circa die Auflösung, die Meteo Schweiz benutzt für Vorhersagen. Und

da hoffen wir wirklich, dass wir da mehr herausfinden können, wie starke Gewitter sich verändern werden mit dem Klimawandel. Downburst wird ein schwieriges Thema bleiben. Auch die Modelle, die immer mit Downburst Probleme haben. Aber zumindest vielleicht mit größeren Gewitterstürmen könnten wir ein bisschen mehr sagen..

Levin

Genau, danke. Danke vielmals für das Interview.

b. Transkript Christian Matthys

(Es wurde vereinbart, sich zu dutzen)

Levin

Gut, ich wechsele auf Hochdeutsch und würde mit dem Interview beginnen. Ich mache jetzt eine kurze Einleitung und dann gehen wir zu den Fragen über.

Ich bin Levin Zeunert, ich bin an der Kantonsschule Uster und wir machen gerade alle unsere Matura-Arbeiten. Und ich mache meine Matura-Arbeit über das Thema der Einfluss des Klimawandels auf Downbursts. Und ich mache jetzt halt verschiedene Interviews mit verschiedenen Personen und dann kann ich so meine Fragestellung beantworten. Das Interview geht jetzt ungefähr 30 Minuten. Ich hatte schon zwei Interviews, die wurden relativ genau eine halbe Stunde, deswegen sollte das ungefähr gut sein.

Genau, dann meine erste Frage an dich ist, kannst du dich kurz vorstellen, deinen beruflichen Hintergrund und deine Tätigkeit in diesem Bereich erläutern?

Christian Matthys

Genau, ich bin Christian Matthys, ich bin tätig in der Softwarebranche, ich entwickle für eine Versicherung in der Schweiz Software. Privat befasse ich mich mit Gewittern, Schwergewittern, Stürmen, Superzellen und Tornados schon seit mehr als 20 Jahren.

Das ist meine grosse Leidenschaft. Und ich habe das Sturmarchiv Schweiz gemacht, weil es bisher keine einheitliche Erfassung und Dokumentation über diese Phänomene gab, über Stürme und Tornados in der Schweiz und weil ich eine Basis für die Forschung und Wissenschaft wollte und weil es mich sehr interessiert, auch privat. Und seit etwa mehr als 10 Jahren werde ich da unterstützt von Kai Kobler. Also wir machen das zu zweit und genau das ist eigentlich mein Hintergrund.

Levin

Genau. Ich war auch schon auf der Webseite, die ist cool, ich habe da ein bisschen rumgeschaut.

Meine erste Frage ist: Welche Prozesse, welche für die Bildung von Downbursts verantwortlich sind, verändern sich mit dem Klimawandel?

Christian Matthys

Also, wie du ja weisst, entstehen Downbursts aus Gewitterzellen, hauptsächlich, manchmal auch aus Schauerzellen, aber vor allem aus Gewitterzellen. Und die starken oder schadens-trächtigen Downbursts, die entstehen praktisch ausnahmslos aus sogenannten Superzellen.

Jetzt eben ist die Frage, die Prozesse, die natürlich einen Downburst begünstigen oder einen starken Downburst, das hat mit der Energie zu tun, primär, in einem Gewitter. Bei einer sogenannten Superzelle ist das ja quasi maximal oder kann es maximal werden, weil das Gewitter selber noch rotiert. Durch das können ja auch andere Phänomene wie grosser Hagel, Tornados, Starkniederschläge entstehen und eben auch die Downbursts, diese Fallböen, von oben nach unten.

Einerseits ist der Wind schadensträchtig, aber auch die Menge an Wasser, die bei einer Fallböe runterkommt. Wenn natürlich eines der beiden, also entweder die Windgeschwindigkeit oder auch die Menge an Wasser pro Sekunde zunimmt, die möglich ist, und da werden wir sicher darauf zukommen im weiteren Gespräch betreffend Klimawandel, dann sind natürlich diese Prozesse verstärkt. Es handelt sich ja um einen Fallwind.

Levin

Die zweite Frage hast du schon ein bisschen angedeutet, und zwar wie häufig kommen in Verbindung mit Superzellen Downbursts vor?

Christian Matthys

Ich persönlich würde eigentlich fast behaupten, dass bei jeder Superzelle ein Downburst vorkommt. Das kommt natürlich ein bisschen auf die Definition an. In der Regel spricht man von Downbursts, wenn es Orkanböen gibt, also Böen grösser als 120 km pro Stunde.

Das kommt bei einer Superzelle relativ schnell und einfach vor. Ich würde behaupten, fast bei jeder Superzelle gibt es einen Downburst. Der ist aber natürlich nicht immer schadensträchtig.

Es kommt natürlich immer auch darauf an, wo er stattfindet. Wenn er in einer Stadt stattfindet, können grössere Schäden auftreten. Das Problem ist, dass es keine systematische Erfassung oder Dokumentation dieser Schäden gibt.

Auch auf dem Radar wird ein Downburst oder nur schon eine Superzelle nicht einfach identifiziert. Das muss jemand manuell, indem er das Radar konsultiert, kann er vermuten, dass es vermutlich eine Superzelle ist. Aufgrund der Schäden kann man sagen, wie die Schäden ausgesehen haben, wie die Bäume gefallen sind, in welche Richtung usw. Vielleicht hat man Videoaufzeichnungen davon, dass es ein Downburst ist.

Zurück zur Frage, wie oft kommt ein Downburst vor? Ein schadensträchtiger, relevanter Downburst kommt relativ schnell und einfach vor bei einer Superzelle, meiner Meinung nach.

Levin

Meine nächste Frage schließt an diese Frage wieder an.

Ich weiß nicht, ob Sie etwas von der folgenden Studie mitbekommen haben oder sie gelesen haben. Es gibt eine Studie von Monika Feldmann, unter der Leitung von ihr, die herausgefunden hat, dass im Alpenraum eine 52%ige Zunahme von Superzellengewittern zu erwarten ist, bei einer Temperaturzunahme von 3 Grad.

Erwarten Sie dadurch, dass die Superzellengewitter stark ansteigen, eine starke Zunahme der Downbursts hier im Alpenraum?

Christian Matthys

Die kurze Antwort ist ja, das erwarte ich.

Die Erklärung ist, dass es eine interessante Studie ist. Ich habe zwar nur den Medienbericht gelesen, es macht aber eigentlich alles Sinn.

Einerseits, wenn durch den Klimawandel die Temperatur steigt, steigt die Luftfeuchtigkeit, es kann mehr Wasser in der Atmosphäre gespeichert werden.

Das weiss man auch schon von anderen Studien, dass auch Gewitter häufiger werden und in ihrer Intensität stärker werden. Dies betrifft natürlich auch Superzellen, weil Superzellen eine spezielle Art von Gewittern sind. Das heisst, ich gehe auch davon aus, dass Superzellen, wenn sie auftreten in der Zukunft «wilder» oder stärker in der Intensität, auch gefährlicher.

Die Häufigkeit ist eine interessante Frage, weil Gewitter werden sicher häufiger auftreten, aber ob Superzellen auch häufiger auftreten, war bislang umstritten. Das ist eine interessante Studie von Frau Feldmann, wo sie gesehen hat, dass Superzellen zunehmen. Superzellen haben im Vergleich zu normalen Gewittern das Merkmal, dass sie rotieren. Die Rotation kommt von der Windscherung. Der Wind ändert sich mit der Höhe, der Windrichtung und der Windstärke. Das ist eine spezielle Konstellation, die in der Schweiz auftritt, weniger häufig als in den USA. Weil wir haben auch noch gewissen Schutz durch die Alpen, das betrifft aber mehr die Luftfeuchtigkeit.

Die Frage ist, ob diese Windscherung bzw. die Wetterlagen zunehmen, die Superzellen begünstigen. Sie hat in ihrer Studie herausgefunden, dass es 50% mehr auf der Alpen Nordseite und auf der Alpen Südseite 37% sind.

Das bedeutet, je mehr Superzellen, desto mehr potenzielle Downbursts. Ich gehe mit dir einig, dass die Vermutungen bestätigt werden, dass die Downbursts zunehmen werden. Da gehe ich stark davon aus.

Aber es ist vieles meiner Meinung nach noch unsicher. Ich denke, das ist eine Studie. Ich habe auch schon gehört, dass Superzellen eher abnehmen sollten. Das habe ich früher schon gehört, weil diese Wetterlagen mit dem starken Jetstream in der Höhe seltener werden können. Weil die Wetterlagen sind lange Zeit blockiert, aus verschiedenen Gründen und das die dann eher abnehmen sollten.

Für mich ist es eine interessante Studie. Es war für mich ein bisschen neu, dass die Superzellen zunehmen könnten. Ich dachte bisher immer, aber ich habe keine richtigen Studien gesehen, dass es eher so sein könnte, dass es abnimmt.

Von dem her, wenn die Superzellen zunehmen, werden ganz sicher die Downbursts zunehmen. Es werden auch Hagelfälle zunehmen, die Anzahl der Tage mit grossem Hagel. Und auch mehr Tornados wird es geben in der Schweiz.

Levin

Spannend, ja, mit den Tornados. Dann zu meiner nächsten Frage. Haben Sie mein Word-Dokument geöffnet? Da habe ich ein Diagramm erstellt von Ihrer Webseite.

Mir ist jetzt bewusst, dass es nicht wirklich das aussagekräftigste ist. Nicht alle Downbursts wurden da verzeichnet, wenn es keine grossen Schäden gab. Es war ein relativ kurzer Zeitraum, aber ich habe es trotzdem mal erstellt.

Und es hat keine Zunahme, keine Abnahme gezeigt. Es war relativ zufällig.

Zu der Frage, gab es Ihrer Einschätzung nach, eine Zunahme von Downbursts über einen längeren Zeitraum gesehen, z.B. seit der Begriff des Downbursts 1985 eingeführt wurde.

Christian Matthys

Ja, wie du richtig erwähnt hast, ist das ein ganz wichtiger Hinweis, dass die Datenlage in sehr schwach ist diesem Bereich. Auch im Bereich Tornados, aber besonders im Bereich Downbursts. Nicht nur wegen der Begriffseinführung, sondern auch weil es früher kein Radar gab. Früher wurden Schäden nicht verbreitet. Es ist natürlich klar, dass es vor 200 Jahren vielleicht eine Meldung gab, in einem extremen Fall. Wenn es sehr lokalisiert ist, dann ist es nirgends dokumentiert.

Es ist wirklich schwierig zu sagen, ob es eine Tendenz gibt. Meiner Meinung nach kann man das anhand dieser Daten nicht sagen. Ich persönlich habe auch nicht das Gefühl gehabt, dass es die Tendenz zunimmt.

Betreffend Tornados ist es ähnlich. Dort hat man einen grösseren Zeitraum. Ich mache den Vergleich zu Downbursts. Weil bei Tornados ist es ein bisschen einfacher anhand der Schäden zu identifizieren. Es gibt auch die Möglichkeit von Videomaterial. Es ist viel einfacher, das zu identifizieren, meiner Meinung nach, als bei einem Downburst.

Wenn es Waldschäden gibt, kann es sein, dass es das nicht in die Nachrichten geschafft hat und deswegen undokumentiert ist. Anhand der Daten kann man meiner Meinung nach nicht sagen, ob es eine Zunahme gab oder nicht.

Mit dem Sturmarchiv kann man sicher in 10, 20, 30 Jahren bessere Aussagen darüber machen. Das ist der Grund, weshalb das Sturmarchiv existiert.

Es gibt auch ähnliche Projekte bei Meteo Schweiz oder der Uni Bern. Climhist braucht eine gewisse Zeitreihe, damit man aussagekräftige Aussagen treffen kann.

Levin

Meine letzte Frage:

Vermutest du, dass Downbursts stärker werden aufgrund des Klimawandels, bezogen auf die Windgeschwindigkeit?

Christian Matthys

Davon gehe ich aus. Die Windgeschwindigkeit wird bestimmt durch die Menge an Wasserdampf oder Wasser, welches durch das Gewitter heruntergerissen wird. Einerseits.

Andererseits auch durch die Windgeschwindigkeit in der Höhe, die in diesem Fall auch nach unten gelenkt wird. Und ich gehe schon davon aus: Die Grundzutat für ein Gewitter ist der Wasserdampf. Es wird mehr Energie in der Atmosphäre sein.

Die Gewitter werden in der Intensität stärker sein. Das ist eigentlich viel unbestrittener. Die Häufigkeit von Superzellen war noch umschritten, aber die Intensität eines Superzellengewitters mit mehr Wasserdampf in der Atmosphäre wird sicher stärker sein.

Deswegen gehe ich davon aus, dass Downbursts stärker sein werden. In der Intensität, ja. Aber wie gesagt, ich bin auch kein Wissenschaftler. Ich habe auch keine Studien durchgeführt. Aber das ist meine persönliche Einschätzung, genau.

Levin

Zu meiner Abschlussfrage.

Gibt es noch etwas, das du ergänzen möchtest, das dir aufgefallen ist?

Christian Matthys

Nein, nicht direkt. Es ist auf jeden Fall ein spannendes Thema. Es freut mich natürlich, dass du das zum Thema machst bei deiner Matura-Arbeit.

Ich weiss nicht, ob du das mitbekommen hat, gesehen hast im Sturmarchiv. Es gab vor ein paar Jahren hier im Raum Zürich einen sehr bedeutenden Sturmarchiv. Es war eine Serie von Downbursts gewesen. Das fand ich einen sehr spannenden Fall. Den habe ich analysiert. Im Sturmarchiv ist es leider noch nicht richtig dokumentiert.

Das müsste ich mal nachholen bei dieser Gelegenheit. Auf jeden Fall war es sehr spannend, weil diese Superzelle sich in Südfrankreich entwickelt hat. Sie ist Hunderte von Kilometern gereist. Es gab immer wieder ein wenig Hagel und ein paar kleinere Downbursts. Aber der Höhepunkt war wirklich direkt vor dem Eintreffen bei der Stadt Zürich.

Also kurz bei Wittikon. Beim Üetliberg ist das der Höhepunkt gewesen. Tatsächlich hat es auch grosse Schäden hier gegeben.

Beim Höggerberg zum Beispiel. Auch in Altstätten. Und auch in Rümlang. Da war meiner Meinung nach die grösste Windgeschwindigkeit bei dieser Scheune. Aufgrund dessen habe ich geschätzt, dass die Windgeschwindigkeiten bis 180-190 km pro Stunde betragen haben müssen. An dieser Stelle, was auch bei einem Downburst selten ist.

Das ging dann noch ein bisschen weiter bis Winterthur. Dieser Fall ist sicher ein interessantes Beispiel, wenn man das näher untersuchen möchte. Man kann mich auch gerne darüber fragen.

Ich kann da Informationen, Fotos usw. geben, wenn das gewünscht ist.

Levin

Genau, wenn ich Bedarf habe, komme ich auf Sie zurück. Ich glaube, Sie haben ein Interview mit dem Tagesanzeiger gegeben. Ich glaube, ich habe da mal eins gelesen.

Chrisitan Matthys

Das stimmt.

Levin

Ja, ich glaube, das habe ich gelesen. Diese Serie von Downbursts war der Grund, wie ich zu meiner MA gekommen bin. Ich habe das gelesen und wollte das analysieren.

Irgendwann habe ich gemerkt, dass es ein bisschen anders ist. So kam ich zu diesem Thema.

Christian Matthys

Ja, genau. Weil das Thema Klimawandel und Einfluss auf Downbursts ist Gegenstand der Forschung. Das ist tatsächlich noch ein Thema, wo man etwas erfahren kann und erforschen kann. Anstatt eben einen einzelnen Fall zu analysieren und zu dokumentieren.

Ja, das gab es schon viel. Aber ich finde es eine interessante Fragestellung, was es bedeutet betreffend Klimawandel. Vor allem deswegen, weil eigentlich es an vielen Orten gibt es Superzellen und Downbursts. Aber es ist überall etwas anderes. Das Mikroklima ist anders. Es sind andere Gegebenheiten.

Deswegen kann man gewisse Studien, die in Amerika durchgeführt wurden, nicht einfach auf die Schweiz anwenden. Das hat sich nur schon bei den Tornados gezeigt. Wir haben viel weniger Tornados.

Im Vergleich zu den Superzellen, die wir haben in Amerika, ist die Frequenz häufiger. Das hat jetzt bei uns zum Beispiel wegen den Alpen. Das ist der Grund. Die Alpen sind hier als Barriere. Die unterbinden vor allem den Zufuhr an feuchtwarmer Luft vom Mittelmeer. Wenn die Alpen

nicht wären, hätten wir viel mehr Superzellen, Tornados, Gewitter, all das. Durch den Klimawandel, das sowieso stärker wird, da muss nicht mal ein direkter Zustrom vom Mittelmeer kommen, dort wird der Schutz der Alpen etwas kompensiert. Es ist wirklich sehr interessant, was hier gilt.

Betreffend Studien, betreffend das Wetter, muss nicht unbedingt gleich anwendbar sein wie in Frankreich, Italien oder irgendwo anders. Die Windscherung bei uns, das wollte ich noch sagen, ich habe auch diese Grafik gesehen von der Frau Lehmann. Es ist so im Alpenraum, Nord- und Osteuropa könnte es eine Zunahme geben.

Und ich glaube, das mit dem Alpenraum hat auch damit zu tun, dass wir wegen den Bergen auch sehr viele Möglichkeiten haben, dass der Wind abgelenkt wird, dass die Windscherung beeinflusst wird. Und das betrifft natürlich auch die Superzellen. Das müssen wir noch genauer anschauen, weshalb gerade dieser Bereich von Europa.

Levin

Ja, damit wäre ich am Schluss. Vielen Dank für das Interview, es war sehr spannend.

Christian Matthys

Danke auch dir für die Einladung und ich wünsche dir viel Glück.

c. Transkript Killian Brennan

(Es wurde vereinbart, sich zu dutzen)

Levin

Ja, perfekt. Gut, ich würde eine kurze Vorstellung machen und dann können wir zu dem richtigen Teil des Interviews übergehen.

Killian

Perfekt.

Levin

Ich bin Levin, Levin Zeunert, ich bin an der Kantonsschule Uster und wir machen gerade alle unsere Matura-Arbeiten und ich mache meine zum Thema Einfluss des Klimawandels auf Downbursts. Im Rahmen dieser MA mache ich jetzt dieses Interview. Ich mache mehrere Interviews mit ganz vielen Personen. Genau.

Im Verlauf des Interviews würde ich jetzt einfach über die Einflüsse von dem Klimawandel und unter anderem Superzellen in Verbindung mit Downbursts reden und ihre Meinung als Experte dort hören. Das Interview dauert ungefähr 30 Minuten.

Meine erste Frage an Sie, kannst du dich kurz vorstellen und sagen, was dein beruflicher Hintergrund ist und wie du in diesem Bereich tätig bist?

Killian

Ich bin Killian Brennan, ich habe an der ETH Umweltnaturwissenschaften studiert und dann mit Vertiefung Atmosphäre und Klima den Master gemacht und habe dann auch an der ETH doktortiert. Dort habe ich Hagelstürme in Wetter- und Klimasimulationen angeschaut und in einem grossen Projekt mitgearbeitet. Im Rahmen dieses Projektes haben wir auch Klimasimulationen durchgeführt, spezifisch um den Einfluss des Klimawandels auf Hagelstürme in Europa anzuschauen.

Jetzt bin ich Postdoc an der Uni Bern in einem Projekt, in dem wir Niederschlagseffizienz anhand von Satellitenmessungen von stabilen Wasserisotopen berechnen wollen.

Levin

Dann habe ich eine Einstiegsfrage direkt...

Killian

Darf ich dich noch kurz fragen, mit wem sprichst du sonst noch?

Levin

Mit Monika Feldmann. Zuerst dachte ich, mit ihr geht es nicht, weil sie in den Ferien ist oder so, aber jetzt geht es doch. Dann eines mit Christian Matthys. Er hat die Webseite «Sturmarchiv Schweiz» aufgebaut und ist Tornadoforscher. Dann habe ich noch mit Willi Schmid geredet. Das war mein erstes Interview. Er ist Atmosphärenphysiker und war an der ETH. Dann mit Andreas Prein. Er ist Professor an der ETH. Genau, mit dir (Killian Brennan). Das war es dann.

Killian

Cool. Also hast du vermutlich schon gute Antworten erhalten.

Levin

Ich hatte erst ein Interview mit Willi Schmid. Das ist jetzt das zweite.

Killian

Dann erhältst du sicherlich noch gute Antworten. Zumindest von den Leuten, die ich kenne.

Levin

Okay cool, ich werde ja dann sehen, wie es ist. Dann meine erste Frage.

Welche Prozesse, welche für die Bildung von Downbursts verantwortlich sind, verändern sich mit dem Klimawandel?

Killian

Vielleicht zuerst. Was ist wichtig für den Downburst? Erstens musst du Hydrometeore in die Höhe bringen, die dann, wenn sie runterkommen, Luftpakete nach unten beschleunigen können. Das geschieht vor allem durch die Verdunstung dieser Hydrometeore. Das können Regen, Schnee oder Eis in Form von Graupel oder Hagel sein. Je mehr Hydrometeore du in die Höhe bringst, desto mehr fallen sie runter und desto mehr potenzielle Verdunstung hast du, die dann das Luftpaket abkühlen kann und diese negative Buoyancy generieren kann, die den Downburst antreibt.

Der weitere Einfluss, den du hast, ist der Einfluss der Umgebungsluft. Wenn die Umgebungsluft, die deinen Downdraft, bzw. deine herunterfließende Luft umgibt, sehr trocken ist, dann begünstigst du auch die Verdunstung dieser Hydrometeore. Dann hast du mehr Verdunstung, mehr Abkühlung der sinkenden Luftmasse, was dann auch die Beschleunigung vorantreibt.

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel, was relativ klar ist, dass du stärkere Aufwinde generieren kannst. Wenn du wärmere Luft hast, kann diese mehr Feuchtigkeit aufnehmen. Pro Grad sprechen wir von rund 7 % mehr Feuchtigkeit, die ein Luftpaket aufnehmen kann.

Beim Aufstieg, wenn die Feuchtigkeit in flüssiges Wasser kondensiert, wird das Luftpaket wärmer und kann den Aufstieg des Luftpakets vorantreiben. Je wärmer die Luftmasse ist und je mehr Feuchtigkeit sie aufnehmen kann, desto mehr potenziell kann ein Sturm stärkere Aufwinde generieren. Mit dem stärkeren Aufwinden bringst du mehr Hydrometeore in die Höhe, die dann herunterfallen können und potenziell einen Downdraft oder Downburst generieren können.

Da ist die Verknüpfung mit dem Klimawandel eigentlich sehr klar. Du würdest mit einer höheren allgemeinen Temperatur erwarten, dass du mehr Feuchtigkeit reinbringst und einen stärkeren Sturm erwartest, was dann einen stärkeren Downburst zur Folge hätte. Was etwas weniger klar ist und da habe ich auch noch kurz reingeschaut, weil das nicht unbedingt mein Fachgebiet ist. Was sich auch denke ich auch abzeichnet, ist, dass mit dem Klimawandel die mittlere Troposphäre tendenziell etwas trockener wird. Zumindest nicht in absoluter Feuchtigkeit, aber in relativer Feuchtigkeit.

Das heisst, du hättest dann mehr Potenzial für die Verdunstung der Hydrometeore, was dann auch die Stärke des Downdrafts begünstigen könnte. Das sind die zwei Punkte, wenn das deine Frage beantwortet.

Levin

Ja, das ist sehr gut. Die zweite Frage ist ein bisschen vorgelagert zur dritten Frage...

Killian

Sorry, wenn ich dich unterbreche. Ich weiss nicht, welche Quellen du da schon kennst, aber ich kann dir sonst auch im Anschluss, was ich gerade so kurzfristig gefunden habe, dir noch schicken. Vielleicht hast du was dabei, was du noch nicht hast.

Levin

Das wäre cool, ja. Ich habe schon einiges angeschaut, aber ich weiss noch nicht so ein Riesensbild. Das wäre cool, ja. Danke.

Dann die zweite Frage.

Wie häufig kommen Downbursts in Verbindung mit Superzellen vor?

Killian

Ich habe auch noch kurz nachgeschaut und ich glaube, ich habe nichts gefunden, was diese Frage sehr allgemein beantwortet. Die Studien, die es gibt, beantworten diese Frage nur in kleinen Regionen. Ich glaube, ich habe eines gefunden in Kanada und das ist auch nur ein Preprint.

Ich würde mal erwarten, dass die starken Abwinde... Also generell, wenn du einen sehr starken Downdraft willst, dies vielfach auch in Verbindung mit einem starken Aufwind passiert. Und die stärksten Aufwinde findest du eigentlich im Rahmen einer Superzelle.

Also würde ich rein aus dieser Logik erwarten, dass die stärksten Downdrafts auch in Verbindung mit einer Superzelle vorkommen und dann auch relativ häufig in Verbindung mit Superzellen in Erscheinung treten. Es gibt diesen Rear-Flank-Downdraft und es kommt natürlich auch noch darauf an, wie du Downbursts genau definierst und ob du einen Rear-Flank-Downdraft einer Superzelle als Downburst klassifizieren möchtest oder nicht. Oder ob du die Studie von Andreas (Prein) auch gefunden hast, wo er den Einfluss des Klimawandels auf Straight-Line-Winds anschaut, die mit Wirbeln zusammenhängen.

Ich weiss nicht, ich würde erwarten, dass wahrscheinlich nicht alle Signale von seiner Studie von Downbursts sind, aber ich würde mal erwarten, dass dort schon auch Downbursts mit drin sind. Es kommt dann auf die genaue Definition der verschiedenen Aspekte darauf an und zum Beispiel ab welcher Geschwindigkeit du ein Windereignis als Downburst klassifizieren würdest oder nicht. Wenn du diesen Grenzwert sehr tief setzt oder wenn es einfach einen Fallwind gibt, der aber nicht so stark ist und du sagst, das ist ein Downburst, dann wirst du einen grossen Anteil dieser schwachen Downbursts auch mit schwachen Gewittern in Verbindung setzen können.

Das würde dann die Antwort auf diese Frage beeinflussen. Darum wäre es wichtig, hier genau zu definieren, was die verschiedenen Sachen sind.

Levin

Okay.

Bis jetzt habe ich mich noch nicht so genau mit der Definition, die ich nachher verwenden werde, auseinandergesetzt.

Killian

Ich bin auch kein Experte auf Downbursts und weiss nicht, was geläufig ist hier, damit etwas als Downburst klassifiziert ist. Wahrscheinlich wird es ein relativ starker Wind sein, der auch Schaden produzieren kann, der als Grenzwert verwendet wird. Nehme ich mal an.

Levin

Ich glaube, ich habe keinen unteren Grenzwert gefunden. Ich habe nur gesehen, dass ein Downburst relativ allgemein als Fallwind beschrieben wird.

Killian

Genau. Das ist dann ein Problem, wenn du so eine Frage beantworten möchtest oder wenn du da keine genauen Grenzwerte hast. Dann wird es schwierig, die Frage zu beantworten, wie häufig tritt man das im Rahmen einer Superzelle auf oder eben nicht.

Levin

Es ging mir bei der Frage eher darum, ob es überhaupt einen Zusammenhang gibt. Zu meiner nächsten Frage. Sie haben auch an der Studie von Monika Feldmann mitgearbeitet, welche die Zunahme der Superzellengewitter im Alpenraum untersucht hat.

Erwarten Sie durch die Zunahme der Superzellengewitter dann auch eine Zunahme der Downbursts hier im Alpenraum?

Killian

Das geht ein bisschen darauf zurück, was ich vorhin gesagt habe. Ich würde erwarten, dass ein gewisser Anteil von Superzellen von Downbursts begleitet wird. Wenn es mehr Superzellen gibt, würde ich auch erwarten, dass dies mit mehr Downbursts einhergeht.

Das Problem ist, wir haben nicht in dieser Studie spezifisch die Downbursts angeschaut. Das Problem ist, dass dort die Auflösung des Modells, das wir verwendet haben, ein Limit ist, um solche Prozesse anzuschauen. Vielleicht hat Andreas (Prein) noch ein bisschen mehr dazu zu sagen, ob ein 2-Kilometer-Modell hochaufgelöst genug ist, um solche Prozesse anzuschauen.

Levin

Ich bin mit der Antwort schon total zufrieden. Das ist sehr detailreich, danke. Dann zu meiner nächsten Frage.

Ich hatte ein Diagramm in meinem World-Dokument eingefügt, haben sie das gesehen?

Killian

Genau, ja

Levin

Ich habe das Diagramm für 16 Jahre erstellt. Das ist jetzt nicht wirklich aussagekräftig, da es ein sehr kleiner Zeitraum ist. Ich weiß auch nicht, ob wirklich alle dort (Sturmarchiv Schweiz) datiert waren. Aber mit dem, was ich gemacht habe, habe ich gesehen, dass es sehr willkürlich ist und keinen Anstieg oder Abstieg gegeben hat.

Gibt es jetzt deiner Einschätzung nach, über einen längeren Zeitraum, zum Beispiel seit der Begriff des Downbursts eingeführt wurde bis jetzt, eine Zunahme? Oder warum nicht?

Killian

Ja, genau. Du hast diesen Plot geschickt. Das sind einfach Daten von dem Sturmarchiv Schweiz. Das Problem ist dort, dass es auf freiwilligen Einträgen basiert. Das Problem ist dort, dass in 2009 vermutlich weniger User auf dieser Plattform waren als jetzt. Dann hast du ein bisschen einen Bias dort, weil du plötzlich mehr Leute hast, die solche Einträge machen können.

Das ist dann ein kleines Problem. Abgesehen davon basieren diese Einträge vermutlich entweder auf Schadensbildern oder von beobachteten Downbursts. Und dort hast du immer das Problem, dass das nicht eine repräsentative Wiedergabe aller Downbursts, die in der Schweiz geschehen, ist. Du wirst natürlich nur die Downbursts in dieser Liste haben, die auch im besiedelten Gebiet geschehen. Abgesehen davon hast du auch sehr kleine Zahlen dort.

Levin

Wirklich sehr kleine Zahlen, ja genau.

Killian

In jedem Jahr weniger als 10 Downbursts. Ich vermute stark, dass es mehr Downbursts pro Jahr gibt, als auf dieser Liste drauf sind. Dort ist auch das Problem mit diesem Grenzwert. Ab wann erscheint ein Downburst in dieser Liste?

Es ist cool, dass du diese Analyse gemacht hast, aber ich würde nicht allzu viel dort reinlesen. Ausserdem ist auch der Zeitraum knapp mit 16 Jahre. Das ist auch eher kurz für eine Trendanalyse.

Die andere Frage ist, ob es einen Trend in den letzten 40 Jahren gibt. Basierend auf anderen Studien, zum Beispiel Studien von Lena Wilhelm, die anschauen, wie sich die Frequenz der Hageltage in der Schweiz verändert. Da sehen wir eine klare Zunahme seit 1970 in der Anzahl jährlicher Hageltage.

Das wird sicherlich nicht eins zu eins skalieren, aber die Bedingungen, die du brauchst, um einen Downburst zu kreieren, werden vermutlich sehr ähnlich sein wie die für Hagelgewitter. Dann würde ich mal dort starten und von dort aus weiterschauen.

Levin

Danke. Kurze Anmerkung noch. Ich hatte ganz am Anfang meiner Recherche dieses Diagramm erstellt. Irgendwann ist es mir aufgefallen, dass es ziemlich unnötig ist. Das sagt mir nicht so viel, weil es ziemlich sicher nicht alle Daten hat. Aber ich dachte, ich packe es einfach trotzdem mal in das Dokument.

Killian

Ja, auf jeden Fall.

Levin

Dann zu meiner nächsten Frage:

Werden Downbursts aufgrund des Klimawandels stärker in ihrer Intensität? Beziehungsweise werden die Windgeschwindigkeiten höher?

Killian

Diese Frage ist ein bisschen ähnlich. Besser gesagt, ich glaube, ich habe einen Teil dieser Frage schon bei Punkt 1 beantwortet. Meine Einschätzung wäre, dass die Downbursts stärker werden im Zuge des Klimawandels.

Wegen den Prozessen, die ich bei Punkt 1 angedeutet habe. Einerseits, dass du stärkere Aufwinde hast und mehr Hydrometeore in der Höhe hast, die dann runterkommen müssen. Und das zusammen mit trockener Luft in der Höhe.

Schon wenn du das nicht hast, hättest du stärkere Abwinde, weil du mehr Hydrometeore in der Höhe hast. Wir sehen zum Beispiel auch bei extremen Niederschlagsereignissen, dass diese auch zunehmen. Mit einem 3 Grad Klimawandelsignal würden extreme Ereignisse von stündlicher Zeitskala nehmen etwa 100 % zu, also Faktor 2. Ich würde erwarten, dass Downbursts ähnlich skalieren.

Ich würde auch mal bei Andreas Preins Studie nachschauen, wie das dort die Straight-Line-Winds skalieren mit dem Klimawandel. Dort sieht er auch ein positives Signal, soweit ich es im Kopf habe.

Wir haben auch in unseren Klimasimulationen im Umfeld von Hagelstürmen angeschaut. Ich glaube, die Zunahme war weniger als 10 % in der Windgeschwindigkeit für ein 3 Grad Klimasignal. Das ist jedoch wahrscheinlich nicht die beste Perspektive, um so etwas anzuschauen. Ich würde Andreas Paper als Anfangspunkt verwenden.

Levin

Okay, danke vielmals. Dann wäre ich mit meinen Fragen schon durch.

Danke, dass du diese so gut beantwortet hast. Gibt es noch etwas, das du ergänzen möchtest oder das dir aufgefallen ist?

Killian

Ich glaube nicht ultraspezifisch. Ich frage mich, wieso Downbursts noch nicht so explizit angeschaut worden sind. Im Rahmen des Klimawandels zumindest. Ich glaube vermutlich, ein Problem mit der limitierten Auflösung der Klimamodelle. Aber es wäre sicher interessant, dort noch mehr ins Detail zu gehen. Und dort noch weitere Forschung zu betreiben. Aber ich glaube, es wäre sicher wichtig, das auch im Detail anzuschauen, weil es einen grossen Unterschied geben könnte.

Was vielleicht auch noch spannend ist, ist, dass zusätzlich zu mehr Hydrometeoren, die Veränderung auch sensitiv ist auf die trockenere Luft in der Höhe, was du auch in anderen Prozessen beobachtetest. In anderen Prozessen kommt das vielleicht nicht so zum Vorschein, wie das bei Downbursts der Fall ist.

Levin

Danke, damit wäre ich schon am Schluss. Vielen Dank für das Interview

d. Transkript Monika Feldmann

Levin

Ich beginne mit einer kurzen Vorstellung von mir und dann gehen wir zum Hauptteil des Interviews über. Mein Name ist Levin Zeunert und ich bin an der Kantonsschule Uster, das ist mein letztes Jahr. Wir machen jetzt alle unsere Matura-Arbeiten und ich mache meine Matura-Arbeit zum Thema der Einfluss des Klimawandels auf Downbursts und im Rahmen dieser Matura-Arbeit mache ich dann eben verschiedene Interviews mit verschiedenen Experten und damit werde ich dann meine Fragestellungen beantworten.

Das Interview geht circa 30 Minuten, ich hatte jetzt schon vier Interviews, die sind immer so zwischen 20 und 30 Minuten lang gewesen.

Dann meine erste Frage an Sie direkt wäre, ob Sie sich kurz vorstellen könnten und Ihren beruflichen Hintergrund erläutern könnten und Ihre Tätigkeit in diesem Bereich.

Monika Feldmann

Mein Name ist Monika Feldmann, ich bin Postdoktorandin an der Uni Bern und habe mein Studium an der ETH Zürich abgeschlossen im Bereich Umweltnaturwissenschaften und habe mich dort auf Atmosphäre- und Klimawissenschaften spezialisiert und erst einmal mit tropischen Zyklonen gearbeitet, aber dann während dem Doktorat an der EPFL habe ich mich mehr auf Superzellen und Superzellen in der Schweiz verlagert und das auch in Zusammenarbeit mit Meteo-Schweiz gemacht.

Dort haben wir eine Klimatologie von Superzellen in der Schweiz erstellt und dann während dem Postdoktorat an der Uni Bern haben wir unter anderem diese Klimatologie dafür benutzt, ein Klimamodell zu validieren und dann mit Hilfe des Klimamodells auch zukünftige Trends auszurechnen. Ich denke, das gibt ein bisschen einen Überblick, wie ich zu diesem Thema gekommen bin und auch wie mein Hintergrund zu diesen Fragestellungen passt.

Levin

Ich gehe dann zu meiner ersten Frage direkt.

Kurz noch eine Frage. Hatten Sie Zeit, sich die Fragen kurz durchzulesen?

Monika Feldmann

Ja.

Levin

Perfekt

Monika Feldmann

Aber ich habe jetzt nichts schriftlich vorbereitet. Ich habe gedacht, es kommt vielleicht besser, wenn wir es dann einfach diskutieren.

Levin

Kein Problem. Es ist auch gar nicht nötig. Aber nur, falls man schon mal einen kleinen Überblick haben will, ist das vielleicht gut.

Meine erste Frage ist: Welche Prozesse, welche für die Bildung von Downbursts verantwortlich sind, verändern sich vermutlich mit dem Klimawandel?

Monika Feldmann

Im Prinzip verändern sich fast alle Prozesse mit den Gewitterzusammenhängen.

Und spezifisch für Downbursts sind die Windgeschwindigkeiten in der mittleren Atmosphäre relevant. Das ist immer relevant für Winde an der Oberfläche, weil es einen Transport von der mittleren Atmosphäre nach unten geben kann, von dieser Windgeschwindigkeit. Und gleichzeitig spielt hier auch eine Rolle Temperaturdifferenzen von im Sturm gegenüber außerhalb und auch Feuchtedifferenzen, gerade weil trockenere und kalte Luft, die in den Sturm hineinkommt, aus der mittleren Atmosphäre zu Verdunstung und Abkühlung führen kann, was dann eben den Downburst verursacht.

Und aus theoretischen Überlegungen geht hervor, dass die Temperaturdifferenzen größer werden und deswegen auch Downbursts stärker werden in Zukunft. Allerdings ist die aktuelle Beobachtungslage mindestens von den Studien, die wir bisher haben in der Schweiz, noch nicht so, dass man das direkt stützen kann.

Levin

Ich habe noch eine kurze Nachfrage.

Sie haben gesagt, dass die Temperaturdifferenzen größer werden. Meinen Sie jetzt innerhalb und außerhalb des Sturms?

Monika Feldmann

Ja. Hatten Sie schon das Interview mit Andreas Prein?

Levin

Ja, hatte ich schon.

Monika Feldmann

Seine Publikation zum Thema Downburst im Klimawandel geht auf gerade diese Temperaturdifferenzen ein und auch auf die Veränderung vom Vertikalprofil der Temperatur in der Atmosphäre.

Levin

Danke. Meine zweite Frage ist ein bisschen vorläufig zur dritten Frage, in der es auch um Ihre Studie geht, die jetzt vor kurzem erschienen ist.

Wie häufig kommen in Verbindung mit Superzellen Downbursts vor?

Ich meine jetzt nicht irgendwie eine genaue Prozentzahl oder so, sondern eher was im generellen Trend.

Monika Feldmann

Das ist vielleicht auch ein bisschen enttäuschend, aber das können wir tatsächlich nicht sagen. Zum einen ist die Beobachtungslage, was Winddaten angeht, deutlich schlechter als für andere Gewittergefahren.

Also zum Beispiel für Niederschlag, Hagel oder Blitze haben wir deutlich bessere Datengrundlagen als für Wind. Und dann ist auch manchmal nicht so einfach zu unterscheiden, ist es einfach eine Windböe, die zum Beispiel jetzt gerade bei einem Superzellengewitter einfach an der Front des Gewitters kommt, was eigentlich kein Downburst ist, sondern einfach eine Windböe

von dem Gewitter. Oder ist es wirklich ein Downburst? Und das klar zu unterscheiden, also wir haben quasi keinen systematischen Datensatz über alle Gewitter hinweg, der sagen würde, Downburst ja oder nein.

Florian Ackermann hat über dies das letzte Jahr seine Masterarbeit gemacht, wo er im Prinzip einfach klassifiziert hat, hat ein Gewitter starke Windböen, ja oder nein. Aber das macht auch noch nicht diese Differenz Downburst oder nicht.

Grundsätzlich haben Supercellen immer einen höheren Anteil von Naturgefahren als andere Arten von Gewittern.

Also gerade im Vergleich zu schwächeren Gewittern ist die Wahrscheinlichkeit, einen Downburst zu haben oder sehr starken Niederschlag zu haben oder großen Hagel zu haben, deutlich größer. Und viele Supercellen haben auch mehr als eine dieser Gefahren. Aber durch die Datenlage kann ich leider keinen Prozentsatz geben.

Und auch die Klimasimulation hat nicht die Daten nötig, um das einwandfrei zu klassifizieren. Wir haben hier wieder Daten über die Windböen an der Oberfläche, aber nicht, ob die von einem Downburst sind oder nicht.

Levin

Okay, ich habe immer so ähnliche Antworten erhalten. «Das ist schwer zu sagen.»

Monika Feldmann

Ich denke auch nicht, dass die anderen wirklich etwas anderes gesagt haben, weil eben das ist die Datenlage, wie sie gerade ist. Und dann können wir uns natürlich auch nicht ausdenken.

Levin

Genau, es gibt auch einfach keine Modelle, die das irgendwie darstellen können. Und das ist auch einfach schwer zu messen.

Monika Feldmann

Also, man müsste eine sehr hoch aufgelöste Simulation laufen lassen, wahrscheinlich noch höher als alles, was wir bis jetzt haben laufen lassen.

Und dann bräuchte man zeitlich so hoch aufgelöste Daten aus dieser Simulation. Das ist einfach extrem teuer, so etwas zu produzieren. Und im Endeffekt stellt sich auch die Frage, wie viel Bonus man davon hat, wirklich diese Unterscheidung zu machen, Windböe und Downburst.

Oder reicht es einfach zu sagen, es hat eine gefährliche Windgeschwindigkeit produziert?

Levin

Ja, das stimmt. Mal schauen, ob es bei der dritten Frage dann ähnlich abläuft. Ich habe ihre Studie mal überflogen, ich habe sie nicht Wort für Wort durchgelesen.

Sie haben herausgefunden, dass es bei einer Temperaturzunahme von drei Grad 52 Prozent mehr Supercellengewitter hier im Alpenraum zu erwarten sind.

Erwarten Sie dadurch, dass die Superzellengewitter hier stark zunehmen, dann auch eine Zunahme von Downbursts hier im Alpenraum?

Monika Feldmann

Das ist natürlich eine etwas spekulative Frage. Und ich werde hier auf ein paar verschiedene Aspekte eingehen.

Zum einen sind Superzellen nicht die einzigen Gewitter, die Downbursts haben können. Dafür braucht man nicht zwingend eine Superzelle. Wenn wir Superzellen allein anschauen und diese so viel häufiger werden und 50 Prozent ist eine große Zunahme, da muss ich auch noch einmal sagen, es ist für den Alpen-Nordhang, am Alpen-Südhang ist die relative Zunahme etwas kleiner.

Dann geht man auch davon aus, dass diese Gefahren, die mit Superzellen einhergehen, entsprechend häufiger werden. Für Hagelstürme wurden jetzt aber die Trends auch angeschaut, für Hagelstürme zum Beispiel mit kleinen Hagelkörnern, mit mittleren, mit größeren. Und die Trends für Superzellen sehen in etwa gleich aus wie die Trends für die Hagelstürme mit den größten Hagelkörnern.

Also im Prinzip wieder wie die stärksten Hagelstürme. Im Prinzip schaut man mit Superzellen meistens die stärksten Gewitter an. Das ist einfach tendenziell die stärkste Gewitterkategorie.

Aber die Trends sehen teilweise ganz anders aus für kleineren Hagel. Also ich glaube, für kleineren Hagel wurde gefunden, dass tatsächlich das tendenziell abnimmt. Und das betrifft einen viel größeren Anteil von allen Gewittern.

Wenn wir jetzt nochmal zurückgehen zu einfach Windböen allgemein, dann kann es sein, dass die Frequenz von Gewitterwindböen abnimmt, wenn einfach alle Gewitter abnehmen, aber dass der Anteil der allerstärksten Gewitter zunimmt und auch die absolute Anzahl der stärksten Gewitter zunimmt. Aber das ist halt nach wie vor ein sehr kleiner Teil von allen Gewittern. Also in der Schweiz haben wir festgestellt, dass Superzellen circa ein Prozent aller Gewitter sind.

Wenn dieses eine Prozent stark zunimmt, dann ist das natürlich eine Zunahme der stärksten Gefahr, aber kann immer noch eine Abnahme von Windböen und Gewittern allgemein sein.

Levin

Das ist eine spannende Überlegung. Die kam mir bis jetzt noch gar nicht so auf.

Monika Feldmann

Du hattest auch ein Interview mit Kilian Brennan, oder?

Levin

Genau, ja.

Monika Feldmann

Er hat diese Studie gemacht mit den verschiedenen Hagelkorngrößen. Da würde es sich vielleicht auch lohnen, einmal reinzuschauen, wo man eben unterschiedliche Trends sieht, je nach Intensität der Hagelstürme.

Es ist eben so, dass die schwächeren Kategorien von Hagelstürmen anzahlmäßig viel mehr Stürme repräsentieren. Wenn man alle Stürme zusammennimmt, dann dominiert der Trend von den schwächeren Stürmen. Aber wenn man sich nachher Schadensdaten anschaut, dann dominieren die stärksten Stürme.

Es ist zwar nicht publiziert, aber wir hatten auch mal angeschaut, für wie viele Schäden Superzellen spezifisch verantwortlich sind. Sie sind ja nur ein Prozent der Gewitter. Das ist eigentlich ein sehr kleiner Anteil im Vergleich zu allen Gewittern.

Aber ich glaube, wir hatten herausgefunden, sie sind für ca. 80% aller finanziellen Schäden verantwortlich, die von Gewittern kommen. Also dieses eine Prozent ist das eine Prozent, was mit am meisten Schaden anrichtet.

Levin

Man hört auch meistens, wenn es einen großen Sturm gab, dann immer Superzelle da und hier.

Monika Feldmann

Und vielleicht nochmal zu der Klimawandelstudie. Wir haben dort auch gesehen, dass die Intensität von Windböen tendenziell zunimmt im zukünftigen Klimaszenario.

Und hieraus kann man natürlich auch extrapolieren, dass, wenn man schon eine Superzelle hat, entweder die Windgeschwindigkeit zunimmt oder die Wahrscheinlichkeit eines Downbursts zunimmt. Und dadurch, dass wir auch mehr von den Gewittern haben, dann entsprechend auch diese Gefahr zunimmt. Aber das ist dann wieder sehr superzellenspezifisch und sagt nichts über den Rest der Gewitterpopulation aus.

Levin

Würden Sie jetzt, wenn Sie einfach nur die Superzellen betrachten, auch wenn aus Einzel- oder Multizellengewittern auch Downbursts entstehen, einfach nur von den Superzellengewittern dann auch einen Anstieg, einfach nur, wenn man nur Superzellen betrachtet, vermuten, dass dann trotzdem in Bezug auf Superzellengewitter mehr Downbursts in Zukunft wahrscheinlich auftreten würden?

Monika Feldmann

Von allem, was wir bisher gesehen haben, würde ich davon ausgehen, dass der Anteil der Superzellen, die einen Downburst haben, in etwa gleich bleibt. In etwa, kann sich natürlich auch etwas ändern. Aber wenn man quasi sagt, der Anteil bleibt ungefähr gleich und die absolute Zahl steigt drastisch an, dann steigt auch die Anzahl der Downbursts an.

Also wenn wir sagen, jede dritte Superzelle hat einen klassischen Downburst, wir haben anderthalbmal so viele Superzellen, dann haben wir nachher auch anderthalbmal so viele Downbursts. Und ich denke schon, aber es ist wirklich ein bisschen spekulativ, weil wir eben nicht diese Klassifizierung haben von Downbursts in den Superzellen.

Tendenziell sieht man das, wenn man diese fixe Kategorie von Superzellen hat, dass die Gefahren innerhalb dieser Kategorie ungefähr ähnlich auftreten oder mindestens nicht diesen Klimawandelhäufigkeitstrend überschreiten mit dem, wie sich das verschiebt.

Als Beispiel auch, nicht jede Superzelle hat Hagel. Und der Anteil der Superzellen, die nicht Hageln, der steigt ein kleines bisschen an mit Klimawandel, was auch damit zu tun hat, dass es wärmer wird und Hagel dann tendenziell schmilzt. Aber das ist eine viel kleinere Veränderung als der Klimawandelhäufigkeitstrend, der darunter liegt.

Levin

Dann kommen wir zu meiner nächsten Frage. Ich weiß nicht, ob Sie diese Grafik gesehen haben in dem Word-Dokument, das ich Ihnen geschickt habe. Die ist nicht wirklich relevant.

Da habe ich einfach mal alle datierten Downbursts aus den letzten 16 Jahren genommen, weil es gab irgendwie früher keine Daten. Mir ist jetzt bewusst, dass das nicht besonders aussagekräftig ist, weil sehr wahrscheinlich nicht alle Downbursts da klassifiziert sind, weil es ein kurzer Zeitraum ist.

Monika Feldmann

Und es ist Reporting-basiert oder im Prinzip nur, wenn es Schäden gab.

Levin

Genau, also es ist nicht sehr aussagekräftig. Ich habe das dann trotzdem mal gemacht, habe gesehen, dass das relativ zufällig ist, die Verteilung. Und jetzt zu meiner Frage.

Gab es Ihrer Einschätzung nach in den letzten 40 Jahren, seit der Begriff von Downburst eingeführt wurde, eine Zunahme von Downbursts? Also einfach ein Allgemeintrend, dass es häufiger Downbursts vorkam?

Monika Feldmann

Das kann ich so natürlich nicht sagen, weil wir eben keine Klimatologie davon haben. Was ich allerdings sagen kann, ist, dass es gerade für diese Extremereignisse und Extremereignisse von Gewittern nicht überraschend ist, dass man in 15 Jahren keinen Trend sieht. Es gibt eine Studie zu Hagelhäufigkeit in der Schweiz, die über 15 Jahre geht und keinen Trend zeigt.

Und dann wurde, ich glaube, letztes Jahr eine Studie veröffentlicht, die wirklich rückwärts extrapoliert hat, dass man die Hageltage berechnet bis 1940 zurück. Und über diese 40 bis 60 Jahre Klimatologie, es wurden dann verschiedene Zeitperioden angeschaut. Und so ab circa 40 Jahren fängt man an, diesen Anstieg zu sehen als robusten Trend, der dann über die Hintergrundvariabilität, dieses zufällige Muster über das hinausgeht.

Und das würde ich auch für Downbursts erwarten, dass man halt mindestens 30 Jahre Daten braucht, um dort einen Trend sehen zu können.

Levin

Okay, das heißt, es ist ein bisschen schwer zu beantworten die ganzen Fragen natürlich, wenn es halt nicht so viele Studien dazu gibt.

Monika Feldmann

Also aus einfach der thermodynamischen Überlegung würde ich erwarten, dass die Intensität zugenommen hat.

Aber die Häufigkeitsfrage ist immer eine andere als die Intensitätsfrage. Und dadurch, dass Superzellen eben so ein kleiner Anteil aller Gewitter sind, und die Gewitteraktivität insgesamt

ein bisschen dazu tendiert abzunehmen in Europa, ist diese Diskussion der Frequenz nicht so einfach. Weil die Downburst-Aktivität wird in Superzellen deutlich höher sein als in anderen Gewittern.

Aber es gibt so viele mehr andere Gewitter. Und dadurch lässt sich diese Frage nicht nur anhand von Superzellen beantworten. Wenn wir sagen, ob Superzellen Downbursts zugenommen haben und ich müsste raten, dann würde ich sagen, wahrscheinlich ja.

Aber ich kann es nicht sicher sein. Das ist Spekulation.

Levin

Kein Problem. Zu meiner nächsten Frage, die wurde jetzt schon von Ihnen mehrmals angedeutet bzw. beantwortet. Ich stelle sie trotzdem nochmal. Und zwar werden Ihre Einschätzungen nach Downbursts aufgrund des Klimawandels stärker in ihrer Intensität, also bezüglich der maximalen Windgeschwindigkeiten?

Monika Feldmann

Aus der thermodynamischen Überlegung heraus sollten sie das.

Aus den Berechnungen in den Klimasimulationen haben wir auch einen leichten Anstieg in der Geschwindigkeit von Windböen gesehen. Allerdings ist der kleiner als das, was wir theoretisch überlegt hätten. Und da sind wir aktuell an dem Punkt, wo wir noch schauen, woher diese Unterschiede kommen. Das kann am Modell liegen, das kann daran liegen, dass Sachen in Bergen immer schwieriger sind als anderswo. Und die theoretischen Überlegungen wurden ohne Topografie darunter gemacht, also quasi einfach für flache Oberflächen. Und sobald man ein Tal oder einen Berg hat, werden die Winde natürlich abgeleitet und durch engere Sachen durchgedrückt und dadurch auch verfälscht oder abgeändert in ihrer Windgeschwindigkeit. Und insofern ist hier noch ein bisschen die Überlegung, ob diese topografischen Effekte jetzt quasi für einen größeren oder einen kleineren Klimawandel-Effekt sorgen würden, wo wir noch keine klare Antwort haben.

Levin

Das war jetzt schon meine letzte Frage, die ich vorbereitet habe. Ich habe allerdings noch eine Abschlussfrage.

Gibt es irgendetwas, das Sie noch irgendwie ergänzen wollen, das Ihnen eingefallen ist zu dem Thema, oder was Ihnen spontan in den Kopf gekommen ist? Irgendetwas, das Sie noch loswerden wollen?

Monika Feldmann

Ich denke, wir waren schon relativ gründlich. Ich würde vielleicht einfach noch sagen, dass die Forschung zu den Windfragen gerade anfängt, mehr Fahrt aufzunehmen und möglicherweise wir in ein paar Jahren deutlich mehr Antworten darauf haben. Es ist leider aktuell so, dass sehr viel noch eher spekulativ ist, weil wir eben gerade die Datengrundlage noch nicht haben. Aber es zeigt auch, wie großes Interesse dieser Themenbereich gerade mit sich bringt, dass es eben jetzt einige Studien gibt, die in diese Richtung arbeiten.

Levin

Ja, das habe ich auch gemerkt. Ich habe Ihre Studie gesehen, zu den Superzellengewittern.

Ich habe ein bisschen herumgesucht und davor nicht wirklich viel zu Superzellen und Gewitterforschung gefunden. Vielleicht habe ich nicht so gründlich gesucht. Aber es wäre erleichtert, dass die jetzt schon rausgekommen ist, weil die vielleicht doch ganz nützlich ist für mich dann noch. Superzellen machen nicht so viel aus.

Monika Feldmann

Ich kann sonst noch ein paar mehr Publikationen schicken. Zum einen die, die ich erwähnt habe zu den Downbursts von Andreas Prein, die von Kilian zu den verschiedenen Hagelkorngrößen.

Und dann gibt es noch die vorherigen Studien zu der Superzellenklimatologie in der Schweiz. Die hat mit Klimawandel weniger etwas zu tun, sondern einfach über fünf, sechs Jahre, was wir beobachten konnten. Also das ist quasi der Status quo in der Schweiz.

Das könnte ich sonst auch noch miteinfügen.

Levin

Ja, gerne. Ich habe die Studie von Andreas Prein schon. Die zu seinen Straight Line Wins in Amerika oder so. Genau. Ich hatte einen Nature-Artikel dort.

Ich glaube, Kilian Brennan hatte mir auch noch mehrere Studien geschickt.

Monika Feldmann

Ja, bestimmt. Im Zweifelsfall gibt es ein paar Sachen doppelt.

Levin

Vielen Dank für das Interview.

e. Transkript Willi Schmid

Levin

Ich starte kurz mit einer Vorstellung von mir und dann können wir fortfahren zu den Fragen.

Ich bin Levin Zeunert, ich bin an der Kantonsschule Uster und wir schreiben dort alle unsere Matura-Arbeiten gerade und ich mache meine über Downbursts bzw. wie sie sich in Bezug auf den Klimawandel verändern.

Im Rahmen meiner Matura-Arbeit mache ich jetzt Interviews mit verschiedenen Personen, um da meine Literaturrecherche zu ergänzen und dann so meine Fragestellungen zu beantworten. Das Interview dauert voraussichtlich 30 Minuten. Ich hoffe, es geht alles gut mit der Zeit auf.

Meine erste Frage an Sie. Könnten Sie sich kurz vorstellen und sagen, was Ihr beruflicher Hintergrund ist und was Sie in diesem Bereich, oder einfach allgemein meteorologisch, so machen?

Willi Schmid

Ja, das kann ich machen, gerne. Ich habe an der ETH Physik studiert Ende der 60er Jahre bis 1974, das ist schon eine Zeit lang her. Ich habe dann gearbeitet zuerst bei Meteo Schweiz, ein Jahr, und dann ziemlich lange an der ETH als wissenschaftlicher Assistent am damaligen Institut für Atmosphärenphysik. Das wurde dann später umbenannt in Institut für Atmosphäre und Klima. Und da habe ich dann viele Sachen gemacht. Es würde zu lange dauern, wenn ich das alles aufzähle.

Aber der Wetterradar war so ein grösseres Thema. Wir hatten mehrere Radargeräte im Einsatz. Ich habe da jeweils mit diesen Daten dieser Geräte gearbeitet, also mit Wetterradarbildern Auswertungen gemacht in verschiedenen Projekten.

Es ging um Hagel, es ging um Hagelbekämpfung, es ging dann auch um Klima und Klimaänderungen bereits. Es ging dann auch um Struktur und Eigenschaften von Gewittern und auch von Superzellen. Das war eigentlich alles schon ziemlich lange her, das war so in den 80er, 90er Jahren.

Ich habe dann 1999 eine Spinoff-Firma gegründet, die Meteoradar. Das war zunächst eine Einzelfirma, wurde dann umgewandelt in eine GmbH. Das Geschäftsmodell waren kurzfristige Prognosen, Warnungen im Bereich von ein bis zwei Stunden.

Also die kann man eigentlich erstellen mit einer Extrapolation oder kurzfristigen Vorhersage der Wetterradarsequenzen, die man von den Gewittern erfasst und auswertet. Ich bin dann weggegangen von der ETH 2005 und habe dann ausschliesslich für die Firma gearbeitet bis zur Pensionierung. Die war eigentlich über die Pensionierung hinaus. Die Firma habe ich dann 2020 verkauft an die Meteotest in Bern. Ich bin jetzt noch zu 10% angestellt und mache noch so ein bisschen Wartung der Produkte, die ich da hatte und immer noch habe. Aber sonst zu 90% mache ich andere Dinge.

Ich bin so weit nicht mehr voll drin und war auch schon längere Zeit nicht mehr in der Forschung tätig. Das war eine spannende Zeit und ich bin auch gespannt, was Sie da finden. Wenn Sie die Arbeit haben und mir ein Exemplar zuschicken, würde mich auch freuen.

Levin

Ja, sicher, ja. Danke, dann kommen wir zu der ersten Frage. Welche Prozesse, die für die Bildung von Downburst verantwortlich sind, werden sich voraussichtlich mit dem Klimawandel verändern?

Willi Schmid

Ich habe da ein bisschen nachgedacht. Das Einzige, was mir in den Sinn gekommen ist, ist die Temperatur. Man hat eine Temperaturerhöhung und alle anderen Faktoren sind dann schon umstritten.

Was sicher einen Einfluss haben kann, ist die Stabilität. Sie ist bestimmt durch die Temperatur, also die Temperaturabnahme mit der Höhe einerseits und andererseits vom Feuchtegehalt in den niedrigen Schichten. Da ist die Frage, ob sich die Stabilität verändert, ob die Atmosphäre instabiler wird.

Was man sagen kann, ist, dass eine erhöhte Temperatur der Atmosphäre die Möglichkeit gibt, mehr Feuchtigkeit aufzunehmen. Gerade in den niedrigen Schichten von den Weltmeeren und auch auf Land natürlich auch. Da hat man das Potenzial, dass die Gewitter stärker werden können.

Das hat dann auch wieder Einfluss auf das Auftreten und die Stärke von Downburst. Ich sehe nur die Temperatur als Hauptfaktor, der durch die Klimaänderung beeinflusst wird. Alle anderen Faktoren, die da reinkommen, sind dann regional variabel.

Es gibt Gebiete, wo es eher feuchter wird, es gibt andere, wo es eher trockener wird. Dann kann es regional auch unterschiedliche Auswirkungen haben auf Downburst.

Levin

Okay, gut. Spannend. Dann zu meiner zweiten Frage.

Wie häufig kommen Downbursts in Verbindung mit Superzellen hoch?

Willi Schmid

Das ist eine gute Frage. Ich kann keine Zahl nehmen, muss ich ehrlich sagen. Ich würde sagen, ziemlich oft.

Die Superzellen haben das Potenzial für starken Hagelschlag, für Tornados, für starke Stürme. Die Stürme sind im Allgemeinen auf Downburst zurückzuführen. Ich würde nicht sagen, dass jede Superzelle Schäden produziert.

Es gibt Superzellen, die sind zu schwach oder zu klein. Oder die haben nicht so viele Schadensauswirkungen. Aber es sind doch ziemlich viele, die wahrscheinlich Downbursts produzieren.

Aber ich kann keine Zahl nehmen. Es ist vielleicht 50%, vielleicht 80%. Ich kenne da keine Untersuchung, die das wirklich belastbar untersucht hat.

Levin

Kein Problem, es geht eher um das Allgemeine.

Willi Schmid

Ich habe noch eine Idee dazu, aber die sage ich später.

Levin

Okay, cool. Nächste Frage im Zusammenhang mit dieser Frage. Diese Studie haben Sie mir auch zugeschickt.

Sie haben mir auch eine Studie zugeschickt, um die geht es jetzt. Von Monika Feldmann, die herausgefunden hat, dass bei einer Temperaturzunahme von drei Grad die Superzellengewitter im Alpenraum um 52% zunehmen.

Erwarten Sie jetzt, dass aufgrund dieser vorhergesagten Zunahme von Superzellengewittern durch erhöhte Temperatur auch eine Zunahme von Downbursts im Alpenraum stattfindet?

Willi Schmid

Was die Superzellen angeht, würde ich die Frage bejahen. Wenn es mehr Superzellen gibt, dann steigt auch die Anzahl der Downbursts, schon rein statistisch. Wenn man annimmt, dass sich die Struktur nicht so verändert, dass es plötzlich keine Downbursts mehr gibt in Superzellen. Also das würde ich durchaus bejahen.

Es gibt ja nicht nur Downbursts in Superzellen, es gibt auch Downbursts in kurzlebigen Gewittern, in Einzelzellengewitter oder Multizellen. Es gibt auch immer wieder Downbursts und die machen natürlich auch einen Beitrag.

Da gibt die Studie von Feldmann eigentlich keine Antwort auf die Frage, wie sieht das bei den anderen Gewittern aus? Nehmen die auch zu oder nehmen die vielleicht ab? Das wäre eine offene Frage.

Was Superzellen angeht, würde ich sagen, die Anzahl dürfte sich mehr oder weniger parallel zur Zunahme der Superzellen auch bei den Downbursts erhöhen.

Die zweite Frage wäre, werden die Downbursts stärker in einem wärmeren Klima oder eher nicht? Aber das ist wahrscheinlich nicht ganz die Frage, die Sie gestellt haben.

Levin

Ich habe nachher noch eine Frage dazu, aber wir machen es der Reihe nach. Zur nächsten Frage habe ich kurz eine Frage und zwar, haben Sie auf dem Dokument, das ich Ihnen geschickt habe, dieses Diagramm gesehen?

Willi Schmid

Das habe ich gesehen. Allerdings nur mit Word. Ich habe es zuerst mit LibreOffice versucht und da war nichts zu sehen. Aber mit Word habe ich es gesehen. Ja, genau.

Levin

Ich habe diese Daten vom Sturmarchiv Schweiz zusammengetragen. Es ist zwar ein sehr kleiner Zeitraum und dadurch nicht wirklich so aussagekräftig. Meine Frage ist aber, in diesem Zeitraum ist es ja klar, dass es keine Zunahme gibt oder dass es sehr unterschiedlich ist.

Gab es Ihrer Einschätzung nach schon einen Anstieg der Downbursts über einen längeren Zeitraum gesehen, also in den letzten 40 Jahren, seit der Begriff Downburst eingeführt wurde?

Willi Schmid

Ja, das ist auch eine gute Frage. Meinen Sie jetzt in der Schweiz oder Alpenraum wahrscheinlich? Oder generell?

Levin

Wenn Sie dazu nichts sagen können, können Sie auch generell sagen.

Willi Schmid

Ich kenne keine Studie, die über 40 Jahre die Downbursts in der Schweiz ausgewertet hat. Ich kenne aber Studien über die Hagelhäufigkeit. Da gibt es durchaus Analysen von Langzeitreihen.

Das war ein Kollege, Hans Heinrich Schiesser, der sich da ziemlich beschäftigt hat. Er hat gesehen, dass bei Hagel eine Zunahme der Hagelschäden eingetreten ist, so von den 70er Jahren bis in die 90er Jahre. Da war so ein Maximum und dann hat es eher wieder abgenommen.

Jetzt sind wir eher wieder, was die Hagelschäden angeht, beim Stand der 70er Jahre, würde ich mal sagen. Das ist auch eine recht grobe Aussage. Es ist wahrscheinlich gewagt, da auf die Downburst zu schliessen.

Das ist jetzt bei den Downbursts auch so. Das ist sehr spekulativ und würde ich nicht sagen. Auch bei den Superzellen ist es möglicherweise ähnlich.

Wenn man sagt, starker Hagel ist an Superzellen gebunden, da ist schon eine Korrelation da. Lange, starke Hagelzüge sind in den meisten Fällen an größere Superzellen gebunden. Dann würde ich sagen, bei den Superzellen ist es ähnlich.

Also von der Langzeitreihe her, seit den 70er Jahren, würde ich sagen, kann ich nicht bestätigen. Es ist da nicht möglich aus den Daten, es zeichnet sich da kein klarer Trend ab, würde ich so sagen. Was nicht heisst, dass es trotzdem in der Zukunft ändern kann.

Die Temperaturerhöhung in diesen 40 oder 50 Jahren, ist vielleicht ein Grad, zwei Grad. Wissen Sie vielleicht besser als ich.

Levin

Ich glaube 1.4 oder so.

Willi Schmid

1,4 ist noch nicht so viel. Die Frau Feldmann rechnet mit ihrem Szenario mit einer Temperaturerhöhung von drei Grad. Um das dann zu sehen, müsste man wahrscheinlich noch 20, 30 Jahre warten, stelle ich mir vor.

Levin

Gut beantwortet, danke. Es war gut, danke. Meine nächste Frage, die haben Sie vorhin schon ein bisschen angetönt.

Und zwar, ob Sie denken, dass Downbursts aufgrund des Klimawandels stärker in der Intensität werden. Bezüglich Windgeschwindigkeiten zum Beispiel.

Willi Schmid

Ich habe da die Studie von Feldmann durchgeblättert. Da ist irgendwo eine Grafik. Da vergleicht sie die Verteilung von verschiedenen Parametern für den aktuellen Status mit ihrem Szenario, also was in Zukunft zu erwarten wäre.

Da ist beispielsweise die Hagelkorngrösse oder die Hagelstärke. Da zeigt sich ein relativ deutlicher Trend zu grösserem Hagel. Der ist aber zum Teil erklärbar, weil es nicht unbedingt mehr grössere Hagelkörner gibt, sondern weil die kleinen Hagelkörner mehr wegschmelzen, wenn es wärmer wird.

Wenn es wärmer wird, ist die Nullgradgrenze höher und die Hagel muss durch eine wärmere und tiefe Schicht durchfallen. Dann schmilzt es mehr weg. Also kleine Hagelschläge können da wegschmelzen.

Das ist wahrscheinlich der Grund. Und beim Wind, da ist die Tendenz zu stärkerem Wind sehr marginal. Ich würde vorschlagen, dass Sie das auch noch anschauen. Und vielleicht schauen, was im Text genau dazu steht. Den habe ich zu wenig genau gelesen. Also ich würde sagen, nein, stärkere Downbursts als bisher gibt es wahrscheinlich nicht.

Die Downbursts haben ja auch schon eine hohe Variabilität. Es gibt kleinere Downbursts mit vielleicht 100 km pro Stunde Windgeschwindigkeit. Andere gibt es, die haben dann 200 oder 250. Da ist auch schon ein ganzes Spektrum. Und ob sich das verschiebt gegen höhere Geschwindigkeiten, das glaube ich nur in einem geringen Ausmass.

Levin

Okay, danke. Wir sind soweit mit meinen Fragen durch. Jetzt haben Sie noch etwas, das Sie loswerden wollen, das Sie ergänzen wollen, eigene Theorien?

Willi Schmid

Ich fand eigentlich, Ihre Zusammenstellung von den Downbursts gemäss dem Sturmarchiv über die letzten 15 Jahre sind es ca. 17 Jahre. Ich habe da mal zusammengezählt, es sind 80 Ereignisse.

Sie könnten ja mal versuchen zu schauen, ob die Gewitter, die diese Downbursts begleitet haben, Superzellen waren oder nicht Superzellen. Das könnten Sie machen, wenn Sie Zugang zu Sequenzen von Radarbildern haben.

Levin

Also es hat meistens beim Sturmarchiv immer Zusammenfassungen von den Gewittern. Es gibt Radarbilder mit Windgeschwindigkeiten und Verlauf der Gewitter.

Willi Schmid

Vielleicht können Sie doch da eine Klassifikation versuchen. Dass Sie sagen, dieser Fall ist Superzellen generiert, dieser Fall, das war ein anderes Gewitter. Dann haben Sie selbst auch eine Antwort auf die Frage, ob man die Downbursts wirklich gut mit den Superzellen verknüpfen kann, oder ob man da einen erheblichen Anteil hat, der nicht Superzellen generiert ist.

Über nicht Superzellen-Gewitter sagt die Studie von Monika Feldmann eigentlich wenig oder nichts. Ich kann da auch keine Antwort geben. Also Downburst ist so ein Phänomen, das in Superzellen vorkommt, aber auch in anderen Gewittern.

Ob man es hier in der Mehrheit den Superzellen zuordnen kann, ich vermute das. Aber ich denke, wenn Sie das ein bisschen anschauen könnten mit den Angaben im Sturmarchiv, oder vielleicht auch den Kollege Mattis noch fragend, kann er vielleicht auch noch etwas dazu sagen. Das wäre eigentlich noch so eine Ergänzung, die mir in den Sinn gekommen ist.

Levin

Danke. Der Grund, warum ich jetzt hier so viel mit Superzellen gearbeitet habe, ist, weil ich zu Superzellen-Gewittern relativ viel im Zusammenhang mit Downburst ausgefunden habe und diese Studie gefunden habe, die klar aussagt, dass Superzellen-Gewitter, eine Form von Gewittern, wo ich schon dachte, dass es oft Downburst hat, eine Zunahme gefunden haben. Ich habe auch gefunden, dass bei Einzellen- oder Mutterzellengewittern Downburst vorkommt, aber ich habe mich jetzt hier auf die Superzellen nicht...

Also ich habe jetzt viel mit Superzellen gearbeitet, weil ich eine Studie dazu gefunden habe, die eine Zunahme von Superzellen-Gewittern gefunden hat und dadurch wurde das ein bisschen aufgebaut.

Willi Schmid

Ja, das ist auch gut, das ist auch tip top. Ich vermute auch, dass schon die Downburst, also die starken Ereignisse... Also es gab vor zwei Jahren einen Fall in La Chaux-de-Fonds, das haben Sie wahrscheinlich auch gesehen und das war klar eine Superzelle, die diesen Downburst produziert hat, wobei es auch Leute gibt, die sagen, es war ein Tornado.

Ist dann auch wieder eine Frage, man wird ja auch etwa diskutiert, ob man jetzt die Schäden, ob das ein Tornado war oder ein Downburst und das kann man ja aus dem Schadenmuster einigermaßen herausfinden. Aber Tornados sind auch wieder eine andere Geschichte, also die sind sicher in der Schweiz weniger häufig als Downbursts. Downbursts, denke ich, gibt es immer wieder.

Oft bleiben dann Schäden in den Wäldern und das sehen dann die Förster und sonst kriegt man nicht so viel Publizität. Also das ist schon etwas, was es auch in der Schweiz oder im Alpenraum immer wieder gibt.

Levin

Ja, damit bin ich schon am Schluss meines Interviews. Vielen Dank, dass Sie sich Zeit genommen haben.

III. Auszüge aus der Auswertung

Exemplarische Darstellung der tabellarischen Auswertung der Interviews. Dargestellt ist die Codierung (links), die Zusammenfassung (Mitte) und der Kommentar (rechts) der deduktiven Kategorie «Frage 2» von zwei von insgesamt fünf Experten.

	B	I	J	K
1		Frage 2: «Wie häufig kommen in Verbindung mit Superzellen Downbursts vor?»		
2	Experte:	Codierung	Zusammenfassung	Kommentar
	Andreas Prein	Es ist schwer zu sagen. Superzellen sind bekannt für Downbursts, aber nur, wenn man eine Superzelle hat, heißt es nicht, dass man einen Downburst bekommt. Das ist kein deterministischer Zusammenhang. Es können auch aus nicht-Superzellen-Stürmen Downbursts entstehen. Welcher Prozentsatz das ist, das könnte ich nicht sagen.	Schwer zu sagen. Kein deterministischer Zusammenhang- >obwohl Superzellen für Downbursts bekannt sind, heisst es nicht Superzelle=Downburst. Ausserdem auch Downbursts aus nicht Superzellengewittern. Keine Prozentzahl	kein deterministischer Zusammenhang auch aus nicht-Superzellengewittern
3	Monika Feldmann	das können wir tatsächlich nicht sagen. Zum einen ist die Beobachtungslage, was Winddaten angeht, deutlich schlechter als für andere Gewittergefahren. also wir haben quasi keinen systematischen Datensatz über alle Gewitter hinweg, der sagen würde, Downburst ja oder nein. Grundsätzlich haben Superzellen immer einen höheren Anteil von Naturgefahren als andere Arten von Gewittern. Also gerade im Vergleich zu schwächeren Gewittern ist die Wahrscheinlichkeit, einen Downburst zu haben oder sehr starken Niederschlag zu haben oder großen Hagel zu haben, deutlich größer. Und viele Superzellen haben auch mehr als eine dieser Gefahren. Aber durch die Datentage kann ich leider keinen Prozentsatz geben.	Kann man nicht sagen. Beobachtungslage deutlich schlechter als für andere Gewittergefahren, kein Datensatz verfügbar für alle Gewitter, der sagt: Downburst ja oder nein. Grundsätzlich in Superzellen höher Anteil an Naturgefahren als in anderen Gewittern, vor allem im Vergleich zu schwachen Gewittern höhere Wahrscheinlichkeit auf Downbursts. Kein Prozentsatz.	kann man nicht sagen -> keine Daten grössere Wahrscheinlichkeit auf Downbursts
6				

Exemplarische Darstellung der tabellarischen Auswertung der Interviews. Dargestellt ist die Codierung (links), die Zusammenfassung (Mitte) und der Kommentar (rechts) der induktiven Kategorie «Mangelnde Datenlage/Modelle» von zwei von insgesamt fünf Experten.

	B	AB	AC	AD
1		Induktive Kategorien: Mangelnde Datenlage/Modelle:		
2	Experte: Andreas Prein	Codierung Das Problem ist wirklich, dass wir Downbursts in den Modellen, die wir jetzt verwenden, also auch die Wettervorhersagemodelle, die Meteo Schweiz zum Beispiel verwendet, nicht darstellen können. Die sind so kleinskalig, dass unsere Modelle die nicht auflösen. Von dem her ist es wirklich schwierig, die explizit zu studieren aus den Modellen heraus. Da müsste man dann irgendwie mit Proxys arbeiten. Eben, dass man sagt, wie viele Superzellen gibt es, wie oft oder wie stark schaut jetzt der Cold Pool, der Kältepol unter dem Gewitter aus, dass man da irgendwie ein Verhältnis probiert, herzustellen von Superzellen auf Downbursts. Aber die Downbursts explizit zu simulieren, ist eigentlich fast unmöglich in Klimasimulationen. Man hat keinen guten Überblick, wie oft Downbursts wirklich auftreten, würde ich sagen. Von dem her ist unsere beste Chance, wirklich das mit Modellen zu probieren, zu versuchen, das zu verstehen. Oder zu warten und die Archive wirklich gut weiterzuführen in die Zukunft und dann zu versuchen, zu verstehen, wie sich das ändert. Oder auch das Monitoring von den Ereignissen zu verbessern. Das könnte man zum Beispiel mit Remote Sensing machen. Bei Downbursts gibt es oft relativ klare Schadensmuster, wenn die zum Beispiel über Wald auftreten. Also Downbursts und Klimawandel oder generell Gewitterstürme und Klimawandel ist ein relativ junges Forschungsgebiet. Und wie Sie sagen, also die Datengrundlage, auch die Beobachtungsdaten sind relativ spärlich. Die Modelle haben Probleme, die zu simulieren. Also von dem her theoretisch ja, ob es dann wirklich so ist... Wir in meiner Gruppe, wir haben vor, jetzt wirklich viele Simulationen zu machen auf relativ hoher Auflösung, also circa die Auflösung, die Meteo Schweiz benutzt für Vorhersagen. Und da hoffen wir wirklich, dass wir da mehr herausfinden können, wie starke Gewitter sich verändern werden mit dem Klimawandel. Downburst wird ein schwieriges Thema bleiben. Auch die Modelle, die immer mit Downburst Probleme haben. Aber zu mindest vielleicht mit größeren Gewitterstürmen könnten wir ein bisschen mehr sagen. Genau, danke.	Erste Zusammenfassung Downbursts sind so kleinskalig, dass man sie in Modellen nicht darstellen kann (Selbst Meteo-Schweiz-Modelle könne das nicht darstellen). ->man kann sie nicht an Hand von Modellen studieren->kein Überblick, wie häufig im Endeffekt Verbesserungsvorschläge: Mit Proxys arbeiten (keine genauere Ausführung) oder Cold Pool unter Gewitter anschauen -> explizit bleibt schwer. Monitoring verbessern (Remote sensing->klare Schadensmuster) Datengrundlage sehr spärlich weil sehr junges Forschungsgebiet + Modelle können es nicht darstellen Downbursts wird schwierig bleiben, aber grosse Gewitterstürme werden bemutlich bessere Daten bekommen	Kommentar Downbursts zu kleinskalig ->nicht möglich mit Modellen zu Arbeiten spärliche Datengrundlage wird vermutlich schwer bleiben
3	Monika Feldmann	Also zum Beispiel für Niederschlag, Hagel oder Blitze haben wir deutlich bessere Datengrundlagen als für Wind. Und dann ist auch manchmal nicht so einfach zu unterscheiden, ist es einfach eine Windböe, die zum Beispiel jetzt gerade bei einem Superzellengewitter einfach an der Front des Gewitters kommt, was eigentlich kein Downburst ist, sondern einfach eine Windböe von dem Gewitter. Oder ist es wirklich ein Downburst? Und das klar zu unterscheiden, also wir haben quasi keinen systematischen Datensatz über alle Gewitter hinweg, der sagen würde, Downburst ja oder nein. Und auch die Klimasimulation hat nicht die Daten nötig, um das einwandfrei zu klassifizieren. Wir haben hier wieder Daten über die Windhöhen an der Oberfläche, aber nicht, ob die von einem Downburst sind oder nicht. Also, man müsste eine sehr hoch aufgelöste Simulation laufen lassen, wahrscheinlich noch höher als alles, was wir bis jetzt haben laufen lassen. Und dann bräuchte man zeitlich so hoch aufgelöste Daten aus dieser Simulation. Das ist einfach extrem teuer, so etwas zu produzieren. Und im Endeffekt stellt sich auch die Frage, wie viel Bonus man davon hat, wirklich diese Unterscheidung zu machen, Windhöhe und Downburst.	Keine gute Datengrundlage für Wind (Keinen Datensatz der sagt Downburst ja/nein). Schwer zu unterscheiden bei einem Superzellengewitter, ob Downburst oder einfach Gewitter. Klimasimulation kanns auch nicht, obwohl teilweise Daten über Windböen an Oberflächen. Man bräuchte hochaufgelöstere Simulation als jemals zuvor. ->sehr teuer, wie viel Nutzen am Schluss für Unterscheidung Downburst/Windböe	zu schlecht aufgelöste Klimasimulationen keine gute Datengrundlage hochaufgelöstere sehr teuer
6				