

Der Hagelwachstumsprozess im Wetterradar

Wetterradarbilder aus dem Radarverbund des Deutschen Wetterdienstes sind in den Medien allgegenwärtig. Damit stehen der Bevölkerung Informationen über Ort, Stärke und Art des Niederschlags mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung frei zur Verfügung. Kontinuierlich werden die Radarsysteme verbessert und an neuen Verfahren gearbeitet, um Niederschläge detaillierter zu klassifizieren und quantifizieren, mit dem Ziel, genauere Warnungen über kritische Wetterereignisse bereitzustellen.

Um den Prozess der Niederschlags- und Hagelentstehung besser zu verstehen, wurde ein neues Verfahren am Erprobungsradar des Observatoriums Hohenpeißenberg entwickelt und für den Einsatz im operationellen Betrieb rund um die Uhr getestet. Bei dem neuen Verfahren schaut das Radar alle 5 Minuten senkrecht nach oben und nimmt ein Höhenprofil des Niederschlags und der Geschwindigkeiten auf, mit der sich einzelne Niederschlagspartikel (Hydrometeore) bewegen. Ist die Masse des Partikels groß genug, fällt er in Richtung Erdboden. Das Ensemble von Hydrometeoren in einem Pulsvolumen erzeugt entsprechend des individuellen Aggregatzustands und der zugehörigen Größe und Form ein Rückstreusignal und unterschiedliche Fallgeschwindigkeiten. Dies kann mit dem Radar gemessen werden und nun spektral ausgewertet werden. Damit kann mit dieser Messmethode die Entstehung des Niederschlags im Detail untersucht werden. Je nach Niederschlagsprozess, also ob in Wolken z.B. Regen und Hagel oder andere Hydrometeore vorliegen, ergeben sich unterschiedliche Geschwindigkeitsverteilungen, die für die Klassifikation von Niederschlagsereignissen verwendet werden können. Eine Anwendung dieser neuen Analyse liegt z. B. im Erkennen spezieller Gefahren für die Luftfahrt: In winterlichen Niederschlagsprozessen können Hinweise auf unterkühlte Flüssigwassertropfen gefunden werden, die zu Vereisungen von Flugzeugen führen können (Trömel et al., 2021). In Hinblick auf die Hagel- und Starkregenereignisse im Frühling und Sommer 2021 erlaubt die spektrale Analyse von Radardaten auch einen neuen Blick auf die Prozesse in den Wolken. Beispielhaft wird ein Hagelereignis vom 30.4.2021 vorgestellt und diskutiert, das mit Bodenmessungen und Beobachtungen komplementiert, und in einen klimatologischen Kontext für die Station Hohenpeißenberg gebracht wird.

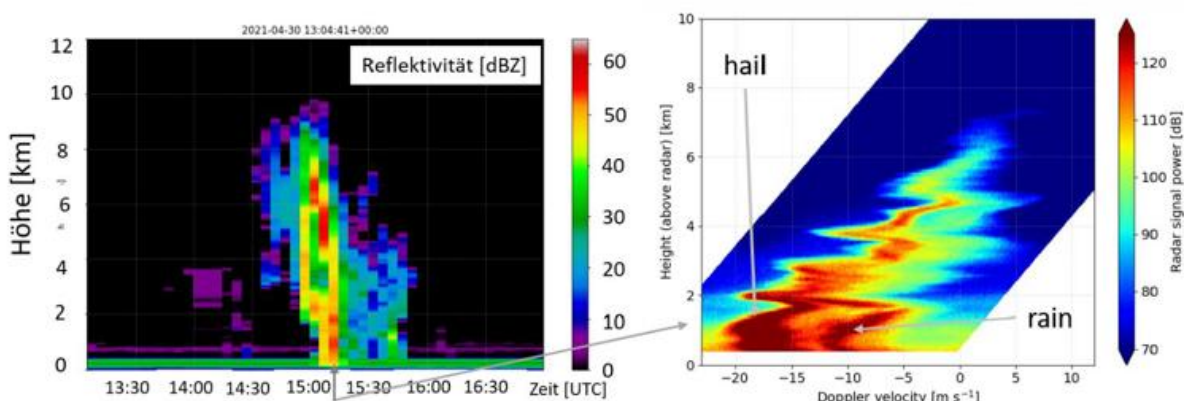


Abbildung 1: Zeit-Höhenschnitt der Radar-Reflektivität Z aus den Profiler-Messungen (5 Minuten-Auflösung, linke Abbildung) und das zu einem Profil zugehörige Doppler-Spektrum, 30.4.2021, 15:09 UTC (rechte Abbildung) vom Radar Hohenpeißenberg. Die Entwicklung der Gewitterzelle konnte über einen Zeitraum von 90 Minuten beobachtet werden. Die bi-modale Struktur im Profil des Dopplerspektrums wird durch gleichzeitig vorkommende Hagel- und Niederschlagspartikel hervorgerufen.

Das Hagelereignis vom 30.4.2021 wies Hagelgrößen von bis zu 1.5 cm auf. In Peißenberg wurden Größen bis 3 cm gemessen. Eine zugehörige Hagelgrößenverteilung wurde mit einem Hagelsensor am Observatorium erfasst. Die Existenz von Hagel ist in dem bi-modalen Doppler-Spektrum der Radardaten sehr gut zu sehen (Abbildung 1). Bodennah haben die Hagelkörner eine Fallgeschwindigkeit von 20 m/s, die Regentropfen von bis zu 10 m/s. Durch die spektrale Auswertung lassen sich die beiden gleichzeitig vorkommenden Niederschlagstypen sehr schön in zwei Moden separieren. Exakte Fallgeschwindigkeiten der Niederschlagsteilchen können hier jedoch nicht abgeleitet werden, da die atmosphärische Dynamik mit Auf- und Abwinden in den Wolken zu den resultierenden Fallgeschwindigkeiten beiträgt. Die zunehmende Fallgeschwindigkeit mit abnehmender Höhe ergibt sich aus dem Massenzuwachs der Niederschlagspartikel: unterkühlte Wassertröpfchen und Wasserdampf frieren auf den fallenden Hagel und lassen ihn wachsen. Aus dem Zeit-Höhenschnitt der Reflektivität wird auch der Wachstumsprozess deutlich, der sich hier über einen Zeitraum von ca. 20 Minuten erstreckt, beginnend um 14:55 UTC. Das Maximum der Reflektivität (bis zu 60 dBZ) verlagert sich dann aus 7 km Höhe in 15 Min bis nah über dem Boden. Die Erschließung der spektralen Doppler-Information ist ein Beitrag, den Hagelentstehungsprozess besser zu verstehen, und radarbasierte Warnverfahren zu verbessern.

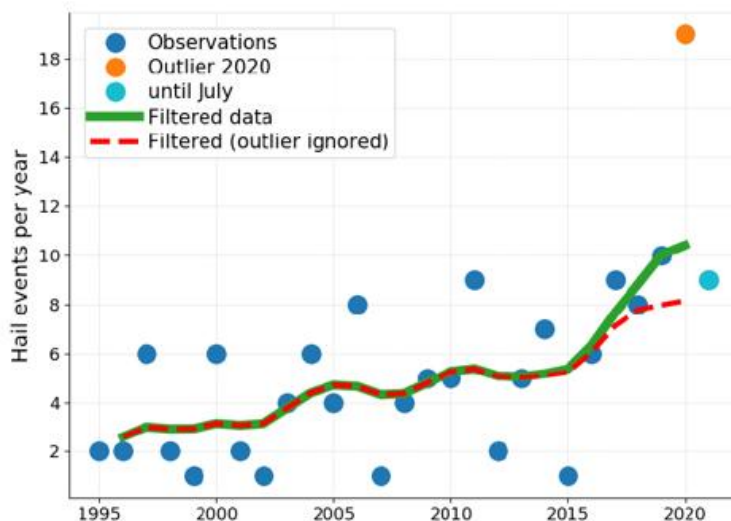


Abbildung 2: Anzahl der Hagelereignisse am Observatorium Hohenpeißenberg im Zeitraum 1995 bis 2021. Erst seit 2020 kommt ein Hagelsensor zum Einsatz. Davor notierten ausschließlich Wetterbeobachter die Ereignisse. Die automatisch aufgezeichneten Hagelereignisse, deren Anzahl tendenziell unterschätzt wird, werden von Wetterbeobachtern geprüft und ggf. korrigiert, um die Kontinuität und Güte der Zeitreihe zu sichern.

Das hier betrachtete Beispiel fügt sich in ein bisher außergewöhnliches Jahr 2021 ein, das sich durch eine hohe Anzahl von Hagelereignissen mit Korngrößen bis zu 7 cm und einhergehenden Starkregenereignissen im oberbayrischen Voralpenland auszeichnet. In den letzten 25 Jahren ist ein Anstieg von lokalen Hagelereignissen am Hohenpeißenberg festzustellen. Waren es zu Beginn des Zeitraums noch rund 3 Hagelereignisse im Jahr, werden jetzt rund 10 Hagelereignisse verzeichnet. Dieser Anstieg geht einher mit der Zunahme der mittleren Temperatur von 1.4°C im Zeitraum 1991-2020 auf dem Hohenpeißenberg, und bestätigt die Erwartung, dass Extremwetterereignisse in einem sich erwärmenden Klima zunehmen werden (s.a. den Bericht zu den Stark- und Dauerniederschlägen im Zusammen-

hang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021 (Junghänel et al., 2021). Bemerkenswert war auch die Intensität von jüngsten Starkregenereignissen. Mit dem auf dem Hohenpeißenberg entwickelten Ombrometer (Riedl und Plörer, 1997) wurden am 9.6.2021 Intensitäten von bis zu 3 mm/min aufgezeichnet, mit einer akkumulierten Summe von 15 mm innerhalb von 15 Minuten. Solche Intensitäten sind seit dem Beginn der Ombrometermessungen im Jahr 1972 am Hohenpeißenberg noch nie beobachtet worden.

Referenzen:

Trömel et al., 2021 <https://doi.org/10.5194/acp-2021-346>

Riedl und Plörer, 1997, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-2017012510174>

Junghänel et al, 2021,

https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf?__blob=publicationFile&v=6