

## Tendenzen und Warnung

Ob die Starkniederschläge aufgrund der **globalen Erwärmung** zugenommen haben und weiter zunehmen werden, lässt sich wegen der Seltenheit der Extremereignisse nicht mit Sicherheit sagen. Untersuchungen von häufigeren Ereignissen, die nicht notwendigerweise zu Schäden führen, konnten in verschiedenen Regionen von Zentral- und Nordeuropa eine zunehmende Häufigkeit von intensiven Niederschlägen in den vergangenen Jahrzehnten nachweisen. Dies gilt für Herbst und Winter; für den Sommer ist kein Trend erkennbar. Für die Zukunft wird davon ausgegangen, dass die globale Klimaänderung die Häufigkeit, die Dauer, die Ausdehnung und das saisonale Auftreten von Starkniederschlägen verändern kann. Verlässliche Aussagen können zurzeit aber noch nicht gemacht werden. MeteoSchweiz ist als nationaler Wetter- und Klimadienst für die rechtzeitige Warnung der Behörden und der Bevölkerung bei wetterbedingten Ereignissen zuständig. Zur Erkennung und Vorhersage von meteorologischen Extremereignissen verwendet MeteoSchweiz verschiedene Wettermodelle, welche nach Ereignissen immer wieder überprüft und angepasst werden.

## Hagelschäden

Hagel ist eine Begleiterscheinung von Starkniederschlag und entsteht in der Schweiz durchschnittlich nur bei jedem zehnten Schauer- oder Gewitterereignis. In Europa gehört die Schweiz zu den Ländern mit der grössten Hagelgefahr. Jährlich werden hierzulande Schäden in zweistelliger Millionenhöhe verursacht, vor allem an landwirtschaftlichen Kulturen (Abb. 6 und 7), aber auch an Fahrzeugen und Gebäuden. Bei einem Wärmegewitter sind die Schäden durch **Hagel** lokal begrenzt. Dagegen können bei einem Kaltfrontdurchzug Hagelzüge bilden, die sich als mehrere Kilometer breites Band über das ganze Schweizer Mittelland von Südwesten nach Nordosten ziehen. Begünstigt durch die Hebungseffekte an Bergflanken tritt Hagelschlag vermehrt im Voralpenraum auf (Abb. 8).



Abb. 6: Hagelereignis in Interlaken am 19. Juni 2007 (Foto: Pascal Blanc)



Abb. 7: Hagelschaden an Birnen am 7. Juli 2011 in Samstagern ZH (Foto: Schweizer Hagel)

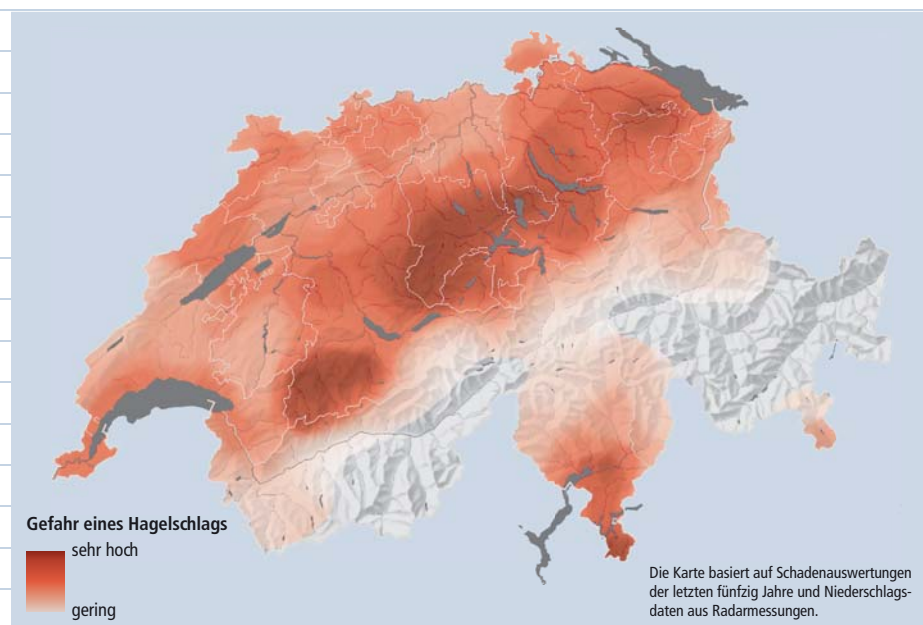


Abb. 8: Hagelgefahr in der Schweiz (© Schweizer Hagel 2011)

## Starkniederschlag

Beeindruckende Gewitterwolken sind sichtbare Anzeichen für möglichen Starkniederschlag (Abb. 1). Der wesentliche Anteil an Wasser in der Atmosphäre kommt jedoch nicht in den Wolken als sichtbare Wassertröpfchen vor, sondern unsichtbar als gasförmiger Wasserdampf. Die Hebung dieser feuchten Luftmassen kann zu Starkniederschlag führen, weil mit der Abkühlung viel Wasserdampf zu Wassertröpfchen kondensiert. Beide Faktoren, Hebung und grosse Mengen Feuchtigkeit, führten beispielsweise in Camedo (Tessin) zum höchsten, je an einem Tag gemessenen Starkniederschlag von 455 mm. So viel regnet es in Ackersand (Wallis) durchschnittlich in einem ganzen Jahr (Tab 1).

**Starkniederschlag** wird definiert als Niederschlag, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität hat und daher selten auftritt. Als Starkniederschlag eingetragene Ereignisse umfassen meistens eine Dauer von 10 Minuten bis 5 Tage und treten jährlich nur vereinzelt auf. Starkniederschläge führen vor allem in Gewässern mit kleinem Einzugsgebiet zu Hochwasser und verursachen Bodenerosion, Rutschungen sowie Murgänge. Wenn Starkniederschläge mit Blitzen, Sturmböen oder Hagel einhergehen, können sie zudem Menschenleben fordern und hohe Schäden anrichten.

Die **Niederschlagsmenge** für einen bestimmten Ort wird in der Regel als Niederschlagsmenge in Millimeter von flüssigem Niederschlag über der Erdoberfläche angegeben. Wobei eine Niederschlagsmenge von 1 Millimeter der Niederschlagsmenge von 1 Liter pro Quadratmeter entspricht. Der tiefste gemessene mittlere **Jahresniederschlag** in der Schweiz beträgt 545 mm, der höchste 2837 mm (Tab. 1).



Abb. 1: Wärmegewitter mit Blick von Zimmerwald BE in Richtung Südosten (Foto: P. Gyarmati)

| Niederschlagsdauer                               | Niederschlagsmenge | Messstation                                | Zeitraum                  |
|--|--------------------|--|---------------------------|
| 10 Minuten                                       | 33.6 mm            | Locarno-Monti (Tessin)<br>366 m ü.M.       | 29. August 2003           |
| 1 Stunde   | 91.2 mm            | Locarno-Monti (Tessin)<br>366 m ü.M.       | 28. August 1997           |
| 1 Tag  | 455 mm             | Camedo (Tessin)<br>550 m ü.M.              | 26. August 1935           |
| 2 Tage   | 612 mm             | Mosogno (Tessin)<br>760 m ü.M.             | 23./24. September<br>1924 |
| 3 Tage   | 768 mm             | Camedo (Tessin)<br>550 m ü.M.              | 3.–5. September<br>1948   |
| 1 Monat  | 1239 mm            | Camedo (Tessin)<br>550 m ü.M.              | April 1986                |
| 1 Jahr   | 4173 mm            | Säntis (St. Gallen)<br>2502 m ü.M.         | 1922                      |
| <i>höchster mittlerer<br/>Jahresniederschlag</i> | <i>2837 mm</i>     | <i>Säntis (St. Gallen)<br/>2502 m ü.M.</i> | <i>1981–2010</i>          |
| <i>tiefster mittlerer<br/>Jahresniederschlag</i> | <i>545 mm</i>      | <i>Ackersand (Wallis)<br/>700 m ü.M.</i>   | <i>1981–2010</i>          |

Tab. 1: Gemessene Niederschlagsrekorde in der Schweiz (MeteoSchweiz, Februar 2013)



## Woher die Feuchtigkeit kommt

Aus welchem Gebiet wie viel Feuchtigkeit in die Schweiz transportiert wird, hängt von der grossräumigen Wetterlage mit ihren Winden ab. Im Durchschnitt stammen 40 % des Niederschlags in der Schweiz aus dem Nordatlantik. Andere wichtige Herkunftsgebiete sind das Mittelmeergebiet, das mitteleuropäische Festland und Nordeuropa (Abb. 2). Aus diesen Gebieten gelangt die Feuchtigkeit als gasförmiger Wasserdampf und in Wolken als schwebende Wassertröpfchen in die Schweiz.

## Hebung von Luftmassen

Entscheidend für die Bildung von Starkregen ist die Hebung der feuchten Luftmassen. So führen die folgenden drei Prozesse zu Wolken- und Niederschlagsbildung. Bei der **Konvektion** steigen warme Luftmassen in kältere Umgebungsluft auf. Bei der **Advektion** werden durch die horizontale Bewegung der Luft unterschiedlich warme Luftmassen herangeführt. Dabei gleiten wärmere Luftmassen über kältere auf. Bei der **orographischen Hebung** müssen die Luftmassen beim Anströmen auf ein Gebirge aufsteigen. Mit der Hebung kühlen die feuchten Luftmassen ab und bilden Wassertröpfchen durch die Anlagerung von Millionen von Wassermolekülen an schwebende Kondensationskerne, die aus Salzkristallen, Staubpartikeln oder Eiskeimen bestehen können. Die Wassertröpfchen in einer Wolke sind in Bewegung, kollidieren und verbinden sich zu Regentropfen. Rund eine Million Wassertröpfchen bilden einen Regentropfen mit einem Durchmesser von 2 mm. Nicht jede Wolke führt zwangsläufig zu Niederschlag. Erst ab einer Wolkenmächtigkeit von mindestens 1.5 Kilometer können sich genügend grosse Regentropfen bilden. Für intensive Niederschläge muss die Wolkenmächtigkeit sogar mehrere Kilometer erreichen.

## Konvektion bei Wärmegewittern

Im Sommer führen vorherrschende **Flachdrucklagen**, intensive Sonneneinstrahlung

und hohe Luftfeuchtigkeit häufig zu intensiven, kleinräumigen **Wärmegewittern** am späteren Nachmittag. Auf der Wetterkarte sind die geringen Luftdruckgegensätze über West- und Mitteleuropa am grossen Abstand der einzelnen Isobaren erkennbar (Abb. 3). Die horizontale Luftbewegung ist daher nur schwach und das lokale Wettergeschehen wird von anderen Faktoren, wie Sonneneinstrahlung, Vegetation, Wasseroberfläche oder Relief bestimmt.

Die Topografie der Schweiz mit verschiedenen Hangneigungen und Expositionen auf kleinem Raum begünstigt lokal unterschiedliche Erwärmungen durch die Sonne. Die aufgeheizte Erdoberfläche erwärmt die bodennahe Luft und warme Luftmassen steigen auf, da sie wegen ihrer geringeren Dichte leichter sind als kalte (Konvektion). Weil wärmere Luftmassen mehr Feuchtigkeit aufnehmen können, steigen mit den Luftmassen grosse Mengen Wasserdampf auf, welche durch die Abkühlung in der Höhe zu Wassertröpfchen kondensieren und Quellwolken bilden. Bei der Kondensation wird zudem Wärme frei, was die **Aufwinde** in der Wolke verstärkt und die Luftmassen weiter aufsteigen lässt. An der Basis der Wolke wird fortlaufend feuchte Warmluft angesogen, wodurch Haufenwolken (Cumulonimbus) von bis zu 12 Kilometer Höhe heranwachsen können (Abb. 1 und 3). In solchen Wolkentürmen entwickeln sich Aufwinde mit einer Geschwindigkeit von bis zu 150 km/h, welche die Wassertröpfchen nach oben transportieren. Diese gefrieren bei Minustemperaturen zu Eiskörnern, welche durch das Eigengewicht und die Aufwinde immer wieder hinunterfallen und aufsteigen. Dabei frieren immer weitere Wassertröpfchen an den Eiskörnern an. Das Auf und Ab kann sich unterschiedlich lang wiederholen, wodurch verschiedene grosse Eiskörner gebildet werden. Durch die fallenden **Eiskörner** und Regentropfen sowie durch die stark abgekühlte Luft in der Höhe (-50 °C in 12 km Höhe) entstehen Abwinde. Die starken Auf- und Abwinde erzeugen elektrische Spannungen, welche sich

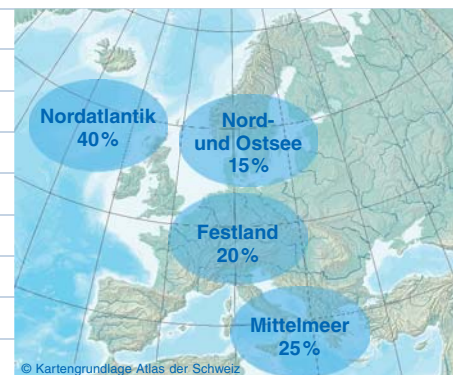


Abb. 2: Feuchtequellen der Schweiz 1995–2002 (nach Sodemann et al., 2010)

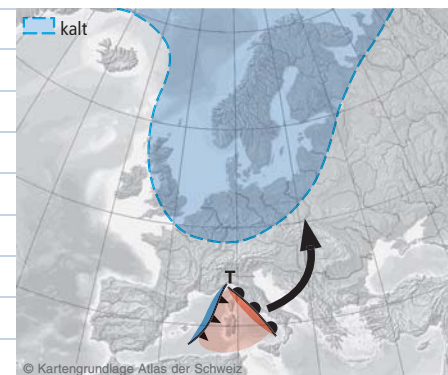
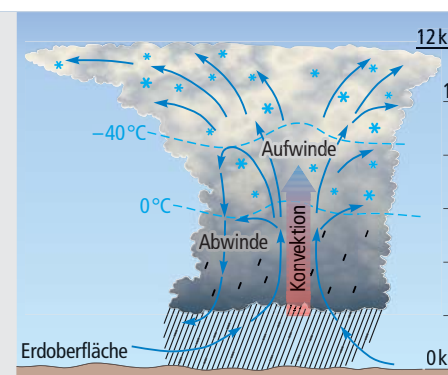


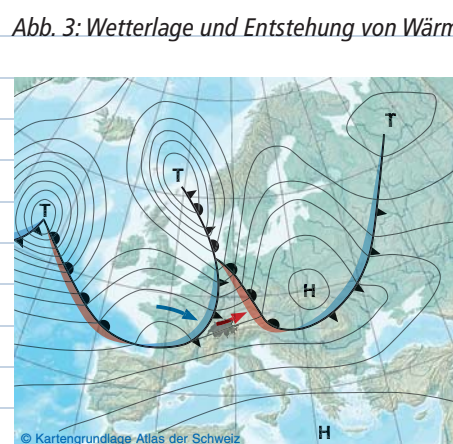
Abb. 5: 5b-Wetterlage (Blanc P., Schädler B., 2013)



Flachdrucklage im Sommer



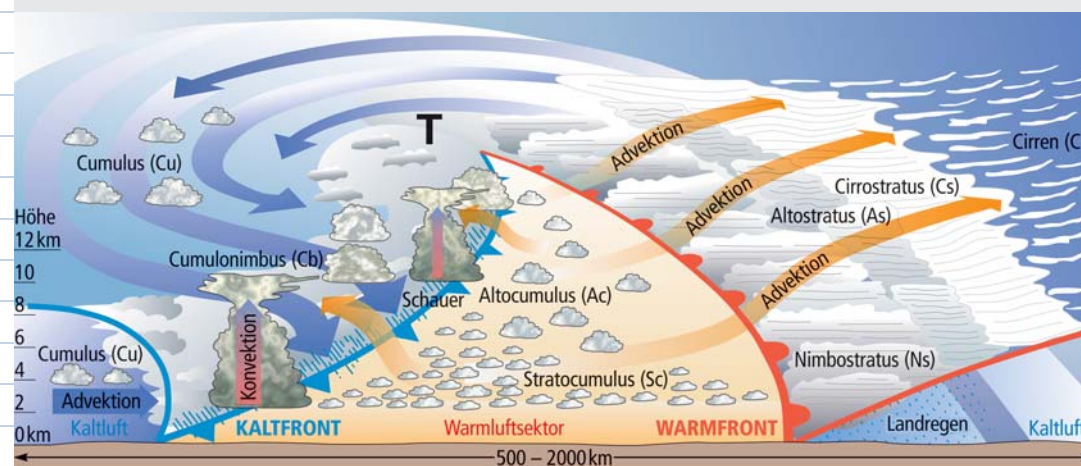
Entstehung von Wärmegewittern



Westwindlage



Kaltfront mit Blick vom Pfannenstiel ZH in Richtung Süden (© MeteoSchweiz)



Zyklon mit Schauer an der Kaltfront und Landregen an der Warmfront (nach VBS/DDPS ZEM, 2011)

Abb. 4: Wetterlage und Entstehung von Schauer und Landregen

durch **Blitze** abbauen. Die grösser gewordenen Wassertröpfchen und Eiskörner fallen durch die Wolke und lösen ein kurzes, heftiges Gewitter aus, welches im Extremfall von Hagel, heftigen Sturmböen und Blitzen begleitet wird. Das intensive Wärmegewitter zieht nur über ein kleinräumiges Gebiet und löst sich nach wenigen Stunden auf.

## Advektion und Konvektion bei Schauer und Landregen

Die ganzjährig häufig auftretende **Westwindlage** bringt immer wieder feuchte Luftmassen vom Atlantik in die Schweiz (Abb. 4). Dies erhöht die Gefahr von Starkniederschlag, besonders am Alpennordrand, wo die feuchten Luftmassen aufgleiten. Der Niederschlag und das insgesamt wechselhafte Wetter werden bei **Zyklonen** (Tiefdruckwirbeln) mit ihren Warm- und Kaltfronten verursacht (Abb. 4).

An der **Kaltfront** kommt dichte Kaltluft gegen die leichte Warmluft einfach voran (Advektion) und bildet daher eine steil ansteigende und mächtige Front. Die davor liegende feuchte Warmluft wird rasch in die Höhe verdrängt und abgekühlt. In kurzer Zeit kondensiert viel Wasserdampf, wobei die frei werdende Kondensationswärme das Aufsteigen der feuchten Warmluft verstärkt (Konvektion). Es bilden sich mächtige Haufenwolken (Cumuluswolken), die zu kurzem, heftigen Starkregen, dem **Schauer**, führen. Der Durchzug von Kaltfronten ist selten von Blitz, häufig jedoch von unvermittelt einsetzenden starken Böen sowie gelegentlich von Hagel begleitet.

An der **Warmfront** kann die Warmluft über die dichte Kaltluft nur langsam und flach ansteigend aufgleiten (Advektion). In der Warmluft kondensiert der Wasserdampf daher langsam, aber kontinuierlich. Es bilden sich Schichtwolken (Stratuswolken) begleitet von einem mehrere Stunden oder Tage andauernden, schwachen **Landregen** mit kleinen Tropfen. Führt die Warmluft hinter der Warmfront sehr viel Feuchtigkeit heran, so kann sich un-

ter orographischem Einfluss ein Starkniederschlag von mehreren Tagen entwickeln.

## Orographischer Einfluss

Die grössten Starkniederschläge mit längerer Dauer (ein bis mehrere Tage) entstehen beim Aufgleiten feuchter Luftmassen am Alpen- und Alpennord- und Alpennordrand. Diese orographische Hebung verstärkt Wärmegewitter, Schauer und Landregen erheblich und hat für die Entstehung von Starkniederschlag in der Schweiz eine grosse Bedeutung. Durch den Stauwirkung der Alpen werden die Luftmassen zum Aufsteigen gezwungen. Infolge der weiteren Abkühlung kondensiert noch mehr Wasserdampf und es bildet sich zusätzlicher Niederschlag. So tritt besonders intensiver Niederschlag auf der Alpennordseite bei der Entstehung und Intensivierung eines Tiefdruckwirbels über dem Golf von Genua auf. Die Verdunstung über dem Mittelmeer bei warmen Wasser- und Lufttemperaturen ist hoch, eine südliche Strömung mit hohen Temperaturen kann viel Feuchtigkeit transportieren und diese feuchten Luftmassen gleiten am Alpennordrand auf. Wie stark diese **Stau-niederschläge** sind und wie lange sie anhalten, hängt zusätzlich von der Zugbahngeschwindigkeit und der Dynamik des Tiefdruckgebietes ab. Beispielsweise erhöht sich die Niederschlagsintensität, wenn sich der Tiefdruckwirbel nur langsam über den Golf von Genua verlagert oder dort sogar verbleibt und wenn die Luftmassen im Tiefdruckwirbel räumlich konzentriert und mit hoher Geschwindigkeit aufsteigen. Betroffen sind vor allem die südlichen Alpentäler und die Poebene.

Der Tiefdruckwirbel kann bei einer sogenannten **5b-Wetterlage** aber auch vom Golf von Genua in einem Bogen über die Adria um die Alpenostseite herum ziehen und «über die Hintertüre» in Polen, Tschechien, Österreich, Deutschland und in der Ostschweiz zu Starkregen führen (Abb. 5).



## Arbeitsblatt: Starkniederschlag

Starkniederschläge können zu Hochwasser, Murgängen und Rutschungen führen und so Menschenleben gefährden und hohe Schadenssummen zur Folge haben. Von Starkniederschlägen ausgelöste Hochwasser verursachen weltweit und in der Schweiz 70–80 Prozent der Schadenssummen aller Naturereignisse. In der Schweiz bestehen aus verschiedenen Gründen «ideale» Bedingungen für Starkniederschläge.

### Fokus

Welche Voraussetzungen begünstigen Starkniederschläge in der Schweiz?

Beziehen Sie in Ihre Überlegungen meteorologische Aspekte der Niederschlagsbildung mit ein.

### Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zu den Ursachen von Starkniederschlägen in der Schweiz. Stellen Sie die wissenschaftlichen Kenntnisse Ihren Hypothesen gegenüber.

### Transfer

Die Schweiz gehört zu den Ländern mit der grössten Hagelgefahr Europas. Jährlich werden hierzulande Schäden in zweistelliger Millionenhöhe verursacht.

Wie hoch ist die Hagelgefahr in Ihrer Wohnregion?

Begründen Sie Ihre Einstufung aus meteorologischer Sicht.

## Literatur

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission. Bern.

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, 2006: Starkniederschlagsereignis August 2005. Zürich.

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (Jahr unbekannt): Typische Wetterlagen im Alpenraum. Zürich

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2004–2013: Wege durch die Wasserwelt. Hydrologische Exkursionen in der Schweiz. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Bern.

Bundesamt für Umwelt BAFU, 1992–2010: Hydrologischer Atlas der Schweiz. Bern.

Probst M., 2011: Wetterwissen.ch. Zentrum elektronische Medien (VBS/DDPS ZEM). Bern.

Schweizer Hagel-Versicherungs-Gesellschaft, 2005: Jubiläumsschrift zum 125jährigen Bestehen der Schweizer Hagel-Versicherungs-Gesellschaft. Zürich.

Sodemann H. et al., 2010: Seasonal and inter-annual variability of the moisture sources for Alpine precipitation during 1995–2002. *International Journal of Climatology*.

Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, 2007: Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Bern.

Weingartner R., Spreafico M., 2005: Hydrologie der Schweiz. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7. Bern.