Mittlere Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971–2008

Zusammenfassung
Die vorliegenden Karten zeigen die Verteilung des mittleren Niederschlags im Alpenraum 1971–2008 für ein Kalenderjahr, die zwölf Kalendermonate sowie die vier Saisons. Der zugrunde liegende Rasterdatensatz enthält für jeden Tag der Periode eine räumliche Niederschlagsanalyse mit Daten von im Mittel 5500 Stationen. Gebietsmittelwerte werden für Einzugsgebietsflächen ab 100 km^2 ausgewiesen.

Autoren: Francesco A. Isotta[1], Christoph Frei[1], Jan Schwanbeck[2]
[1] *Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Operation Center 1, CH-8058 Zürich-Flughafen*
[2] *Hydrologischer Atlas der Schweiz, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern*

1 Einleitung

Die vielfältigen Einflüsse eines Gebirges auf die Prozesse der Atmosphäre verursachen grosse räumliche Variationen des Niederschlags. So findet man beim mittleren Jahresniederschlag im Alpenraum auf einer Distanz von weniger als 100 km Unterschiede, die so gross sind wie zwischen Kreta und der schottischen Westküste. Die Variationen des Niederschlags sind komplex und lassen sich im Gegensatz zu denjenigen der Temperatur nur ungenau durch eine Beziehung zur Höhe über Meer beschreiben. Die Niederschlagsverhältnisse prägen den Charakter einer Landschaft und das Vorkommen natürlicher Ökosysteme; sie müssen bei der Planung ziviler Infrastrukturen, wasserwirtschaftlicher Massnahmen sowie der landwirtschaftlichen Nutzung unbedingt mitberücksichtigt werden.
Die vorliegenden Karten zu den langjährigen mittleren Niederschlagshöhen im Alpenraum lösen die in den Atlastafeln 2.6 [1] und 2.7 [2] präsentierten Niederschlagskarten ab. Sie sind wie die Tafeln 2.6 und 2.7 Resultate klimatologischer Niederschlagsanalysen für den gesamten Alpenraum. Die neuen Karten decken einen fast doppelt so langen Zeitraum ab und basieren auf einer noch grösseren Anzahl an Beobachtungen aus den nationalen und regionalen Messnetzen der Alpenländer.

2 Daten und Methodik

Den Karten der langjährigen mittleren Niederschlagshöhen im Alpenraum liegt der Datensatz «Alpine Precipitation Grid Dataset» APGD [3] zugrunde. Für eine ausführliche Beschreibung des Datensatzes, der Analysemethoden, der zugrundeliegenden Messdaten sowie der verschiedenen Fehlerquellen wird auf [3] verwiesen.
Der Rasterdatensatz APGD beinhaltet für jeden Tag der Periode 1971–2008 eine räumliche Niederschlagsanalyse für ein Gebiet, das die Europäischen Alpen und die angrenzenden Tiefländer umfasst. Die Schätzung der räumlichen Niederschlagsverteilung basiert auf Messwerten der täglichen Niederschlagshöhen an insgesamt mehr als 8500 Standorten. Da einige dieser Stationen nicht über die gesamte Periode in Betrieb waren, standen für die Berechnung der täglichen Niederschlagsgitter im Mittel Messwerte von 5500 Stationen pro Tag zur Verfügung. Die effektive räumliche Auflösung des Datensatzes entspricht in etwa der mittleren Entfernung zwischen benachbarten Messstationen, also 10–20 km. Die technische Auflösung entspricht der Grösse der Rasterzellen von 5 km x 5 km.
Zur Durchführung der Niederschlagsanalysen waren die folgenden Schritte notwendig:

1. Für alle Messstationen und jeden Kalendermonat wird die langjährige mittlere Niederschlagshöhe während der Referenzperiode 1971–1990 ermittelt.
2. Diese klimatologischen Stationsmittelwerte werden räumlich interpoliert, so dass für jeden Kalendermonat und jede Rasterzelle ein Niederschlagswert für die Referenzperiode 1971–1990 vorliegt. In diese Interpolation fliessen statistische Beziehungen zwischen Niederschlagsmesswerten von Stationen und der sie umgebenden Topographie aus dem regressionsbasierten Modell PRISM (Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model [4], [5]) ein.
3. Für jeden Tag der Periode 1971–2008 und jede Messstation wird die relative Anomalie – also die relative Abweichung – der gemessenen Niederschlagshöhe vom langjährigen Monatsmittel aus (1) ermittelt.
4. Die relativen Anomalien an den Messstationen werden räumlich unter Verwendung einer modifizierten Version des SYMAP-Algorithmus [6], [7] auf die Rasterzellen interpoliert.
5. Die täglichen Anomalienfelder aus Schritt (4) werden mit den klimatologischen Niederschlagsanalysen des entsprechenden Kalendermonats aus Schritt (2) multipliziert.

Bei der Erstellung des APGD-Datensatzes mussten die folgenden Fehler akzeptiert werden:

- Systematischer Messfehler: Der Einfluss des Windes an den Standorten der Messgeräte führt

Erläuterungstext ©Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bern 2018 – 1

zu einer zeitlich und örtlich variierenden Unterschätzung der Niederschlagsmenge. Mit besonders grossen Fehlern ist bei starkem Wind und Schneefall im Winter sowie in grossen Höhen zu rechnen [8]. Die Korrektur dieses Fehlers hat sich als schwierig herausgestellt [9], weshalb für die vorliegende Analyse darauf verzichtet wurde.

- Zufällige Messfehler entstehen als Folge von Messungenauigkeiten, Gerätedefekten oder Übertragungsfehlern. Die Kontrolle der Messdaten erfolgte teilweise bereits durch die jeweiligen Anbieter. Zusätzlich wurden automatische Plausibiltätskontrollen durchgeführt, um möglichst viele fehlerhafte Messwerte zu erkennen und auszuschliessen.

- Interpolationsfehler betreffen die Rasterzellen zwischen den Messstationen, für welche die Niederschlagshöhe geschätzt wurde. Diese Fehler werden umso kleiner, je grösser die Anzahl der Rasterzellen ist, die zu einem räumlichen Mittelwert zusammengefasst werden. In grossen Höhen stehen weniger Stationen zur Verfügung, deshalb ist dort mit einem erhöhten Interpolationsfehler zu rechnen.

Für den Hydrologischen Atlas wird der APGD-Datensatz zeitlich aggregiert, so dass für die Periode 1971–2008 zwölf Karten der mittleren monatlichen und eine der mittleren jährlichen Niederschläge resultieren. Räumlich aggregiert werden die langjährigen Mittelwerte für Einzugsgebiete mit einer Fläche von mindestens 100 km^2.

3 Resultate

Grossräumig ist die Verteilung des mittleren Jahresniederschlags durch zwei ausgeprägte Niederschlagsbänder entlang des nördlichen und südlichen Randes des Alpenbogens gekennzeichnet. Diese Bänder umfassen Zonen mit grossen Niederschlagshöhen. Das südliche Band lässt sich in zwei Hauptzonen unterteilen. Im Bereich des Gotthardpasses vereinigen sich das nördliche und südliche Band; sonst sind sie durch eine inneralpine Trockenzone getrennt, die im Bereich des Tirols besonders ausgedehnt ist. So werden an inneralpinen Gebirgsstationen geringere Niederschlagsmengen gemessen als typischerweise entlang des Alpenrandes. Die vorgelagerten Mittelgebirge mit Höhen unter 1500 m ü. M. (z. B. Schwarzwald) sind trotz ihrer tiefen Lage sehr niederschlagsreich. Im Gegensatz zu den Alpen findet man hier die grössten Niederschlagswerte im Bereich der höchsten Erhebungen.
Die monatlichen Niederschläge weisen – gemittelt über den dargestellten Kartenausschnitt – in den vier Monaten Dezember bis März mit 65–86 mm / Monat deutlich kleinere Werte auf als in den Monaten Mai bis November (97–107 mm / Monat). Die räumliche Verteilung zeigt die bereits beim Jahresniederschlag beschriebene Charakteristik wie etwa die niederschlagsreichen Zonen entlang der Alpenränder und über den Mittelgebirgen sowie die inneralpine Trockenzone. Allerdings sind diese Muster in den einzelnen Monaten unterschiedlich ausgeprägt.
Im Winter (Dezember bis Februar) sind im Vergleich zu den anderen Jahreszeiten die Niederschläge im gesamten Alpenraum kleiner; die Feuchtzone entlang des Südrandes der Alpen ist wenig ausgeprägt. Die inneralpinen Gebiete sowie Niederösterreich und Kärnten sind besonders trocken. Dagegen erhalten die Mittelgebirge (Jura, Vogesen, Schwarzwald) mehr Niederschlag als in den anderen Jahreszeiten. Tiefdruckgebiete über Nordeuropa mit den eingelagerten Fronten sowie Nordwestströmungen dürften diese Verteilung prägen. Auffällig sind weiterhin die relativ hohen Niederschläge über dem nördlichen Appennin und den Dinarischen Alpen.
Im Vergleich zum Winter sind die Unterschiede in den Niederschlagshöhen zwischen dem Alpennordrand und den Mittelgebirgen auf der einen Seite und dem Flachland auf der anderen Seite im Frühling (März bis Mai) geringer. Besonders grosse Niederschlagsmengen werden entlang des südlichen Alpenrandes (Tessin, Karnische und Julische Alpen) gemessen. Für diese Anomalien dürften häufige Südströmungen sowie der Beginn der Gewittertätigkeit im Spätfrühling verantwortlich sein.
Die Mittelmeerküste und der Apennin sind im Sommer (Juni bis August) niederschlagsarm, die zentralen und östlichen Alpen dagegen niederschlagsreich. Die grössten Niederschlagsmengen werden entlang des nördlichen Alpenrandes vorgefunden. Das entsprechende Feuchteband dehnt sich weiter ins Flachland aus als in den anderen Jahreszeiten. Für dieses Muster sind vor allem Gewitter in den Alpen und im Alpenvorland verantwortlich.
Im Herbst (September bis November) ist die räumliche Verteilung ähnlich wie im Frühling, wobei das Zentralmassiv, die Julischen und Karnischen Alpen sowie die Dinarischen Alpen besonders niederschlagsreich sind. Die starke Verdunstung von der warmen Meeresoberfläche sowie die häufigen Tiefdruckgebiete im westlichen Mittelmeer tragen zum Transport von grossen Wassermengen vom Mittelmeer in den Alpenraum bei. Starkniederschläge entlang der Südalpen sind deshalb im Herbst besonders häufig [3], [7].
Auf der monatlichen Zeitskala unterliegen die mittleren Niederschlagsmuster zum Teil markanten Veränderungen, die insbesondere auch im Sommerhalbjahr deutlich hervortreten. So erkennt man das Einsetzen der Gewitteraktivität nördlich des Alpenhauptkamms am auffälligen Wechsel der Niederschlagsverhältnisse vom Mai zum Juni. In der Südschweiz und in Norditalien klingt die niederschlagsreiche Sommerphase im Juli vorübergehend leicht ab. Die abrupte Abnahme des Niederschlags vom August zum September markiert schliesslich das Ende der sommerlichen Gewittertätigkeit über den Alpen. Der monatliche Verlauf im Herbst zeigt, dass im südlichen Alpenraum vor allem der Oktober sehr niederschlagsreich ist.

Literatur

[1] Schwarb, M., Daly, C., Frei, C. und Schär, C. (2001a). Mittlere jährliche Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971-1990. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Bd. 1. 2 Bde. Tafel 2.6. Bern. URL: http://www.hydrologischeratlas.ch/de/produkte/druckausgabe/niederschlag/tafel-2-6.

[2] Schwarb, M., Daly, C., Frei, C. und Schär, C. (2001b). Mittlere saisonale Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum 1971-1990. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Bd. 1. 2 Bde. Tafel 2.7. Bern. URL: http://www.hydrologischeratlas.ch/de/produkte/druckausgabe/niederschlag/tafel-2-6.

[3] Isotta, F. A. et al. (2014). The climate of daily precipitation in the Alps: development and analysis of a high-resolution grid dataset from pan-Alpine rain-gauge data. In: *International Journal of Climatology* 34.5, S. 1657–1675. ISSN: 1097-0088. DOI: 10.1002/joc.3794. URL: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.3794/full (besucht am 21. 01. 2018).

[4] Daly, C., Neilson, R. P. und Phillips, D. L. (1994). A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain. In: *Journal of Applied Meteorology* 33.2, S. 140–158. ISSN: 0894-8763. DOI: 10.1175/1520-0450(1994)033<0140:ASTMFM>2.0.CO;2. URL: http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0450%281994%29033%3C0140%3AASTMFM%3E2.0.CO%3B2 (besucht am 22. 01. 2018).

[5] Daly, C., Gibson, W. P., Taylor, G. H., Johnson, G. L. und Pasteris, P. (2002). A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. In: *Climate Research* 22.2, S. 99–113. ISSN: 0936-577X, 1616-1572. DOI: 10.3354/cr022099. URL: http://www.int-res.com/abstracts/cr/v22/n2/p99-113/ (besucht am 22. 01. 2018).

[6] Shepard, D. S. (1984). Computer Mapping: The SYMAP Interpolation Algorithm. In: *Spatial Statistics and Models*. Theory and Decision Library. Springer, Dordrecht, S. 133–145. ISBN: 978-94-017-3048-8. DOI: 10.1007/978-94-017-3048-8_7. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-3048-8_7 (besucht am 22. 01. 2018).

[7] Frei, C. und Schär, C. (1998). A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. In: *International Journal of Climatology* 18.8, S. 873–900. ISSN: 1097-0088. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8<873::AID-JOC255>3.0.CO;2-9. URL: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0088(19980630)18:8%3C873::AID-JOC255%3E3.0.CO;2-9/abstract (besucht am 22. 01. 2018).

[8] Sevruk, B. (1985). *Systematischer Niederschlagsmessfehler in der Schweiz*. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie 31. Bern.

[9] Schädler, B. und Weingartner, R. (2002). Ein detaillierter hydrologischer Blick auf die Wasserressourcen der Schweiz. In: *Wasser, Energie, Luft* 7/8.94, S. 189–197.