

# DER RHEIN UND DAS KLIMA

Die Erderwärmung wirkt sich auch auf den Abfluss des Alpenrheins aus. Mit weitreichenden Folgen.

Von Cornel Ehrler

Panta rhei – alles fliesst. Für den Alpenrhein stimmt dies im wahrsten Sinne des Wortes. Sogar der Name «Rhein» soll sich aus dem indogermanischen Wortstamm für Fliessen ableiten. Die Schweiz ist das Wasserschloss Mitteleuropas. Die Erderwärmung bringt unsere Gletscher zum Schmelzen und reduziert die winterliche Schneedecke, was sich auch auf den Abfluss des Alpenrheins auswirkt. Die Auswirkungen reichen weit über unsere Region hinaus, denn die Landwirtschaft nutzt den Rhein zur Bewässerung und das vom Rhein gespiesene Grundwasser wird, wie auch das Wasser des Bodensees, als Trinkwasser für Millionen von Menschen genutzt. Auch die Stromproduktion hängt zu einem beträchtlichen Teil von der Wasserführung des Hochrheins und seiner Quellflüsse ab. Daher lohnt es sich, einen Blick auf die Veränderungen zu werfen, auch wenn das Thema auf den ersten Blick etwas «trocken» erscheinen mag.

## Messungen und Einzugsgebiet

Der Abfluss des Alpenrheins – nach der Vereinigung von Vorder- und Hinterrhein – wird seit 1889 gemessen, anfänglich in Felsberg als

Messstation «Rhein Felsberg», ab 1989 etwas weiter flussaufwärts als Messstelle «Rhein Domat/Ems». Die Abflussmenge wird automatisch gemessen und kann online auf der Webseite des Bafu abgefragt werden ([www.hydrodaten.admin.ch/de/2602.html](http://www.hydrodaten.admin.ch/de/2602.html)).

Das Einzugsgebiet des Alpenrheins bei Domat/Ems umfasst 3241 km<sup>2</sup> und erstreckt sich über eine mittlere Höhe von 1997 m ü. M. Durch seine Lage in den östlichen Zentralalpen und weil es sich über die Wasserscheide hinweg erstreckt, wird das Einzugsgebiet durch drei regionale Klimazonen beeinflusst: die nordalpine, inneralpine und südalpine, wobei das nordalpine Klima dominiert.

Der Alpenrhein führt im Winterhalbjahr wenig Wasser, da in seinem höher gelegenen Einzugsgebiet vor allem Schnee fällt, der nicht schmilzt. So baut sich jeweils eine beträchtliche saisonale Schneedecke auf. Da rund die Hälfte des Einzugsgebiets über 2000 m ü. M. liegt, setzt die Schneeschmelze erst im April ein und dauert bis in den Juli hinein. In dieser Zeit führt der Rhein viel Wasser und das Schmelzwasser trübt den Fluss grau. Im Winterhalbjahr hingegen ist das Wasser klarer und hat eine blau-grüne Farbe.

## Einfluss der Wasserkraftwerke

Da rund 79 Prozent des Wassers im Sommer anfällt, wurden grosse Stauseen gebaut, um auch im Winter Strom produzieren zu können. Sie wurden vor allem zwischen 1954 und 1968 errichtet. Später folgten nur noch zwei kleine Werke mit sehr geringer Speicherkapazität. Das heisst, dass der Abfluss des Rheins bis 1954 wenig beeinflusst war und sich die saisonale Umverteilung ab 1968 einpendelte.

Heute verfügen die Stauseen im Einzugsgebiet des Rheins bei Domat/Ems über ein Speichervermögen von rund 550 Millionen Kubikmetern. Aus betrieblichen Gründen kann der Nutzinhalt von den Kraftwerken jedoch nicht vollumfänglich ausgeschöpft werden. Die mittlere Umlagerung von den Sommer- in die Wintermonate beträgt circa 360 Millionen Kubikmeter, was rund zehn Prozent des durchschnittlichen Jahresabflusses ausmacht. Die Stromproduktion des Kraftwerks bei Reichenau und aller weiter flussaufwärts liegenden Speicherwerke führt zu täglichen Wasserschwankungen, Schwall und Sunk genannt. Der Schwall entsteht, wenn mit dem Wasser aus den Stauseen und auch aus den kleinen Ausgleichsbecken, wie in Reichenau, Strom produziert wird. Wird die Stromproduktion gestoppt, fliesst kein Wasser mehr ab. Es herrscht sofort Niedrigwasser, Sunk genannt. Bei Niedrigwasser im Winter ist der Effekt besonders gross. Eigene Berechnungen haben ergeben, dass der Abfluss aus den Kraftwerken bis zu 23 Kubikmeter pro Sekunde ausmachen kann, wobei das naheliegende Kraftwerk Reichenau den grössten Einfluss hat. Die Kraftwerke verändern somit sowohl die Abflussverteilung innerhalb des Jahres wie auch den stündlichen Abfluss.

## Gletscherschmelze

In unserer Nationalhymne wird der sich rötende Alpenfirn besungen, was in Anbetracht des sich verändernden Klimas wohl bald Geschichte sein wird. Der Taminsergletscher auf rund 2900 m ü. M. und viele andere kleinere Glet-

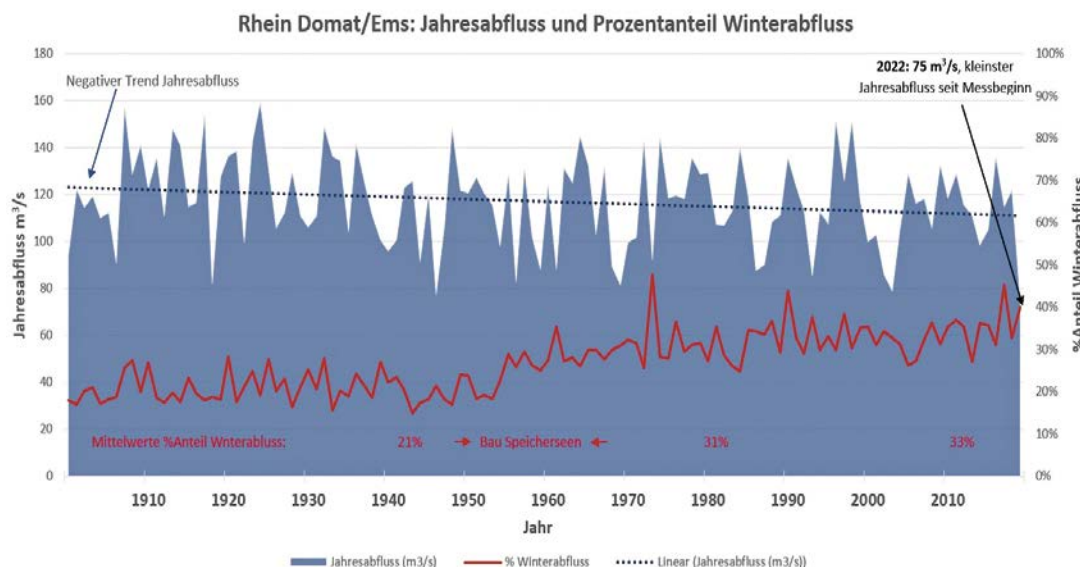


Blaugrüner Alpenrhein bei Felsberg: Niedrigwasser im Herbst.

Foto Cornel Ehrler

schers sind bereits geschmolzen. So wie unser Gewicht bei einer Fastenkur verzögert zurückgeht, reagieren auch die Gletscher verzögert auf die voranschreitende Erderwärmung. Sie werden deshalb weiterhin stark schmelzen und es ist davon auszugehen, dass bis in 30 Jahren die meisten Gletscher im Einzugsgebiet des Alpenrheins Geschichte sein werden. Nur von den Grössten werden wohl einige Reste übrig bleiben.

Die Gletscher sind, bzw. heute muss man leider sagen waren, relevant für den zwischen-jährlichen Abflussausgleich des Rheins, jedoch nicht als Wasserreserve. Noch 1980 bedeckten die Firne rund zwei Prozent des Einzugsgebietes und sorgten in trockenen und heissen Sommern für viel Wasser. Gemäss eigenen Berechnungen von 1997 betrug die Eisschmelze damals durchschnittlich 100 Millionen Kubikmeter pro Jahr, was rund sieben Prozent des Rheinabflusses in den Monaten Juli bis September ausmachte. Aktuell beträgt die Vergletscherung im Einzugsgebiet weniger als ein Prozent und die Gletschermasse ist noch einmal deutlich zurückgegangen. Das «Speichervolumen» aus Eis hat sich somit drastisch reduziert und kann in trockenen heissen Sommern die Wasserführung nicht mehr ausgleichen, wie die nachfolgenden Ausführungen weiter veranschaulichen. Die Alpengletscher nach der Eiszeit hatten und haben jedoch keine Bedeutung als langfristige Wasserreserve. Dafür ist ihre Masse zu klein.



In dieser Grafik sind die Schwankungen im Jahresabfluss sichtbar.

Grafik Cornel Ehrler

wird sich vor allem auf den Sommerabfluss aus. Zum Abflussvergleich mussten etwa gleich lange Perioden gewählt werden, mit Start ab 1966, da damals das letzte grosse Speicherwerk in Betrieb ging. In der unten stehenden Grafik werden somit die monatlichen Mittelwerte von zwei Perioden verglichen: 1966 bis 1993 (vor der starken Erwärmung) und 1994 bis 2022.

In der ersten Periode von 1966 bis 1993 besteht der Sommerabfluss vor allem aus der Schneeschmelze, aber auch hochsommerliches Abfluss aus den Gletschern ist darin enthalten. In der Periode von 1994 bis 2022 ging der Abfluss aus Schneeschmelze im Juli stark zurück (siehe graue Fläche in der Grafik Sommerabfluss) und es fehlte der ausgleichende Gletscherabfluss im Hochsommer. Es ist überraschend, wie gross und gut sichtbar der Einfluss der Klimaerwärmung

ist. Nur zum Vergleich ist der Abfluss des extrem schneearmen Jahres 2022 separat in Dunkelblau dargestellt.

Die Schneeschmelze ist also geringer, setzt früher ein und neigt sich bereits im Juli ihrem Ende zu, was zu einem generell geringeren Abfluss im Sommer führt. Im Sommer mangelte es den grossen Flüssen und Seen bis anhin nicht an Wasser. Inzwischen muss die Bewässerung aus Fliessgewässern bei grosser Trockenheit jedoch eingeschränkt werden, wie dieses Jahr im Kanton Aargau, da die Flüsse zu wenig Wasser führen. Auch das Grundwasser erhält weniger Zufluss und das bei zunehmender Nutzung.

### Veränderungen im Sommerabfluss



In den 1990er-Jahren hat die Erwärmung in der Schweiz richtig eingesetzt. Gemäss «MeteoSchweiz» stieg die Jahrestemperatur in der Nordschweiz in Bergregionen über 1000 M. ü. M. seit Mitte der 80er-Jahre um rund 1,8 Grad Celsius. Das

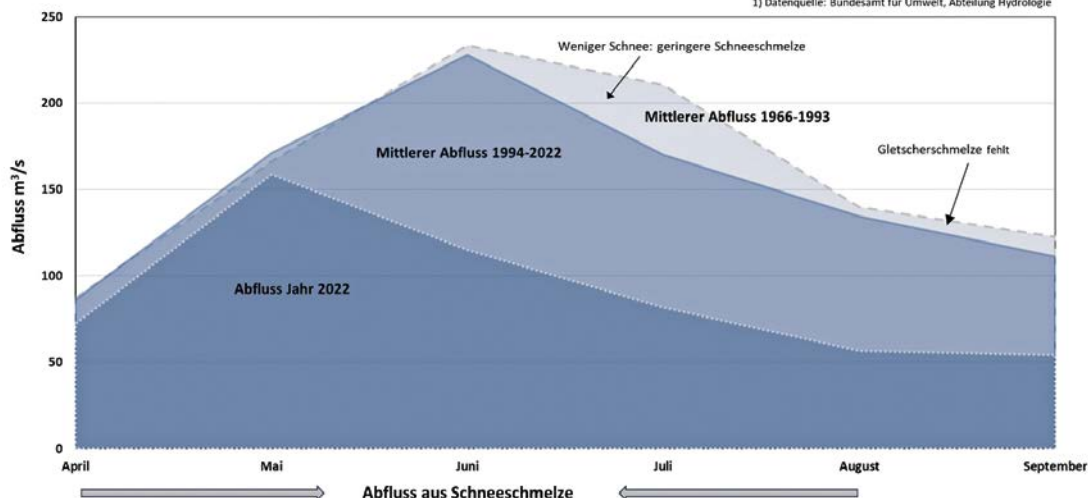
### Einfluss der Erwärmung auf den Jahresabfluss

Die oben stehende Grafik des Jahresabflusses zeigt, wie dieser von Jahr zu Jahr stark schwankt. Trotz dieser Schwankungen ist ein leichter Trend zu weniger Abfluss erkennbar (siehe gestrichelte Linie). So war der Jahresabfluss im vergangenen Jahr mit nur 75 Kubikmetern pro Sekunde der geringste seit Messbeginn. Der mittlere Jahresabfluss hat seit 1899 um rund 13 Kubikmeter pro Sekunde abgenommen, gemäss BAFU ist der Abfluss vor allem zu Beginn der Messreihe gesunken und der negative Trend ist noch zu gering, als dass er sich gesichert fortsetzt. Da sich die Niederschläge in unserer Region nicht merklich verändert haben, muss die Verdunstung zugenommen haben. Hobbygärtner können ein Lied davon singen, denn wer seit langer Zeit einen Garten pflegt, dem ist es vielleicht aufgefallen, dass immer häufiger zur Giesskanne gegriffen werden muss.

Beim Winterabfluss ist der Einfluss der Speicherseen deutlich sichtbar, sein Anteil hat sich von 21 auf 31 Prozent erhöht. Weil im Winter immer mehr Niederschlag in Form von Regen, anstelle von Schnee, fällt, hat sich der Winteranteil mittlerweile auf rund 33 Prozent erhöht.

Rhein Domat/Ems: Klimaerwärmung wirkt sich auf Sommer-Abfluss (m³/s) aus <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Datenquelle: Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie



Diese Grafik visualisiert die Veränderungen im Sommerabfluss des Rheins.

Grafik Cornel Ehrler

Aufgrund des grossen Einflusses der Wasserkraftwerke auf den Winterabfluss muss diese Erhöhung vorsichtig beurteilt werden, es ist jedoch zu erwarten, dass sie sich bewahrheiten wird.

### Grössere Hochwassergefahr?

Der Alpenrhein führt jeden Sommer Hochwasser, welches infolge der geringeren Schneeschmelze jedoch leicht zurückgeht. Dieses jährliche Hochwasser stellt heutzutage keine Gefahr mehr dar. Verheerende Hochwasserereignisse werden eher durch sommerliche Starkniederschläge, bei einer Schneefallgrenze von über 3000 m ü. M., verursacht. Die steigenden Temperaturen könnten theoretisch zu heftigeren Niederschlägen und somit auch zu einer grösseren Hochwassergefahr führen. Dass sich die Hochwasserspitzen verändert haben, ist in den Abflussdaten jedoch noch nicht erkennbar.

Gesichert ist jedoch, dass sich die Periode für gefährliche Hochwasser verlängert hat. Ein Beispiel dafür sind die sehr ungewöhnlichen Überschwemmungen vom 16. November 2002 mit grossen Schäden unter anderem in Rueun, Schlans und Domat/Ems, als der Bahnhof Felsberg unter Wasser stand. Damals verharrte die Schneefallgrenze bei anhaltenden Niederschlägen tagelang auf über 2500 m.ü.M.

### Auswirkung auf die Stromproduktion

Die Stromproduktion ist heute marktgetrieben, der Strom wird an Börsen gehandelt und die Preise schwanken stark. Bei Überproduktion fallen sie gar ins Minus und bei einer Energiekrise steigen die Preise in den Himmel, wie wir es letzten Herbst erlebt haben. Ein konkretes Beispiel für die direkte Marktbeeinflussung scheint am 11. Juni dieses Jahres passiert zu sein. An diesem Sonntag führte der Rhein viel Schmelzwasser, aber das Kraftwerk Reichenau produzierte tagsüber keinen Strom, alles Wasser floss über das Wehr in den alten Rheinlauf. Ein seltener Anblick und schön anzusehen, wie der Rhein mächtig über die Stromschnellen schoss. Ein Blick auf die Strombörse Epex Spot zeigte, dass der Strompreis tagsüber auf unter null gefallen war. Erst am Abend wurde die Stromproduktion wieder aufgenommen. Es ist also nicht nur die Wasserführung, die die Stromproduktion beeinflusst, sondern auch der Markt. Dies erschwert vor allem die Wirtschaftlichkeit von Laufkraftwerken (Werke ohne grosse Stauseen). Diese liefern im Sommer Tag und Nacht viel Strom, wenn bereits ein Stromüberfluss herrscht.

Die wegen der Erwärmung veränderte Wasserführung hat wohl einen leicht negativen Einfluss auf die Stromproduktion. Et-



Hochwasser vom 29. August 2020 im alten Rheinlauf unterhalb des Stauwehrs.

Foto Cornel Ehrler

was mehr Abfluss im Winterhalbjahr, dank erhöhter Schneegrenze, stehen vermehrte Hochwasserspitzen infolge Starkregens gegenüber, die ungeeignet für die Stromproduktion sind. Bei Hochwasser werden die Wasserfassungen geschlossen und die Stauwehre geöffnet, da das mitgeführte Material die Turbinen beschädigen und die Ausgleichsbecken auffüllen würden. Die Schneeschmelze hingegen führt zu einem regelmässigen Abfluss, der gut genutzt werden kann. Überhaupt sind Hochwasser mit ihrer grossen Fracht schlecht für die Stauseen. Die Sedimente lagern sich am Grund ab und verringern langsam, aber allmählich das Stauvolumen. Vor allem aber der generell leicht verminderte Jahresabfluss führt zu einer geringeren Stromproduktion.

### Fazit

Wie schon eingangs erwähnt: Alles ist in Bewegung – alles ist im Fluss. Vor rund 8000 Jahren war das Klima sogar wärmer als aktuell. Die Alpen müssen damals praktisch eisfrei gewesen sein. Wir steuern nun erneut und sehr rasant auf eine solche Erwärmung zu. Die Auswirkungen machen sich in unserer Region bereits bemerkbar. Der Alpenrhein führt im Sommer weniger Wasser und es kommt häufiger zu Trockenheiten. Wir müssen jetzt handeln, um auch langfristig genug Trinkwasser zur Verfügung zu haben und die Landwirtschaft auf Sommertrockenheit einzustellen. Ebenso muss sich die Stromproduktion anpassen, aber neue Laufkraftwerke wie beispielsweise das Projekt in der Chlus bei Landquart helfen wenig gegen die winterliche Stromlücke und tragen nur dazu bei, die letzten natürlichen Bäche trocken zu legen.

Gemäss dem schweizerischen Center für Klimageschichte (NCCS) wird die winterliche Nullgradgrenze in 30 Jahren von heute rund 850 m ü. M. auf circa 1500 m ü. M. steigen. In Graubünden werden die grossen Einnahmen aus dem klassischen Wintertourismus in Gefahr geraten. Hier gilt es jetzt die richtigen Weichen zu stellen.

Obwohl eine weitere Erderwärmung nicht mehr aufgehalten, sondern nur noch eingedämmt werden kann, ist es sinnvoll, zügig auf erneuerbare Energien umzustellen, nur schon der besseren Luftqualität wegen. Wir haben die Technik und das Wissen, um die Folgen besser oder schlechter zu bewältigen. Es liegt an uns.

*Der Autor bedankt sich beim Bundesamt für Umwelt Bafu, Abteilung Hydrologie für Messdaten und Auskünfte, bei Meteo Schweiz, beim NCCS sowie bei Rolf Weingartner.*

### ÜBER DEN AUTOR



Cornel Ehrler ist seit 1997 in Felsberg wohnhaft. Er studierte Geografie und doktorierte zum Thema «Auswirkungen der

Klimaänderung auf den

Wasserabfluss des Alpenrheins». Bis zu seiner Pensionierung im Sommer 2022 war er als Projektleiter Digitalisierung sowie als Datenanalyst tätig. Den Sommer verbringt er mit seiner Familie jeweils in Finnland.