

Wie außerordentlich war das Niedrigwasser im Winter 2005/06? – Eine hydrologisch-historische Betrachtung des Rheinabflusses in Basel

To what extent was the hydrological winter drought 2005/06 exceptional?
– A hydrological-historical review of streamflow in the River Rhine at Basel

von Rolf Weingartner und Christian Pfister

Der Aufsatz dokumentiert die extremen winterlichen Trockenheiten im oberen Rheineinzugsgebiet. Mit instrumentellen Daten ließ sich für den Rhein in Basel die Periode ab 1808 erschließen. Dazu musste die Datenreihe homogenisiert werden. Für den Zeitraum vor 1808 wurden vor allem Niedrigwassermarken an Fließgewässern und Seen sowie chronikalische Berichte analysiert. So konnten seit 1540 rund dreißig extreme winterliche Trockenheiten dokumentiert werden. Ausgeprägte Niedrigwassersituationen waren im 20. Jahrhundert als Folge der Klimaänderung mit erhöhten Temperaturen und Niederschlägen selten. Der Winter 2005/06 stellt somit eigentlich eine „Anomalie“ im allgemeinen Trend zu erhöhten Niedrigwasserabflüssen dar. Er wurde durch blockierende Hochdrucklagen verursacht.

This paper investigates processes involved in the generation of hydrological winter drought within the upper Rhine basin. Extremely low water stages have been documented mainly through hydrological measurements since 1808 at Basel. For the period prior to 1808, records emerging in rivers and lakes in cases of low water were used along with narrative evidence for assessing extreme events. 31 severe winter droughts have been documented since 1540. Severe winter droughts were relatively rare in the twentieth century compared with the former periods, owing to higher winter temperature and precipitation. Low-flow conditions in winter 2005/06 were therefore exceptional and were caused by persistent anticyclones.

1 Einleitung

Am 13. Februar 2006 lag der Wasserspiegel des Bodensees nur noch wenige Zentimeter über dem tiefsten je gemessenen Stand, jenem vom Februar 1858. Die Autofähren zwischen dem deutschen und dem schweizerischen Ufer mussten ihre Ladung stark reduzieren. Der Hafen von Rorschach konnte nicht mehr angelaufen werden, und die Insel Mainau war trockenen Fußes erreichbar.

Dies sind typische Anzeichen eines extrem niederschlagsarmen Winters. Aus hydrologischer und energiepolitischer Sicht stellt sich die Frage, inwieweit dieses Ereignis mit dem Klimawandel zusammenhängt. Dazu gilt es primär zu untersuchen, wie oft solche Extremsituationen in der Vergangenheit aufgetreten sind. Für das Einzugsgebiet des Rheins bei Basel reichen die einschlägigen Daten über 450 Jahre zurück. Von 1541 bis 1807 liegen Daten aus historischen Dokumenten vor. 1808 wurde bei der damals einzigen Brücke ein Pegel eingerichtet, so dass wir über eine beinahe 200-jährige Messreihe verfügen.

Im vorliegenden Aufsatz sollen die Befunde der historischen und instrumentellen Periode zuerst einzeln analysiert werden, um sie dann in einer abschließenden Synthese zu einem Gesamtbild zusammenzufügen.

2 Die instrumentelle Periode 1808–2006

Die Wasserstands- bzw. Abflussmessreihe des Rheins in Basel ist die längste zusammenhängende Reihe der Schweiz. Sie umfasst die Periode 1808 bis 2006. Der Ingenieur GHEZZI (1915) hat die Reihe 1808–1913 sorgfältig analysiert und homogenisiert, um Probleme, welche durch den Ableserhythmus (bis 1868 einmal pro Tag), durch die Pegelstand-Abfluss-Beziehungen sowie durch die Sohlenvertiefung entstanden sind, möglichst aufzufangen.

Ab 1869 liegen die Werte in digitaler Form vor, so dass umfassende hydrologische Analysen möglich sind. Auf den Tagesmittelwerten basierende statistische Tests belegen, dass die Reihe 1869–2006 homogen ist. Für den Zeitraum 1808–1868, für den nur analoge, auf einer Ablesung pro Tag beruhende Daten existieren, konnten nur die extremen Niedrigwassersituationen betrachtet werden. Letztere hat GHEZZI (1915) tabellarisch zusammengestellt.

Als Kenngröße zur Beschreibung der Niedrigwasserverhältnisse wird die Kenngröße AM_7 verwendet (DWWK 1983). Sie beschreibt das jährlich tiefste arithmetische Mittel einer 7-tägigen Periode. Im Gegensatz zum jährlichen, absolut tiefsten Tagesmittel (AM_1) ist AM_7 weniger fehleranfällig; dies ist gerade im Niedrigwasserbereich, bei dem die Messfehler relativ groß sind, nicht unerheblich. Die Kenngröße AM_7 wird in vielen Niedrigwasserstudien verwendet (TALLAKSEN & VAN LANEN 2004).

Bedingt durch das alpin geprägte Abflussregime des Rheins in Basel – mit vorherrschendem Niedrigwasser im Winterhalbjahr – trat AM_7 in den meisten Jahren zwischen Oktober und März auf (Abb. 1). Deshalb wählten wir als Basis für die nachfolgenden Analysen das hydrologische Jahr, welches vom 1. Oktober bis zum 30. September dauert. Somit umfasst beispielsweise das hydrologische Jahr 2000 den Zeitraum vom 1. Oktober 1999 bis 30. September 2000. Diese Wahl trägt insbesondere dem Umstand Rechnung, dass das erste Abflussminimum AM_7 manchmal im November oder Dezember liegt und von einem zweiten Minimum im Januar bis März des nächsten Kalenderjahrs gefolgt wird, so dass wir zwei von einander abhängige Werte erhalten. Mit dem hydrologischen

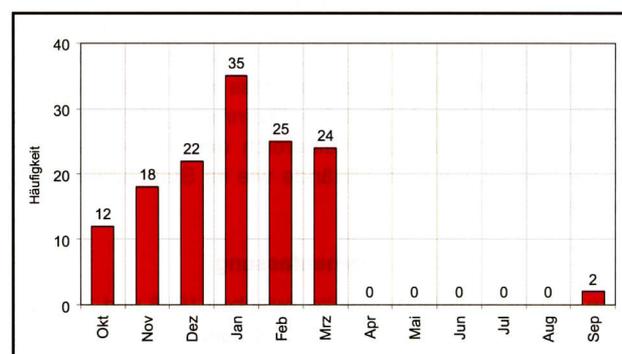


Abbildung 1

Monatliche Häufigkeit des Auftretens von AM_7 beim Rhein in Basel (hydrologische Jahre 1870–2006)

Monthly frequency of the occurrence of AM_7 (= the annually lowest arithmetic mean of a 7-day period) in the River Rhine at Basel (hydrological years 1870–2006)

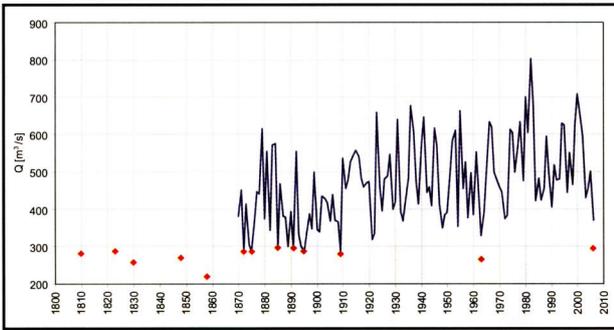


Abbildung 2
Zeitreihe der AM₇-Werte des Rheins in Basel (hydrologische Jahre). Durchgezogene Linie: beobachtete AM₇-Werte; rote Punkte: natürliche Extremwerte (ohne anthropogene Beeinflussung)
 Time series of the AM₇ values of the River Rhine at Basel (hydrological years). Full line: observed AM₇ values; red dots: natural extremes (without anthropogenic influence)

Jahr, bei dem im geschilderten Beispiel nur ein Minimum auftritt, werden solche Autokorrelationen vermieden.

Abbildung 2 stellt die Zeitreihe der AM₇-Werte des Rheins bei Basel dar, und zwar die vollständige Reihe ab 1869 und die natürlichen extremen AM₇-Werte der gesamten Periode 1808–2006. Betrachten wir als erstes die vollständige Messreihe. Eine sprunghafte Veränderung im hydrologischen Jahr 1910 trennt die Reihe in zwei unterschiedliche Zeitabschnitte, nämlich 1870–1909 und 1910–2006. Es wäre nahe liegend, die Veränderung auf messtechnische Gründe zurückzuführen, insbesondere auf einen Wechsel in der Pegelstand-Abfluss-Beziehung. Hierzu finden sich allerdings keine Indizien, weder bei GHEZZI (1915) noch beim zuständigen Sachbearbeiter beim Bundesamt für Umwelt in Bern (mündliche Auskunft). Als sehr wahrscheinlich kann dagegen ein Zusammenhang mit der Temperatur angenommen werden. BEGERT et al. (2005) weisen in ihrer Untersuchung zur Lufttemperaturentwicklung in der Schweiz darauf hin, dass genau um 1910 die Wintertemperaturen abrupt zugenommen haben.

Der AM₇-Mittelwert der ersten Periode 1870–1909 beträgt 395 m³/s, jener der zweiten (1910–2006) ist mit 503 m³/s markant höher. Die Niedrigwasserabflüsse in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, am Ende der Kleinen Eiszeit, waren also signifikant kleiner. Sehr kleine Niedrigwasserabflüsse um 300 m³/s sind im Mittel alle 4 bis 5 Jahre, nämlich in den hydrologischen Jahren 1872, 1874, 1875, 1885, 1889, 1891, 1894, 1895 und 1909, aufgetreten. Nach 1910 wurde das tiefe Niveau von 300 m³/s in den Messwerten nie mehr erreicht. Kleine AM₇-Werte finden wir in den hydrologischen Jahren 1921, 1922, 1933, 1948 (Oktober 1947), 1954, 1963, 1972 und 2006. Am 11. Februar 2006 (Mittelwert der Periode 8. bis 14. Februar) wurde beim Rhein in Basel ein AM₇-Wert von 365 m³/s beobachtet (prov. Daten). Dabei handelt es sich um den 7. tiefsten Wert seit 1910.

Im Folgenden soll die Zeitreihe ab 1870 mittels Trendanalysen vertieft betrachtet werden. Dazu wurden auf die AM₇-Reihe insgesamt 11 verschiedene parametrische und nicht-parametrische, lineare und nicht-lineare Trendverfahren angewandt:

- Alle Verfahren ergeben einen signifikanten positiven Trend für die Reihe 1870–2006, welcher zum großen Teil durch den Sprung um 1910 bedingt ist. Es darf vermutet werden, dass die bereits erwähnte abrupte Veränderung der Wintertemperaturen ab 1910 (BEGERT et al. 2005) maßgeblich für diesen Sprung verantwortlich ist.
- In der Zeitreihe 1870–1909 ist kein signifikanter Trend erkennbar.

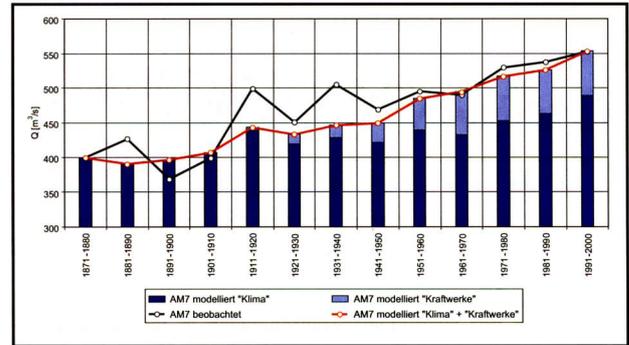


Abbildung 3
Beobachtete und modellierte 10-Jahres-Mittelwerte der AM₇-Werte des Rheins in Basel
 Observed and computed 10-year mean values of the AM₇ values of the River Rhine at Basel

- Unklarer sind die Verhältnisse in der Periode 1910–2006: Sechs Verfahren erkennen einen signifikanten Trend; fünf Verfahren – darunter auch der Mann-Kendall-Test – weisen keinen signifikanten Trend aus.
- Innerhalb der Reihe 1910–2006 bestehen zudem signifikante positive Trends bei Perioden, die zwischen 1945 und 1970 beginnen und in den 1980er Jahre enden.

Dieses Trendverhalten wird durch die 10-Jahres-Mittelwerte von AM₇ in Abbildung 3 (vgl. Legende: AM₇ beobachtet) bestätigt: Sowohl der Sprung um 1910 als auch der Anstieg in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sind deutlich erkennbar.

Welches sind die Ursachen dieser Veränderung im Niedrigwasserverhalten? Die nachfolgenden Analysen sollen dazu Antworten liefern. Dabei ist zwischen anthropogenen Einflussfaktoren und den Auswirkungen der Klimaänderung zu unterscheiden.

a) Anthropogene Einflussfaktoren

Im Einzugsgebiet des Rheins bis Basel wurde in alpinen Stauseen seit 1870, aber vor allem nach 1945, ein Nutzvolumen von insgesamt 1.6 km³ errichtet. Diese Stauseen sind jeweils zu Winterbeginn weitgehend gefüllt und werden während des Winters durch die Stromproduktion allmählich entleert (BFE 2006), woraus sich eine Erhöhung der Abflüsse ergibt. Aktuell ist in den Wintermonaten mit einer mittleren Erhöhung des Abflusses in Basel von rund 70 m³/s zu rechnen. In früheren Jahrzehnten bei kleineren Nutzvolumina war die Abflusserhöhung entsprechend kleiner. Wie Abbildung 3 (vgl. Legende: AM₇ modelliert „Kraftwerke“) verdeutlicht, kann mit der Kraftwerkskomponente ein wesentlicher Anteil des Anstiegs der AM₇-Werte im 20. Jahrhundert erklärt werden.

Weitere direkte anthropogene Einflüsse wie die Gewässerkorrekturen im Allgemeinen und die Juragewässerkorrektur im Speziellen, die Meliorationen, veränderte Seeregulierungen etc. sind sicherlich nicht auszuschließen, dürften allerdings quantitativ niemals das Ausmaß des Kraftwerkeinflusses erreichen.

In einem nächsten Schritt wurde von den beobachteten AM₇-Werten die Kraftwerkskomponente abgezogen (z.B. 2006: beobachteter Abfluss minus 70 m³/s), um eine Abschätzung der natürlichen Niedrigwasserabflüsse zu erhalten. Damit ist auch ein direkter Vergleich mit den Werten im 19. und im beginnenden 20. Jahrhundert möglich. In Abbildung 2 sind jene natürlichen Abflusswerte hervorgehoben, welche unter 300 m³/s liegen, also als „extrem“ zu bezeichnen sind. Es zeigt sich, dass die extremen Niedrigwasser in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts vermutlich etwas tiefer liegen als jene in der zweiten Hälfte. „Vermutlich“ deshalb, weil die Güte der

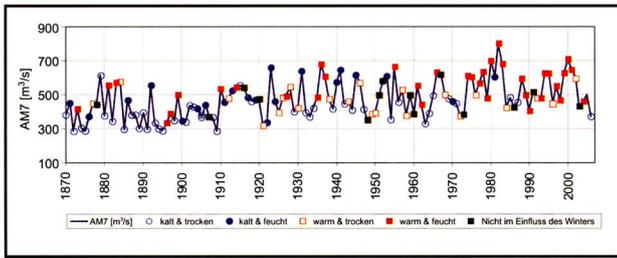


Abbildung 4
Einordnung der Niedrigwasserverhältnisse in den Witterungskontext auf der Basis der Niederschlags- und Temperaturdaten von Zürich (Datenquelle: BEGERT et al. 2005)

Low-flow conditions (AM_7) in the general weather context based on precipitation and temperature data from Zurich (Data source: BEGERT et al. 2005)

Messdaten im 19. Jahrhunderts nicht abschließend beurteilt werden kann. Nach 1910 finden sich nur zwei Jahre, die im Bereich des 19. Jahrhunderts liegen: 1963, das Jahr, in dem viele Schweizer Seen zufroren, und das Jahr 2006 (!). Die Abflüsse im Winter 05/06 gehören zu den 13 niedrigsten der letzten 200 Jahre. Der kleinste Abfluss AM_7 der letzten 200 Jahre war übrigens 1858 zu beobachten.

b) Klimaänderung

Zur Klärung des Einflusses der Klimaveränderung auf die Niedrigwasserverhältnisse wurden die AM_7 -Werte in den Witterungskontext eingeordnet. Dazu wurden die jeweiligen Winterhalbjahre aufgrund ihrer Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse klassiert (Abb. 4). Diese Klassierung basiert auf der homogenen Datenreihe von Zürich (BEGERT et al. 2005). Zürich repräsentiert die tieferen, im Winterhalbjahr abflusserzeugenden Lagen des Einzugsgebiets. Als „kalt“ wird ein Winter bezeichnet, wenn die mittleren Wintertemperaturen unter dem Median der Reihe 1865–2004, als „trocken“, wenn die Niederschlagsmengen des Winterhalbjahrs unter dem Median der Reihe 1865–2004 liegen.

Wie Abbildung 5 belegt, hat sich das Winterklima in Übereinstimmung mit anderen Autoren (WIDMANN & SCHÄR (1997), BEGERT et al. (2005)) markant verändert: Es ist wärmer und feuchter geworden. Im Weiteren fällt in Abbildung 4 auf, dass die AM_7 nach 1910 vermehrt im September oder Oktober aufgetreten sind (vgl. vor allem Legende: „Nicht im Einfluss des Winters“) und damit auf einen trockenen Sommer hinweisen (vgl. vor allem hydrologisches Jahr 1948: Oktober 1947, 1960: Oktober 1959, 1973: Oktober 1972, 1986: Oktober 1985 und 2003: September 2003).

Um den Einfluss der „Klimaänderung“ auf die Niedrigwasserverhältnisse quantitativ abzuschätzen, wurde folgendes Vorgehen gewählt: Für die Periode vor 1910, welche durch die Kraftwerke weitgehend unbeeinflusst ist, wurde für die AM_7 -Werte ein multiples Regressionsmodell erstellt. Als unabhängige Variablen dienten die Winterniederschläge (N_{Winter}) und die mittleren Wintertemperaturen (T_{Winter}) von Zürich (Winter: Oktober bis März):

$$AM_7 = 224.088 + 0.301 * N_{Winter\ Zürich} + 31.552 * T_{Winter\ Zürich} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Das Bestimmtheitsmaß von 0.32 belegt, dass mit dem Modell nur gerade ein Drittel der Varianz der AM_7 -Werte erklärt werden kann, also offensichtlich wichtige Einflussfaktoren unberücksichtigt bleiben. Zudem wurden der Einfachheit halber – und dies ist ein weiterer Grund für die geringe Modellgüte – nur die Klimamittelwerte des jeweiligen Winterhalbjahrs, also der Zeitperiode Oktober bis März, verwendet, obwohl die maßgebliche Niedrigwasserperiode vielfach schon vor Abschluss dieses Zeitfensters

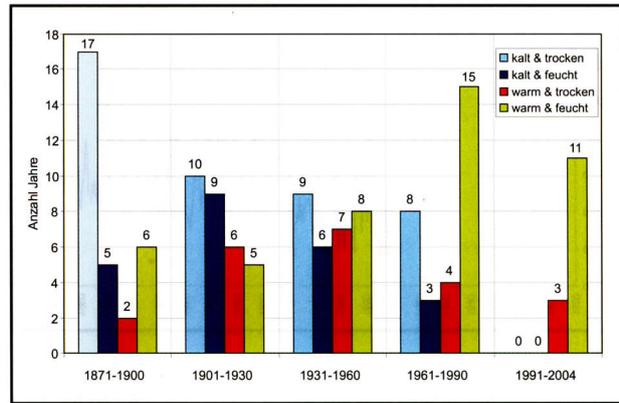


Abbildung 5
Veränderung der Winterwitterung in Zürich
 Variations of winter weather at Zurich

aufgetreten war. Andererseits kann mit diesem Modell das generelle klimabedingte Verhalten wiedergegeben werden. Dieses Modell wurde genutzt, um die witterungsbedingten jährlichen AM_7 -Werte für die Periode 1910–2005 abzuschätzen. Der Korrelationskoeffizient von 0.68 zwischen den beobachteten und modellierten Werten belegt, dass die Variabilität von Jahr zu Jahr zufriedenstellend wiedergegeben werden konnte. Es erstaunt hingegen auf Grund der Modellgüte nicht, dass in Einzeljahren größere Abweichungen zwischen den beobachteten und modellierten Werten auftreten. Deshalb werden im Folgenden nur noch die 10-Jahres-Mittelwerte verwendet, da hier ein gewisser Ausgleich der Fehler zu erwarten ist. Diese Dekadenmittel sind in Abbildung 3 (vgl. Legende: AM_7 modelliert „Klima“) dargestellt.

Es darf aufgrund dieser (einfachen) Modellierung gefolgert werden, dass auch die Klimaänderung durch wärmere und feuchtere Winter zu einer Erhöhung der Niedrigwasserwerte beigetragen hat. Somit hat der seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beobachtete Anstieg der AM_7 -Werte seine Ursachen sowohl in der Klimaänderung wie auch im Kraftwerkeinfluss. Der Beitrag der Kraftwerke zum Gesamtabfluss AM_7 beträgt nach 1950 im Mittel rund 14 %.

Der Winter 2005/2006 passt nicht in diesen allgemeinen Trend. Er war sehr trocken und kalt, wie der Vergleich mit den

Tabelle

Vergleich der Klimawerte von Zürich. Da die Niedrigwasserperiode im Winter 05/06 bereits im Februar 2006 durch größere Niederschläge beendet wurde, werden hier die Klimawerte des Zeitfensters November bis Januar verglichen

Comparison of climate values at Zurich. Because the drought period in the winter 2005/06 ended already in February 2006 with abundant precipitation, the climatic values of the time-window November-January are taken for this comparison

	Niederschlag [mm]	mittlere Temperatur [°C]
Median 1865-2004	194	1.03
Stichprobenumfang	142	142
Winter 05/06	115	0.43
Rang Winter 05/06	14	45

Rang 1: kleinster Wert

Medianwerten von Zürich belegt (Tab.). Dadurch ergaben sich im Einzugsgebiet des Rheins bis Basel Abflussverhältnisse, wie sie im 19. Jahrhundert häufig auftraten.

3 Die vorinstrumentelle Periode 1540–1807

Extreme Niedrigwasser wurden ähnlich wie Hochwasser anhand von Marken im Gelände dokumentiert. Als Projektionsfläche dienten Steinblöcke im Bett von Flüssen und Seen, die in solchen Situationen trocken fielen. Als Zeitmarke pflegten die Anwohnerinnen und Anwohner die Jahreszahl des Ereignisses in die Blöcke einzumeißeln.

Niedrigwassermarken waren unter anderem auf dem Laufenstein bei Laufenburg eingemeißelt, der beim Bau des Kraftwerks um 1910 gesprengt wurde (vgl. Abb. 6). Der Laufenstein fiel jeweils bei Niedrigwasser (< 300 m³/s) trocken. Das Städtchen Laufenburg liegt ca. 35 km östlich von Basel, und zwar unterhalb der Einmündung der Aare in den Rhein. Die dortigen hydrologischen Voraussetzungen sind mit jenen in Basel somit weitgehend vergleichbar. Der Ingenieur WALTER (1901) hat im Rahmen seiner Dissertation die auf dem Stein eingemeißelten Jahreszahlen der Nachwelt überliefert. Aller-

dings kann nachgewiesen werden, dass er einige davon nicht richtig entziffert hat.

Weitere Niedrigwassermarken aus dem Einzugsgebiet des Rheins bei Basel sind in einem Bericht erwähnt, den der Arzt Josef WITTMANN (1864) über die Auswirkungen des extremen Niedrigwassers vom Februar 1858 anhand einer Vielzahl von Pressemeldungen zusammenstellte. Unter anderem erwähnt WITTMANN den heute noch bekannten Teufelstisch im Bodensee zwischen Wallhausen und Überlingen. Schließlich waren extrem niedrige Wasserstände für vorindustrielle Chronisten ein Thema, weil in solchen Situationen die Mühlen still standen und kein Brot mehr gebacken werden konnte (PFISTER 1999).

Um zu gültigen Schlüssen zu kommen, wurde untersucht, inwieweit die Niedrigwassermarken mit chronikalischen Berichten übereinstimmten. Schließlich wurde die Stimmigkeit der rekonstruierten Niedrigwasser anhand von unabhängigen Klimaindikatoren, den monatlichen Niederschlagsindices, überprüft (PFISTER 1999). Der Anschluss an die Messperiode wurde durch eine Kalibration der Niedrigwassermarken mit den Pegelmessungen in Basel im Zeitraum 1808–1895 sichergestellt. Über die letzten 465 Jahre hinweg ließen sich auf diese Weise 31 extreme Niedrigwasserereignisse rekonstruieren (Abb. 7).

Niedrigwasser traten hauptsächlich in den Monaten November bis März auf (vgl. Abb. 1). Besonders häufig finden sich extreme Niedrigwassersituationen im 19. Jahrhundert. Die anthropogen bedingte Klimaerwärmung im 20. Jahrhundert scheint sich auch bei den Niedrigwasserverhältnissen abzubilden. Allerdings sind bereits im 16. und 17. Jahrhundert Perioden mit einer ähnlich geringen Häufigkeit von extremen Niedrigwassersituationen zu beobachten.

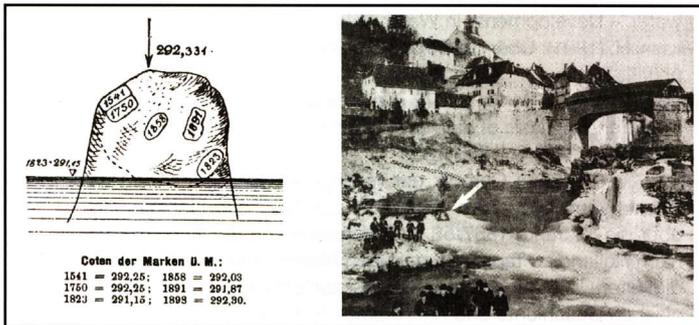


Abbildung 6
Niedrigwassermarken am Laufenstein bei Laufenburg am Rhein oberhalb Basel (links: Skizze von WALTER (1901); rechts: Bild aus WALTER (1901): Umgebung des Laufensteins bei Niedrigwasser)

Low-water marks on the Laufenstein rock at Laufenburg upstream of Basel (left: Drawing by WALTER (1901); right: Photo from WALTER (1901): Surroundings of the Laufenstein rock at low-flow)

4 Schlussfolgerungen: Das Jahr 2006 aus der Perspektive der letzten 450 Jahre

Die Verhältnisse im Winter 2005/06 sind gut mit den anderen dreißig extremen Niedrigwassersituationen vergleichbar, die innerhalb der letzten 450 Jahre nachgewiesen werden konnten. Vergleiche mit den europaweiten Rekonstruktionen des Luftdrucks, der Temperatur und des Niederschlags (LUTERBACHER et al. 2004) haben ergeben, dass die Niedrig-

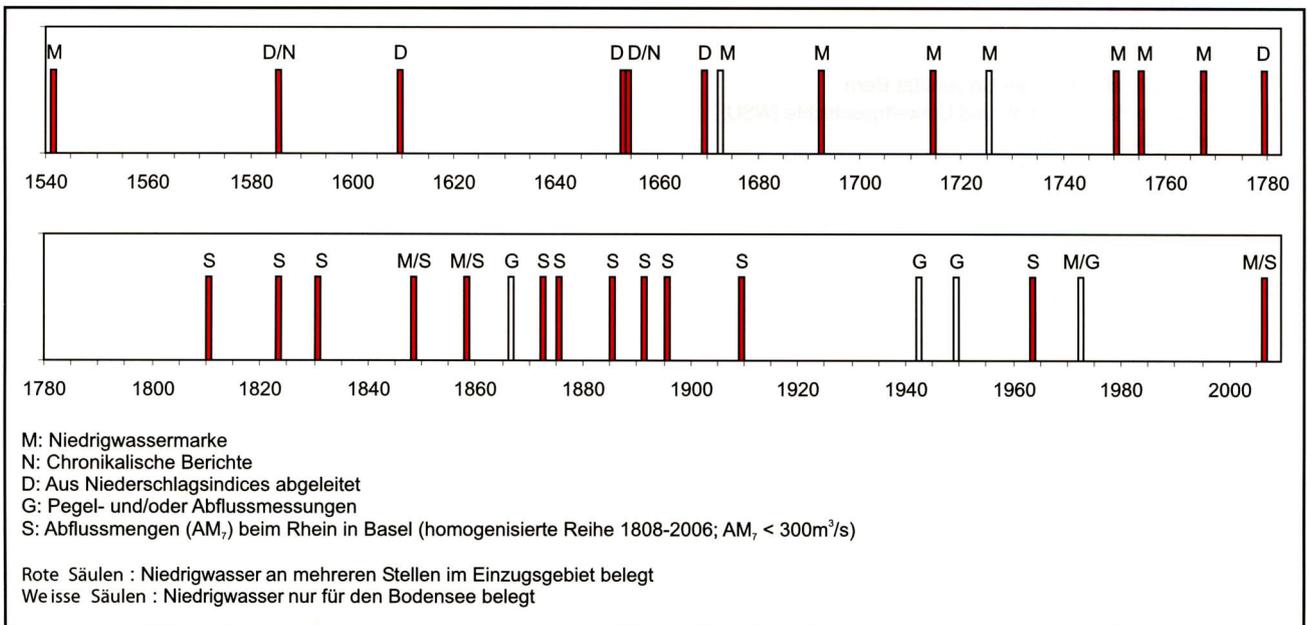


Abbildung 7
Häufigkeit extremer Trockenheit im Einzugsgebiet des Rheins, Basel, 1540–2006
 Frequency of extreme droughts in the catchment of the River Rhine, Basel, 1540-2006

wasser auf monatelang anhaltende blockierende Hochdrucklagen zurückzuführen sind, wie dies auch im Winter 2005/06 der Fall war (vgl. PFISTER et al. 2006). Blockierende winterliche Hochdrucklagen können also auch in der gegenwärtigen Periode der anthropogenen Klimaerwärmung auftreten. Solche „Anomalien“ stehen nicht im Widerspruch zum anthropogen bedingten Klimawandel, der zu eher wärmeren und feuchteren Wintern führt, wie uns das vor allem auch aus den 1990er Jahren bekannt ist.

Summary

The situation that prevailed in the winter 2005/06 is well comparable to the other thirty extreme low-flow events that could be documented for the past 450 years. Comparisons based on Europe-wide reconstructions of air pressure, temperature, and precipitation (LUTERBACHER et al. 2004) showed that hydrological droughts are caused by blocking anticyclones persisting over several months, as it was also the case in the winter 2005/06 (cf. PFISTER et al. 2006). Blocking winter anticyclones situations may occur also in the present period of anthropogenic global warming. Such „anomalies“ do not contradict the notion of anthropogenic climate change that is expected to tend towards warmer and wetter winters, as we experienced it impressively in the 1990s.

Danksagung

Folgende Personen haben zu diesem Aufsatz beigetragen: Jonas Steinmann: Datensammlung und Entwurf von Figuren; Stephanie Summermatter: redaktionelle Arbeiten; Roman Studer und Pavel Michna: Aufbereitung und Bearbeitung von Niederschlagsdaten; Pascal Hänggi: Hydrologische Datenanalysen. Ihnen sei für ihren Beitrag herzlich gedankt.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. R. Weingartner
Geographisches Institut der Universität Bern
Gruppe für Hydrologie
Hallerstrasse 12
3012 Bern, Schweiz
wein@giub.unibe.ch

Prof. Dr. C. Pfister
Historisches Institut der Universität Bern
Abt. Wirtschafts-, Sozial- und Umweltgeschichte (WSU)
Länggassstrasse 49
3000 Bern 9, Schweiz
pfister@hist.unibe.ch

Literaturverzeichnis

- BEGERT, M., T. SCHLEGEL & W. KIRCHHOFER (2005): Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. – *Int. J. Climatol* 25, S. 65–80
- BFE – Bundesamt für Energie (2006): Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2006. – www.energieschweiz.ch
- DVWK – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1983): *Niedrigwasseranalyse, Teil 1: Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses*. – DVWK Regeln zur Wasserwirtschaft 120, Hamburg und Berlin
- GHEZZI, C. (1915): Die Abflussverhältnisse des Rheins in Basel. – *Mitteilungen der Abteilung für Landeshydrographie* 8, Bern
- LUTERBACHER, J., D. DIETRICH, E. XOPLAKI, M. GROSJEAN & H. WANNER (2004): European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. – *Science* 303, S. 1499–1503
- PFISTER, C. (1999): *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. – Verlag Paul Haupt, Bern
- PFISTER, C., R. WEINGARTNER & J. LUTERBACHER (2006): Hydrological winter droughts over the last 450 years in the Upper Rhine basin. A methodological approach. – *Hydrological Sciences Journal* 51(5), 966–985
- TALLAKSEN, L.M. & H.A.J. VAN LANEN (2004): *Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. – *Developments in Water Science* No 48. Elsevier
- WALTER, H. (1901): Über die Stromschnelle von Laufenburg. – *Diss. phil. II. Zürich*
- WIDMANN, M. & C. SCHÄR (1997): A principal component and long-term trend analysis of daily precipitation in Switzerland. – *Int. J. Climatology* 17, S. 1333–1356
- WITTMANN, J. (1864): *Chronik der niedrigsten Wasserstände des Rheins vom Jahre 70 n. Chr. Geb. bis 1858 und Nachrichten über die im Jahre 1857/58 im Rheinbette von der Schweiz bis nach Holland zu Tage gekommenen Alterthümer und Merkwürdigkeiten*. – *Zeitschrift des Vereins zur Erforschung der Rheinischen Geschichte und Alterthümer*, S. 1–142, Mainz