



Fürstentum Liechtenstein

Vorarlberg

Graubünden

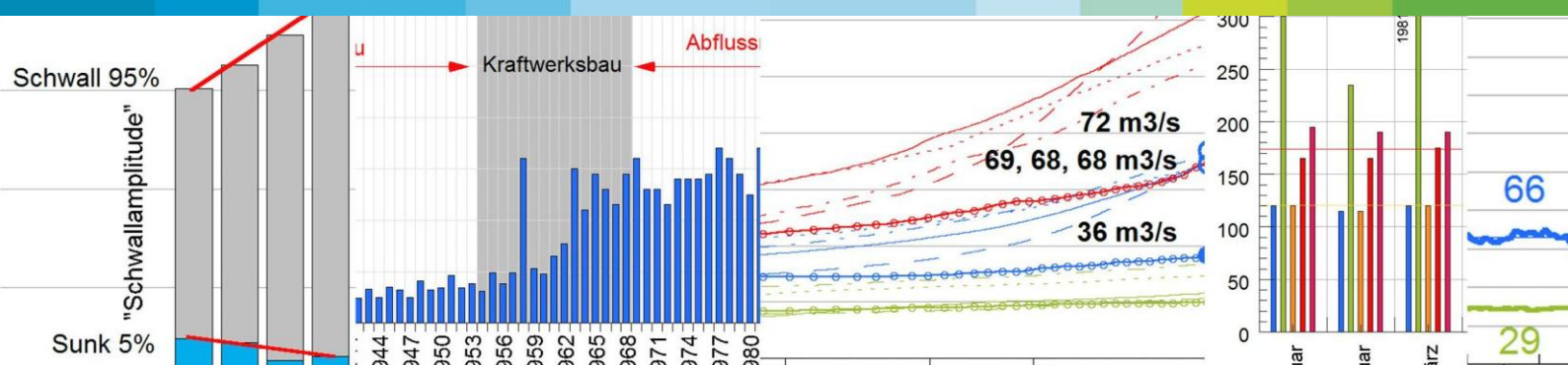
St. Gallen

Internationale Rheinregulierung

Alpenrhein

D6 Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile

Arbeitspaket 1+ Hydrologie



Zukunft Alpenrhein

Eine Initiative der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) und der Internationalen Rheinregulierung (IRR)

Alpenrhein D6

Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für
unterschiedliche Anforderungsprofile

Arbeitspaket 1+ Hydrologie

Auftraggeber:

IRKA

Internationale Regierungskommission Alpenrhein

Mit Unterstützung von:

Internationale Rheinregulierung; Bundesamt für Umwelt; Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Auftragnehmer:



Hunziker, Zarn & Partner AG
Ingenieurbüro für Fluss- und Wasserbau
Gassa Sutò 43A
CH-7013 Domat/Ems

Bearbeitung:

Dr. Benno Zarn, dipl. Bau-Ing. ETH Zürich

Domat/Ems, 31. Januar 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	6
2	Übersicht	7
3	Beeinflussung durch Speicherkraftwerke.....	8
3.1	Kraftwerksbau und Speichervolumen.....	8
3.2	Datenverfügbarkeit.....	9
3.3	Minimal-, Mittel- und Maximalwerte in Domat/Ems	9
3.3.1	Im Jahresverlauf	9
3.3.2	Maximalwerte in den Monaten November bis März	11
3.4	Mittlere Monatsabflüsse 1999 bis 2008	13
3.5	Veränderung der Schwall-Sunk Verhältnisse seit 1974	14
4	Literaturverzeichnis	19

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Speicherbau im Rheineinzugsgebiet oberhalb von Reichenau mit aufsummierten Nutzvolumen und Verfügbarkeit der Abflussdaten der Messstationen Felsberg- und Domat/Ems (aus [2] angepasst).....	8
Abb. 2: Mittlere Tagesabflüsse und Monatsmittel im Rhein bei Domat/Ems für die Perioden von 1899 bis und mit 1953 (ohne 1907 bis 1909) und von 1969 bis und mit 2008 (Datenbasis Tagesmittelwerte; Ziffern: Monatsmittel).....	10
Abb. 3: Minimale Tagesabflüsse und minimaler Monatsabfluss im Rhein bei Domat/Ems für die Perioden von 1899 bis und mit 1953 (ohne 1907 bis 1909) und von 1969 bis und mit 2008 (Datenbasis Tagesmittelwerte, Ziffern: Monatsmittel).....	10
Abb. 4: Maximale Tagesabflüsse und maximaler Monatsabfluss im Rhein bei Domat/Ems für die Perioden von 1899 bis und mit 1953 (ohne 1907 bis 1909) und von 1969 bis und mit 2008 (Datenbasis Tagesmittelwerte, Ziffern: Monatsmittel).....	10
Abb. 5: Maximale Abflüsse in den Monaten November und Februar in Domat/Ems zwischen 1899 und 2010 (2010 provisorische Werte).....	11
Abb. 6: Minimale und maximale Werte in den Monaten November bis März sowie $HQ_{\text{mon } 1}$, $HQ_{\text{mon } 2}$ und $HQ_{\text{mon } 5}$ jeweils bezogen auf die einzelnen Monate von 1899 bis 1953 (oben) und 1969 bis 2010 (unten; $HQ_{\text{mon } 2}$: Überschreitungswahrscheinlichkeit in einem Monat ist 1:2; 2010 provisorische Werte).	12
Abb. 7: Minimaler, mittlerer und maximaler Abfluss in der Periode von 1999 bis 2008 im Alpenrhein bei der Messstation Domat/Ems von November bis März. Grau hinterlegt ist die „Schwallamplitude“ von $184 \text{ m}^3/\text{s}$ (15 bis $199 \text{ m}^3/\text{s}$; Methodik siehe Text) und schwarz markiert die Ganglinie aus dem Arbeitspaket 1, Abb. 1). Siehe auch Ausschnitt in Abb. 8.	15
Abb. 8: Minimaler, mittlerer und maximaler Abfluss in der Periode von 1999 bis 2008 im Alpenrhein bei der Messstation Domat/Ems im Januar (Ausschnitt aus Abb. 7). Grau hinterlegt ist die „Schwallamplitude“ von $184 \text{ m}^3/\text{s}$ (15 bis $199 \text{ m}^3/\text{s}$; Methodik siehe Text) und schwarz markiert die Ganglinie aus dem Arbeitspaket 1, Abb. 1). Der dritte Peak der schwarzen Ganglinie wurde in der Modellierung der Mästrilser Rheinauen (Hydraulik- und Habitatmodell verwendet, siehe Abb. 2 Arbeitspaket 4).	16
Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der minimalen, mittleren und maximalen Abflüsse von November bis März von verschiedenen Perioden (TM: Datenbasis Tagesmittelwerte; QG: Datenbasis Q-Ganglinien). Die Jahre 1906, 1926, 1927, 1928, 1942 und 2002 sind wegen den grossen Novemberhochwasser nicht berücksichtigt (siehe auch Abb. 5 oben und Tab. 3).	16
Abb. 10: Vergleich von natürlichen Abflussschwankungen (1899 – 1953), kraftwerksbedingte tägliche Abflussschwankungen (Perioden zwischen 1974 bis 2008) sowie festgelegte Sunk- und Schwallabflüsse für Simulationen im hydraulischen Modell und im Habitatmodell (siehe auch Text, *: ohne 1906, 1926, 1927, 1928 und 1942; **: ohne 2002; ***: Mittelwert der Abflüsse in den Monaten November bis März der Periode von 1999 bis 2008 aus Tab. 1).	17

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Mittlere Monatsabflüsse der Periode von 1999 bis 2008 in den drei Untersuchungsabschnitten Mastrilser Rheinauen, Buchs und Koblach (alles gerundete Werte, siehe auch Text).....	14
Tab. 2: Mittlere Monatsabflüsse im Januar und im Februar zwischen 1999 und 2008 sowie Mittelwerte für die Periode von 1999 bis 2008 und von 1969 bis 2008 (Daten Messstation Domat/Ems aus Jahrbüchern der Landeshydrologie. Abweichungen zu den Werten in Tab. 1 hängen mit der Datenquelle (digitale Daten), Rundungen und der Auswertung (Schaltjahr) zusammen; Maximal- und Minimalwerte sind grau hinterlegt).....	14
Tab. 3: 5%-Fraktil der Minimalwerte, 50%-Fraktil der Mittelwerte und 95%-Fraktil der Maximalwerte aus Abb. 9 (TM: Tagesmittelwerte, QG: Q-Ganglinie, *: ohne Jahre 1906, 1926, 1927, 1928, 1942 und 2002).....	17

1 Zusammenfassung

Der Bau der grossen Speicherseen im Einzugsgebiet des Alpenrheins oberhalb von Reichenau konzentrierte sich auf die Periode von 1954 bis 1968. In dieser Zeit wurde insgesamt ein Nutzvolumen von 511 Mio. m³ realisiert. Mit der Bewirtschaftung dieser Speicherseen und der Umlagerung der Sommerabflüsse in den Winter nahm der mittlere Abfluss in den Wintermonaten November bis März von natürlichen 41 m³/s (1899- 1953) auf 67 m³/s zu. Die kleinsten Monatsmittel werden im Februar registriert. Dieses Monatsmittel nahm von 29 m³/s auf 66 m³/s zu. Auch die maximalen und minimalen Abflüsse sind heute im Winter grösser als früher. Dafür werden die sommerlichen Hochwasser gedämpft.

Im Monat November können die Abflüsse noch stark von Niederschlägen geprägt sein. Vor dem Kraftwerksbau sind im November Abflüsse über 400 m³/s eher häufiger aufgetreten als nach dem Kraftwerksbau. Dafür nahmen die Abflussspitzen im Februar von früher häufig zwischen 40 und 50 m³/s auf heute 150 bis 200 m³/s zu. In den Monaten Januar bis März lag das auf den Monat bezogene $HQ_{\text{mon } 2}$ früher unter 60 m³/s. Heute werden Werte von bis 175 m³/s erreicht.

Die Monatsmittel können in den Wintermonaten erheblich variieren. So schwankte zum Beispiel zwischen 1999 und 2008 der mittlere Januarabfluss in Domat/Ems zwischen 42.6 m³/s und 87.1 m³/s und in Diepoldsau zwischen 174 m³/s und 82.4 m³/s.

Der Sunk und Schwallabfluss hat sich seit 1974 verändert. In vier Untersuchungsperioden zwischen 1974 und 2008 nahmen in den Monaten November bis März bei Domat/Ems der Sunkabfluss von 24 auf 15 m³/s ab und der Schwallabfluss von 151 auf 199 m³/s zu. Die Methodik für die Bestimmung dieser Werte basiert auf dem 5% Fraktile der minimalen und dem 95%-Fraktile der maximalen Abflüsse in der Untersuchungsperiode.

2 Übersicht

Für die Simulationen mit den hydraulischen Modellen und den Habitatmodellen in den drei Referenzstrecken Mastrilser Rheinauen, Buchs und Koblach in der internationalen Rhein-strecke werden Abflussganglinien mit repräsentativem Schwall und Sunk benötigt. Als Grundlage dienen die Abflussganglinien aus [1]. Für die Mastrilser Rheinauen werden die Abflussverhältnisse vom 8. – 14. 1. 2001 und für die übrigen beiden Strecken diejenigen vom 17. – 23. 1. 2000 als repräsentativ angenommen. Basierend auf diesen Daten lassen sich für vier verschiedene Anforderungsprofile idealisierte Schwall-Sunk-Ganglinien erarbeiten. Am Workshop vom 10. März 2010 wurde festgelegt, dass das Wasser, welches für die Reduktion des Schwall zurückgehalten wird, in der Sunkphase abgeleitet werden soll, so dass die Bilanz über eine Woche wieder ausgeglichen ist (Wochenausgleich). Mit zunehmendem Anforderungsprofil beziehungsweise mit zunehmender Schwalldämpfung muss deshalb der Sunkabfluss grösser werden. Die vier Anforderungsprofile 1 bis 4 unterscheiden sich im Sunkabfluss und im Schwallabfluss sowie in der Abflussänderungsrate (Arbeitspaket 1).

Im Verlauf der Bearbeitung zeigte es sich, dass für die ökologische Beurteilung neben den Schwall-Sunk-Ganglinien für den Ist-Zustand und die Anforderungsprofile 1 bis 4 auch Informationen über weitere Abflussdaten wichtig sind. Insbesondere interessierten die Abflussverhältnisse vor der Inbetriebnahme der grossen Speicherkraftwerke mit der Umlagerung der Sommerabflüsse in das Winterhalbjahr (Abschnitt 3.3) sowie die mittleren Monatsabflüsse von November bis März im letzten Jahrzehnt (Abschnitt 3.4). Weiter stellte sich die Frage nach der Repräsentativität der Schwall-Sunk-Ganglinien vom 8. – 14. 1. 2001 beziehungsweise vom 17. – 23. 1. 2000, und in wie weit sich diese in den letzten Jahrzehnten verändert haben (Abschnitt 3.5). Die entsprechenden Abklärungen erfolgen für den obersten Rheinabschnitt mit Hilfe der Abflussmessdaten der beiden Stationen Felsberg und Domat/Ems. Die Auswertungen konzentrieren sich mehrheitlich auf die Monate November bis März, weil in dieser Periode die Eier der See- und Bachforelle im Substrat liegen und deshalb diese Monate für die Habitatsbeurteilung besonders wichtig sind.

3 Beeinflussung durch Speicherkraftwerke

3.1 Kraftwerksbau und Speichervolumen

Der Bau der grossen Speicherseen im Einzugsgebiet des Alpenrheins oberhalb von Reichenau konzentriert sich auf die Jahre von 1954 bis 1968. In dieser Periode wurde insgesamt ein Nutzvolumen von 511 Mio. m³ realisiert (Abb. 1). Seit 1968 kamen noch die Speicherseen bei Panix (Nutzvolumen rund 7 Mio. m³) und bei Solis (rund 1 Mio. m³) dazu. Das Wasser all dieser Speicherseen wird oberhalb der Messstation Felsberg beziehungsweise Domat/Ems in die Gewässer zurückgeleitet. Für die Analyse der Beeinflussung des Abflussregimes durch die Wasserkraftnutzung werden die Daten vor 1954 und die Daten nach 1968 einander gegenüber gestellt. Die Auswirkungen der beiden Speicher Solis und Panix sowie weiterer, kleiner Speicher kann so zwar nicht erfasst werden. Diese Ungenauigkeit wird zugunsten einer möglichst langen Vergleichsperiode in Kauf genommen, beziehungsweise ist vernachlässigbar. Die Erfassung allfälliger Auswirkungen einer Erhöhung der Turbinenleistung oder der Änderung des Betriebsregimes erfolgt mit Hilfe der Analyse der effektiven Ganglinie (Q-Ganglinie) ab 1974.

Auch das Einzugsgebiet unterhalb von Reichenau ist kraftwerksbeeinflusst. Die Auswirkungen auf das Abflussregime im Alpenrhein wurden im Rahmen dieser Untersuchung nicht abgeklärt.

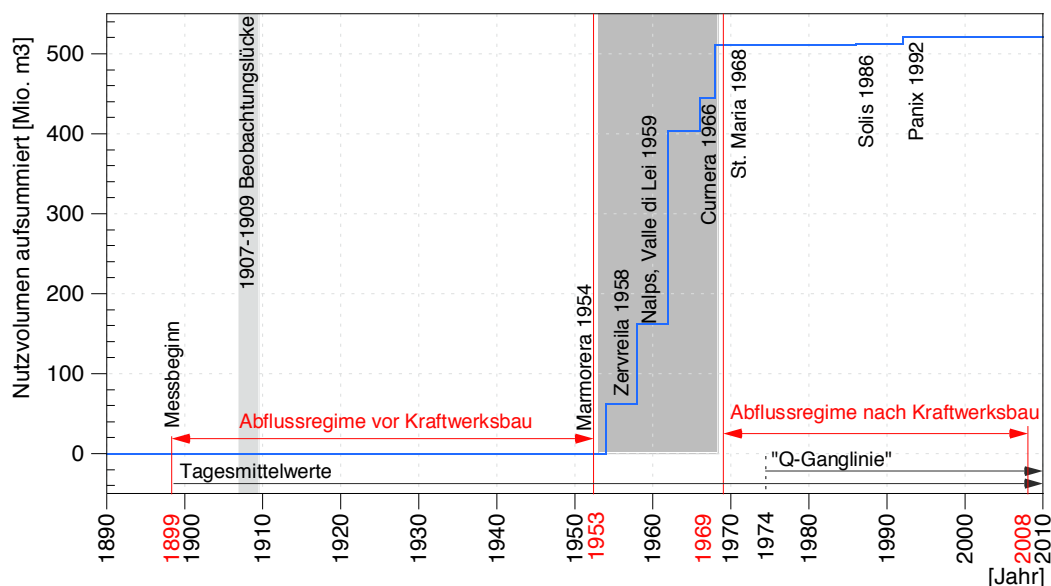


Abb. 1: Speicherbau im Rheineinzugsgebiet oberhalb von Reichenau mit aufsummierten Nutzvolumen und Verfügbarkeit der Abflussdaten der Messstationen Felsberg- und Domat/Ems (aus [2] angepasst).

3.2 Datenverfügbarkeit

Am Alpenrhein unterhalb des Zusammenflusses von Vorder- und Hinterrhein wurde der Abfluss von 1899 bis 1988 bei Felsberg (3249 km²) und anschliessend bei Domat/Ems (3229 km²) bestimmt. Die Lage der Messstation änderte in dieser Periode zweimal, wobei das Einzugsgebiet um 20 km² oder weniger als 1% abnahm. In der Folge werden alle Daten einfachheitshalber mit Domat/Ems bezeichnet. Von den Jahren 1907 bis 1909 sind keine Abflussdaten verfügbar. Bis 1974 entspricht die höchste Auflösung der digitalen Daten den Tagesmittelwerten. Ab 1974 stehen die effektiven Abflussganglinien zur Verfügung, welche im Weiteren mit Q-Ganglinien bezeichnet werden (Abb. 1).

3.3 Minimal-, Mittel- und Maximalwerte in Domat/Ems

3.3.1 Im Jahresverlauf

Um repräsentative minimale, mittlere und maximale Abflüsse im Jahresverlauf zu erhalten, wurden die Werte von 1899 bis und mit 1953 (52 Jahre ohne 1907-1909) und von 1969 bis und mit 2008 (40 Jahre) separat ausgewertet. Für jeden Tag und jeden Monat wurde der mittlere, der minimale und der maximale Abflusswert bestimmt. Die Auswertung der umfangreichen Daten erfolgte mit einem speziellen Auswerteprogramm¹. Die Resultate sind in Abb. 2 bis Abb. 4 dargestellt.

Aus den mittleren Abflüssen der beiden Perioden vor und nach dem Kraftwerksbau geht die Verlagerung der Sommerabflüsse ins Winterhalbjahr deutlich hervor (Abb. 2). In den Wintermonaten November bis März ist heute (1969-2008) der Abfluss im Mittel mit 67 m³/s über 60% grösser als vor dem Kraftwerksbetrieb (41 m³/s). Am grössten ist der Unterschied im Februar. In diesem Monat hat der Abfluss von 29 m³/s auf 66 m³/s zugenommen. Umgekehrt haben die Abflüsse in den Sommermonaten Mai bis September von 212 m³/s auf 169 m³/s abgenommen. In den Übergangsmonaten April und Oktober ist die Differenz am kleinsten. Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass der mittlere Abfluss in der ersten Periode mit 120.5 m³/s substantiell grösser war als in der zweiten Periode mit 113.5 m³/s.

¹ Programm Abfluss, Version 4.04, © Hunziker, Zarn & Partner AG

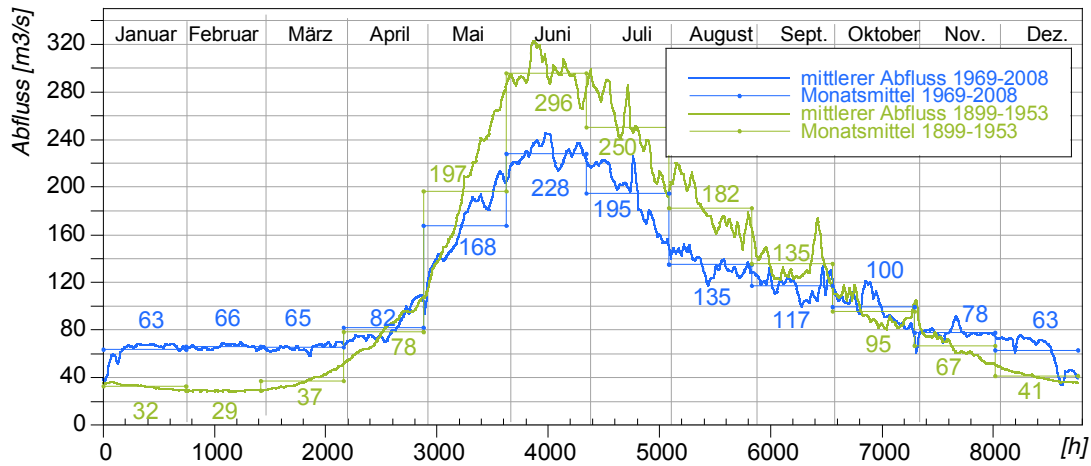


Abb. 2: Mittlere Tagesabflüsse und Monatsmittel im Rhein bei Domat/Ems für die Perioden von 1899 bis und mit 1953 (ohne 1907 bis 1909) und von 1969 bis und mit 2008 (Datenbasis Tagesmittelwerte; Ziffern: Monatsmittel).

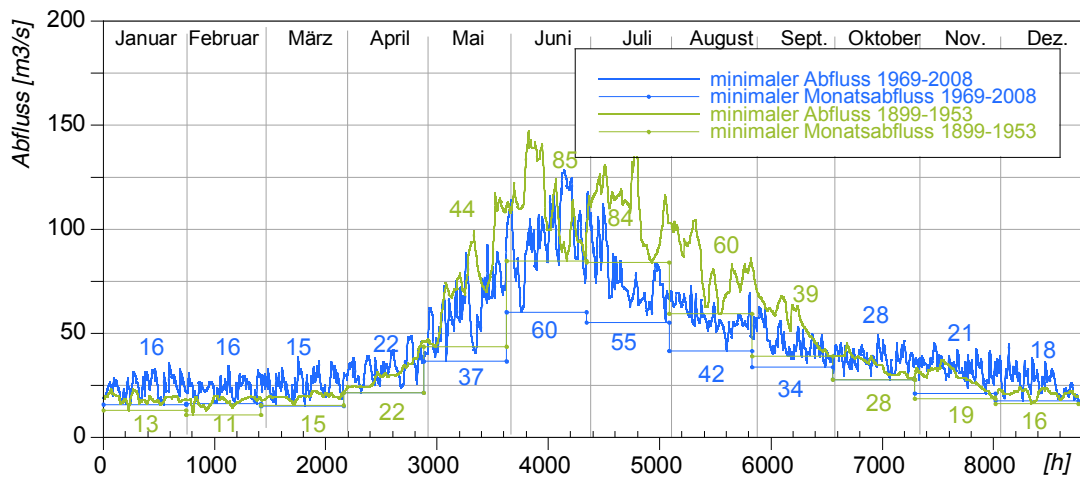


Abb. 3: Minimale Tagesabflüsse und minimaler Monatsabfluss im Rhein bei Domat/Ems für die Perioden von 1899 bis und mit 1953 (ohne 1907 bis 1909) und von 1969 bis und mit 2008 (Datenbasis Tagesmittelwerte, Ziffern: Monatsmittel).

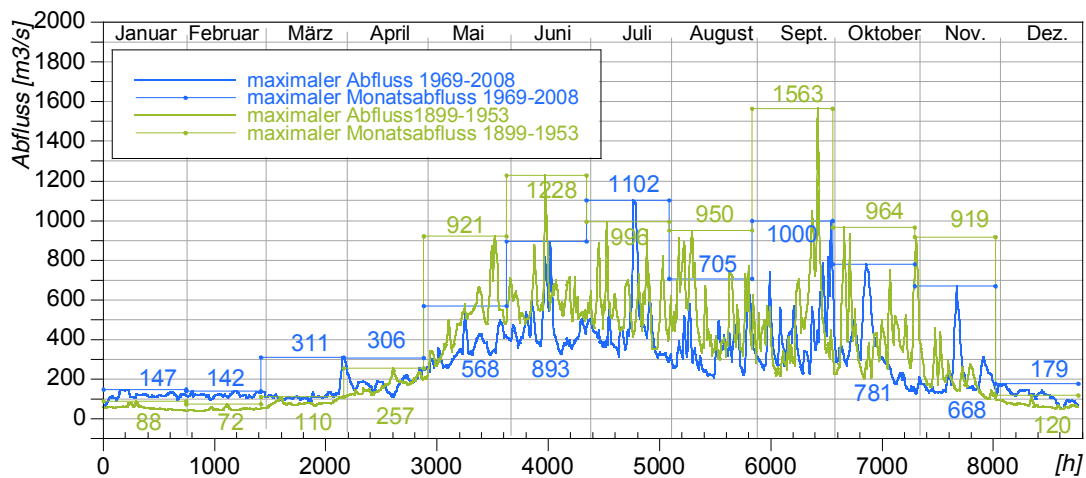


Abb. 4: Maximale Tagesabflüsse und maximaler Monatsabfluss im Rhein bei Domat/Ems für die Perioden von 1899 bis und mit 1953 (ohne 1907 bis 1909) und von 1969 bis und mit 2008 (Datenbasis Tagesmittelwerte, Ziffern: Monatsmittel).

Bei den minimalen und maximalen Abflüssen ist diese Umlagerung auch ersichtlich, aber weniger ausgeprägt, weil definitionsgemäss Extremwerte massgebend sind. Die winterlichen, monatlichen Minimalabflüsse unterscheiden sich in den beiden Perioden kaum. Im Sommer sind die monatlichen Minimalabflüsse mit Kraftwerksbetrieb deutlich geringer als ohne Kraftwerksbetrieb. Die maximalen Monatsabflüsse sind in den Sommermonaten von den grossen Hochwasserereignissen geprägt und nach dem Speicherbau durch deren Retentionswirkung gedämpft.

3.3.2 Maximalwerte in den Monaten November bis März

Auch die maximalen Abflüsse in den Monaten November bis März haben sich mit der Inbetriebnahme der Kraftwerke verändert. Im November sind die Maximalwerte noch häufig hochwasserbeeinflusst; im Februar sind sie in der Regel schwallbedingt (Abb. 5).

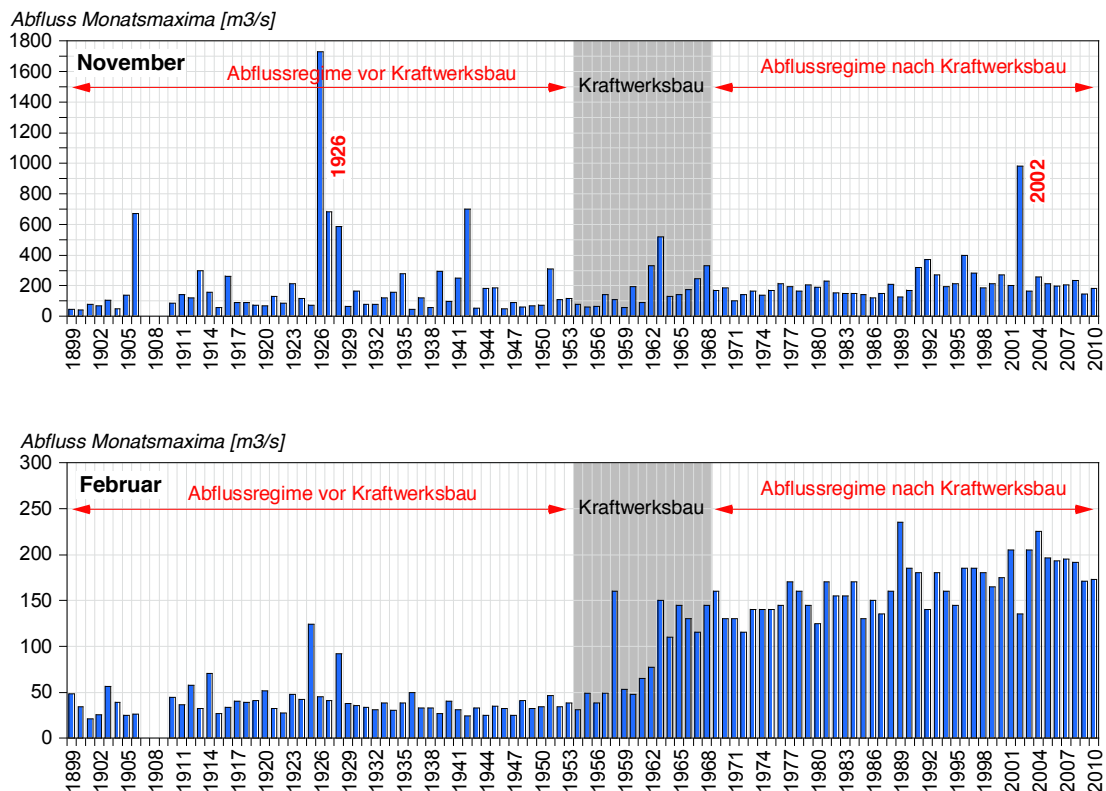


Abb. 5: Maximale Abflüsse in den Monaten November und Februar in Domat/Ems zwischen 1899 und 2010 (2010 provisorische Werte).

In Abb. 6 sind die Resultate der monatsweisen, statistischen Auswertung der Maxima von November bis März für die beiden Perioden vor und nach Kraftwerksbetrieb dargestellt

(empirische Überschreitungswahrscheinlichkeit). Zu beachten ist, dass vor allem im Monat November noch niederschlagsbedingt grosse Hochwasser auftreten können. Das monatsbezogene $HQ_{\text{mon } 2}$ liegt in den Monaten Dezember bis März vor der Inbetriebnahme der Kraftwerke bei maximal $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Nach der Inbetriebnahme der Kraftwerke nimmt dieser Wert auf $175 \text{ m}^3/\text{s}$ zu.

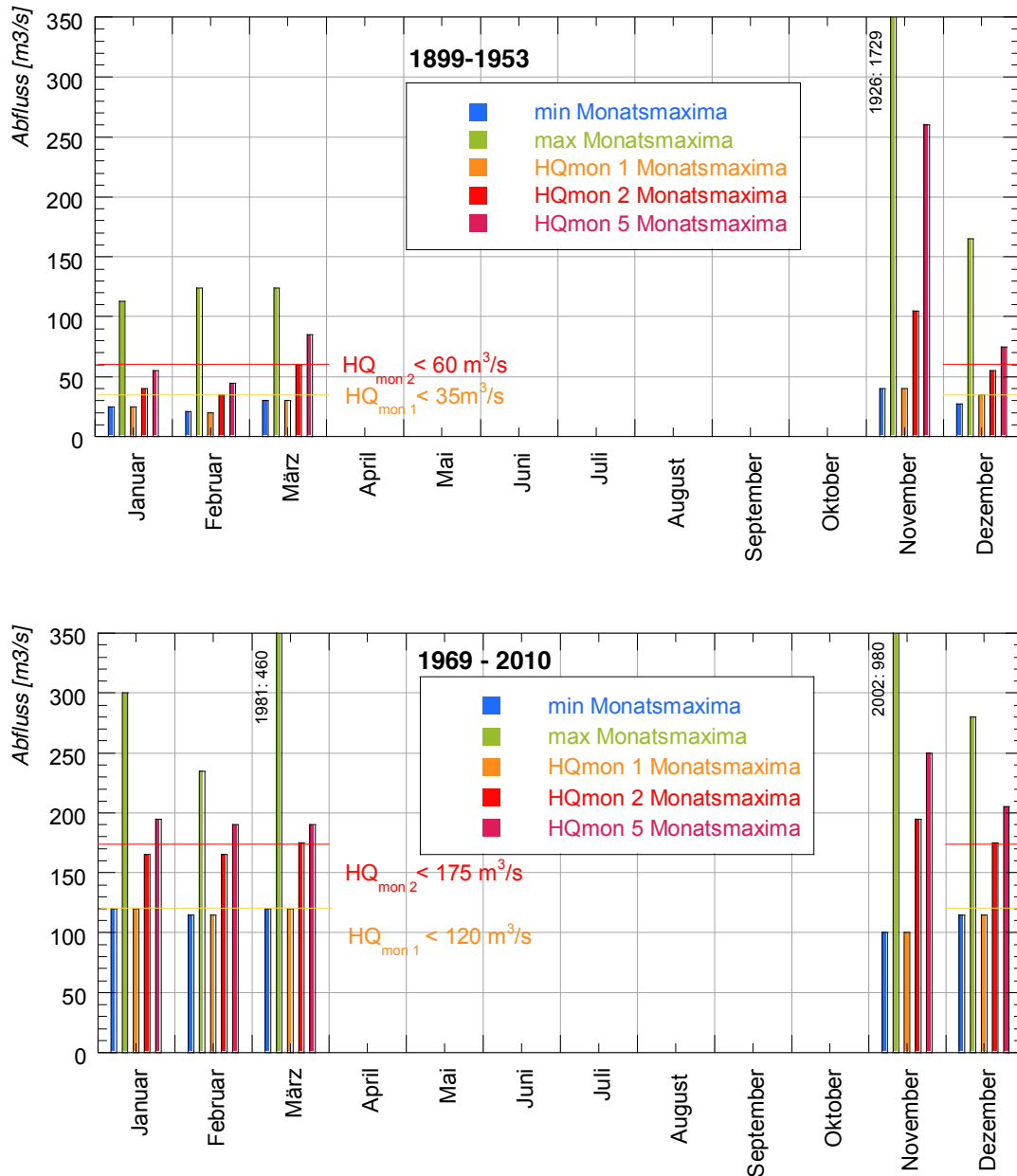


Abb. 6: Minimale und maximale Werte in den Monaten November bis März sowie $HQ_{\text{mon } 1}$, $HQ_{\text{mon } 2}$ und $HQ_{\text{mon } 5}$ jeweils bezogen auf die einzelnen Monate von 1899 bis 1953 (oben) und 1969 bis 2010 (unten; $HQ_{\text{mon } 2}$: Überschreitungswahrscheinlichkeit in einem Monat ist 1:2; 2010 provisorische Werte).

3.4 Mittlere Monatsabflüsse 1999 bis 2008

Für die Habitatmodellierung und Interpretation der Resultate ist der mittlere Winterabfluss in den Monaten November bis März in den drei Untersuchungsstrecken wichtig. Als Referenzperiode wurden die Jahre von 1999 bis 2008 festgelegt. Die Tab. 1 enthält die Mittelwerte der Monate Oktober bis April dieser Periode für die drei Untersuchungsstrecken. Zwischen November und März sind in Mastrils im Mittel $69 \text{ m}^3/\text{s}$, in Buchs $87 \text{ m}^3/\text{s}$ und in Koblach $141 \text{ m}^3/\text{s}$ abgeflossen. Bei der Interpretation oder Verwendung dieser Werte sind die folgenden zwei Abschnitte zu beachten.

Für Mastrils wurden direkt die Daten der Messstation Domat/Ems verwendet. Die Abflusszunahmen infolge der Plessur und ein paar kleiner Wildbäche sind vernachlässigt. Die Werte für Buchs entsprechen der Differenz der Werte der Messstation Bangs am Alpenrhein und derjenigen am Liechtensteiner Binnenkanal. Für Koblach kann wiederum direkt auf die Daten der Messstation Diepoldsau zurückgegriffen werden.

Am Beispiel der Messstation Domat/Ems wird geprüft, in wie weit die Periode von 1999 bis 2008 repräsentativ ist. Die mittleren Abflüsse der Perioden von 1979 bis 1988, von 1989 bis 1998 und von 1999 bis 2008 schwanken in einer engen Bandbreite. Auch mit dem Mittelwert der Periode von 1969 bis 2008 ist die Übereinstimmung gut (Tab. 2). Von Jahr zu Jahr können die Monatsmittelwerte aber erheblich schwanken. So werden für den Januar in der Periode von 1999 bis 2008 Werte zwischen 42.2 und $87.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgewiesen (Mittelwert $63.2 \text{ m}^3/\text{s}$). Zu beachten ist, dass die Basis der Sunk-Schwall Ganglinien auf Abflussdaten vom Januar 2001 (Mastrils) und Januar 2000 (Buchs, Koblach) basiert. Der Alpenrhein führte im Januar 2001 im Mittel $87.1 \text{ m}^3/\text{s}$ bei Domat/Ems (Mittelwert über die Periode von 1999 bis 2008 $63.2 \text{ m}^3/\text{s}$) und im Januar 2000 im Mittel bei Diepoldsau $143 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mittelwert $122 \text{ m}^3/\text{s}$) substantiell mehr Wasser als im langjährigen Mittel. Beim Anforderungsprofil 4 wurde die hydraulischen Simulationen mit hohen Abflüssen ausgeführt (Mastrils $95 \text{ m}^3/\text{s}$, Buchs $116 \text{ m}^3/\text{s}$). Bei der Beurteilung der Habitateigenschaften wurde deshalb auch noch ein tieferer Abfluss mitberücksichtigt (Anforderungsprofil 4a)².

² In den Habitatsimulationen mit dem Anforderungsprofil 4a konnten die hydraulischen Parameter aus einem Berechnungsschritt der Simulationen für die Anforderungsprofile 1 bis 3 mit dem entsprechenden Abfluss entnommen werden. Dies war möglich, weil wegen des konstanten Abflusses kein Trockenfallen beurteilt werden musste. Aus Zeit und Kostengründen wurde auf hydraulische Simulationen verzichtet.

Tab. 1: Mittlere Monatsabflüsse der Periode von 1999 bis 2008 in den drei Untersuchungsabschnitten Mastrilser Rheinauen, Buchs und Koblach (alles gerundete Werte, siehe auch Text).

Ort / Monat	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Nov.-März
Mastrils	95	90	64	63	67	64	78	69
Buchs	117	109	82	74	81	90	118	87
Koblach	192	173	131	122	127	155	199	141

Tab. 2: Mittlere Monatsabflüsse im Januar und im Februar zwischen 1999 und 2008 sowie Mittelwerte für die Periode von 1999 bis 2008 und von 1969 bis 2008 (Daten Messstation Domat/Ems aus Jahrbüchern der Landeshydrologie. Abweichungen zu den Werten in Tab. 1 hängen mit der Datenquelle (digitale Daten), Rundungen und der Auswertung (Schaltjahr) zusammen; Maximal- und Minimalwerte sind grau hinterlegt).

Jahr	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	99-08	69-08
Domat/Ems												
Jan	61.3	73.3	87.1	65.2	96.4	42.2	45.0	42.6	48.8	60.3	63.2	63.2
Feb	63.3	69.8	95.2	44.3	94.7	45.3	76.9	47.2	64.5	63.2	66.4	65.9
Diepoldsau												
Jan	121	143	143	120	174	114	103	82.4	114	106	122	
Feb	139	156	161	100	153	111	137	82.5	113	118	127	

3.5 Veränderung der Schwall-Sunk Verhältnisse seit 1974

Es wird allgemein angenommen, dass die Amplitude des Sunk-Schwall Abflusses in der Vergangenheit zugenommen hat. Die Quantifizierung dieser Veränderung ist schwierig, weil es sich um eine Amplitude und nicht um einen minimalen oder maximalen Abfluss handelt und der kraftwerksbedingte Schwall auch von Niederschlags- oder Schmelzereignissen überlagert sein kann. Um trotzdem eine Aussage machen zu können, wurde das im Folgenden beschriebene Vorgehen basierend auf den sogenannten Q-Ganglinie der Messstation Domat/Ems gewählt, welche ab 1974 verfügbar sind. Die Tagesmittelwert eignen sich für eine solche Analyse nicht.

Für die Perioden 1974-1978, 1979-1988, 1989-1998 und 1999-2008 wurden alle 0.1 h der minimale, mittlere und maximale Abfluss bestimmt. Da die letzte Periode auch das aussergewöhnliche Novemberhochwasser 2002 enthält, wurde diese Zeitspanne einmal mit und einmal ohne das Jahr 2002 analysiert. In Abb. 7 ist das Resultat für die Periode von 1999 bis 2008 dargestellt. Die Grafik zeigt deutlich, dass der Sunk-Schwall Abfluss im November wie z.B. im Jahr 2002 von Hochwasserereignissen überlagert sein können, während von Dezember

bis März solche Ereignisse kaum auftreten. Weiter kann der Darstellung entnommen werden, dass in den Monaten November bis März die kraftwerksbedingten Abflussänderungen ähnlich sind, wobei vor allem im November aber auch im Dezember der Basisabfluss im Vergleich zu der Periode von Januar bis März etwas erhöht ist. Klar erkennbar ist auch der reduzierte Kraftwerksbetrieb zwischen Weihnachten/Neujahr. Im März sind die Schwallspitzen eher etwas geringer als im Januar und Februar. Abb. 7 enthält weiter die Abflussganglinie vom 8. bis zum 14. Januar 2001 aus dem Arbeitspaket 1 (schwarz), auf welche sich die Anforderungsprofile 1 bis 4 abstützen. Abb. 8 zeigt den Januar von Abb. 7 vergrössert.

Der Sunk- und der Schwallabfluss wird in der vorliegenden Abklärung schliesslich mit Hilfe von Häufigkeitsverteilungen³ wie folgt definiert:

- Sunk: 5%-Fraktile der Häufigkeitsverteilung der Minimalwerte (= grüne Kurve in Abb. 7 beziehungsweise in Abb. 8)
- Schwall: 95%-Fraktile der Häufigkeitsverteilung der Maximalwerte (= rote Kurve in Abb. 7 beziehungsweise in Abb. 8)

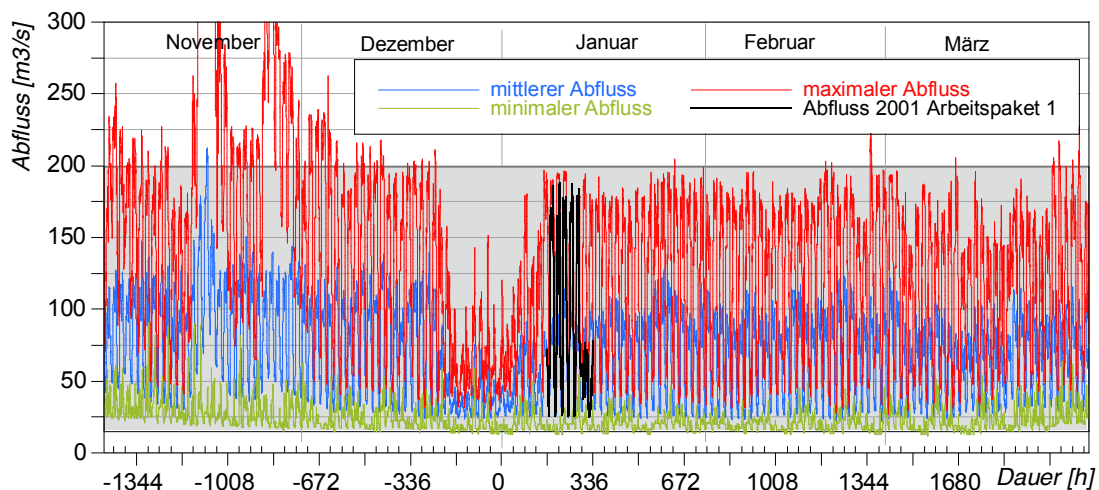


Abb. 7: Minimaler, mittlerer und maximaler Abfluss in der Periode von 1999 bis 2008 im Alpenrhein bei der Messstation Domat/Ems von November bis März. Grau hinterlegt ist die „Schwallamplitude“ von 184 m³/s (15 bis 199 m³/s; Methodik siehe Text) und schwarz markiert die Ganglinie aus dem Arbeitspaket 1, Abb. 1). Siehe auch Ausschnitt in Abb. 8.

³ In den Stellungnahmen zum Berichtsentwurf wird zum Teil beanstandet, dass die Sunk-Schwall Ganglinie aus Dauerkurven stammt. Dies beruht auf einer falschen Interpretation des Berichtsentwurfes. Mit Hilfe des beschriebenen Vorgehens wird versucht, die Veränderung des Sunk-Schwall Abflusses objektiv zu quantifizieren. Dazu dienen Häufigkeitsverteilungen und nicht Dauerkurven. Für die Simulationen in den Hydraulik- und Habitatmodellen werden die Sunk-Schwall Ganglinien aus dem Arbeitspaket 1 übernommen, welche im Arbeitspaket 4 in Abb. 2 bis 4 auf Seite 11 und 12 dargestellt sind.

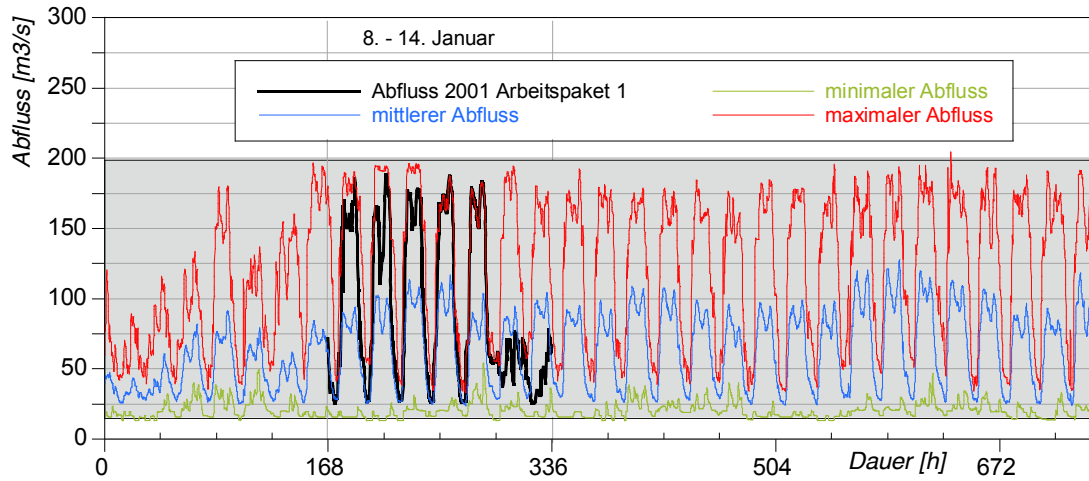


Abb. 8: Minimaler, mittlerer und maximaler Abfluss in der Periode von 1999 bis 2008 im Alpenrhein bei der Messstation Domat/Ems im Januar (Ausschnitt aus Abb. 7). Grau hinterlegt ist die „Schwallamplitude“ von 184 m³/s (15 bis 199 m³/s; Methodik siehe Text) und schwarz markiert die Ganglinie aus dem Arbeitspaket 1, Abb. 1). Der dritte Peak der schwarzen Ganglinie wurde in der Modellierung der Mastrilser Rheinauen (Hydraulik- und Habitatmodell verwendet, siehe Abb. 2 Arbeitspaket 4).

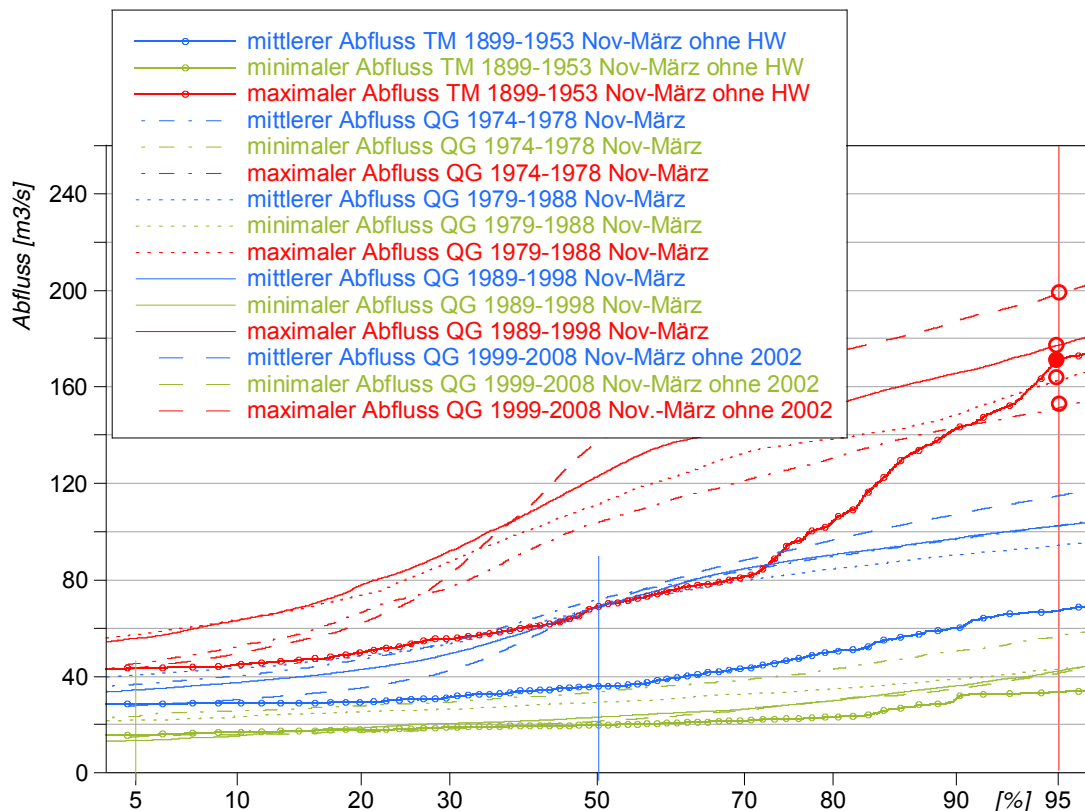


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der minimalen, mittleren und maximalen Abflüsse von November bis März von verschiedenen Perioden (TM: Datenbasis Tagesmittelwerte; QG: Datenbasis Q-Ganglinien). Die Jahre 1906, 1926, 1927, 1928, 1942 und 2002 sind wegen den grossen Novemberhochwasser nicht berücksichtigt (siehe auch Abb. 5 oben und Tab. 3).

Tab. 3: 5%-Fraktile der Minimalwerte, 50%-Fraktile der Mittelwerte und 95%-Fraktile der Maximalwerte aus Abb. 9 (TM: Tagesmittelwerte, QG: Q-Ganglinie, *: ohne Jahre 1906, 1926, 1927, 1928, 1942 und 2002).

Ort / Monat	1899-1953 TM	1899-1953* TM	1974-1978 QG	1979-1988 QG	1989-1998 QG	1999 – 2008 QG	1999 – 2008* QG
95%-Fraktile	254	172	151	163	178	242	199
50%-Fraktile	36		72	68	68	68	
5%-Fraktile	16	16	24	22	13	15	15
5-95%-Fraktile	-	156	127	141	165	-	184

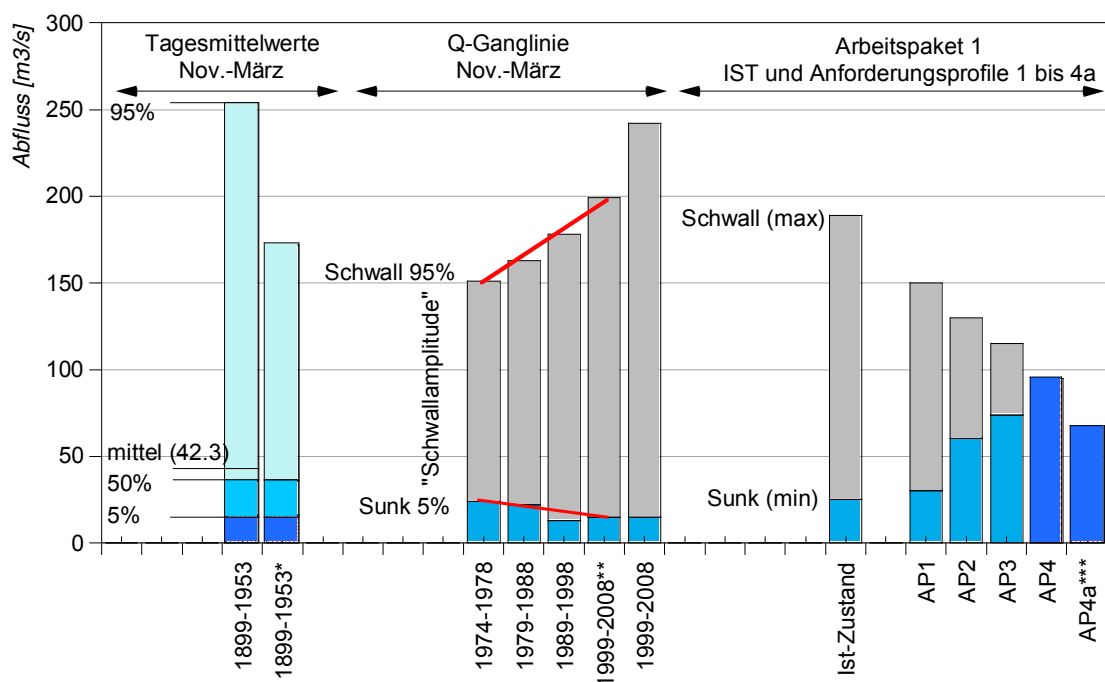


Abb. 10: Vergleich von natürlichen Abflussschwankungen (1899 – 1953), kraftwerksbedingte tägliche Abflussschwankungen (Perioden zwischen 1974 bis 2008) sowie festgelegte Sunk- und Schwallabflüsse für Simulationen im hydraulischen Modell und im Habitatmodell (siehe auch Text, *: ohne 1906, 1926, 1927, 1928 und 1942; **: ohne 2002; ***: Mittelwert der Abflüsse in den Monaten November bis März der Periode von 1999 bis 2008 aus Tab. 1).

In Abb. 10 sind die Resultate aus Abb. 9 graphisch aufbereitet und in der Tab. 3 sind die entsprechenden Werte zusammengestellt. Mit der gewählten Definition von Sunk und Schwall hat in den vier untersuchten Perioden der Sunkabfluss von 24 auf 15 m³/s (grüne Kurve in Abb. 9) ab- und der Schwallabfluss von 151 auf 199 m³/s zugenommen (rote Kurve in Abb. 9). Wird das Jahr 2002 mit dem grossen Novemberhochwasser berücksichtigt, so würde der Schwallabfluss auf unrealistische 242 m³/s zunehmen. Der mittlere Abfluss in diesen vier Perioden liegt in einer engen Bandbreite von 67.1 bis 69.7 m³/s.

Die „Schwallamplitude“ für die Periode von 1999 bis 2008 ohne das Jahr 2002 aus Abb. 10 ist in Abb. 7 und Abb. 8 grau hinterlegt. Diese Bandbreite deckt die effektiven Sunk-Schwall Ganglinien gut ab.

Analog zum oben beschriebenen Vorgehen wurden auch die Tagesmittelwerte von 1899 bis 1953 analysiert. Auch in dieser Periode traten in den Jahren 1906, 1926, 1927, 1928 und 1942 grosse Novemberhochwasser auf (Abb. 5). Die Auswertung erfolgte einmal mit und einmal ohne diese Hochwasser. Das 5%- und 95%-Fraktil ist zwar ähnlich wie in den Perioden nach 1974, die Verteilfunktionen sind aber doch sehr unterschiedlich. Vor allem ist zu beachten, dass die grosse Differenz von 5% bis 95% in Abb. 10 von einzelnen Hochwasserabflüssen stammt und nicht wie in den Perioden nach 1974 vom täglichen Abflussschwall. Auch ist zu bemerken, dass die Hochwasser zwischen 1899 bis 1953 wegen der Verwendung der Tagesmittel gedämpft in die Analyse einfliessen.

Als Vergleich sind in Abb. 10 auch noch der Sunk und Schwall des Ist-Zustandes und der Anforderungsprofile 1 bis 4 mit Wochenausgleich für den Abschnitt Mastrils dargestellt (siehe Arbeitspaket 1). Mit diesen Werten beziehungsweise den entsprechenden Ganglinien erfolgten die Simulationen in den Hydraulik- und in den Habitatmodellen. Der Sunk-Schwall des Ist-Zustandes entspricht den Verhältnissen in der Periode von 1999 bis 2008 und das Anforderungsprofil 1 etwa den Verhältnissen in der Periode von 1974 bis 1978. Auf den Abfluss des Anforderungsprofils 4 wurde bereits im Abschnitt 3.4 und in der Fussnote 2 eingegangen. Die hydraulische Modellierung erfolgte mit AP4 ($95 \text{ m}^3/\text{s}$) und die Habitatmodellierung zusätzlich mit AP4a*** ($69 \text{ m}^3/\text{s}$).

4 Literaturverzeichnis

- [1] Schälchli, Abegg+Hunzinger, ezb – TB Eberstaller, ARGE Limnologie, BOKU Wien (2003): Notwendige und wünschbare Schwallreduktion im Alpenrhein, 22.12.2003, im Auftrag der internationalen Regierungskommission Alpenrhein.
- [2] Heierli AG, Tergeso AG, Hunziker, Zarn & Partner AG (2000): Hydrologie Alpenrhein, Hauptstudie; im Auftrag der internationalen Regierungskommission Alpenrhein.