Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 98 (2006)

Heft: 2

Artikel: Saisonalität hydrologischer Extreme : das zeitliche Auftreten von Hoch- und Niederwasser in der Schweiz

Autor: Pfaundler, Martin / Wüthrich, Thomas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939332

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Saisonalität hydrologischer Extreme

Das zeitliche Auftreten von Hoch- und Niederwasser in der Schweiz

■ *Martin Pfaundler, Thomas Wüthrich*

Zusammenfassung

Der Zeitpunkt des Auftretens der beiden hydrologischen Phänomene Hoch- und Niederwasser in der Schweiz wird analysiert und präsentiert. Zur Erfassung dieses saisonalen Verhaltens werden geeignete Kenngrössen beschrieben und für eine Auswahl Schweizer Abflussmessstationen berechnet. Die Ergebnisse werden räumlich interpretiert und eine Typisierung der Saisonalität vorgestellt. Abschliessend wird exemplarisch auf durch Klimawandel und wasserwirtschaftliche Eingriffe verursachte Verschiebungen des saisonalen Verhaltens eingegangen.

Résumé

La répartition temporelle au cours de l'année des événements hydrologiques extrêmes tels que les crues et les étiages en Suisse est analysée et présentée. Pour cela, des grandeurs caractéristiques sont définies et appliquées afin d'étudier le comportement saisonnier d'une sélection de stations hydrométriques suisses. Les résultats sont interprétés dans leur contexte spatial et une typologie est proposée. Finalement à titre d'exemple, des décalages de la saisonnalité due au changement climatique et aux interventions de la gestion des eaux sont analysés.

1. Einleitung

Im vorliegenden Artikel wird unter Saisonalität die Verteilung des zeitlichen Auftretens eines Phänomens innerhalb eines Jahres verstanden. Als Phänomene werden die beiden hydrologischen Extreme Hochwasser (HQ) und Niederwasser (NQ) betrachtet. Als Niederwasserereignis wird dabei der jährlich minimale Tagesabfluss, als Hochwasserereignis der jährlich maximale Tagesabfluss definiert.

Eine mögliche Visualisierung der zeitlichen Verteilung sind Darstellungen analog Windrosen, bei denen auf den Achsen die relativen Häufigkeiten in den einzelnen kalendarischen Monaten aufgetragen sind. Die in *Bild 1* zur Illustration ausgewählten Abflussmessstationen zeigen das ganze Spektrum unterschiedlichen Saisonalitätsverhaltens auf. Dies reicht von deutlich ausgeprägter Saisonalität, bei der das zeitliche Auftreten klar auf eine bestimmte Jahreszeit (wenn nicht sogar auf einzelne Monate) beschränkt ist, bis hin zu Stationen, bei denen das zeitliche Auftreten hoch variabel ist und das betrachtete Phänomen über das ganze Jahr auftreten kann.

Warum in den einen Fällen keine markante Saisonalität vorliegt, in anderen Fällen dagegen aufgrund der Beschränkung auf einzelne Monate geradezu eine Vorhersage über den Zeitpunkt des Auftretens gemacht werden kann, hängt mit den zugrunde liegenden Prozessen zusammen. Der Abfluss integriert die in einem Einzugsgebiet stattfindenden Prozesse des Wasserhaushaltes, welche ihrerseits mehr oder weniger saisonal geprägt sind. Je dominanter dabei einzelne Prozesse sind, desto stärker schlagen sich deren Saisonalitäten auf das zeitliche Verhalten des Abflusses durch. So ist das markante Saisonalitätsverhalten alpiner Fliessgewässer mit Niederwasser in den Wintermonaten und Hochwasserabflüssen im Sommer durch das starke saisonale Muster von Schneeakkumulation sowie Eis- und Schneeschmelze bestimmt. Im Mittelland hingegen dominiert nicht einer, sondern überlagern sich mehrere Prozesse mit weniger deutlichem Saisonalitätssignal, so dass eine grössere zeitliche Streuung des Auftretensdatums von Hoch- und Niederwasser resultiert.

Da also in der Saisonalität auch die zugrunde liegenden Prozesse zum Ausdruck kommen – wie in ähnlicher Weise auch in den Abflussregimetypen *(vgl. Tabelle 1)* – kann Saisonalitätsinformation als Indiz für den Grad der hydrologischen Vergleichbarkeit zwischen zwei Einzugsgebieten verwendet werden. Das kann als Grundlage für eine Übertragung von Kennwerten zwischen einem ungemessenen Gebiet und einer als ausreichend ähnlich identifizierten Referenzstation dienen.

Neben dieser Verwendung sowie der rein naturwissenschaftlichen, gewässerkundlichen Perspektive ist Saisonalitätsinformation auch für diverse wasserwirtschaftliche Fragestellungen von Interesse: Für jene Belange der Wasserwirtschaft, welche den Ausgleich zwischen Wasserdargebot und -bedarf zum Ziel haben, ist das Wissen über das zeitliche Verhalten eine Entscheidungsgrundlage. Ein konkreter Anwendungsfall, bei dem die Saisonalität der Extrema des Abflusses eine Rolle spielt, ist der Baubetrieb an Gewässern: Hier ist es nützlich, zu wissen, wann günstige (Niederwasser) resp. ungünstige (Hochwasser) Zeitperioden herrschen. Auch für das Feststoffmanagement (z.B. zur Planung gezielter Einleitung von Sedimentablagerungen) sind Kenntnisse über den Zeitpunkt von erhöhten Abflüssen wertvoll. Im Rahmen des Hochwasserschutzes ist für den Gewässerunterhalt eine wesentliche Informationsgrundlage, ob Hochwasser «jederzeit» im Verlaufe eines Jahres auftreten, oder sich auf bestimmte Jahreszeiten konzentrieren. Beim Gewässerschutz sind saisonale Aspekte des Abflussregimes bedeutsam, da sich viele ökologische Prozesse, wie z.B. Entwicklungszyklen von aquatischen Organismen, an solche hydrologische Saisonalitäten angepasst haben (beispielsweise Laichperioden und juvenile Stadien von Fischen in den hochwasserfreien Niederwasserperioden, vgl. Fischnetz, 2004). Veränderungen der natürlichen HQ- und NQ-Saisonalitäten führen zu entsprechenden Auswirkungen auf der ökologischen Ebene. Die Planung künstlicher Hochwasser (vgl. z.B. die Berichte über die Experimente am Spöl in Aquatic Sciences, 2003) sollte sich ebenfalls an der natürlichen Saisonalität orientieren.

Ein im Vergleich zur quantitativen Analyse von Abflussmengen zu nennender Aspekt ist die Messgenauigkeit: Diese ist bei der Erfassung der Saisonalitätsgrundlage – dem Datum – massiv weniger kritisch als dies bei der Messung von Nieder- und Hochwasserabflussmengen der Fall ist. Selbst aus indirekten Quellen wie z.B. historischen Berichten lässt sich die HQ- und NQ-Saisonalität verhältnismäs-

sig gut ableiten (wenn auch nicht «punktgenau», d.h. auf den Tag bestimmbar, so lässt sich das Auftreten im Jahresverlauf gut eingrenzen).

Im Lichte dieses Potenzials möglicher Anwendungen wurde das Saisonalitätsverhalten der hydrologischen Extreme in der Schweiz systematisch untersucht und mit geeigneten Kennwerten beschrieben sowie ein Typisierungsversuch entwickelt. Ergebnisse dieser Analyse werden hier vorgestellt.

Im folgenden Kapitel wird ein Ansatz zur Berechnung von Kenngrössen zur Saisonalität und dem damit in Zusammenhang stehenden Konzept des «Saisonalitätskreises» vorgestellt. Dies wurde für eine Auswahl Schweizer Abflussmessstationen angewandt. Eine räumliche Darstellung der für die Stationen berechnete HQ- und NQ-Saisonalität vermittelt einen Eindruck über regionale Muster. Im anschliessenden Abschnitt werden das Vorgehen und die Resultate der Bildung von Saisonalitätstypen auf der Basis der bestehenden Abflussregimetypisierung beschrieben. Vor den Schlussfolgerungen wird noch auf durch Klimavariabilität bedingte sowie durch menschliche Eingriffe verursachte Veränderungen der Saisonalität eingegangen.

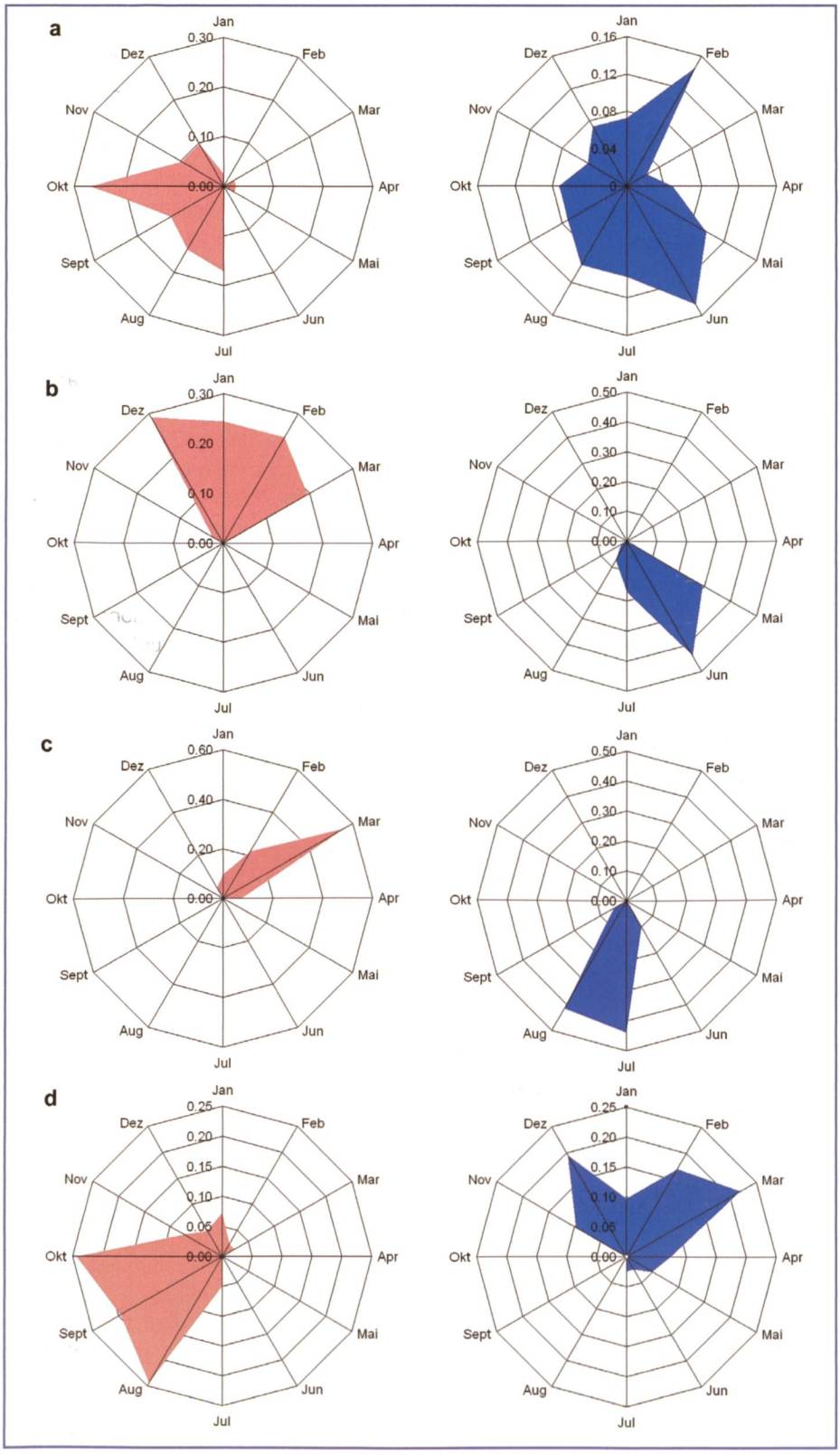


Bild 1. Relative monatliche Häufigkeit der NQ-Saisonalität (links) und HQ-Saisonalität (rechts) für die Beobachtungsperiode 1960–2000 der Messstationen a) Murg-Wängi, b) Plessur-Chur, c) Rhone-Gletsch, d) Areuse-St-Sulpice; Achtung: Skalierung der Häufigkeit nicht identisch.

2. Kenngrössen der Saisonalität und des «Saisonalitätskreises»

Um die in *Bild 1* visualisierte Charakterisierung der zeitlichen Verteilung zu quantifizieren, braucht es entsprechende Kenngrössen. Bei der statistischen Berechnung solcher Kennwerte (Mittelwert und Streuungsmass der Verteilung des zeitlichen Auftretens) muss der vektorielle Charakter des Datums berücksichtigt werden. Die der Saisonalität zugrunde liegende Information ist der Zeitpunkt im Jahr – das Datum – wann das Ereignis auftritt. Aufgrund der Geschlossenheit des kalendarischen Jahres ist das Datum kein Skalar[1], sondern kann als vektorielle Grösse aufgefasst werden. Es sind daher die Methoden der richtungsbezogenen (direktionalen) Statistik anzuwenden (vgl. Burn, 1997). Bezogen auf die Saisonalität werden dazu einzelne Ereignisdaten (das Julianische Datum als Tag im Jahr) als direktionale

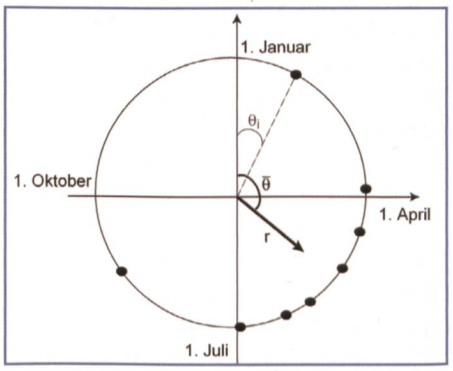


Bild 2. Prinzipskizze zur Berechnung und Darstellung der Saisonalitätsparameter.
Die Punkte auf dem Einheitskreis («Saisonalitätskreis») repräsentieren das Datum effektiv aufgetretener Einzelereignisse. Der daraus resultierende mittlere Vektor zeigt mit seinem Winkel θ das mittlere Auftretensdatum und mit seiner Länge r die zeitliche Variabilität der Stichprobe an.

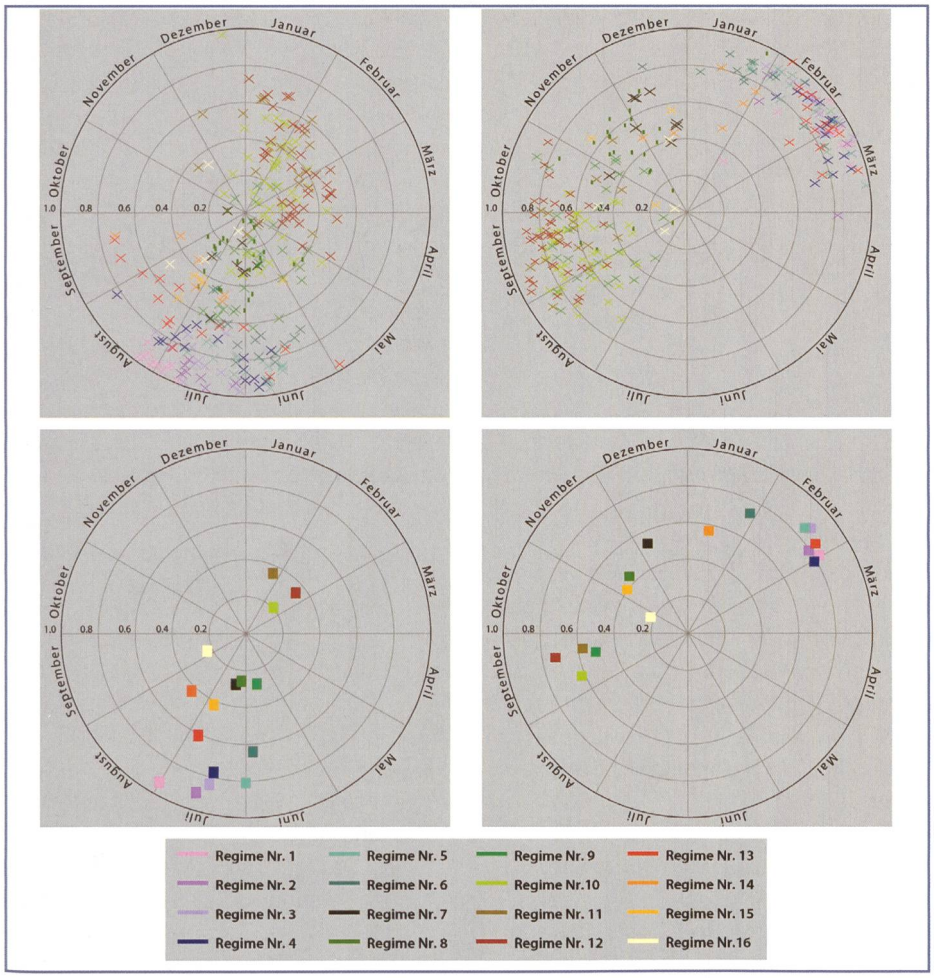


Bild 3. Hochwassersaisonalität (oben links) und Niederwassersaisonalität (oben rechts), eingetragen als Punkte im Saisonalitätskreis und farbcodiert nach zugewiesenem Abflussregimetyp (die Farbgebung orientiert sich am Farbcode des HADES-Blatt 5.2). Unten: Mittelwerte der Saisonalität pro Regimetyp, berechnet aus den Stationsdaten von Bild 3 oben.

Variable definiert und daraus der Erwartungswert (Mittelwert) und Varianz (Variabilitätsmass) des zeitlichen Auftretens berechnet. Im Detail wird dazu zunächst das Julianische Datum (JD_i) eines Ereignisses (im vorliegenden Fall Hochwasser oder Niederwasser) in ein Winkelmass (θ_i) umgewandelt:

$$\theta_i = JD_i \cdot (2\pi / ND) \qquad 0 \le \theta_i \le 2\pi$$

mit *ND* als Anzahl an Tagen im Jahr (365 resp. 366 in einem Schaltjahr). Auf diese Weise repräsentiert ein Ereignisdatum einen Vektor mit Einheitsgrösse und der Richtung bzw. dem Bogenmass θ_i. Daraus lässt sich ein direktionaler Mittelwert $\bar{\theta}$ bzw. das mittlere Datum *MD* der Ereignisse berechnen, indem zunächst das arithmetische Mittel der kartesischen Koordinaten der Einzelereignisse *i* gemäss

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \sin(\theta_i) \qquad \bar{x} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \cos(\theta_i)$$

bestimmt wird (in den Grafiken sind die Koordinatenachsen allerdings so gedreht, dass sich für den Betrachter ein intuitiv möglichst einfach zu erfassendes Bild ergibt, mit dem Januar auf der Ordinate resp. y-Achse und den Kalendermonaten sich im Uhrzeigersinn drehend). Daraus ergibt sich die Richtung $\bar{\theta}$ des mittleren Auftrittstages je nach Lage im Quadranten:

$$\theta = \arctan(\bar{y}/\bar{x}) \qquad \text{1. und 4. Quadrant: } \bar{x} > 0$$

$$\bar{\theta} = \arctan(\bar{y}/\bar{x}) + \pi \qquad \text{2. und 3. Quadrant: } \bar{x} < 0$$

Das mittlere julianische Datum *MD* (der mittlere Auftrittstag) erhält man dann durch Rücktransformation

$$MD = \bar{\theta} \cdot (ND / 2\pi)$$

Neben dem Mittelwert $\bar{\theta}$, welcher ein direktionales Lagemass einer Stichprobe von *N* Ereignissen darstellt, lässt sich auch ein Variabilitätsmass für das zeitliche Auftreten ermitteln, welches folgendermassen berechnet wird:

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \qquad 0 \le r \le 1$$

Die Kenngrösse *r* kann als Stärke der Saisonalität interpretiert werden. Ein Wert von *r* nahe 1 ist Ausdruck einer starken Saisonalität resp. geringen Variabilität (alle Ereignisse treten an einem ähnlichen Datum auf), ein Wert *r* nahe *0* weist auf eine schwache Saisonalität resp. grosse zeitliche Streuung und gleichmässige Verteilung des Auftretensdatums übers Jahr hin.

Der mittlere Zeitpunkt und das Variabilitätsmass können auch als Polarkoordinaten eines Vektors mit dem Winkel θ und der Länge *r* interpretiert werden. Somit kann die mittlere Saisonalität einer Stichprobe durch einen Punkt (Spitze des Vektors und quasi «Schwerpunkt» der die Einzelereignisse darstellenden Einheitsvektoren) innerhalb des so genannten «Saisonalitätskreises» eingezeichnet werden. Dieses Vorgehen, gleichermassen gültig für die Hochwasser- wie Niederwassersaisonalität, ist schematisch in *Bild 2* aufgezeigt (aus Merz und Blöschl, 2003, entnommen und angepasst).

Gemäss dieser Vorgehensweise lässt sich also die Information der zeitlichen Verteilung des Auftretensdatums, wie z.B. in einer Windrosengrafik, komprimieren in die Saisonalitätskenngrössen mittlerer Zeitpunkt und Variabilität des zeitlichen Auftretens.

3. Berechnung der Kenngrössen für Schweizer Abflussmessstationen

Die Kennwerte der Hochwasser- und Niederwassersaisonalität wurden für eine Auswahl von 268 Abflussmessstationen der Landeshydrologie sowie kantonaler Herkunft (in ihrem Einzugsgebiet möglichst unbeeinflusst und mit einer Beobachtungslänge von mindestens 8 Jah-

[1] *Behandelte man hier das Datum als Skalar, beginge man effektiv einen Fehler. Als Beispiel zur Verdeutlichung: der Mittelwert zweier Auftretensdaten, einer am 10. Januar (= der Tag 10 im Jahr), einer am 20. Dezember (= der Tag 355 im Jahr), wäre skalar betrachtet der Tag 183 (= der 2. Juli).*

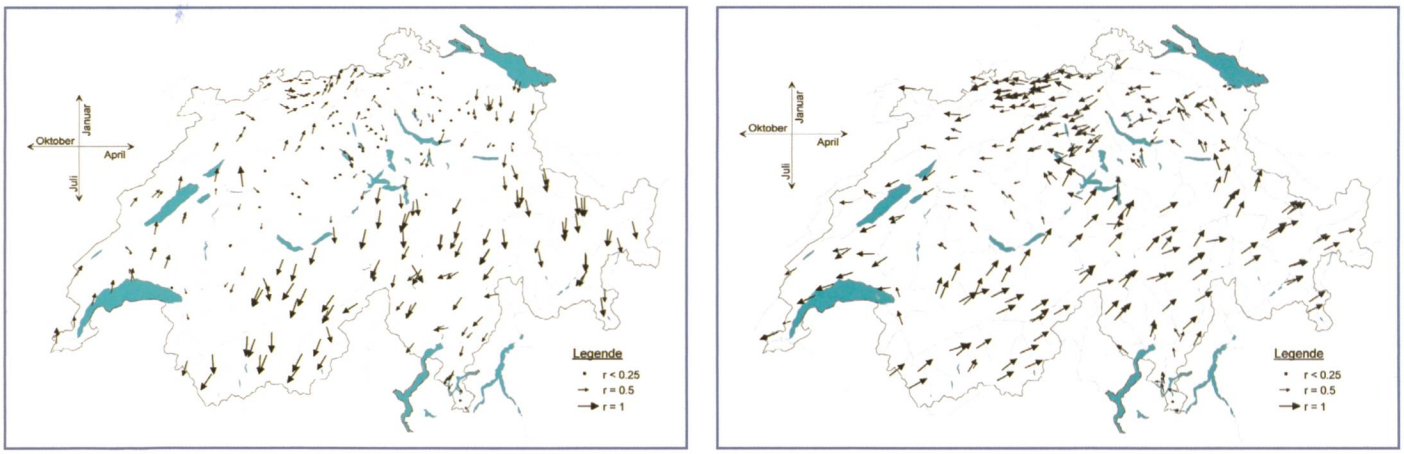


Bild 4. Räumliche Darstellung der Hochwassersaisonalität (links) und der Niederwassersaisonalität (rechts) für eine Auswahl von Abflussmessstationen.

ren) berechnet. Die Ergebnisse sind in *Bild 3* dargestellt und geben einen Überblick über die Bandbreite des in der Schweiz vorkommenden Saisonalitätsverhaltens. Dabei wurden die Stationen ihrem Abflussregimetyp (Aschwanden und Weingartner 1985, Beschreibung der 16 Abflussregimetypen in *Tabelle 1*, welche auch die Verteilung der Stationen auf die Typen enthält) zugeordnet und sind entsprechend farbcodiert als Punkte im Saisonalitätskreis eingetragen. *Bild 3* unten zeigt die daraus berechneten Mittelwerte der Saisonalität pro Regimetyp.

4. Darstellung der Saisonalität im räumlichen Kontext

Neben der Darstellung im Saisonalitätskreis können die berechneten Saisonalitätskennwerte der Messstationen auch in ihrer räumlichen Lage dargestellt werden. Jede Station wird dabei durch einen Vektor repräsentiert, dessen Richtung $\overline{\theta}$ den Erwartungswert (Mittelwert) des zeitlichen Auftretens ausdrückt und dessen Länge r ein Mass für die Stärke der Saisonalität ist. Die damit erzeugte Grafik *(siehe Bild 4)* stellt quasi ein Saisonalitäts-Vektorfeld dar.

Die deutlichen räumlichen Muster in *Bild 4* mit ähnlicher Ausprägung der Ausrichtung und Länge der Vektoren deuten darauf hin, dass sich das Saisonalitätsverhalten grosso modo kontinuierlich im Raum verändert. So dominiert im Alpenraum eine sehr starke Saisonalität mit einem Erwartungswert für Hochwasser in den Sommermonaten, für das Niederwasser im Spätwinter. Im Jura hingegen ist die Saisonalität etwas weniger stark ausgeprägt, mit Erwartungswert für Hochwasser im Winter bis Frühling, für das Niederwasser im Herbst. Im Mittelland ist die Saisonalität am schwächsten: Während sich bezüglich NQ noch eine Tendenz für die Periode Spätsommer-Herbst erkennen lässt, ist für HQ die zeitliche Variabilität so gross, dass man keine spezifische Jahreszeit im Auftreten nennen kann.

5. Typbildung der Saisonalität

Die Punktwolken in *Bild 3* lassen erahnen, dass die Stationen, welche zu einem Abflussregimetyp gehören, in bestimmten Zonen des Saisonalitätskreises zu liegen kommen. Diese «Clusterung» wird dahingehend ausgenutzt, dass diese regimetypspezifischen Punktwolken durch eine Umhüllende beschrieben werden.

Es wird also keine neue Typbildung vorgenommen, sondern es wird die bestehende Abflussregimetypisierung auf Brauchbarkeit als Informationsträger auch für die Hochwasser- wie Niederwassersaisonalität überprüft. Brauchbarkeit ist dann gegeben, wenn zwischen den Stationen eines Abflussregimetyps hohe Ähnlichkeit im Saisonalitätsverhalten besteht (= Homogenität des Typs), hingegen zwischen dem Saisonalitätsverhalten der Abflussregimetypen eine ausreichende Differenzierung festgestellt werden kann. Wird eine solche Eignung als ausreichend erachtet, dann kann dies für die Abschätzung des Saisonalitätsverhaltens von Hoch- und Niederwasser an ungemessenen Gebieten verwendet werden.

Als Umhüllende der Punktwolken eines Regimetyps werden Ellipsen verwendet. Um einzelne Ausreisser zu umgehen, werden «Quantilsellipsen» eingeführt, im vorliegenden Fall für 50, 75 und 90%.

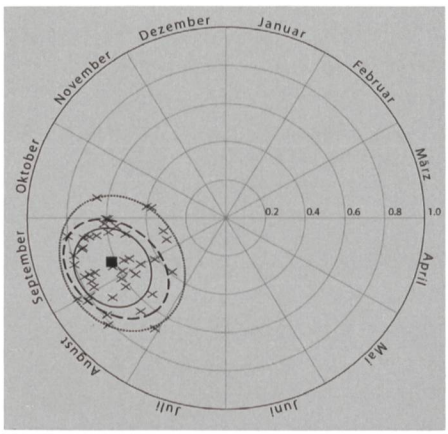


Bild 5. Illustration der «Quantilsellipsen» (90%, 75% und 50%) zur Umschreibung der zu einem Regimetyp gehörenden Stationen: Beispiel Niederwassersaisonalität für den Regimetyp 10 (pluvial inférieur). Die 90%-Ellipse ist punktiert, die 75%-Ellipse gestrichelt und die 50%-Ellipse durchgezogen eingetragen.

Die 90%-Quantilsellipse schliesst beispielsweise 90% der Punkte der zu einem Regimetyp zugehörigen Messstationen ein. Die Ellipsen werden so an die Stationspunkte angepasst, dass sie den Mittelwert (vgl. *Bild 3* unten) einschliessend jeweils die geringstmögliche Flächenausdehnung haben. Dieses Vorgehen ist beispielhaft für den Regimetyp 10 (pluvial inférieur) in *Bild 5* illustriert.

Die Ergebnisse für die 75%-Quantilsellipsen für die 16 Abflussregimetypen sind in *Bild 6* gezeigt, wobei eine Aufteilung in nordalpine und südalpine Regime vorgenommen wurde[2].

Es zeigt sich sowohl für die Niederwasser- wie für die Hochwassersaisonalität ein ähnliches Bild mit ausgeprägter

[2] Einschränkend ist dabei zu erwähnen, dass insbesondere für die Regimetypen 15 und 16 nur sehr wenige Stationen als Grundlage zur Verfügung standen (vgl. Tabelle 1) und demzufolge die entsprechenden Saisonalitätsellipsen mit beträchtlicher Unsicherheit behaftet sind.

Saisonalität und hoher Homogenität der Ellipsen für die alpinen Regimes (Typen 1–6). Für die anderen Regimetypen sind einerseits grössere Variabilitäten und damit weniger spezifische Zonen im Saisonalitätskreis mit entsprechend grösserer Ellipsen-Flächenausdehnung als auch Überschneidungen der jeweiligen Ellipsen ersichtlich. Bei jenen Ellipsen mit starker Überlappung, welche kaum differenzieren, wäre im Grunde eine Zusammenlegung zu erwägen. Andererseits zeigt sich doch auch eine Abfolge der Zonierung, welche – bei aller Unschärfe – eine Brauchbarkeit im Sinne einer ausreichenden Differenzierung als gegeben erachten lässt.

Es wird daher die Meinung vertreten, dass die bestehende Abflussregimetypisierung für viele Anwendungen als zweckdienlicher Informationsträger für die Charakterisierung und Abschätzung der Hoch- und Niederwassersaisonalität herangezogen werden kann. Dies hat nicht zuletzt den Vorteil, dass der bereits existierende Ansatz zur Bestimmung des Abflussregimetyps mittels leicht ermittelbarer geografischer Merkmale (Aschwanden und Weingartner, 1985) auch hier verwendet werden kann und so für ungemessene Gebiete eine Abschätzung der HQ- und NQ-Saisonalität mit geringem Aufwand möglich ist.

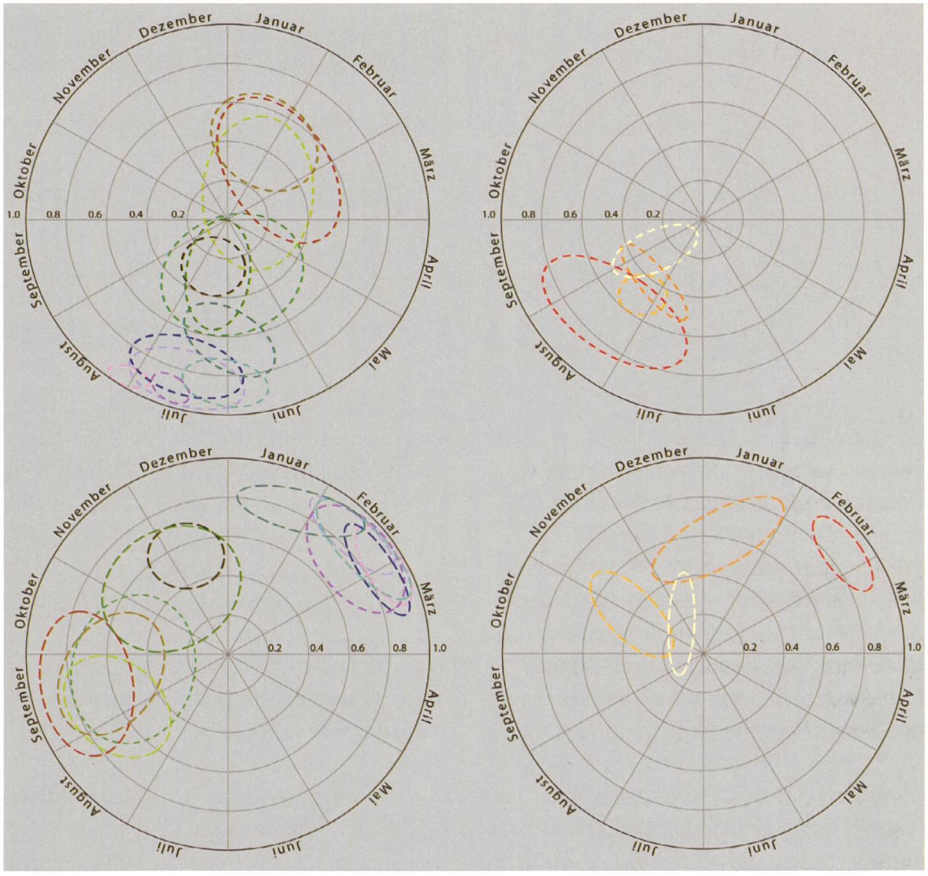


Bild 6. Charakterisierung der Saisonalität von Hochwasser (oben) und Niederwasser (unten) der Abflussregimetypen mittels zugehöriger «75%-Quantilsellipsen», getrennt nach nordalpinen (links) und südalpinen (rechts) Abflussregimetypen; vgl. Bild 3 für die Farblegende.

6. Zeitliche Veränderung des saisonalen Verhaltens – Trends in der Saisonalität?

Anhand einzelner Abflussmessstationen wurde exemplarisch untersucht, ob sich das Saisonalitätsverhalten über die Beobachtungsperiode verändert hat, d.h. ob sich ein Trend im zeitlichen Auftreten von Hoch- und Niederwasser beobachten lässt. Diese Frage stellt sich auf der einen Seite im Lichte der Klimavariabilitäts- und -veränderungsdebatte, auf der anderen Seite auch, um die Gültigkeit der im Abschnitt Saisonalitätstypen gefundenen Charakterisierung etwas einschätzen zu können. In *Bild 7* ist zu diesem Zweck für zwei Stationen mit langen Beobachtungsperioden die zeitliche Entwicklung der Hoch- und Niederwassersaisonalität im letzten Jahrhundert dargestellt. Es wurden ausgehend vom Jahr 1910 alle 5 Jahre 15-Jahres-Perioden gewählt und daraus die Saisonalitätskennwerte berechnet. Trotz «Trends» in Teilperioden lässt sich über den gesamten Beobachtungszeitraum keine eindeutige Entwicklungsrichtung ausmachen. Deutlich wird aber die «interne Variabilität», d.h. die natürlichen Schwankungen in der Saisonalität.

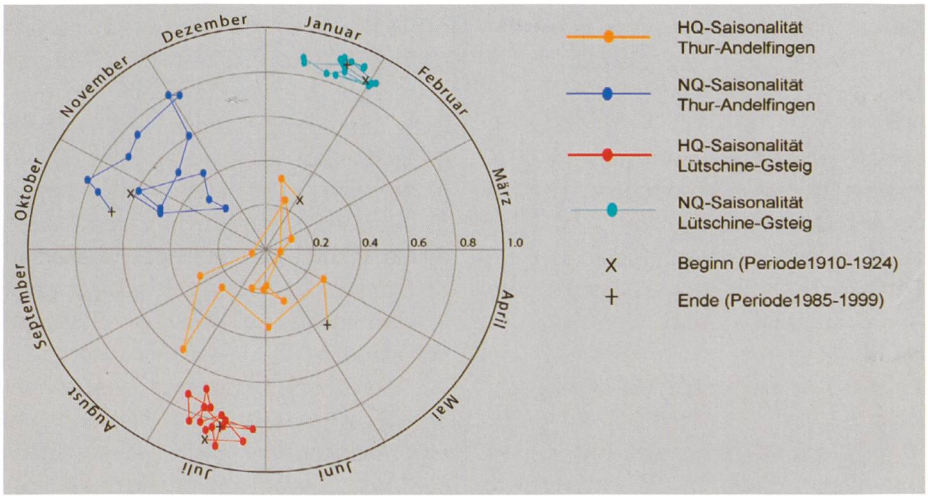


Bild 7. Veränderung und Variabilität des Saisonalitätsverhaltens zweier Stationen im letzten Jahrhundert.

7. Durch wasserwirtschaftliche Eingriffe verursachte Verschiebungen der Saisonalität

Neben klimatischer Variabilität im vorherigen Beispiel sind in *Bild 8* Stationen illustriert, bei denen wasserwirtschaftliche Eingriffe zu Verschiebungen des saisonalen Verhaltens geführt haben. Die Station Julia-Tiefencastel ist durch den Stausee Marmorera (in Betrieb seit 1954) beeinflusst; dargestellt ist ein Vergleich der Perioden 1919–1948 und 1976–2002. Die Station Seez bei Weisstannen ist durch Wasserableitungen (ab 1976) in ein benachbartes Einzugsgebiet verändert; verglichen werden die Perioden 1959–1975 und 1977–1991.

8. Quantifizierung von Unterschieden in der Saisonalität

Es mag Fragestellungen geben (wie z.B. beim vorherigen Beispiel wasserwirtschaftlicher Eingriffe), bei denen der Unterschied in der Saisonalität zwischen zwei Gewässern oder zwischen zwei Teil-

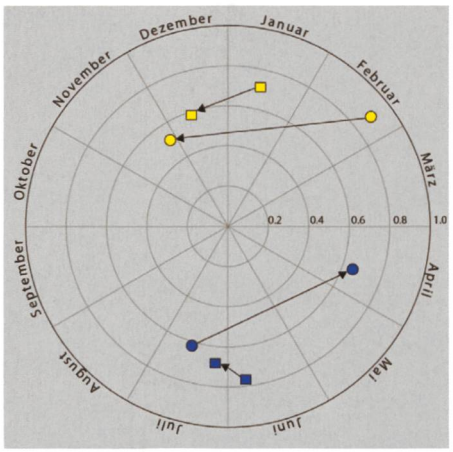


Bild 8. Beispiele von Veränderungen des saisonalen Verhaltens aufgrund wasserwirtschaftlicher Eingriffe. Für die Stationen Julia-Tiefencastel (Kreise) und Seez-Weisstannen (Quadrate) sind die Hochwassersaisonalität (blau) und Niederwassersaisonalität (gelb) vor und nach Inbetriebnahme der Eingriffe dargestellt.

Regime -typ	Regimebezeichnung	Anzahl Stationen
1	a-glaciaire	12
2	b-glaciaire	8
3	a-glacio-nival	12
4	b-glacio-nival	15
5	nivo-glaciaire	18
6	nival alpin	15
7	nival de transition	8
8	nivo-pluvial préalpin	26
9	pluvial supérieur	27
10	pluvial inférieur	43
11	nivo-pluvial jurassien	16
12	pluvial jurassien	38
13	nival méridional	15
14	nivo-pluvial méridional	6
15	pluvio-nival méridional	5
16	pluvial méridional	4

Tabelle 1. Die 16 Abflussregimetypen[3] der Schweiz gemäss Aschwanden und Weingartner (1985).

perioden an einem Gewässer quantifiziert werden soll. Auch zu diesem Zweck lassen sich die beschriebenen Kennwerte der Saisonalität verwerten. Die Differenz zwischen zwei verschiedenen Saisonalitäten *i* und *j* kann als Abstand der die Saisonalität repräsentierenden Punkte im Saisonalitätskreis aufgefasst werden, wobei sich das entsprechende Distanzmass zu

$$Dist_{i,j} = \sqrt{(\bar{x}_i - \bar{x}_j)^2 + (\bar{y}_i - \bar{y}_j)^2}$$

berechnet. Liegt die Saisonalität als Polarkoordinaten vor, dann berechnet sich das Distanzmass gemäss

$$Dist_{i,j}{}^2 = (r_i \sin\delta)^2 + (r_j - r_i \cos\delta)^2$$

mit

$\delta = |\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_j|$ = Differenz des zeitl. Mittelwertes.

Dieses Distanzmass bringt mehr zum Ausdruck, als nur die Verschiebung des zeitlichen Mittelwertes (was auch in Anzahl Tagen ausgedrückt werden kann), sondern berücksichtigt daneben auch die Veränderung der Variabilität des zeitlichen Auftretens von Jahr zu Jahr. Da der Saisonalitätskreis ein Einheitskreis ist (d.h. den Radius 1 besitzt), bewegt sich der theoretische Wertebereich des Distanzmasses $Dist_{i,j}$ von 0 bis maximal 2.

9. Schlussfolgerung

Die Anwendung der vorgestellten Saisonalitätskennwerte auf Schweizer Abflussmessstationen und deren Visualisierung im Saisonalitätskreis ergeben sowohl für die HQ- wie die NQ-Saisonalität interessante Einsichten in das zeitliche Auftreten dieser beiden hydrologischen Extreme. Dabei zeigt sich für die verschiedenen geografischen Räume der Schweiz ein differenziertes Bild, was die Ausprägung der Saisonalitätsstärke (= Fokussierung des Auftretens auf bestimmte Perioden) betrifft: stark im Alpenraum, gemässigt im Jura und gering (NQ) bis «keine» (HQ) im Mittelland.

Wie in *Bild 4* illustriert, zeigt sowohl die HQ- wie die NQ-Saisonalität ein relativ kontinuierliches Verhalten im Raum, verändert sich also nicht abrupt, wie das bei der Betrachtung der Abflussmengen der Fall sein kann, für welche in benachbarten Gebieten recht unterschiedliche spezifische Nieder-, Mittel- und Hochwasserabflüsse beobachtbar sind.

Für eine Typisierung der NQ- und HQ-Saisonalität wurde die Eignung der bereits bestehenden Abflussregimetypisierung überprüft. Auch wenn sich einerseits zeigt, dass bezüglich des HQ- und NQ-Saisonalitätsverhaltens sich einige dieser Typen stark überlagern und zusammengelegt werden könnten (so z.B. die hochalpinen Regimetypen) und man im Prinzip mit weniger als den 16 Abflussregimetypen auskommen könnte, so ergibt sich andererseits doch, dass diese Typen geeignet sind, das grundsätzliche HQ- und NQ-Saisonalitätsverhalten zu differenzieren.

[3] Die Reihenfolge der Regimetypen und der entsprechenden Regime-Codes für die Typen 11 und 12 ist im Vergleich zur Reihenfolge im HADES Blatt 5.2 vertauscht. Dieses Abweichen vom HADES wurde deshalb gewählt, weil sie der Logik folgt, dass innerhalb der allgemeinen Landschaftsräume (Alpen, Mittelland, Jura, Südalpin) die Reihenfolge der Regimetypen gemäss absteigender Meereshöhe erfolgt – so wie es auch in der Originalarbeit von Aschwanden und Weingartner (1985) vorgenommen wurde. Besonders bei paralleler Arbeit mit HADES und vorliegenden Ergebnissen bzw. Vergleichen ist auf diesen Unterschied zu achten, um Missverständnisse zu vermeiden.

Literatur

Aquatic Sciences, 2003: Special Feature: Using artificial floods for restoring river integrity – the river Spöl case study: Aquatic Sciences, Vol. 65, No. 3.

Aschwanden H. und Weingartner R., 1985: Die Abflussregimes der Schweiz. Geographisches Institut der Universität Bern. Publikation Gewässerkunde Nr. 65.

Burn D.H., 1997: Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. J. Hydrol. 202, pp. 212–230.

Fischnetz, 2004: Dem Fischrückgang auf der Spur. Schlussbericht des Projekts Netzwerk Fischrückgang Schweiz – Fischnetz.

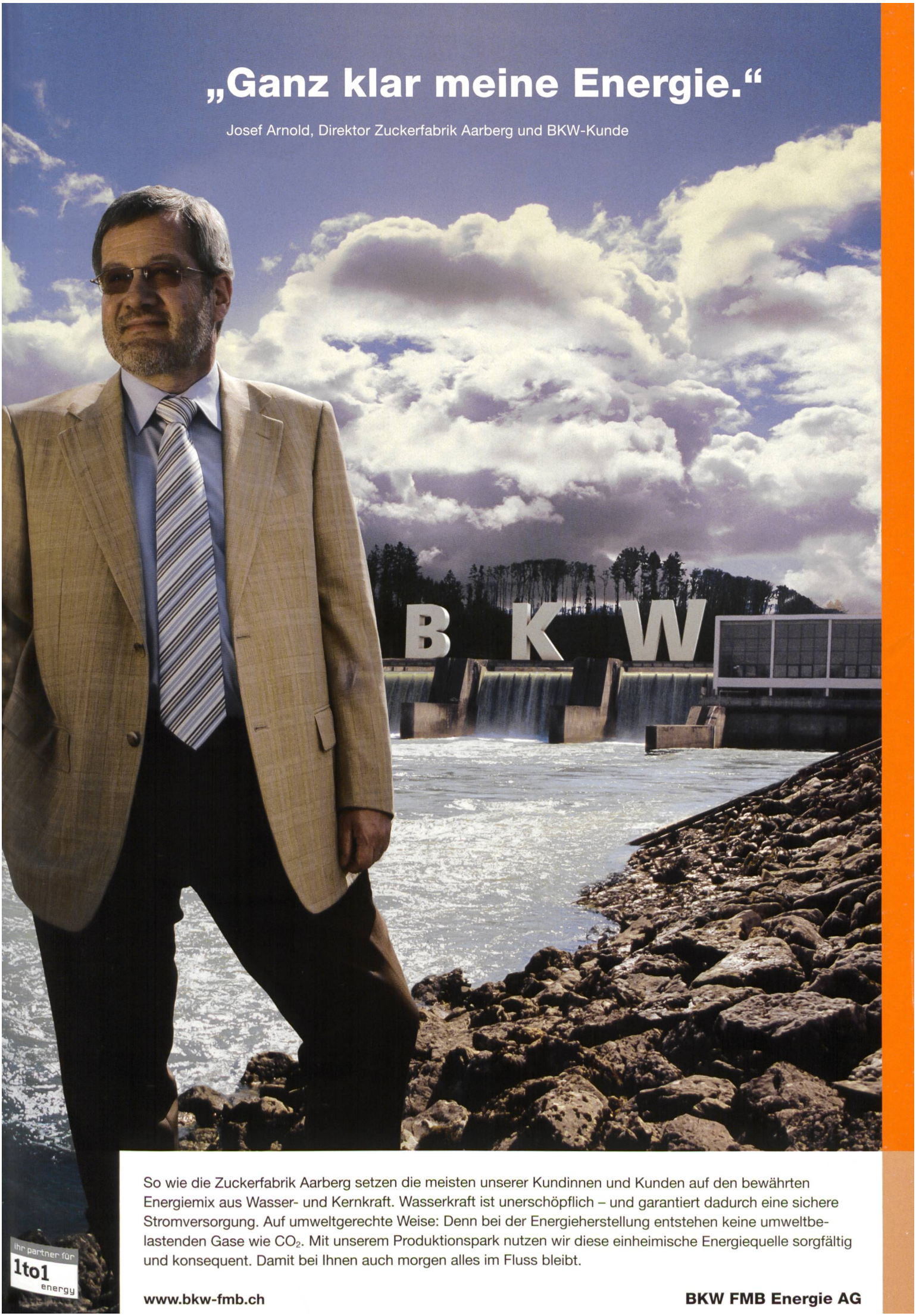
HADES 5.2: Tafel 5.2 Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Bern.

Merz R. und Blöschl G., 2003: Saisonalität hydrologischer Grössen in Österreich. Mitteilungsblatt des hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. 82, Wien.

Anschrift der Verfasser
Dr. *Martin Pfaundler*, *Thomas Wüthrich*
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
CH-3003 Bern-Ittigen
E-Mail: martin.pfaundler@ bafu.admin.ch

„Ganz klar meine Energie."

Josef Arnold, Direktor Zuckerfabrik Aarberg und BKW-Kunde



So wie die Zuckerfabrik Aarberg setzen die meisten unserer Kundinnen und Kunden auf den bewährten Energiemix aus Wasser- und Kernkraft. Wasserkraft ist unerschöpflich – und garantiert dadurch eine sichere Stromversorgung. Auf umweltgerechte Weise: Denn bei der Energieherstellung entstehen keine umweltbelastenden Gase wie CO_2. Mit unserem Produktionspark nutzen wir diese einheimische Energiequelle sorgfältig und konsequent. Damit bei Ihnen auch morgen alles im Fluss bleibt.

www.bkw-fmb.ch

BKW FMB Energie AG