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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 107 (2015)

Heft: 4

Artikel: Festlegung von Restwassermengen : Q347, eine entscheidende, aber schwer zu fassende Grösse

Autor: Naef, Felix / Margreth, MIcheal / Floriancic, Marius

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941859

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: 11.07.2025

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

Festlegung von Restwassermengen: Q_{347}, eine entscheidende, aber schwer zu fassende Grösse

Felix Naef, Michael Margreth, Marius Floriancic

Zusammenfassung

Die Festlegung der Restwassermenge ist von grosser ökologischer und ökonomischer Bedeutung. Die Bestimmung der entscheidenden Kenngrösse Q_{347} ist jedoch mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Niedrigwasserabflüsse können räumlich sehr heterogen sein. Das Verständnis der massgebenden abflussbildenden Prozesse und relevanten Speichermechanismen ist essentiell, um die aktuellen Verfahren weiter zu entwickeln und die Unsicherheiten zu verringern. Grosse, gut identifizierbare Speicher in Böden, Schwemmfächern, Moränen usw. beeinflussen Dauerkurven nur bis etwa zum Q_{250}, beim Q_{347} werden kleinere Speicher massgebend, die geringe Durchlässigkeiten aufweisen. In ersten Feldstudien und Messkampagnen konnten solche Speicher erstmals identifiziert werden. So ergibt sich die Möglichkeit, anhand der Verteilung der massgebenden Speicher, in Kombination mit Dauerkurven aus ähnlich ausgestatteten Referenzgebieten und gezielten Einzelmessungen, die Schätzung des Q_{347} zu verbessern.

1. Einleitung

Bei der Entnahme von Wasser aus natürlichen Gewässern entsteht ein Konflikt zwischen Ökologie und Ökonomie. Deshalb regelt das Gewässerschutzgesetz, wieviel Wasser entnommen werden darf, resp. wieviel im Gewässer verbleiben muss. Q_{347}, der Abfluss, der während 347 Tagen (95%) im Jahr erreicht oder überschritten wird, dient dabei als Ausgangspunkt. Deshalb ist Q_{347} eine wichtige Grösse; seine Bestimmung ist aber schwierig. Schwachstellen können bei der Bestimmung des Q_{347} zu grösseren Ungenauigkeiten mit erheblichen Konsequenzen führen. Werden z.B. einem Gewässer 100 l s^{-1} zuwenig oder zuviel Wasser entnommen, summiert sich das im Jahr auf 3 Mio. m^3; eine Menge, die wirtschaftlich ins Gewicht fällt.

Liegen Abflussmessungen vor, lässt sich das Q_{347} anhand der Dauerkurve bestimmen. Wie in der *Infobox 1* dargestellt, sind auch in diesem Fall grössere Unsicherheiten nicht auszuschliessen.

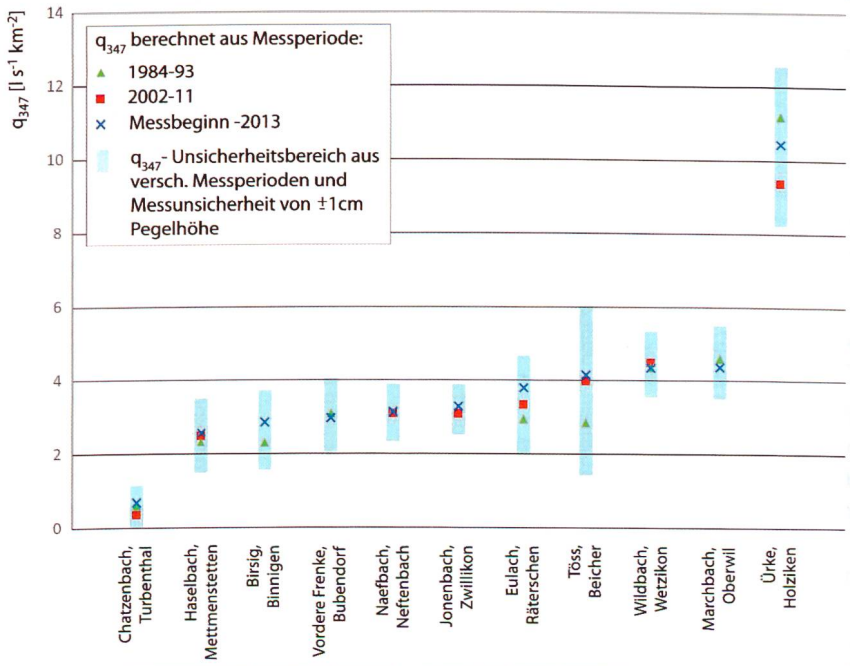
An Stellen, wo keine Abflussmessungen vorliegen, behilft man sich mit unterschiedlichen Vorgehensweisen (siehe Kapitel 2), deren Unsicherheiten jedoch wesentlich grösser sind. Deren Zuverlässigkeit lässt sich verbessern, wenn Speicher abgegrenzt und charakterisiert werden können, die in Trockenzeiten noch zum Abfluss beitragen.

Infobox 1: Q_{347} und Abflussmessungen

Zuverlässige Abflussmessungen bei Niedrigwasser sind anspruchsvoll. Durch geringe Wassertiefen und Geschiebeablagerungen können sich beim Pegel schwer zu beschreibende Strömungsverhältnisse einstellen. Viele Pegel sind nicht speziell für Niedrigwassermessungen ausgestattet. Aufgrund ihrer Konstruktion, den Strömungsverhältnissen oder fehlender Eichmessungen bei Niedrigwasserabflüssen sind diese Messungen problematisch, es können grosse Messfehler auftreten. Selbst bei gut konstruierten Pegeln wird der Wasserstand nur auf etwa 1 cm genau gemessen.

Bei Niedrigwasser kann das schon ein beträchtlicher Teil der Wassertiefe sein und zu entsprechenden Fehlern führen (siehe Bild unten).

Das Q_{347} soll in der Regel aufgrund einer 10-jährigen Messreihe bestimmt werden. Die Auswahl der Messperiode kann eine grosse Bedeutung für die Bestimmung des Q_{347}-Abflusses haben. Das untenstehe Bild zeigt den Unsicherheitsbereich, der bei gut gewarteten Pegeln mit längeren Messreihen auftreten kann. Dieser lässt sich durch sorgfältige Auswertungen einschränken. Bei unkritischer Verwendung von Pegeldaten ist ein wesentlich grösserer Fehlerbereich zu erwarten.



Unsicherheiten in der Bestimmung des Q_{347} bestehen auch bei gut gewarteten Pegeln. Dargestellt sind Auswirkungen von unterschiedlichen Messperioden auf das Q_{347} und der Bereich, der durch Messfehler des Pegelstandes von einem Zentimeter resultiert.

Nach einem kurzen Überblick über den heutigen Stand, stellt der Artikel neuere Untersuchungen vor über Speichervermögen, Drainage und ihr Einfluss auf die Grösse des Niedrigwasserabflusses (*Margreth* et al., 2013, *Floriancic*, 2014) und diskutiert, wie diese Kenntnisse Schätzungen des Q_{347} verbessern können.

2. Wie wird das Q_{347} heute bestimmt?

Im Gewässerschutzgesetz ist nicht genau geregelt, wie der Q_{347}-Abfluss bestimmt werden soll. Als zuständige Fachstelle hat das BAFU eine Wegleitung (*BAFU*, 2000) verfasst, die das Vorgehen unter Berücksichtigung der vorhandenen Daten ausführlich beschreibt.

Abflussmessungen vorhanden

Sind an der Entnahmestelle Abflussmessungen vorhanden, lässt sich das Q_{347} anhand der Dauerkurve bestimmen. Die Messreihe sollte zehn Jahre umfassen; ist sie kürzer, sind zusätzliche Betrachtungen notwendig. Dieses Vorgehen liefert die zuverlässigsten Werte; Messungenauigkeiten bei Niedrigwasserabflüssen und unterschiedlichen Messperioden können jedoch das Resultat stark beeinflussen (vgl. *Infobox 1*) und sind entsprechend zu berücksichtigen.

Abschätzverfahren

Oft liegen an einer Entnahmestelle keine oder nur unzureichende Messreihen vor. Dann müssen sich erste Schätzungen auf hydrologische Beobachtungen, Schätzformeln, Übertragungen aus anderen Gebieten oder Modellrechnungen abstützen. Einige Kantone haben dafür eigene Verfahren entwickelt. Vom BAFU wurde für alpine Einzugsgebiete mit einer mittleren Höhe von über 1550 m ü.M. ein eigenes Verfahren entwickelt (*Aschwanden*, 1992), für Gebiete im Mittelland, Jura und den Voralpen, jenes von *Aschwanden* & *Kan* (1999). Beide basieren auf statistischen Analysen und Regionalisierungen. Abgeschätzte Q_{347}-Abflüsse für ausgewählte Gebiete sind auf der Karte «Grundlagen zur Bestimmung der Abflussmenge Q_{347}» (*BAFU*, 2000) dargestellt. Bei der Entwicklung dieser Verfahren wurden zahlreiche Kenngrössen erhoben, die das Q_{347} beeinflussen könnten; für die Regressionsgleichungen wurden dann maximal vier Parameter ausgewählt. Ein Vergleich zwischen so abgeschätzten und aus Messungen ermittelten Q_{347}-Werten für 29 zufällig ausgewählte Einzugsgebiete zeigt, dass bei der Hälfte der Gebiete grössere Abweichungen auftreten *(Bild 1)*. Sie können sowohl durch fehlerhafte Messungen und zu kurze Messreihen verursacht werden, als auch durch Parameter, die für das Einzugsgebiet nicht repräsentativ sind.

3. Welche Faktoren beeinflussen Niedrigwasserabflüsse?

Es ist heute noch unklar, welche Speicher für die Grösse der Abflüsse des Q_{347} verantwortlich sind und wie sich diese parametrisieren lassen. Verfahren, die auch kleinräumige Variationen der Q_{347}-Abflüsse erfassen können, lassen sich nur entwickeln, wenn die massgebenden Prozesse und Speicher verstanden werden. Die Ausstattung der Einzugsgebiete mit Grund- und Hangwasserspeichern ist sehr unterschiedlich. Aber wie beeinflussen mächtige quartäre Ablagerungen, wie Moränen, alluviale Schotterkörper, Hangschutt-, Bergsturz- oder Murgangablagerungen mit ihrem grossen Rückhaltevermögen das Q_{347}? Welchen Einfluss haben kleinere Kluftspeicher, Böden und welche Versickerungsstrecken?

In den letzten Jahren wurden Verfahren entwickelt, die das Abflussverhalten von Einzugsgebieten in hochaufgelösten Abflussprozesskarten (APK) abbilden (siehe *Infobox 2*). Diese Verfahren wurden in zahlreichen Hochwasserstudien eingesetzt. Ob sich diese APK zur Q_{347}-Schätzung verwenden lassen, wurde in *Margreth* et al. (2013) untersucht.

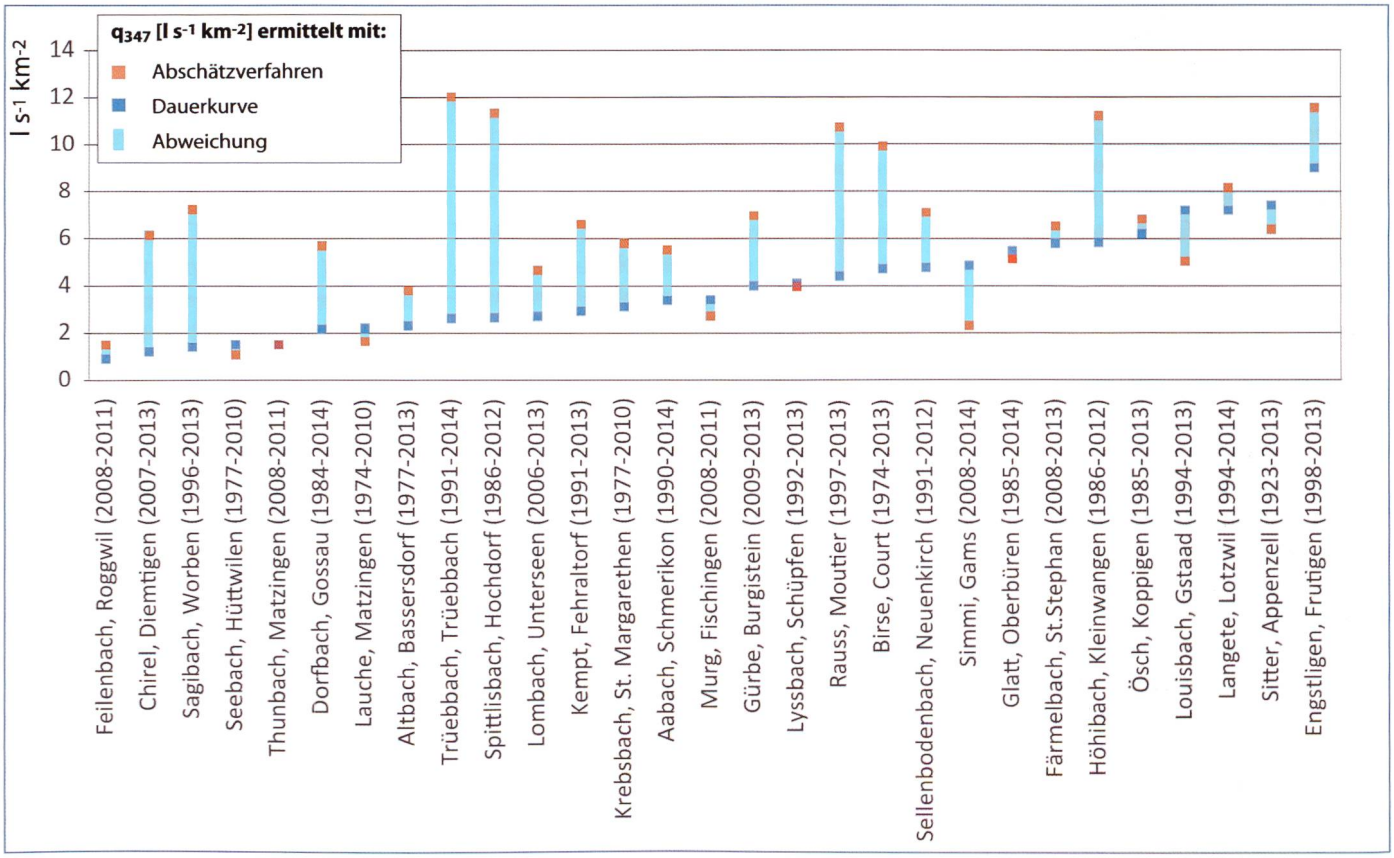


Bild 1. Aus Messreihen und nach Aschwanden & Kan (1999) hergeleitete spezifische Q_{347} [l s^{-1} km^{-2}] für 29 zufällig ausgewählte Einzugsgebiete. Bei rund der Hälfte der Gebiete treten grössere Abweichungen auf. Die ausgewählten Gebiete wurden nicht für die Herleitung der Regressionsgleichungen verwendet.

Infobox 2: Abflussprozesskarten

Der Aufbau des Bodens und des Untergrundes beeinflussen massgeblich Grösse und Verlauf von Hochwassern. Basierend auf zahlreichen Beregnungs- und Infiltrationsversuchen und Bodenaufnahmen wurde ein Regelwerk entwickelt, um Karten Dominanter Abflussprozesse zu erstellen (Bild 3, Scherrer & Naef, 2003). Diese zeigen in hoher räumlicher Auflösung, welche Bereiche eines Einzugsgebiets aufgrund von flachgründigen und vernässten Böden über undurchlässigem Untergrund bei intensiven Niederschlägen rasch Abfluss bilden und wo das Niederschlagswasser in mächtige Böden oder in hoch durchlässigen Untergrund infiltrieren und gespeichert werden kann. Die räumliche Verteilung der Abflussprozesse bestimmt die Reaktion eines Einzugsgebiets auf Starkniederschläge. Abflussprozesskarten bilden deshalb eine wichtige Grundlage für Hochwasserberechnung, sie wurden schon in über 150 Einzugsgebieten eingesetzt. Die Entwicklung einer GIS-Applikation erlaubt es zudem, Abflussprozesskarten aufgrund von digital verfügbaren Geoinformationen wie Bodenkarten, geologischen Karten, dem digitalen Landschafts- und dem digitalen Höhenmodell automatisiert herzuleiten (Schmocker-Fackel et al., 2007; Naef et al., 2007; Margreth et al., 2010).

Abflussprozesse beeinflussen die Gebietsentwässerung

Die Wirkung speicherfähiger Flächen auf den Abfluss zeigt sich bei der Töss und der Eulach in der Periode März bis August 2003, in der Q_{347} während längerer Zeit erreicht oder unterschritten worden ist *(Bild 2)*.

Die beiden Flüsse verhalten sich in Trockenperioden unterschiedlich. Die Töss reagiert sofort auf einzelne Niederschläge, bereits 20 mm bewirken einen Anstieg des spezifischen Abflusses auf über 100 l s^{-1} km^{-2}, während die Eulach kaum reagiert und sich die Speicher kontinuierlich entleeren.

Im Einzugsgebiet der Eulach haben Böden und Untergrund eine grosse Infiltrations- und Speicherfähigkeit (*Scherrer*, 2009), sie reagieren auf Niederschläge verzögert bis sehr verzögert oder tragen gar nicht zum Abfluss bei *(Bild 3)*. Die Töss dagegen weist viele rasch, leicht verzögert und verzögert reagierende Flächen auf (*Scherrer*, 2009b; *Margreth* et al., 2013).

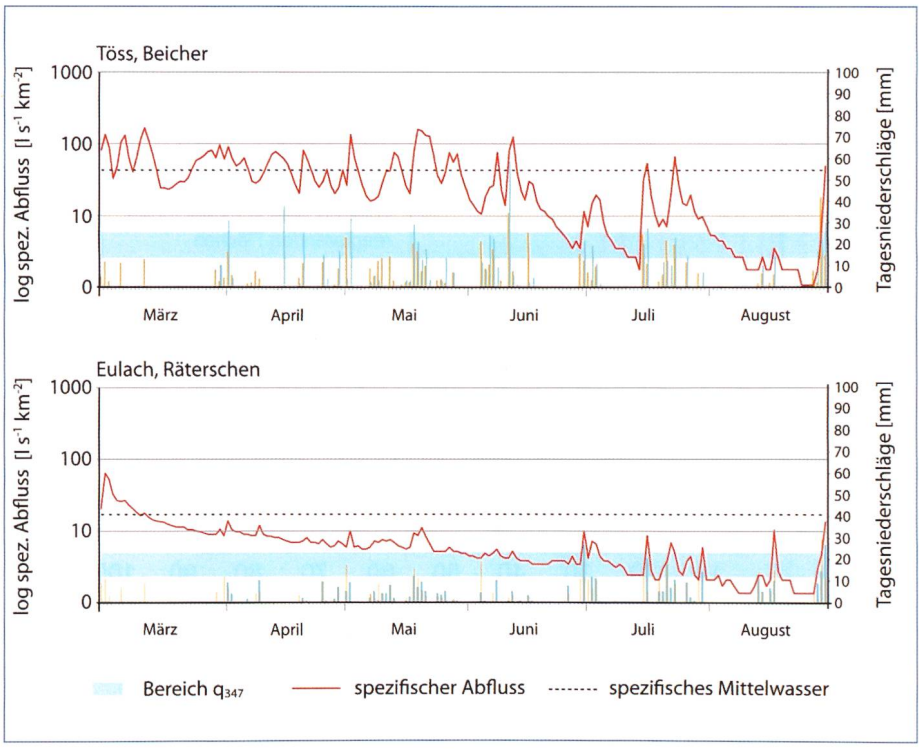


Bild 2. Spezifische Abflüsse von Töss und Eulach während der trockenen Periode zwischen März und August 2003. Die Töss reagiert auch nach längeren niederschlagsfreien Perioden rasch auf Niederschläge, die Eulach reagiert kaum, sie fällt von März bis August kontinuierlich ab. Dank der raschen Abflussreaktion erholt sich die Töss immer wieder und verbleibt bis zur längeren niederschlagsfreien Periode im Juni über dem Q_{347}. In der Eulach wird das Q_{347} ungefähr zwei Wochen früher unterschritten als in der Töss.

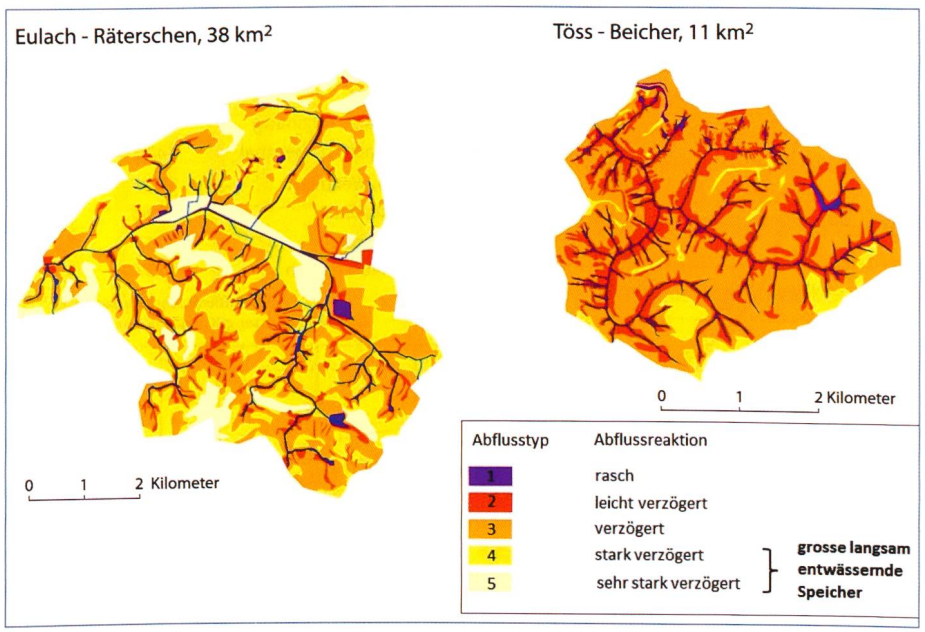


Bild 3. Abflussprozesskarten zeigen, dass in der Töss rasch bis verzögert reagierende Flächen dominieren, während in der Eulach stark bis sehr stark verzögert reagierende Flächen überwiegen. Grosse Grund- und Hangwasserspeicher wie Schotterterrassen, rezente Schotterkörper, Moränen oder Bachschuttkegel nehmen in der Töss mit 7% einen bedeutend kleineren Flächenanteil ein als in der Eulach (60%). Diese Verteilung erklärt das unterschiedliche Verhalten während niederschlagsarmen Perioden.

Aufgrund der vielfach geringmächtigeren Böden über undurchlässigem Untergrund fliesst der Niederschlag schon bei geringen Mengen rasch ab. Nach den Abflussprozesskarten liegt in der Töss der Anteil an stark und sehr stark verzögert reagierenden Flächen bei nur 7%. In der Eulach dominieren speicherfähige Flächen aus Moränen, Bachschuttkegeln und grossen alluvialen Schotterkörpern (60%; *Scherrer*

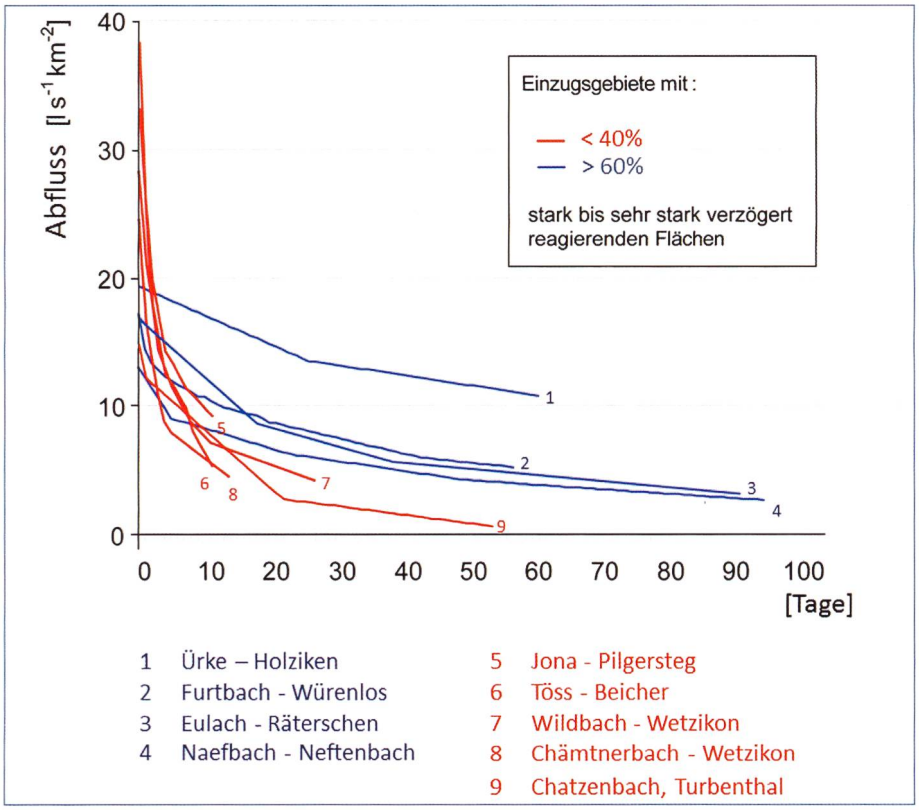


Bild 4. Rezessionskurven, hergeleitet aus Abflüssen während niederschlagsfreien Tagen in den Jahren 2003 und 2011 in Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Anteilen verzögert reagierender Flächen. Einzugsgebiete mit einem hohen Anteil an stark verzögert reagierenden Flächen, wie die Eulach, entwässern vom Mittelwasser bis zum Q_{347} wesentlich langsamer als beispielsweise die Töss oder die Jona mit geringen Anteilen an stark verzögert reagierenden Flächen.

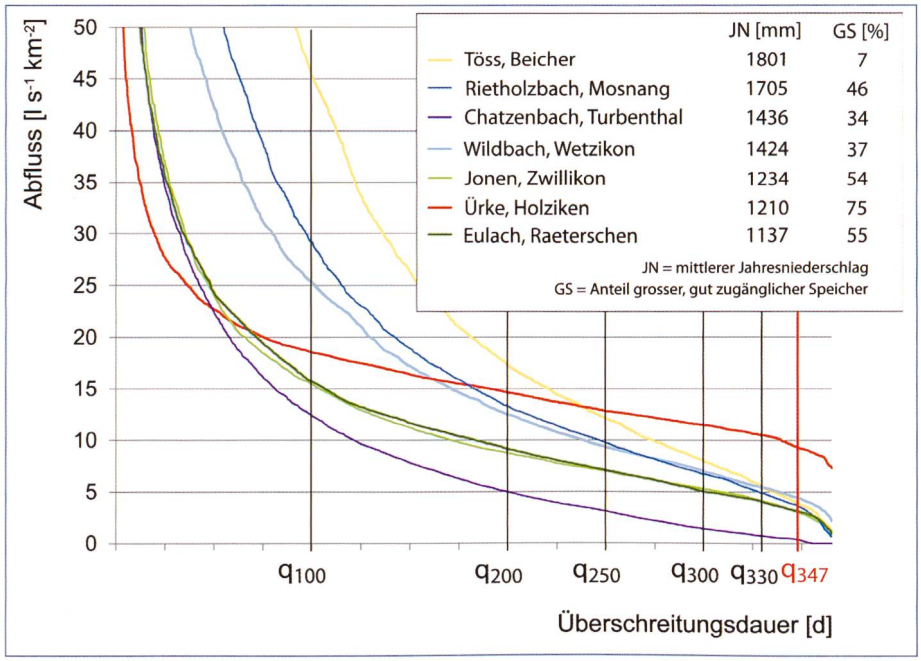


Bild 5. Die Dauerkurven der dargestellten Mittelland-Einzugsgebiete (Periode 2002–2011; AWEL 2012; BAFU 2012, Hydrometrie Aargau 2012) werden bis zum Q_{200} vom Niederschlag und der Drainage aus den kartierten Speichern dominiert. Über dem Q_{300} werden Speicher mit geringer Durchlässigkeit massgebend.

AG, 2009). Grosse Wasservolumen werden dort zurückgehalten und fliessen verzögert ab.

Aufgrund der fehlenden Speicher fällt der Abfluss der Töss in niederschlagsfreien Perioden rascher als in der Eulach. Dies zeigen auch die Rezessionskurven *(Bild 4)*. Dank der starken Reaktion auf Niederschläge erholt sich der Abfluss der Töss rasch wieder. 2003 fiel er erst Ende Juni, nach einer niederschlagsfreien Periode von mehr als 12 Tagen, unter den Q_{347}-Wert, zwei Wochen nach der Eulach (vgl. *Bild 2*).

Welche Speicher und Faktoren sind für das Q_{347} relevant?

Das Entwässerungsverhalten von Einzugsgebieten spiegelt sich in Rezessionskurven wider *(Bild 4)*. Rezessionskurven werden ermittelt, indem Tagesabflüsse von niederschlagsfreien Perioden zusammengesetzt werden. Die Kurven in *Bild 4* wurden aus den Daten der Trockenjahre 2003 und 2011 hergeleitet (Daten: *AWEL*, 2012; *Hydrometrie Aargau*, 2012). Erhöhte Abflüsse während und nach Niederschlagsereignissen wurden entfernt.

Die Kurven fallen in Gebieten mit ausgedehnten, stark bis sehr stark verzögert reagierenden Flächen wesentlich langsamer ab als in den wenig speicherfähigen Gebieten.

Anders als Rezessionskurven werden Dauerkurven neben der Speicherentleerung auch von klimatischen Grössen, wie Niederschlagsmenge, Schneeanteil, Temperatur- und Niederschlagsverlauf und von deren Interaktion mit den Abflussprozessen geprägt (*Bild 5*; Periode 2002–2011; *AWEL*, 2012; *BAFU*, 2012, *Hydrometrie Aargau*, 2012). Die Töss liefert bis zum Q_{240} den höchsten spezifischen Abfluss, obwohl das Gebiet wenig speicherfähig ist. Sie empfängt jedoch mit durchschnittlich 1800 mm pro Jahr 50% mehr Niederschlag als beispielsweise die Ürke (1210 mm). Über dem Q_{250} fällt sie jedoch rascher ab und nähert sich dem Q_{347} der übrigen Gebiete an. Diese überraschende Annäherung zeigt sich bei zahlreichen Gebieten *(Bild 5)*. Anscheinend entleeren sich die grossen Speicher so rasch, dass sie beim Q_{347} keine wesentliche Wirkung mehr zeigen. Mittlerer Niederschlag, Infiltrationsraten und die gut erkennbaren Grund- und Hangwasserspeicher der quartären Ablagerungen bestimmen die Form der Dauerkurve nur bis etwa zum Q_{250} und können zur Bestimmung des Q_{347} keinen signifikanten Beitrag mehr liefern.

Die Beobachtung, dass in der Mehrzahl der Einzugsgebiete einer Region die Q_{347} recht nahe beisammen liegen, gilt, bei unterschiedlichen Mittelwerten, auch für die Regionen Mittelland *(Bild 6)*, Voralpen, Alpen und Jura. Im Mittelland liegen sie in 60% der untersuchten Einzugsgebiete zwischen 2 und 5 $l\,s^{-1}\,km^{-2}$, in den Voralpen zwischen 3 und 6 $l\,s^{-1}\,km^{-2}$, in den Alpen zwischen 5 und 8 $l\,s^{-1}\,km^{-2}$ und im Jura zwischen 0 und knapp über 2 $l\,s^{-1}\,km^{-2}$.

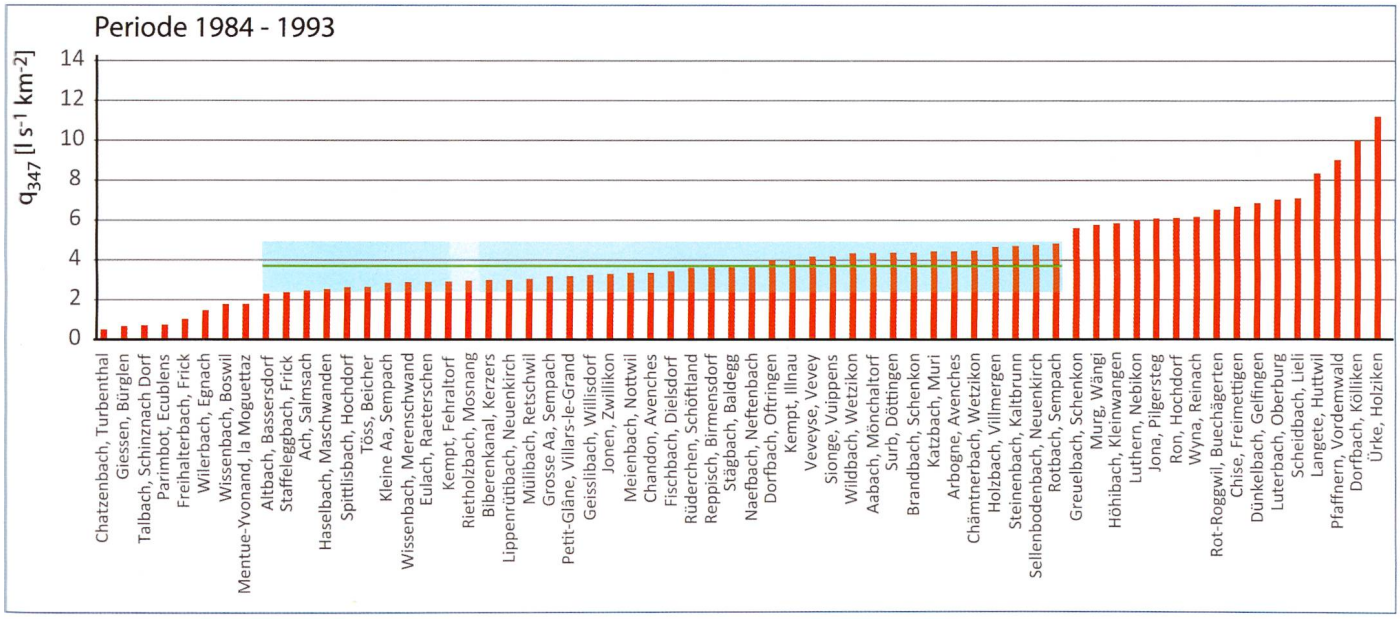


Bild 6. Die Mehrzahl der Q_{347}-Abflüsse (Messreihen 1984–93) liegt im schweizerischen Mittelland zwischen 2 und 5 l s^{-1} km^{-2} mit einem Mittelwert von 3.6 l s^{-1} km^{-2} (grüne Linie). Einige der Gebiete mit höheren Q_{347} liegen in der von Sandstein dominierten Molasse.

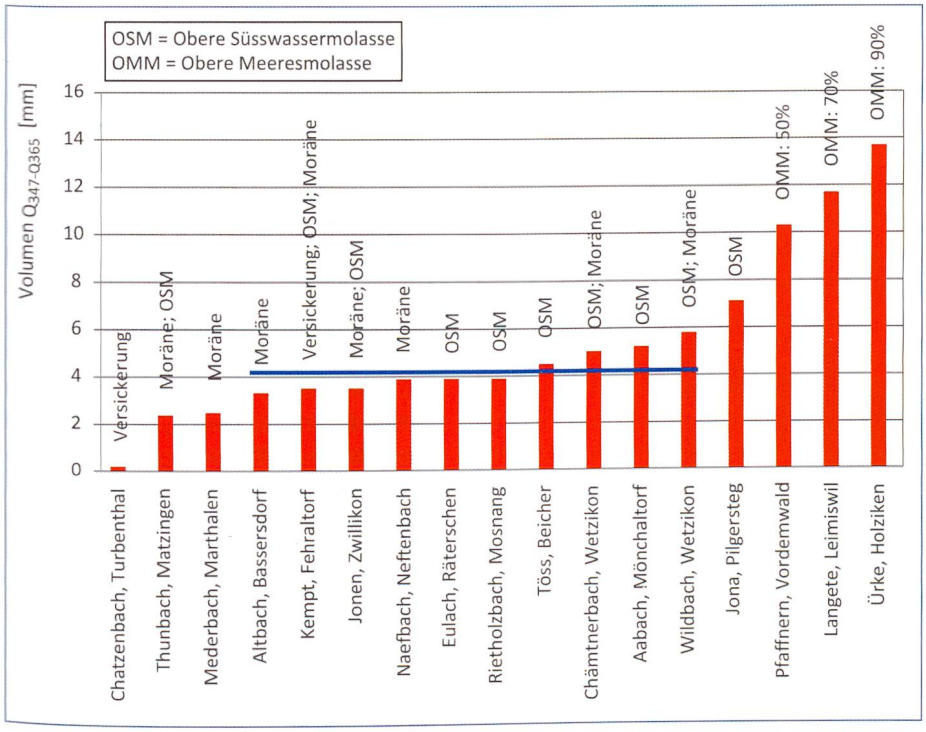


Bild 7. Volumen (VNW), die zwischen Q_{347} und Q_{365} in 17 Gebieten des schweizerischen Mittellandes abfliessen. Bei der Mehrheit entspricht das VNW mit 4 mm weniger als einem Prozent des Jahresniederschlags. Dominante Ausdehnung von langsam drainierenden porösen Festgesteinen, vor allem der Oberen Meeresmolasse, dürften für die über dem regionalen Mittelwert liegenden VNW der Ürke, Langete und Pfaffnern verantwortlich sein. Tiefe VNW treten oft nach Versickerungsstrecken auf. Die VNW von Einzugsgebieten mit einer dominanten Ausdehnung von Moräne liegen eher im unteren Bereich des Durchschnitts.

In den übrigen Gebieten weichen die Q_{347} jedoch zum Teil beträchtlich von diesen Bereichen ab. Für das Verständnis der Abflussbildung sind Gebiete, wie die Ürke, die Langete oder der Chatzenbach, mit stark abweichendem Q_{347} aufschlussreich, um die wesentlichen Prozesse zu identifizieren.

In *Bild 7* sind die Volumen (VNW), die zwischen dem Q_{347} und dem Q_{365} abfliessen, für ausgewählte Einzugsgebiete im schweizerischen Mittelland dargestellt, die mit 0.15 bis 14 mm weniger als einem Prozent des Jahresniederschlages entsprechen. Die gesuchten Speicher können also sehr klein sein, sie müssen aber so geringe Durchlässigkeiten aufweisen, dass sie auch nach längeren Trockenperioden noch Wasser abgeben. Solche Eigenschaften weisen z.B. Sandsteine der Oberen Meeresmolasse (OMM) auf. Austritte aus dem Festgestein werden bei tiefen Temperaturen sichtbar, wenn das austretende Wasser gefriert *(Bild 8)*. Die Durchlässigkeit der Nagelfluhbänke der Oberen Süsswassermolasse (OSM) ist höher, so dass sie beim Q_{347} weniger zum Abfluss beitragen (vgl. *Bild 7*).

Durch Messkampagnen im schweizerischen Mittelland während der Trockenperiode des Sommers 2015 konnten Gebiete mit erhöhtem Q_{347} lokalisiert und gewissen geologischen Formationen zugeordnet werden.

Poröse Festgesteine der Meeres- und Süsswassermolasse

Langsam drainierende poröse Festgesteine erhöhen das Q_{347} im Mittelland massgeblich. Die von Sandsteinen der Oberen Meeresmolasse dominierten Einzugsgebiete Ürke, Langete und Pfaffnern *(Bild 7)* weisen ein überdurchschnittlich hohes Q_{347} auf. Unter anderem wurden die Einzugsgebiete Langete und Ürke im Rahmen der Messkampagnen näher untersucht.

Im Gegensatz dazu entwässern die Nagelfluhbänke der Oberen Süsswassermolasse zu rasch um beim Q_{347} den Abfluss noch wesentlich zu erhöhen. Einzugsgebiete mit grossem Anteil an dieser Lithologie liegen im Vergleich der VNW im oberen Durchschnitt (vgl. *Bild 7*), die Einzugsgebiete Töss und Jona wurden näher

Bild 8. Wasseraustritt aus der Oberen Süsswassermolasse im Einzugsgebiet der Töss (ZH) im Grenzbereich zwischen einer Nagelfluh- (oben) und einer stauenden Mergelschicht (unten). Bei tiefen Temperaturen gefriert das langsam aus dem Festgestein austretende Wasser und wird so sichtbar.

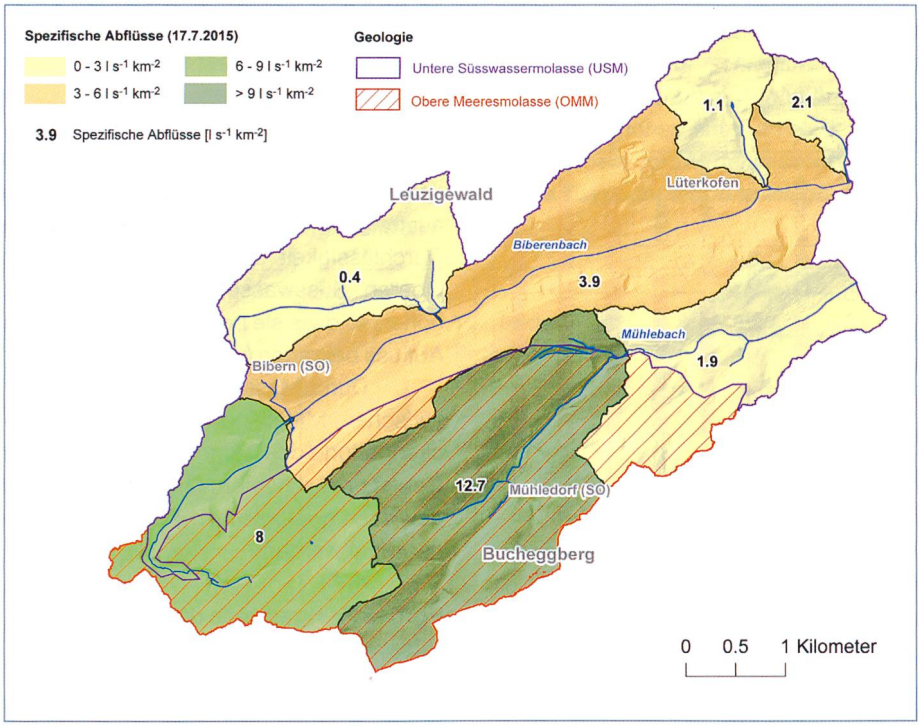


Bild 9. Spezifische Abflüsse [l s^{-1} km^{-2}] im Biberen- und Mühlebach (Kanton Solothurn), am 17.7.2015. Der spezifische Abfluss des Mühlebachs liegt mit 12.9 l s^{-1} km^{-2} rund dreimal so hoch wie im Biberenbach (3.9 l s^{-1} km^{-2}). Der Mühlebach liegt überwiegend in der Oberen Meeresmolasse (OMM). Auch der Biberenbach wies im obersten Abschnitt, der in der OMM liegt, mit 8 l s^{-1} km^{-2} einen doppelt so hohen Abfluss auf, wie das auf der Unteren Süsswassermolasse liegende Teilgebiet bis Lüterkofen.

untersucht. Ein anschauliches Beispiel für den Einfluss der Oberen Meeresmolasse zeigen Messungen im Einzugsgebiet des Biberenbach bzw. Mühlebach (SO) *(Bild 9)*.

Im Einzugsgebiet des Mühlebachs dominieren Sandsteine der Oberen Meeresmolasse. Der spezifische Abfluss des Mühlebaches (unterhalb Mühledorf) lag am 17.7.2015 mit 12.9 l s^{-1} km^{-2} rund dreimal so hoch wie im Biberenbach bei Lüterkofen (3.9 l s^{-1} km^{-2}). Auch der Biberenbach wies im obersten Abschnitt, der in der OMM liegt, mit 8 l s^{-1} km^{-2} einen doppelt so hohen Abfluss auf wie das auf der Unteren Süsswassermolasse liegende Teilgebiet bis Lüterkofen.

Moränen und Versickerungsstrecken

Auch einige von Moränen beeinflusste Einzugsgebiete wurden genauer untersucht, unter anderem der Naefbach (ZH) und der Limpach (SO). Diese eher flachen Gebiete weisen ein VNW im unteren Durchschnitt auf (vgl. *Bild 7*), da immer wieder Wasser im Flussbett versickert. Niedrigwasserabflüsse können also aufgrund von Versickerungsstrecken und Aufstössen entlang des Bachlaufes stark variieren. Das VNW des Chatzenbachs (Turbenthal) liegt mit 0.15 mm sehr tief, ebenso die Kempt (Fehraltorf) *(Bild 7)*. Eine grössere, bekannte Versickerungsstrecke im Bachbett der Töss liegt zwischen den Pegeln Beicher und Bauma. Dort versickern auf einer Strecke von 7 Kilometern 80 bis 100 l s^{-1} im Schotterkörper. Das Q_{347} reduziert sich dadurch von 4.4 auf 1 l s^{-1} km^{-2}. Unterhalb der Sickerstrecke erholt sich das Q_{347} durch Aufstösse wieder.

Wasserentnahmen und -einleitungen

Zur Bestimmung des natürlichen Zustandes müssen Wasserentnahmen und Einleitungen kompensiert werden. Dem Grundwasser werden zwischen Räterschen und Wülflingen bis zu 13 000 l min^{-1} für die Trinkwasserversorgung entnommen; das Q_{347} der Eulach sinkt dadurch von 3.6 auf 1.1 l s^{-1} km^{-2}. Durch Zuleitung von einzugsgebietsfremdem Wasser durch Kläranlagen, kann wiederum das Q_{347} erhöht werden. Der Furtbach, der mit 6 l s^{-1} km^{-2} ein überdurchschnittliches Q_{347} aufweist, wird massgeblich von Einleitungen aus Kläranlagen beeinflusst, deren Zuflüsse dem Zürichsee entnommen werden.

4. Räumliche Variationen im Entwässerungsverhalten: Fallstudie alpines Einzugsgebiet Poschiavino

Rezessions- und Dauerkurven widerspiegeln das Entwässerungsverhalten an der Pegelstelle. Zur Vertiefung des Prozessverständnisses ist jedoch eine höhere räumliche Auflösung notwendig. Alpine Einzugsgebiete eignen sich gut zur Untersuchung von Niedrigwasserabflüssen, da aufgrund der tiefen Temperaturen in jedem Winter eine mehrmonatige «Trockenperiode» auftritt. Zur Untersuchung der räumlichen Variation wurde deshalb im Winter 2013/14 im 14 km^2 grossen Einzugsgebiet des Poschiavino bis La Rösa eine Messkampagne durchgeführt (*Floriancic*, 2014). In Abständen von zwei bis drei Wochen wurden an bis zu 58 Messpunkten Abfluss, elektrische Leitfähigkeit sowie Ionenzusammensetzung von Wasserpro-

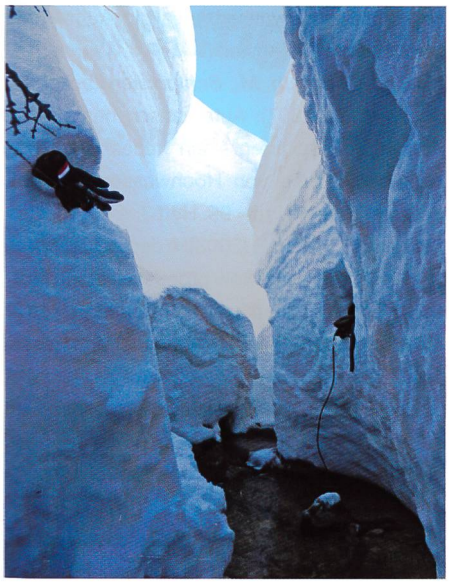


Bild 10. Temperaturen unter minus 20 Grad und Schneehöhen über 4 m erschwerten die Messkampagne am oberen Poschiavino im Winter 2013/2014.

ben gemessen. Die Messungen waren anspruchsvoll, denn sie mussten bei Temperaturen von unter minus 20 Grad und Schneehöhen von über 4 m durchgeführt werden *(Bild 10)*.

Abflussrückgang in vier Teileinzugsgebieten:

Der Poschiavino weist in La Rösa mit 10 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$ ein überdurchschnittliches Q_{347} auf. Abflussmessungen in den Teileinzugsgebieten A, B, C und D ergaben aber kein gleichförmiges Bild. Im November 2013 lagen die spezifischen Abflüsse zwischen 42 und 73 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$. Der Rückgang erfolgte unterschiedlich. Die westlichen Teileinzugsgebiete A und B entwässerten rasch bis auf 4 und 9 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$. Die Entwässerung der östlich gelegenen Teileinzugsgebiete C und D verlief langsamer, es hielten sich bis Ende Februar wesentlich höhere spezifische Abflüsse von 13 bzw. 19 $l\ s^{-1}\ km^{-2}$.

Abflüsse wurden auch in noch kleineren Teileinzugsgebieten gemessen, sie ergaben aber ein widersprüchliches Bild, vor allem im Gebiet D. Die mögliche räumliche Auflösung spezifischer Abflüsse wird durch Unterschiede zwischen oberirdischem und unterirdischem Einzugsgebiet begrenzt, die in kleineren Gebieten stärker ins Gewicht fallen.

Lockermaterialspeicher und Abflussrückgang:

Die Lockermaterialablagerungen im Einzugsgebiet des Poschiavino wurden mit Hilfe von geologischen Karten, Höhenmodellen, Luftbildern und Feldaufnahmen

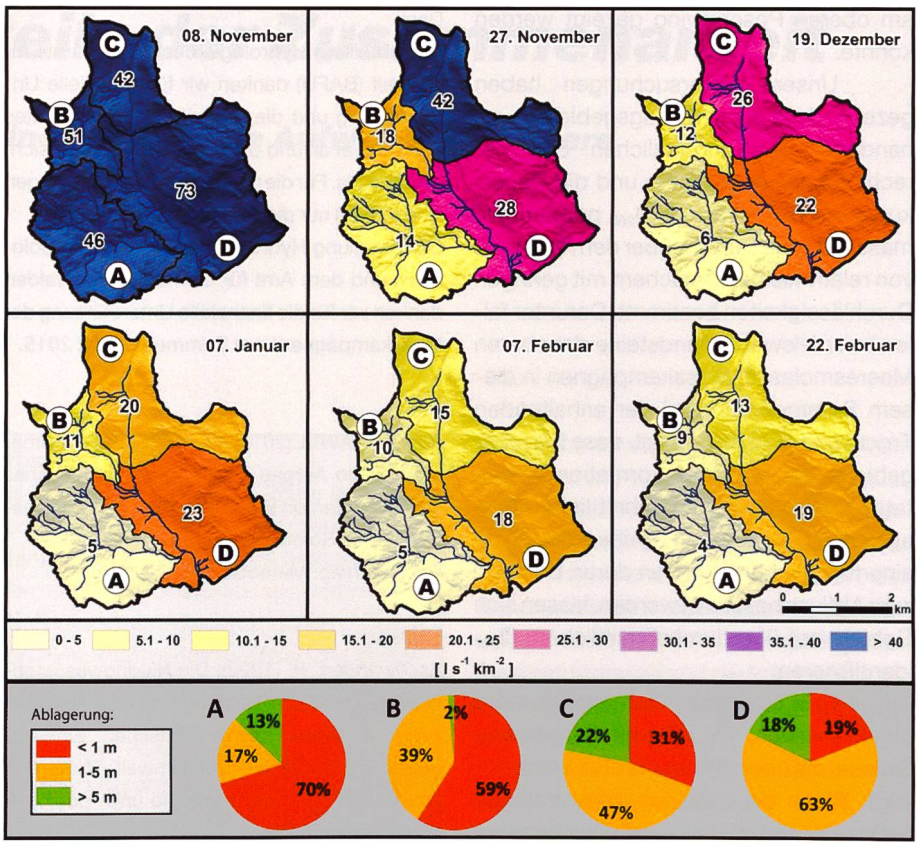


Bild 11. Spezifische Abflüsse [$l\ s^{-1}\ km^{-2}$] im Verlauf des Winters 2013/14 in den vier Teileinzugsgebieten A, B, C, D des Poschiavino bis La Rösa (14 km^2). Das Drainageverhalten der vier Teileinzugsgebiete ist unterschiedlich. Im November zeigen alle einen hohen spezifischen Abfluss, die westlichen Gebiete (A und B) entleeren jedoch rasch auf einen tiefen Abfluss. Die östlichen Gebiete (C und D) können aufgrund ihrer grossen Speicher mehr Wasser abgeben, sie entleeren langsamer und zeigen noch Ende Februar wesentlich höhere Abflüsse.

in drei Klassen eingeteilt: weniger als ein Meter, ein bis fünf Meter und über 5 Meter. Deren flächenmässige Anteile in den vier Teileinzugsgebieten sind in *Bild 11* dargestellt.

Teileinzugsgebiet A weist nur eine geringmächtige Lockermaterialbedeckung auf. 70% besteht aus anstehendem Gestein oder einer geringmächtigen Auflage von unter einem Meter. Die Entleerung verläuft rasch innerhalb von drei Wochen, das abgeflossene Volumen zwischen dem 27. November 2013 und dem 12. März 2014 ist mit 54 mm vergleichsweise gering. In Teileinzugsgebiet D befinden sich dagegen Hangschuttkegel, Seitenmoränen und eine Bergsturzablagerung. 18% sind mit über 5 m mächtigen Sedimentablagerungen bedeckt, in 63% des Gebiets beträgt deren Mächtigkeit 1–5 m. Die Entleerung verläuft hier verzögert, das abgeflossene Volumen ist mit 194 mm beinahe viermal höher als im Teileinzugsgebiet A. Das beobachtete Abflussverhalten entspricht der in den Teileinzugsgebieten ermittelten Verteilung der Speicher *(Bild 11)*.

Nach diesen Auswertungen sind auch im Poschiavino die grossen Speicher bereits vor Erreichen des Q_{347} entleert. Um den Abfluss beim Q_{347} aufrecht zu erhalten genügen bei einem VNW zwischen 5 und 20 mm auch hier relativ kleine Speicher. Solche Speicher mit längerer Verweildauer könnten in Klüften und Spalten des anstehenden Gesteins zu finden sein.

Die Abflüsse vom 22.2.2014, kurz vor Erreichen des Q_{347}, unterscheiden sich in den vier Teileinzugsgebieten wesentlich. Sie sind umso grösser, je grösser die kartierten Speicherkapazitäten sind. Die genauen Drainagemechanismen lassen sich jedoch nur durch weitere Untersuchungen klären.

5. Schlussfolgerungen

Das Gewässerschutzgesetz weist dem Q_{347} bei der Festlegung der Restwassermenge eine Schlüsselstellung zu. In Gebieten ohne Abflussmessung ist seine Bestimmung mit den heutigen Verfahren jedoch mit grösseren Unsicherheiten behaftet. Um diese zu verringern, ist ein besseres Verständnis der massgebenden abflussbildenden Prozesse notwendig, da auch auf kleinem Raum grosse Unterschiede im Abfluss auftreten können, wie

am oberen Poschiavino gezeigt werden konnte.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass die in Einzugsgebieten vorhandenen gut zugänglichen Speicher recht schnell entwässern und die Dauerkurve nur bis etwa zum Q_{200} prägen. Der massgebende Bereich über dem Q_{250} wird von relativ kleinen Speichern mit geringen Durchlässigkeiten bestimmt. Darunter fallen beispielsweise Sandsteine der oberen Meeresmolasse. Messkampagnen in diesem Sommer während der anhaltenden Trockenheit haben gezeigt, dass Einzugsgebiete, die in dieser Formation liegen, tatsächlich überdurchschnittliche Q_{347} aufweisen. Finden sich solche Speicher in einem Gebiet und können deren Beiträge zum Abfluss bestimmt werden, lassen sich Gebiete mit überdurchschnittlichem Q_{347} identifizieren.

Das Q_{347} lässt sich jedoch nicht direkt messen. Es ist eine hergeleitete Grösse, die über die Dauerkurve bestimmt wird. Wenn die Verteilung der massgebenden Speicher in einem Gebiet ermittelt werden kann, ergibt sich die Möglichkeit, dass Dauerkurven aus vergleichbaren Referenzgebieten übernommen und anhand von Einzelmessungen angepasst werden können. Durch Evaluation der Speicher in einem Gebiet, räumlich differenzierten Einzelmessungen des Abflusses und Quervergleichen mit Dauerkurven aus ähnlich ausgestatteten Gebieten, liessen sich so zuverlässigere Q_{347}-Werte bestimmen. Der dafür notwendige Aufwand an Feld- und Analysearbeiten scheint angesichts der hohen ökonomischen und ökologischen Bedeutung der hergeleiteten Restwasserabflüsse vertretbar.

Dank

Der Abteilung Hydrologie des Bundesamts für Umwelt (BAFU) danken wir für finanzielle Unterstützung und die Begleitung des Projektes *Margreth* et al. und die konstruktive Durchsicht des Artikels. Für die darin enthaltenen Aussagen sind jedoch nur die Autoren verantwortlich.

Der Abteilung Hydrometrie des Kantons Solothurn und dem Amt für Umwelt Niederwalden danken wir für die finanzielle Unterstützung der Messkampagnen vom Sommer/Herbst 2015.

Daten

Abflüsse: AWEL (2012), BAFU (2012), Hydrometrie Kanton Aargau (2012), Hydrographisches Jahrbuch Kanton Basel Land (2012), Hydrometrie Kanton Solothurn (2012).

Niederschlag: MeteoSchweiz, AWEL.

Literatur

Aschwanden, H. (1992): Die Niedrigwasserabflussmenge Q_{347} – Bestimmung und Abschätzung in alpinen schweizerischen Einzugsgebieten. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Landeshydrologie und -geologie. Mitteilungen Nr. 18.

Aschwanden, H., Kan, C. (1999): Die Abflussmenge Q_{347} – eine Standortbestimmung. Eidg. Departement des Innern, Landeshydrologie und -geologie. Hydrologische Mitteilungen Nr. 27.

BAFU (2000): Angemessene Restwassermengen – wie können sie bestimmt werden? Bundesamt für Umwelt (BAFU).

Floriancic, M. (2014): Evaluating capacity and drainage behavior of alpine groundwater storages – Recession observations in the upper Poschiavino Area / Switzerland in winter 2013/14. *Bibliothek der Universität Wien*; http://ubdata.univie.ac.at/AC12154598

Margreth, M., Naef, F., Scherrer, S. (2013): Pilotstudie zur Anwendung von Abflussprozesskarten im Niedrigwasserbereich. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU).

Naef, F., Margreth, M., Schmocker-Fackel, P., Scherrer, S. (2007): Automatisch hergeleitete Abflussprozesskarten – ein neues Werkzeug zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen. «Wasser Energie Luft» 99. Heft 3.

Scherrer, S., Naef, F. (2003): A decision scheme to identify dominant flow processes at the plot-scale for the evaluation of contributing areas at the catchment-scale. Hydrological processes, 17(2): 391–401.

Scherrer AG (2009): Hochwasserabflüsse an der Eulach (ZH). Im Auftrag des Amts für Abfall, Energie, Wasser und Luft des Kantons Zürich (AWEL).

Scherrer AG (2009b): Tösstal – Hochwasserabschätzung – Untersuchung zur Herleitung der massgebenden Hochwasserabflüsse entlang der Töss und ausgewählter Seitenbäche. Im Auftrag des Amts für Abfall, Energie, Wasser und Luft des Kantons Zürich (AWEL).

Schmocker-Fackel, P., Naef, F., Scherrer, S. (2007): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. Hydrology and Earth System Sciences. http://hydrol-earth-systsci.net/11/891/2007/hess-11-891-2007.pdf.

Anschrift der Verfasser

Dr. *Felix Naef*

HyBest GmbH/Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich

naef@ifu.baug.ethz.ch

Michael Margreth

Soilcom GmbH, michael.margreth@soilcom.ch

Marius Floriancic

Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich, floriancic@ifu.baug.ethz.ch