Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 96 (2004)
Heft: 3-4

Artikel: Hochwasssergefahrenanalyse im hügeligen Mittelland
Autor: Jäggi, Martin
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939557

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: 28.12.2025

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

Hochwassergefahrenanalyse im hügeligen Mittelland

Martin Jäggi

Einleitung

Im Schweizerischen Mittelland geht die Hochwassergefahr einerseits von den grossen Talflüssen aus, andrerseits aber von einer Vielzahl kleiner Bäche. Da ausserhalb der Schwemmebenen der grossen Flüsse die Topografie recht hügelig ist, weisen diese Bäche zum Teil recht hohe Gefälle auf, welche Gebirgsbächen kaum nachstehen. Während die grossen Flüsse meist nur alle paar Jahre bei ausserordentlichen Wettersituationen zur Gefahr werden, sind fast jedes Jahr irgendwo im Schweizer Mittelland in den kleinen Einzugsgebieten solcher Bäche Extremereignisse zu verzeichnen. Während meist Sachschäden an Gebäuden, Mobiliar und Kulturen die Folge sind, sind in Einzelfällen auch schon Todesopfer zu verzeichnen gewesen; so in Spreitenbach am 16. Juli 1993 (Röthlisberger, 1994) und in Steckborn am 13. Juni 2000 (Hegg et al., 2001).

Bild 1. Üessiker Dorfbach im Tobel (a), im Weiler Üessikon (b) und im Landwirtschaftsgebiet ob dem Greifensee (c).

Am 14. Juni 1999 wurde die Gemeinde Maur ZH von einem solchen Ereignis getroffen (s.a. Hegg et al., 2000). Im Ortsteil Äsch/Scheuren drang Oberflächenabfluss in die Gebäude ein und führte zu hohen Schäden. Im Zentrum des Dorfs Maur uferten der Dorfbach und vor allem der Chilebach aus, wodurch drei Betriebe zum Teil schwer getroffen wurden.

Im Anschluss daran wurde der Autor durch die Gemeinde Maur mit einer Grobgefahrenanalyse beauftragt. Auf dieser aufbauend wurde im Auftrag des Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich durch die Ingenieurgemeinschaft Jäggi Flussbau/Heinz Bünzli AG, Maur, die detaillierte Gefahrenkartierung durchgeführt.

Die Hochwassergefahr geht auf dem Gebiet der Gemeinde Maur von etwa zehn Bächen aus, welche im Gebiet des Pfannenstiels, des Wassbergs und des Sennholz auf 650 bis 800 m ü.M. entspringen und etwa in nordöstlicher Richtung dem Greifensee (436 m ü.M.) zufliessen. Im Oberlauf queren sie Wald-, Landwirtschafts- und Siedlungsgebiete (Forch, Ebmatingen, Binz), durchfliessen anschliessend tief eingeschnittene und steile Tobel (Bild 1a), queren dann zum Teil die Siedlungsgebiete von Maur und Üessikon (Bild 1b) und zum Schluss die Landwirtschaftszone (Bild 1c) bis zum See. Die Gefälle betragen hier immer noch zwischen 1,5 und 4%, in den Tobeln sind sie wesentlich höher. Die Einzugsgebiete weisen Flächen zwischen 1 und 10 km^2 auf.

Die Bilder 1, a bis c zeigen den höchst unterschiedlichen Charakter dieser Gewässerabschnitte auf. In den Tobeln sind die Bäche weitgehend naturbelassen und verhältnismässig breit, im Siedlungsgebiet durch u-förmige Profile stark eingeengt und weisen im Landwirtschaftsgebiet ebenfalls nur ein knappes Profil auf.

Im Rahmen dieser Arbeiten wurden zum Teil eigene Lösungsansätze entwickelt, die sich primär für die Analyse in Gebieten mit ähnlichen Charakteristiken wie Maur eignen, die aber auch Anregungen für Arbeiten in ähnlichen Gebieten geben können.

Für die Gefahrenanalyse in Bezug auf Hochwasser ist in der Schweiz der Weg durch die Empfehlung der Bundesämter für Wasserwirtschaft (heute Wasser und Geologie), für Raumplanung sowie Umwelt, Wald und Landschaft von 1997 vorgezeichnet. Zentral ist das bekannte Gefahrenstufendiagramm (Bild 2). Es stellt sozusagen die Zielfunktion für die Gefahrenanalyse dar. Einer Hochwassergefahr muss eine Intensität und eine Häufigkeit zugeordnet werden. Das Raster ist mit fünf Gefahrenstufen (Rot, Blau, Gelb, Gelb/Weiss und Weiss) doch eher grobmaschig. In Grenzfällen ist die Zuweisung zu einer erheblichen oder weniger erheblichen Stufe bis zu einem gewissen Grad ein Ermessensentscheid. Es gilt aber, die Prozesse, deren Intensität und Auftretenswahrscheinlichkeit mit einer insofern genügenden Qualität zu erfassen, dass die Zuordnung möglichst objektiv erfolgen kann.

Hydraulik

Ob es zu Ausuferungen der Bäche kommt, ist eine Frage der Abflusskapazität der Gerinne und insbesondere der Durchlässe. Deren Bestimmung ist ein hydraulisches Problem. Sehr oft sind die Strassen und Wege, welche die Bäche kreuzen, auf Terrainhöhe angeordnet und sind im Bereich der Querung mit dem Gewässer nicht besonders angehoben. Somit stellt in der Regel der Durchlass gegenüber dem Abflussquerschnitt des Gerinnes eine deutliche Einengung dar (siehe Bild 3). Dadurch sind in Gewässerabschnitten mit vielen Strassen- und Wegkreuzungen meist die Durchlässe für die Gefahr des Ausuferns entscheidend und nicht die Gerinnekapazität.

Hydraulisch lässt sich die maximale Abflusskapazität des Durchlasses als Druckleitung rechnen, wobei die Energiehöhe im Oberwasser mit dem minimalen Niveau der Strasse im Durchlassbereich gleichgesetzt wird. Es wird also der Grenzfall knapp vor Überströmen betrachtet. Es lohnt sich, die

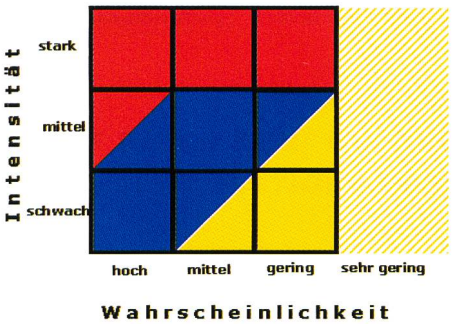

Bild 2. Gefahrenstufendiagramm gemäss BWW et al. 1997.

Bild 3. Starke Querschnittsverengung durch einen Durchlass.

Empfindlichkeit dieser Abflussgrösse in Bezug auf einzelne Parameter, hauptsächlich den Reibungsbeiwert im Durchlass selbst und den Beiwert für den Eintrittsverlust, näher zu betrachten.

Diese Abflusskapazität lässt sich verhältnismässig genau berechnen. Es scheint deshalb sinnvoll, diesen Wert in die Karte der Phänomene einzutragen anstatt der rein geometrischen Abmessungen des Durchlasses, wie es die Empfehlung der Bundesämter von 1995 vorschlägt. Bild 4 zeigt einen Ausschnitt aus der Karte der Phänomene für die Gemeinde Maur – mit dazugehöriger Legende –, wobei weitgehend die Symbole der Empfehlung berücksichtigt wurden. Die erste Zahl neben einem Durchlass bedeutet die maximale Durchflusskapazität.

Wo die Gerinnekapazität näher betrachtet werden muss, etwa auf längeren Abschnitten ohne Durchlass, genügt in der Regel eine einfache Normalabflussrechnung. Wenn wie im Fall Maur die Ufer bestockt sind, muss das Flächenabzugsverfahren (Jäggi und Kuster, 1991) angewandt werden und die Rauigkeitsbeiwerte müssen differenziert nach Einstein für die einzelnen Anteile am benetzten Umfang eingeführt werden. In der Regel genügt die Betrachtung eines Rechteckquerschnitts mit Sohlenbreite, einem k-Wert nach Strickler für die Sohle von 30 bis 35 $m^{1/3}/s$ (für groben bis feinen Kies) und 20 bis 24 $m^{1/3}/s$ für die Trennfläche im Bereich der Ufervegetation.

Da die Bachgerinne praktisch immer gegenüber dem Terrain abgetieft sind und keine Dämme aufweisen, kann zur Bestimmung der maximalen Abflusskapazität vor Ausufern das Freibord zu Null gesetzt werden (s.a. Zarn, 2003).

Hydrologie

Diesen Abflusskapazitäten von kritischen Durchlässen oder Gerinneabschnitten müssen nun Auftretenswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden, um letztlich die Gefahrenstufe zu bestimmen. Bei einer grossen Zahl kritischer Durchlässe und Gerinneabschnitte (auf dem Gebiet der Gemeinde Maur über 70) ergibt sich eine entsprechend hohe Zahl von Teileinzugsgebieten, für welche grundsätzlich eine eigene Relation zwischen Abflussgrösse und Auftretenswahrscheinlichkeit gefunden werden muss. Da kaum für jedes von ihnen eine eigene hydrologische Abklärung durchgeführt werden kann, ist eine gewisse Vereinfachung notwendig.

Zuerst muss eine Referenzgrösse bestimmt werden. Im Fall Maur wurde die Firma Horat & Scherrer beigezogen, um für die beiden kritischsten Durchlässe am Maurmer Dorfbach und Chilebach das Ereignis 1999 zu analysieren und für beide Teileinzugsgebiete das 100-jährliche Hochwasser Q_{100} zu ermitteln. Diese Analyse wurde mit Hilfe des Verfahrens von Scherrer (1997) durchgeführt.

Anhand der einfachen Formel von Kürsteiner (1917)

$$Q_{100} = c\,E^{\frac{2}{3}}$$

lässt sich der Koeffizient c aus Q_{100} und der Einzugsgebietsgrösse E zurückrechnen. Damit können für die weiteren Teileinzugsgebiete (am gleichen Bach, aber andere Durchlässe, oder benachbarte Bäche) die jeweiligen Q_{100} abgeleitet werden. Bei der Übertragung in Teileinzugsgebiete mit anderen Charakteristiken ergibt sich natürlich ein gewisser Ermessensspielraum. Im Fall Maur war er durch die Resultate des Verfahrens Scherrer gegeben. Dabei resultierten für den Dorfbach c = 9,1 (stark besiedeltes Einzugsgebiet) und für den Chilebach c = 5,6 (landwirtschaftliche Nutzung und Wald). Entsprechend wurden je nach Nutzung c-Werte zwischen 6 und 10 eingesetzt.

Gemäss AGW (1997) lassen sich beim Fehlen weiterer Grundlagen die c-Werte gebietsweise für ein Q_{50} bestimmen. In Maur ergeben sich nach dieser Quelle Werte von 5 bis 6.

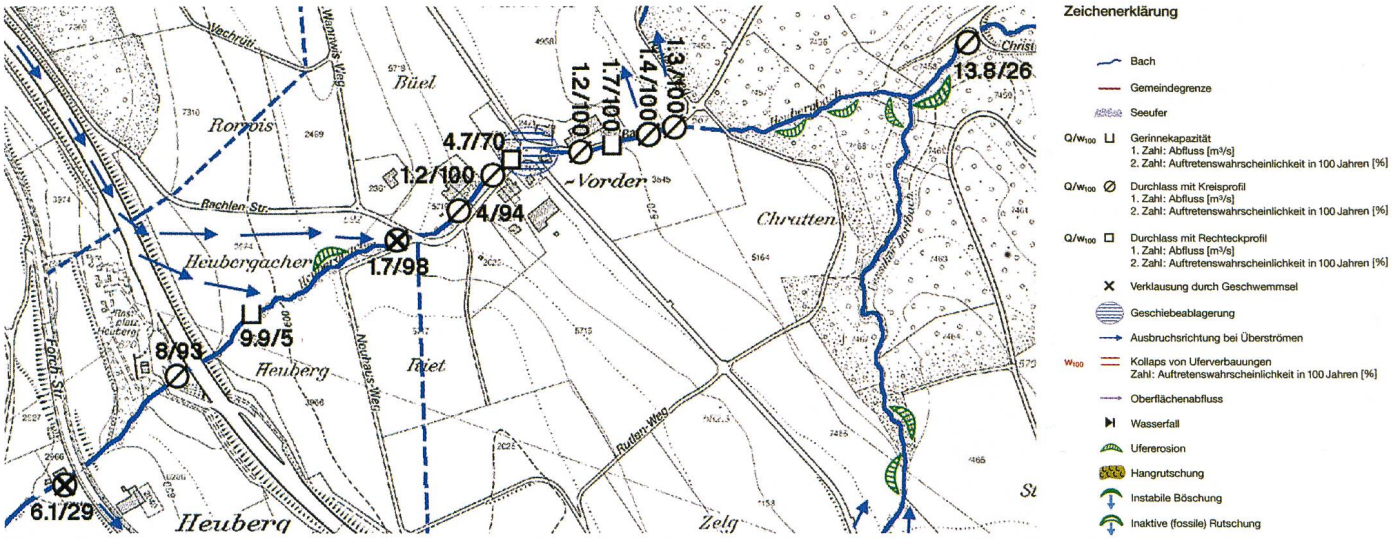

Bild 4. Gefahrenanalyse Maur, Ausschnitt aus der Karte der Phänomene. Die zwei Zahlen bei den Durchlässen oder einzelnen Gerinneabschnitten bedeuten die rein hydraulisch berechnete Durchflusskapazität und die entsprechende Auftretenswahrscheinlichkeit während einer Periode von 100 Jahren.

Dadurch ist ein Wertepaar in der nun zu ermittelnden Beziehung zwischen Abflussgrösse und Wiederkehrperiode bestimmt. Diese Beziehung entspricht oft in grober Näherung einer halblogarithmischen Funktion. In pragmatischer Art lässt sich der Zusammenhang zwischen einem beliebigen Abfluss Q_i und der Wiederkehrperiode W so beschreiben:

$$Q_i = a \log W + b$$

Zur Bestimmung der Parameter a und b sei das Verhältnis zwischen den Abflüssen Q_{1000} und Q_{100} betrachtet. Für sehr grosse Einzugsgebiete gilt ein Wert von 1,3; bei kleineren Einzugsgebieten steigt er auf ca. 1,5 an und für sehr kleine Einzugsgebiete kann er Werte von ca. 2,0 annehmen. Für die Untersuchung in Maur wurde folgende Annahme getroffen:

$$\alpha = \frac{Q_{1000}}{Q_{100}} = 1{,}8$$

Durch einfache mathematische Umformung ergeben sich daraus die folgenden Verhältnisse:

$$a = Q_{100}(\alpha - 1)$$
$$b = Q_{100}(3 - 2\alpha)$$

Ferner ergibt sich

$$Q_{30} = 0{,}58 Q_{100}$$

und

$$Q_{300} = 1{,}38 Q_{100}$$

So könnte jedem charakteristischen Abfluss eine Wiederkehrperiode zugeordnet werden. Es ist aber nicht üblich und auch kaum sinnvoll, Wiederkehrperioden differenzierter zu unterscheiden als mit den üblichen Werten (also etwa W= 58 Jahre, 221 Jahre usw.). Ferner zeigt es sich im Gespräch mit Behördenvertretern und Anwohnern immer wieder, dass grosse Zahlen (Wiederkehrperioden über 100 Jahre) Verwirrung stiften und nicht richtig eingeschätzt werden können. Um die Abflusskapazität eines Durchlasses oder Gerinneabschnitts richtig bewerten zu können, wird deshalb auf die bekannte Formel von Gumbel zurückgegriffen. Es wird die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Ereignisses während einer bestimmten Lebens- oder Nutzungsdauer eines Bauwerks oder bewohnten Gebiets betrachtet. Wählt man eine Periode von 100 Jahren, welche zum Beispiel der üblichen Dauer eines Baurechts entspricht, so ist die entsprechende Wahrscheinlichkeit w_{100}, in Funktion der Wiederkehrperiode W bestimmt (s.a. BWW et al., 1997):

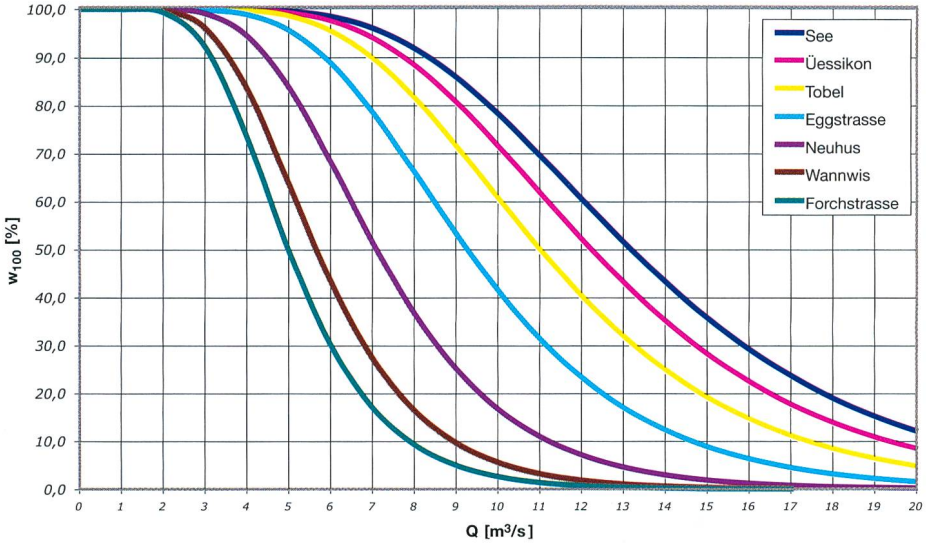

Bild 5. Funktionen w_{100} (Q) für verschiedene Teileinzugsgebiete des Üessiker Dorfbachs.

$$w_{100} = 100 \left(1 - \left(1 - \frac{1}{W}\right)^{100}\right) \; [\%]$$

Auf diese Weise kann für jedes Teileinzugsgebiet die Grösse w_{100} in Funktion des Abflusses Q bestimmt werden (Bild 5). Es wird empfohlen, die ermittelte Wahrscheinlichkeit (eine Zahl zwischen 0 und 100) neben der Abflussgrösse in die Karte der Phänomene einzutragen, wie dies auch Bild 4 zeigt. Die Rechnung geht von der Einzugsgebietsgrösse E, den Koeffizienten nach Kürsteiner c und dem Verhältnis α aus. Die Qualität der Schätzung ist von diesen Grössen abhängig.

Je kleiner das Einzugsgebiet wird, umso unsicherer ist die Schätzung. Weitere Komplikationen ergeben sich daraus, dass die aus den topografischen Verhältnissen bestimmte Einzugsgebietsgrösse nicht unbedingt die effektiv wirksame Fläche darstellen muss. In Maur ist ein Überströmen vom Heubergbach in den Üessiker Schulhausbach möglich. Der Heubergbach wurde vermutlich früher künstlich umgeleitet, sodass dieses Überströmen eigentlich nur den natürlichen Verhältnissen entspricht. Durch die Neue Forchstrasse kann der Abfluss ebenfalls von einem Einzugsgebiet ins andere übergeleitet werden. Beide Phänomene sind in Bild 4 durch blaue Pfeile dargestellt. Schliesslich wird in den besiedelten Gebieten, wo ein Kanalisationssystem vorhanden ist, ein mehr oder weniger grosser Abflussanteil durch das Kanalisationssystem abgeführt. Bei Extremereignissen verliert dieses infolge Oberflächenabfluss an Effizienz (siehe unten).

Die Funktion zwischen w_{100} und dem Abfluss Q läuft für grosse Werte ($w_{100} \cong 100$) und sehr kleine Werte ($w_{100} \cong 0$) asymptotisch aus. Dort spielen die Ungenauigkeiten eine verhältnismässig geringe Rolle (siehe Bild 6). In einem mittleren Bereich um $w_{100} = 50\%$ muss mit einer Schätzgenauigkeit von ±10–20% gerechnet werden. Die Zahlen dienen letztlich dazu, für die Gefahrenstufen die Häufigkeit gross, mittel, gering oder sehr gering zu bestimmen. Für die Qualifikation grosse oder geringe Häufigkeit wirken sich auf diese Weise Ungenauigkeiten bei der Rechnung kaum mehr aus. In Bild 6 sind auch die Bereiche grosser, mittlerer, geringer und sehr geringer Häufigkeit dargestellt, wobei hier die Farben den Gefahrenstufen für eine mittlere Intensität entsprechen.

Holztrieb

Schwemmholz führt immer wieder zu Verklausungen an Durchlässen. Dadurch kann es bereits bei kleineren Abflüssen als dem rein hydraulisch bestimmten Maximalabfluss zu Ausuferungen kommen. In kleineren Fliessgewässern ist es aber oft fast unmöglich, auszusagen, wann nun effektiv wie viel Holz angeschwemmt wird, sodass es tatsächlich zu Verklausungen kommt. Es sei deshalb ein pragmatisches Vorgehen vorgeschlagen.

Nach den herkömmlichen Annahmen (z.B. BWW, 1982) sollte Holz durchtransportiert werden können, wenn die lichte Weite zur Brückenunterkante ca. 1 m beträgt. Für diese Bedingung kann ein Minimalabfluss durch den Durchlass bestimmt werden, bis zu welchem keine Probleme auftreten sollten. Bei sehr kleinen Durchlässen ist diese Bedingung naturgemäss kaum zu erfüllen. In diesem Fall muss man sich überlegen, ab welchem Abfluss überhaupt etwa grössere Holzstücke im Gewässer transportiert werden können und diesen als Minimalabfluss betrachten.

Somit wäre ein Minimalabfluss bekannt, bis zu welchem die Wahrscheinlichkeit des Verklausens und Ausuferns Null beträgt, und der rein hydraulisch bestimmte Maximal-

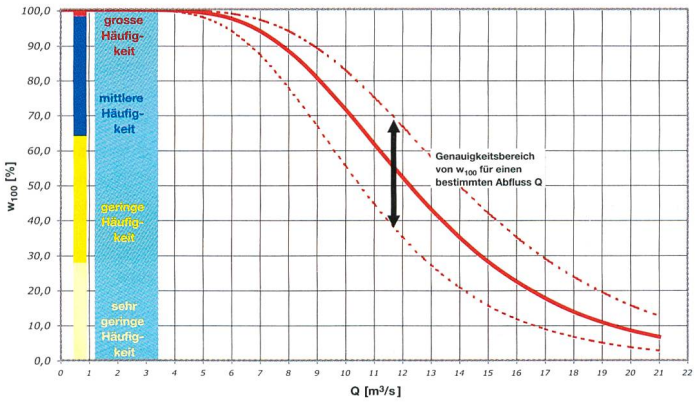

Bild 6. Qualitative Darstellung der Schätzgenauigkeit bei w_{100} sowie Darstellung der Bereiche grosser, mittlerer, geringer und sehr geringer Häufigkeit (Farben gemäss Gefahrenstufendiagramm, mittlere Intensität).

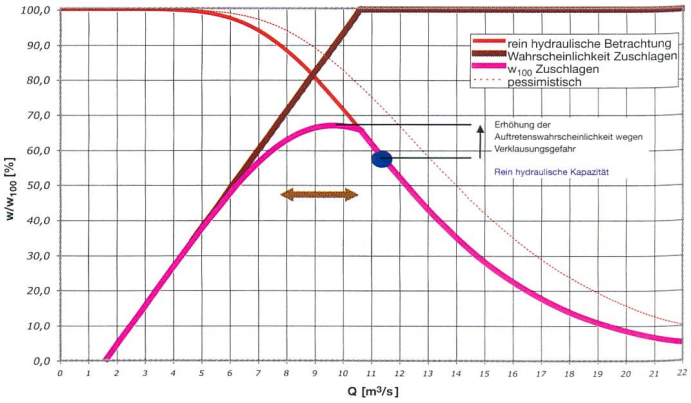

Bild 7. Erhöhung der Versagenswahrscheinlichkeit w_{100} durch Holztrieb und Geschiebe (braune Linie: absolute Wahrscheinlichkeit des Zuschlagens, violette Linie: kombinierte Wahrscheinlichkeit).

abfluss, ab welchem Ausufern zu 100% sicher ist. Vereinfachend kann nun angenommen werden, dass dazwischen die Wahrscheinlichkeit linear mit dem Abfluss zunimmt.

Nun lässt sich diese Wahrscheinlichkeit des Ausuferns (in Funktion der Abflussgrösse) mit der Auftretenswahrscheinlichkeit des Abflusses multiplizieren (Bild 7), und man erhält so eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Versagen des Durchlasses. Aufgrund dieser muss letztlich die Zuordnung «häufige», «mittlere» oder «geringe Häufigkeit» bei der Bestimmung der Gefahrenstufe erfolgen. Durch Holztrieb kann also die Versagenswahrscheinlichkeit zunehmen, und es muss allenfalls eine höhere Gefahrenstufe gewählt werden.

Bei krassen Fällen der Anfälligkeit auf Verklausungen (Bild 8) kann dies ohne Angabe einer Durchflusskapazität mit einer besonderen Signatur in der Karte der Phänomene vermerkt werden, was dann automatisch die Zuordnung «häufig» nach sich zieht.

Geschiebe

Geschiebeablagerungen können die Situation im Bereich von Gefällsknicken weiter verschärfen, besonders auch an Durchlässen, die sich am Übergang von steilen Tobelstrecken in flache Kegelabschnitte befinden. Transportrechnungen können zur Abschätzung von Ereignisfrachten durchgeführt werden, sofern sich in den steileren Abschnitten alluviale Schlüsselstrecken identifizieren lassen, welche für den Geschiebetransport massgebend sind. Rechnungen für das Talgefälle sind in der Regel sinnlos und führen zu einer massiven Überschätzung des Geschiebeaufkommens.

Aus Frachtberechnungen kann etwa ein mögliches Ablagerungsvolumen in einem Gerinneabschnitt im Bereich eines Gefällsknicks ermittelt und die Reduktion der Abflusskapazität bestimmt werden.

Recht komplex können die Verhältnisse im Bereich eines Durchlasses werden. Grundsätzlich bewirkt eine Teilfüllung mit Geschiebe eine Abflussbeschleunigung und Erhöhung der Schleppkraft, was aber mit einer Erhöhung des massgebenden Energieliniengefälles einhergeht. Bei Kreisquerschnitten ist ein voll entwickelter Geschiebetransport im Durchlass nur nach einer gewissen Ablagerung möglich, da sonst die Einflusszone der Sohle und so der hydraulische Radius des Sohlenquerschnitts nach Einstein (1934) sehr gering sind (Bild 9).

In der Regel lohnt sich eine genaue Untersuchung der Geschiebetransportkapazität eines Durchlasses nicht. Wo aber aufgrund der erwähnten Elemente eine Teilfüllung des Querschnitts oder sogar eine vollständige Verfüllung zu erwarten sind, kann analog dem Vorgehen mit Holz die Wahrscheinlichkeit des Versagens grob beurteilt werden, indem etwa die 100%ige Versagenswahrscheinlichkeit bereits für einen kleineren Abfluss angesetzt wird. Es kann aber auch die erhöhte Versagenswahrscheinlichkeit mit einer Signatur in der Karte der Phänomene vermerkt und dieser Umstand ähnlich wie für den Holztrieb bei der Zuordnung der Gefahrenstufen mitberücksichtigt werden.

Oberflächenabfluss

Die Unwetter vom 12. Mai und vor allem vom 14. Juni 1999 in der Gemeinde Maur haben aufgezeigt, wie stark das Phänomen des Oberflächenabflusses für Schäden verantwortlich sein kann. Der Autor, im Dorf Ebmatingen der Gemeinde Maur wohnhaft, hat beim zweiten Ereignis selbst erlebt, wie ein Bach mit ca. 40 l/s Abfluss durch seinen Garten floss, wobei sich das Wasser auf der Wiese aufstaute und bereits ein wenig Wasser durch den Schacht des Kellerfensters eindrang; dies obwohl sich das Grundstück nur etwa 100 m von der Wasserscheide entfernt befindet. Diese Überschwemmung war aber nur die Folge eines Starkniederschlags während etwa einer Viertelstunde. Im Ortsteil Äsch/Scheuren dauerte das Ganze aber etwa 45 Minuten und der resultierende Oberflächenabfluss führte zu verbreiteten Schäden an Gebäuden und Mobiliar.

Dieser Oberflächenabfluss war die Folge eines extremen Niederschlags, der auf

Bild 8. Durch Rechen vollständig abgedeckter Einlauf zu einer Eindolung, Versagenswahrscheinlichkeit sehr hoch.

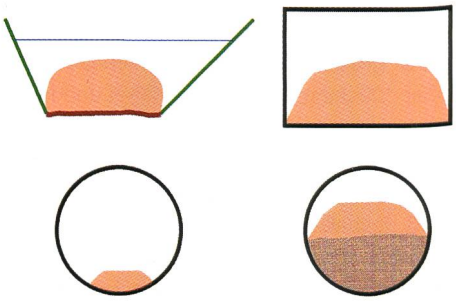

Bild 9. Die für den Geschiebetransport massgebende Einflusszone der Sohle für offenen Trapezquerschnitt, geschlossenen Rechteckquerschnitt, geschlossenen Kreisquerschnitt und für diesen der Fall von Teilfüllung mit Geschiebe. Je grösser der Anteil dieser Teilfläche am Gesamtquerschnitt ist, umso grösser ist die Geschiebetransportkapazität.

einen infolge eines schneereichen Winters und eines verregneten Frühlings voll gesättigten Boden traf. Es hat sich gezeigt, dass weder Sicker- noch Kanalisationsleitungen diese Wasserfracht aufnehmen konnten. Auf den steileren Strassen wurden die Kanalisationseinläufe einfach überschossen (siehe Bild 10). Im Übrigen wurden durch Strassen und Häuser die natürlichen Fliesswege verändert, wodurch oft das Wasser in den Kellergeschossen landete, bevor es die Bäche (direkt oder über die Regenauslässe des Kanalisationsnetzes) erreichte.

Mittlerweile wird im Kanton Zürich dieses Phänomen bei der Gefahrenkartierung berücksichtigt, welche unter der Leitung des Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) durchgeführt wird. In der Intensitätskarte wird dafür eine eigene Signatur (Gelb mit feinem braunem Raster) vorgeschlagen.

Die Festlegung von Überflutungsbereichen infolge Oberflächenabfluss wird sinnvollerweise auf das Siedlungsgebiet beschränkt. Einerseits ist die Schadenwirkung ausserhalb des Siedlungsgebiets bescheiden bis unbedeutend, andrerseits werden im Fall künftiger Überbauungen die Fliesswege wieder verändert, sodass für potenzielle Siedlungsgebiete keine Aussage möglich ist.

Es kann davon ausgegangen werden, dass in den Hanglagen oberhalb der Siedlungsgebiete gleichmässig verteilt Wasser oberflächlich abfliesst, wenn von der Wasserscheide ein Fliessweg von über 100 m vorhanden ist. Dabei muss auf die Steilheit des Geländes geachtet werden. Die Parzellen, welche nach dieser Distanz in Geländemulden liegen, sind als gefährdet zu betrachten, jene auf Geländerippen gelten als sicher.

Hangabwärts gesehen muss beurteilt werden, ob solches Oberflächenwasser nun durch Trottoirs und Randsteine geführt den Strassen entlang abfliesst. Ist dies der Fall, so werden die unterhalb der Strasse liegenden Parzellen nicht mehr als gefährdet angesehen. Wenn aber nach der Strasse wieder eine Fliesslänge von über 100 m erreicht wird, muss eine neue Gefährdung angenommen werden.

Beim Abfluss auf steilen Strassen wurde angenommen – nicht zuletzt aufgrund von Beobachtungen im Mai und Juni 1999 –, dass die Kanalisationseinläufe überschossen werden (Bild 10) und kaum Wasser aufnehmen. Erreicht ein solcher Abfluss aber ebene Flächen mit Retentionswirkung und funktionierenden Kanalisationseinläufen, so wird nun angenommen, dass der gesammelte Oberflächenabfluss über die Kanalisation dem Vorfluter zufliesst. Allenfalls muss noch die Kapazität der Kanalisationsleitung überprüft werden.

Bild 10. Auf steilen Strassen werden Kanalisationseinläufe oft überschossen, sofern die Fliessgeschwindigkeit entsprechend hoch ist.

Überflutungszonen, Intensitäten und Gefahrenstufen

In Hanglagen wie in Maur ist es kaum möglich, die Fliesswege des austretenden Wassers exakt zu bestimmen und die Überflutungsflächen genau zu kartieren. Dazu fehlt eine genügend genaue topografische Grundlage. Auch dürften im Fall eines Ereignisses Hindernisse wie Gartenmauern, Zäune, abgestellte Autos usw. entscheiden, wo das Wasser dannzumal durchfliesst. Es empfiehlt sich deshalb, die Überflutungsflächen als Umhüllende zu betrachten, innerhalb derer die Überflutung bei einem bestimmten Ereignis möglich ist.

Da in kleinen Einzugsgebieten, verglichen mit den grossen Talflüssen, die austretenden Wassermengen doch eher bescheiden sind (in Maur in der Grössenordnung von einigen m^3/s), sind die Abflussintensitäten in der Überflutungszone (Produkt v*h) bescheiden, sobald sich das Wasser auf einer gewissen Breite verteilt. Höhere Intensitäten sind nur im Bereich ausgesprochener Engpässe möglich, wenn etwa nach der Austrittsstelle eine tief liegende enge Strasse das überflutende Wasser aufnimmt oder dieses konzentriert auf ein Gebäude zuströmt. In diesem Fall ist die Gefahrenstufe Blau (Gebotsbereich) aktuell. Bei krassen Fällen von mangelnder Abflusskapazität (leichte Intensität, aber häufiges Auftreten mit w_{100} >95%) muss das Überflutungsgebiet auch der Stufe Blau zugeordnet werden. In diesem Fall wird man wohl eine entsprechende Sanierung in den Massnahmenplan aufnehmen. Die Stufe Rot gibt es nur in ausserordentlichen Fällen, etwa in Rückstauzonen mit grosser Überflutungstiefe, oder falls in einem Engnis tatsächlich lebensbedrohende Fliessgeschwindigkeiten auftreten könnten. Wo in konventioneller Art die Bäche bereits einigermassen auf ein 50- bis 100-jährliches Ereignis ausgebaut worden sind, weist weitaus die grösste Zahl der betroffenen Gebiete die Charakteristiken sowohl schwache Intensität wie auch mittlere oder geringe Häufigkeit auf und werden somit der Gefahrenstufe Gelb (Hinweisbereich) zugeordnet. Dies gilt auch für die Gebiete mit Oberflächenabfluss. Die Wirkung der Gefahrenanalyse geht für diese Gebiete in Richtung Transparenz und Information der betroffenen Grundeigentümer. Die Gebäudeversicherung soll betroffene Grundeigentümer beraten, wie die Objekte zweckmässig geschützt werden können. Objektschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss müssen koordiniert werden, der Oberlieger darf die Situation für den Unterlieger nicht einseitig verschlimmern.

Der Kanton Zürich hat zur Umsetzung der Gefahrenkarte einen Leitfaden herausgegeben (AWEL, 2003), wo explizit festgehalten wird, welche Massnahmen für jede Gefahrenstufe vorgeschrieben oder empfohlen werden.

Rutschungen

In den zum Teil wilden Tobeln auf dem Gebiet der Gemeinde Maur gibt es mehrere rezente Rutschungen (Bild 11, a und b). Grundsätzlich können solche das Gewässer blockieren und zu einem Aufstau führen. Wenn, wie in Maur, das generelle Gefälle sehr hoch und somit das maximal zurückgehaltene Wasservolumen eher klein ist, wird der Spitzenabfluss einer eventuellen Flutwelle kaum die Grössenordnung extremer Hochwasser erreichen. Der gebildete See wird sogar von Sedimenten aufgefüllt, bevor der Damm durchgebrochen ist.

Die Rutschungen gefährden aber die benachbarten Gebiete an den Terrainkanten entlang der Tobel (Bild 11, c). Es sollte deshalb diese Gefährdung auf einer Gefahrenkarte nicht fehlen, wenn auch die direkt vom Wasser ausgehenden Gefahren im Vordergrund stehen. Mit dem AWEL wurde beschlossen, in Maur diese besondere Gefährdung durch eine Hinweissignatur (braun schraffiert) darzustellen.

Folgerungen

Alle Abklärungen, welche im Rahmen einer Gefahrenzonenplanung durchgeführt werden, dienen letztlich dazu, einem Gebiet eine gewisse Gefahrenstufe zuzuordnen. Das gegebene Raster ist mit den vier Stufen Gelb, Blau, Rot und Gelb/Weiss relativ grob. Bei den Gefahren, welche von den kleinen, aber oft steilen Fliessgewässern des hügeligen Mittellandes ausgehen, stehen die Stufen Gelb und Blau im Vordergrund. Die Stufe Rot ist nur bei besonderen topografischen Verhältnissen – etwa eine tiefe Geländemulde – aktuell. Die Stufe Gelb/Weiss ist deshalb selten, weil die meisten zur Diskussion stehenden Fliessgewässer bereits bei relativ häufigen Abflüssen ausufern.

Ob nun Gelb oder Blau, hängt meist von der Auftretenswahrscheinlichkeit ab. Die Intensität kann die Wahl unter besonderen lokalen Gegebenheiten beeinflussen, etwa in Engnissen mit hohen Fliessgeschwindigkeiten. Bei der Beurteilung der Auftretenswahrscheinlichkeit spielt die Kapazität von Durchlässen und Gerinneabschnitten eine besondere Rolle.

Herkömmlicherweise werden in der Gefahrenzonenplanung Kenngrössen für verschiedene Jährlichkeiten (z.B. Abflüsse HQ_{30}, HQ_{100}, HQ_{300}) bestimmt. Darauf wird beurteilt, ob etwa ein Durchlass einen solchen Abfluss abzuleiten vermag oder nicht. Auf dieser Basis wird dann der potenziellen Überflutungszone eine Gefahrenstufe zugeordnet.

In diesem Artikel wird nun vorgeschlagen, primär von der hydraulischen Abflusskapazität auszugehen und dieser eine Auftretenswahrscheinlichkeit w_{100} des entsprechenden Ereignisses während einer Nutzungsdauer von 100 Jahren zuzuordnen. Die hydraulische Kapazität stellt eine obere Grenze dar; Holztrieb und Geschiebeführung können ein Versagen bereits bei häufigeren Ereignissen nach sich ziehen. Auftretens- und Versagenswahrscheinlichkeit zusammen bilden schliesslich die Grundlage für den Entscheid, ein Gebiet einer Gefahrenstufe zuzuordnen, also meist die Frage zu beantworten, ob denn nun Gelb oder Blau aktuell sei. Die unausweichlichen Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der hydrologischen Kenngrössen sollten so eine geringere Rolle spielen als beim herkömmlichen Ansatz, bei welchem man vielleicht von Anfang an zu stark auf Abflüsse einer bestimmten Jährlichkeit fixiert ist.

Die Gemeinde Maur hat aus den Ereignissen die Konsequenzen gezogen; der im Zuge der Grobgefahrenanalyse erarbeitete Massnahmenplan wurde in ein Mehrjahresprogramm zur Sanierung der kritischen Abschnitte umgesetzt. Einzelne Baumassnahmen wurden bereits realisiert.

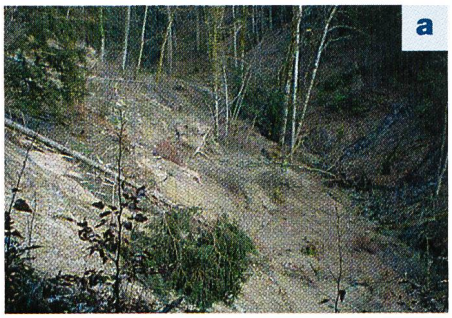

Bild 11. Rutschungen in Tobeln auf dem Gebiet der Gemeinde Maur: a) grossflächig im Rappentobel auf dem Pfannenstiel, b) kleinräumig bei Binz, mit Auswirkung auf gewerblich genutztes Gebiet, c) Erosionsrand am Tobel des Üessikers Dorfbachs, schreitet ins Landwirtschaftsgebiet fort.

Literaturhinweise

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft AWEL, Baudirektion des Kantons Zürich, Gebäudeversicherung des Kantons Zürich, 2003, Leitfaden zur Umsetzung der Gefahrenkarten Hochwasser.

Amt für Gewässerschutz und Wasserbau AGW, Direktion der öffentlichen Bauten, 1997, Gewässer im GEP, Teil Hochwasser, Leitfaden zur Bearbeitung der Gewässer im Generellen Entwässerungsplan.

Bundesamt für Wasserwirtschaft: Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung 1982, Eidg. Druck- und Materialzentrale Bern.

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; 1997, Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, EDMZ.

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft; 1995, Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, EDMZ.

Einstein, H. A., 1934, der hydraulische oder Profilradius...

Hegg, Ch., Badoux, A., Bassi, A., Schmid, F., 2001, Unwetterschäden in der Schweiz im Jahr 2000, wasser, energie, luft, 93. Jahrgang, Heft 5/6, 117–129.

Hegg, Ch., Badoux, A., Graf, Ch., Röthlisberger, G., 2000, Unwetterschäden in der Schweiz im Jahr 1999, wasser, energie, luft, 92. Jahrgang, Heft 3/4, 59–68.

Horat & Scherrer AG, 2000, Einschätzung der Abflussbereitschaft der Einzugsgebiete des Dorfbachs Maur und des Chilebachs (unveröffentlicht).

Jäggi, M., und *Kuster, P.,* 1991, Einfluss der Vegetation im Gerinne bei extremen Abflussmengen, Ursachenanalyse der Hochwasser 1987, Ergebnisse der Untersuchungen, Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Bern, Nr. 4, Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, Bern, Nr. 14, 111–116.

Jäggi Flussbau und Flussmorphologie, 2000, Gemeinde Maur, Maurmer Bäche, Grobgefahrenanalyse und Massnahmenplan (unveröffentlicht).

Jäggi Flussbau und Flussmorphologie/Ingenieurbüro Heinz Bünzli, 2002, Kanton Zürich, Gemeinde Maur, Gefahrenkartierung Hochwasser (unveröffentlicht).

Kürsteiner, L., 1917, Das neue Elektrizitätswerk der Stadt Chur, Schweiz. Bauzeitung, Zürich, 1; 4–8.

Röthlisberger, G., 1994, Unwetterschäden in der Schweiz im Jahr 1993, wasser, energie, luft, 86. Jahrgang, Heft 1/2 1–8.

Scherrer, S., 1997, Abflussbildung bei Starkniederschlägen – Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 147.

Zarn, B., 2003, Szenarienbildung bei der Erstellung von Überflutungs- und Gefahrenkarten – ein Diskussionsbeitrag, Wasser Energie Luft, 95. Jahrgang, Heft 5/6, 179–184.

Anschrift des Verfassers

PD Dr. *Martin Jäggi,* Jäggi Flussbau und Flussmorphologie, Zürichstrasse 108, CH-8123 Ebmatingen.