

# Automatisch hergeleitete Abflussprozesskarten – ein neues Werkzeug zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen

■ Felix Naef, Michael Margreth, Petra Schmocker-Fackel, Simon Scherrer

## Zusammenfassung

Aufbau des Bodens und des darunter liegenden Gesteins beeinflussen massgeblich Grösse und Verlauf von Hochwassern. Neuere Forschungen erlauben nun Einblick in das komplexe Zusammenwirken von Boden, Untergrund und Abflussbildung. Basierend auf diesen Erkenntnissen lassen sich Abflussprozesskarten erstellen, die räumlich hoch aufgelöst die für die Entstehung von Hochwassern relevanten Flächen darstellen. Da die manuelle Herleitung solcher Karten aufwendig und anspruchsvoll ist, wurde eine Methodik zur automatischen Herleitung von Abflussprozessen in einem Geographischen Informationssystem (GIS) entwickelt. Damit lassen sich, entsprechende digitale Daten vorausgesetzt, mit vertretbarem Aufwand Karten erstellen, die Einblick in die vielfältigen Reaktionen von Einzugsgebieten auf Starkniederschläge erlauben und zuverlässigere Hochwasserschätzungen ermöglichen.

## 1. Abflussprozesse beeinflussen die Reaktionsweise eines Einzugsgebietes

Einzugsgebiete mit ähnlicher Topographie, Landnutzung und Grösse können bei ähnlichen Niederschlagsmengen und -intensitäten sehr unterschiedlich auf Starkregen reagieren. Dies zeigt sich z.B. bei den benachbarten Einzugsgebieten Ror (2,1 km<sup>2</sup>) und Isert (1,7 km<sup>2</sup>) südlich des Greifensees im Kanton Zürich (vgl. Bild 1). Beim Hochwasser vom Mai 1999 floss in Ror bei vergleichbaren Niederschlagsmengen doppelt

so viel Wasser ab wie in Isert (Bild 2). Diese Unterschiede werden durch unterschiedliche Infiltrations- oder Speicherkapazitäten der Böden und des geologischen Untergrundes verursacht und müssen bei der Abschätzung von Hochwasserabflüssen berücksichtigt werden.

Der Allenbach südlich von Adelboden ist ein augenfälliges Beispiel, wie Geologie und Böden die Reaktion eines Flusses auch im alpinen Raum beeinflussen. Das Einzugsgebiet des Allenbachs (13,7 km<sup>2</sup>) ist etwa gleich gross wie dasjenige seines Zu-

flusses Gilbach (14,5 km<sup>2</sup>). Bachbettbreite und -morphologie sind aber völlig unterschiedlich und belegen, dass der Allenbach wesentlich stärker auf Starkniederschläge reagiert als der Gilbach (Bild 3).

Wie vielfältig die Infiltration von Niederschlagswasser verläuft, beweisen Beregnungsversuche mit gefärbtem Wasser auf unterschiedlichen Böden (Weiler, 2001). Im nachträglich aufgegrabenen Profil zeigt sich anhand der blauen Farbe, wo das Wasser in den Boden eingedrungen ist und gespeichert wurde (Bild 4).



Bild 1. Die benachbarten Einzugsgebiete Isert (links) und Ror (rechts), südlich des Greifensees gelegen, unterscheiden sich kaum in Grösse Topographie und Landnutzung, wohl aber in ihrer Reaktion auf Starkniederschläge.

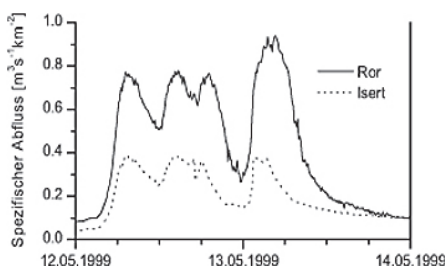
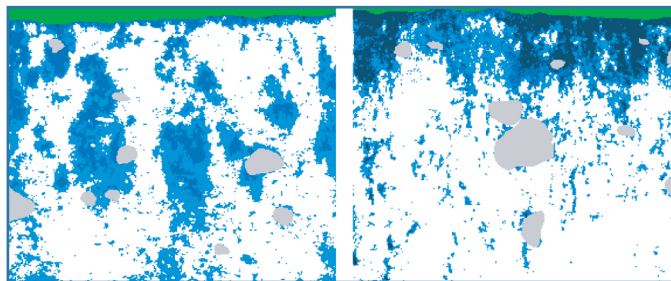


Bild 2. Beim Hochwasser im Mai 1999 übertrifft der spezifische Abfluss von Ror bei vergleichbaren Niederschlägen denjenigen von Isert um das Doppelte.



Bild 3. Die Gerinne des Allenbachs (rechts) und seines Zubringers Gilbach (links) weisen auf sehr unterschiedliche Hochwasserabflüsse hin, obwohl sich die Einzugsgebiete bezüglich Grösse kaum unterscheiden.

**Bild 4. Digital aufbereitete Bodenprofile aus dem Rietholzbach (links) und vom Heitersberg (rechts), aufgegraben nach künstlicher Beregnung mit hoher Intensität mit blau gefärbtem Wasser. Im Rietholzbach ist das Wasser tief eingedrungen, im Heitersberg wurde v.a. die oberste Schicht benetzt und es bildete sich rasch Oberflächenabfluss.**



Im Rietholzbach (links) drang das Wasser durch Makroporen (Wurmgänge, Bodenrisse u.a.) in den Boden ein und infiltrierte von dort in die Bodenmatrix. Dazwischen sind Bereiche zu erkennen, wo auch nach 100 mm Niederschlag noch kein Wasser eingedrungen ist. Insgesamt floss nur wenig Wasser ab. Beim Heitersberg (rechts) wurde vor allem die oberste Schicht benetzt und es bildete sich rasch Oberflächenabfluss.

Basierend auf zahlreichen Feldversuchen wurde ein Schema entwickelt, um die Reaktionen eines Bodens auf Starkniederschläge anhand seiner Struktur und des Zusammenspiels vom Wasserfluss in Makroporen und der Bodenmatrix zu verstehen (Scherrer & Naef, 2003). Unterschieden wird in dem Schema zwischen fünf Abflussprozessen (Bild 5), die unterschiedlich rasch und intensiv zum Abfluss beitragen. An einem Standort können gleichzeitig verschiedene Prozesse auftreten, klassifiziert wird aber nur der dominierende (Dominant Runoff Process, DRP).

### 1.1 Hortonscher Oberflächenabfluss (HOF)

Ist die Infiltration in den Oberboden aufgrund von Verschlammung, Verdichtung, Versiegelung oder hydrophober Humusaufgabe gehemmt, fliesst bei grossen Niederschlagsintensitäten das Wasser unmittelbar oberflächlich oder in oberflächennahen Bodenschichten ab (Hortonscher Oberflächenabfluss). Auf versiegelten Flächen (Strassen, Siedlungsgebiete) kann kein Wasser versickern und es bildet sich rasch Oberflächenabfluss (HOF1). Auf verdichtetem oder zu

Verschlammung neigendem Ackerland tritt Oberflächenabfluss leicht verzögert auf (HOF2).

### 1.2 Sättigungsflächenabfluss (Saturated Overland Flow oder SOF)

Kann Wasser in den Boden infiltrieren, sättigt er sich bei lang anhaltenden Niederschlägen auf, falls eine stauende Schicht ein weiteres Eindringen verhindert. Nach der Sättigung entsteht Oberflächenabfluss. Neben Horizonten mit beschränkter Durchlässigkeit kann auch ein hoher Grundwasserspiegel als Stauer wirken. Auf Böden mit geringer Speicherkapazität entsteht rascher Oberflächenabfluss (SOF1), während Böden mit grosser Speicherkapazität verzögert (SOF2) oder stark verzögert (SOF3) reagieren. Diese Abstufung (1–3) gilt analog für Drainage- und unterirdische laterale Entwässerung.

### 1.3 Unterirdisch laterale Entwässerung (Subsurface Flow oder SSF)

SSF ist bei geneigtem Gelände zu erwarten, wenn im Boden hochdurchlässige Schichten über einer Stauschicht liegen oder Makroporen dem Wasser ein rasches laterales Fließen ermöglichen. Auch solche Flächen können rasch zur Abflussbildung beitragen.

### 1.4 Drainagen (D)

Viele flache vernässte Standorte wurden in der Schweiz künstlich drainiert. Somit wurden flache Gebiete, die natürlicherweise nicht ans Gerinnnetz angeschlossen sind, durch eine Drainage mit dem Gewässer-

netz verknüpft und können rasch und stark zur Abflussbildung beitragen. An anderen Standorten wird durch die Entwässerung die Speicherkapazität erhöht, so dass Drainagen dämpfend wirken.

### 1.5 Tiefensickerung (Deep Percolation oder DP)

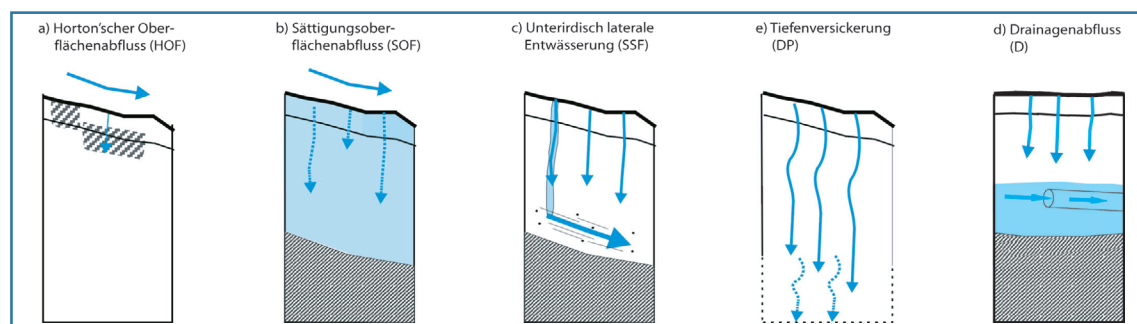
In durchlässige und tiefgründige Böden oder in durchlässiges Muttergestein (z.B. Schotter oder Wallmoränen, Karst) kann viel Niederschlag infiltrieren und gespeichert werden. Solche Gebiete tragen kaum oder gar nicht zum Hochwasserabfluss bei.

## 2. Automatische Herleitung der Abflussprozesse mit GIS

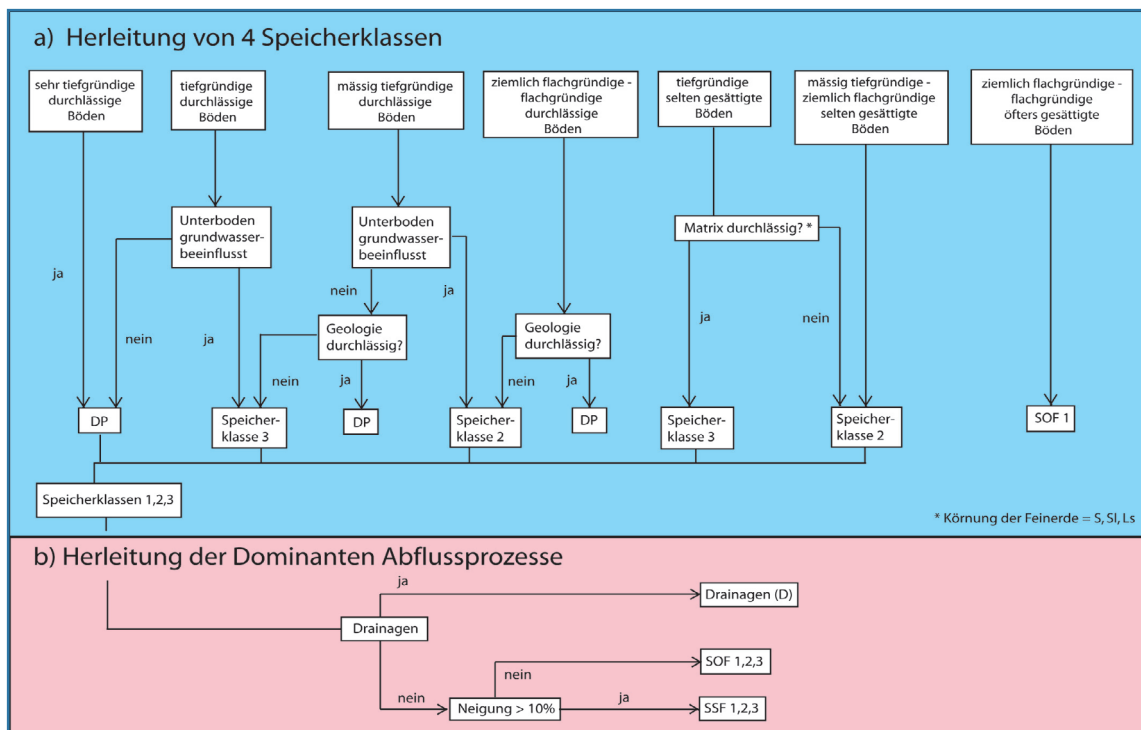
Mit dem oben erwähnten Entscheidungsschema lässt sich der dominante Abflussprozess an einem Standort ermitteln. Die Herleitung des Prozesses erfolgt manuell und erfordert neben Angaben aus Bodenkarten auch Informationen über Makroporen und laterale Fließwege, die im Feld erhoben werden müssen. Die an ausgewählten Standorten bestimmten Abflussprozesse können anhand von geologischen, topographischen, Boden- und Landnutzungskarten und Erhebungen im Feld auf die Fläche übertragen werden. So entstehen Karten dominanter Abflussprozesse, die zeigen, welche Flächen schnell und welche verzögert auf Starkniederschläge reagieren. Diese Methodik hat sich in zahlreichen Studien zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen bewährt, ihre Anwendung ist aber anspruchsvoll und aufwändig.

Um die Herstellung solcher Abflussprozesskarten zu vereinfachen, wurde ein automatisches Verfahren entwickelt. Da ein solches nur auf digitale Daten zugreifen kann, musste ein vereinfachtes Regelwerk (vgl. Bild 6) entwickelt werden (Schmocker-Fackel, et al. 2007), das auf Angaben wie Makroporosität, laterale Fließwege oder sonstige Feldbeobachtungen verzichtet.

Die Aussagekraft von automatisch hergeleiteten Abflussprozesskarten hängt stark von der Auflösung und Genauigkeit der verwendeten Inputdaten ab. Mit einer hoch aufgelösten Bodenkarte im Massstab 1:5000



**Bild 5. Schematische Darstellung der fünf dominanten Abflussprozesse.**



**Bild 6. Regelwerk zur automatischen Herleitung:**  
 a) von 4 Speicherklassen, die Auskunft über die Abflussbereitschaft eines Gebietes geben,  
 b) der dominanten Abflussprozesse.

und geologischen Karten, wie sie im Kanton Zürich vorhanden sind, lassen sich Abflussprozesse wesentlich genauer definieren als z.B. mit der niedrig aufgelösten Bodeneignungskarte im Massstab 1:200 000 (Frei et al. 1980).

Die Herleitung der dominanten Abflussprozesse erfolgt in 2 Schritten. Zunächst werden Bereiche unterschiedlicher Speicherkapazität ermittelt (Bild 6a), welche Auskunft über die Abflussbereitschaft (1, 2, 3, DP) geben. In einem weiteren Schritt werden die dominanten Abflussprozesse (HOF, SOF, SSF, D) bestimmt (Bild 6b).

### 2.1 Herleitung der Speicherklassen

Aus der kartierten Gründigkeit des Bodens lässt sich, zusammen mit Informationen über die Art und Häufigkeit der Bodenvernässung, die Speicherkapazität eines Bodens herleiten (vgl. Bild 6a; Schmocker-Fackel, 2005). In mächtigen und durchlässigen Böden oder in durchlässigem Gestein kann der anfallende Niederschlag vollständig aufgenommen und gespeichert werden. Solche Standorte reagieren stark verzögert oder bleiben auch bei grossen Niederschlagsmengen abflusslos. Sie werden daher als DP (Tiefensickerung) klassifiziert. Zeigt der Boden hingegen Vernässungszeichen infolge von Grund-, Hang- oder Stauwasser, ist die Speicherkapazität begrenzt. Je stärker und häufiger die Vernässung oder je schwächer ein Boden aufgrund der Topographie ausgebildet ist, desto geringer ist seine Speicherkapazität und umso höher seine Abflussbereitschaft.

### 2.2 Bestimmung des dominanten Abflussprozesses

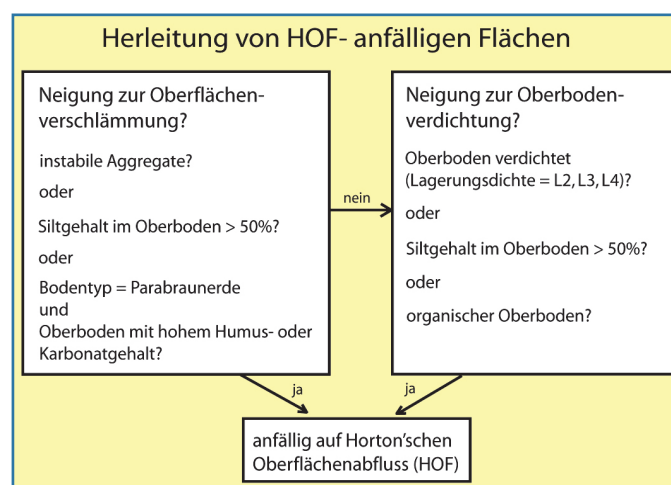
Bei intensiven Gewitterniederschlägen kann es auf Landwirtschaftsflächen aufgrund von Infiltrationshemmnissen zu schnellem Oberflächenabfluss (HOF2) kommen. Die Herleitung dieser Bereiche erfolgt in einem speziellen Regelwerk, das im nächsten Abschnitt beschrieben ist. Bei Niederschlägen mittlerer Intensität werden diese Infiltrationshemmnisse nicht wirksam. Das Wasser dringt dann in den Oberboden ein und es bildet sich entweder Drainage- (D), unterirdischer lateraler (SSF) oder Sättigungsflächenabfluss (SOF). Künstlich drainierte Flächen (D) können anhand von Drainageplänen ausgetrennt werden. Da Makroporen und laterale Fliesswege in Bodenkarten nicht dargestellt werden, kann der unterirdische laterale Fluss (SSF) nur summarisch erfasst werden. Zur Bestimmung von SSF-Flächen wird die mit dem digitalen Höhenmodell abgeleitete

Hangneigung verwendet. Die übrigen Flächen werden als Sättigungsflächen (SOF) ausgewiesen. Informationen über Siedlungsgebiete, Strassen, Felsen, Gletscher oder Seen werden dem Landschaftsmodell (Swisstopo, 2006) entnommen.

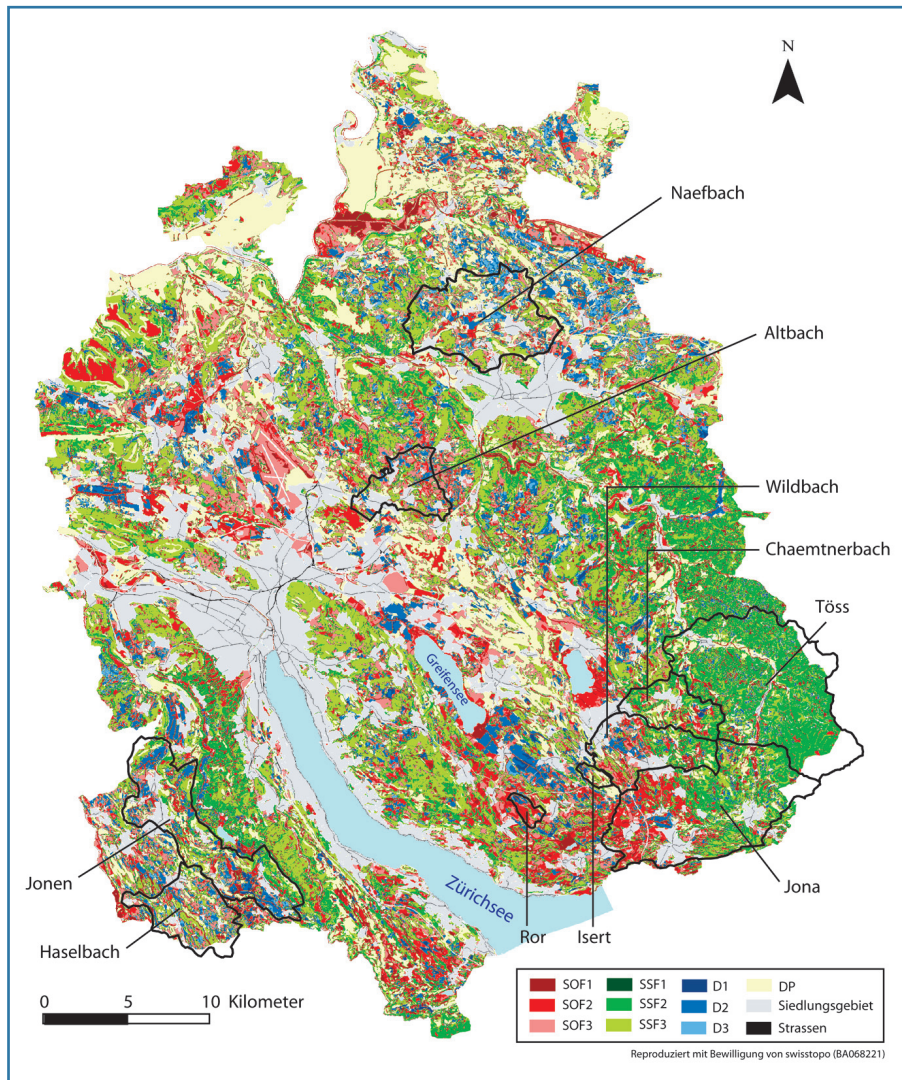
### 2.3 Abgrenzung von HOF-Flächen auf Landwirtschaftsgebiet

Bestehen oberflächennahe Infiltrationshemmnisse, bildet sich bei hohen Niederschlagsintensitäten, unabhängig von Eigenschaften der tieferen Bodenschichten, schneller Oberflächenabfluss (HOF). Niedrige Durchlässigkeit des Oberbodens, Oberflächenverschlammung, Verdichtung des Oberbodens oder eine hydrophobe Humusaufgabe stellen solche Hindernisse dar.

Zu Oberflächenverschlammung neigen Böden mit instabilen Bodenaggregaten, welche beim Aufprall der Regentropfen zerfallen und die Makroporen verstopfen (Röm-



**Bild 7. Regelwerk zur automatischen Bestimmung von Landwirtschaftsflächen, die bei intensiven Gewitterniederschlägen zu raschem Oberflächenabfluss (HOF) neigen.**



**Bild 8. Automatisch hergeleitete Abflussprozesskarte des Kantons Zürich. Die eingezeichneten Einzugsgebiete werden im Text erwähnt.**

kens et al., 1990). Humus- oder karbonatarme Parabraunerden oder Böden mit einem hohen Schluffgehalt enthalten instabile Bodenaggregate. Oberflächenverschlämzung tritt allerdings nur auf, wenn die schützende Vegetationsschicht fehlt, d.h. nach der Aussaat, nach der Ernte oder während der Brache.

Die Verdichtung des Oberbodens äussert sich in einer hohen Lagerungsdichte. Anfällig auf Verdichtung sind Böden mit einem hohen Schluffgehalt und organische Böden, die mit schweren Maschinen bei Nässe bearbeitet wurden.

Nach diesen Kriterien neigen im Kanton Zürich rund 151 km<sup>2</sup> oder 16% der land-

wirtschaftlich genutzten Böden zu Verdichtung oder Verschlämzung.

Das Regelwerk von Schmocker-Fackel et al. (2007) scheidet, basierend auf Daten der Bodenkarte des Kantons Zürich, Gebiete aus, die zu schnellem Oberflächenabfluss neigen (Bild 7).

### 3. Abflussprozesskarte des Kantons Zürich (APK)

Der Kanton Zürich verfügt über ein weitentwickeltes System digitaler Geoinformationen. Damit konnte Qualität und Konsistenz des neuen Regelwerkes erstmals über eine grössere Fläche (1730 km<sup>2</sup>) und in verschiedenen Einzugsgebieten mit einer Vielfalt an Böden,

Digital verfügbare Daten	Massstab	Quelle
Bodenkarte des Kantons Zürich	1:5'000	FAL, 1997
Waldvegetationskarte des Kantons Zürich	1:5'000	ALN, 1993
Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete	1:50'000	Hantke, 1967
Digitales Höhenmodell (Matrixmodell)	Auflösung: 25 Meter	Swisstopo 2000
Drainagekarte des Kantons Zürich	1:25'000	ALN, 2005
VECTOR25- Landschaftsmodell	1:25'000	Swisstopo2006

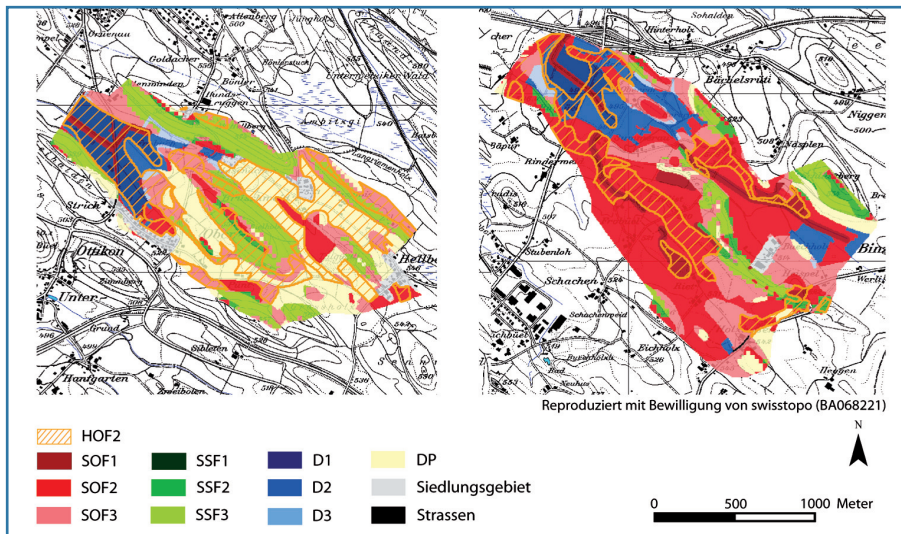
**Tabelle 1. Die zur Herleitung der Prozesskarte verwendeten digitalen Geoinformationen des Kantons Zürich.**

geologischen Formationen und an Topographie getestet werden. Die zur automatischen Herleitung der dominanten Abflussprozesse im Kanton Zürich verfügbaren Daten sind in Tabelle 1 aufgelistet.

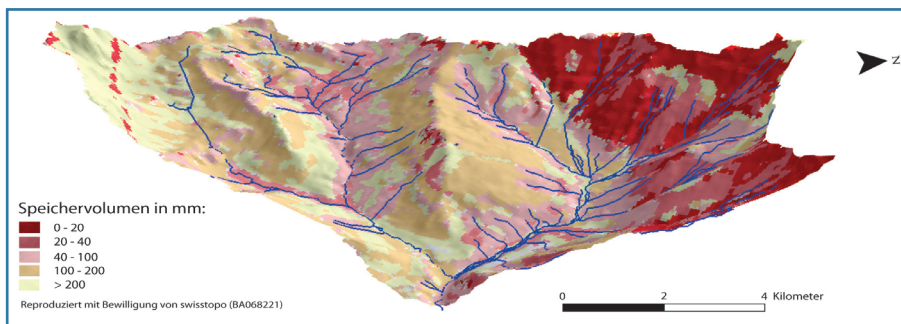
Allerdings deckt die hochaufgelöste, digitale Bodenkarte des Kantons Zürich nur Landwirtschaftsflächen ab. In Waldgebieten musste auf die Waldvegetationskarte des Kantons Zürich (ALN, 1993) zurückgegriffen werden, die auch Angaben über Bodentypen und den Bodenwasserhaushalt enthält (Schmider, 1993).

Bild 8 zeigt die automatisch hergeleitete APK des Kantons Zürich. In Bezug auf Abflussbereitschaft und Abflussprozesse lassen sich drei Regionen unterscheiden:

- a) Im Südosten des Kantons wird der geologische Untergrund durch die Obere Süsswassermolasse gebildet (Hantke, 1967). Töss, Jona, Wildbach oder Chaemtnerbach, die rasch und stark auf Starkniederschläge reagieren, liegen in dieser Region (Bild 12). Die Abflussprozesskarte zeigt für diese Einzugsgebiete eine Dominanz von raschen Prozessen. Während die steilen Gebiete der Töss durch Subsurface Flow (SSF) entwässert werden, bildet sich im flacheren Gelände des westlichen Jona-Einzugsgebietes meist SOF (vgl. Bild 8).
  - b) In den zentralen, nordöstlichen sowie südwestlichen Gebieten des Kantons Zürich überwiegen Moränenlandschaften (Hantke, 1967), die eher verzögert auf Starkniederschläge reagieren. Wallmoränen sind im Gegensatz zu Grundmoränen eher locker gelagert, da sie nicht vom Gletscher überfahren wurden. Sie sind deshalb meist hoch durchlässig und bilden effiziente Speicherkörper. Die Einzugsgebiete des Altbaches, Naefbaches, Haselbaches und der Jonen sind grösstenteils aus Moränen der Würmeiszeit aufgebaut (Hantke, 1967) und reagieren deshalb eher verzögert (Bild 12).
  - c) Im Norden des Kantons Zürich breiten sich die grossen Schotterfluren des Rheins und der Thur aus. Flussschotter sind sehr durchlässig, sofern deren Speicherfunktion nicht durch oberflächennahes Grundwasser oder verminderte Durchlässigkeit der Böden limitiert wird. Die geringe Dichte von Oberflächengewässern in diesen Schottergebieten weist auf ausgedehnte Gebiete mit Tiefenversickerung (DP) hin (Bild 8).
- Dass grossräumige Unterschiede in den dominanten Prozessen bestehen, überrascht kaum. Die Abflussprozesskarte zeigt aber, dass auch kleinräumig die gesamte Prozesspalette auftreten kann. So herrschen



**Bild 9.** Das Isert-Einzugsgebiet (links) wird von verzögert reagierenden SOF- und SSF-Flächen und nicht beitragenden Gebieten mit Tiefenversickerung dominiert, während in Ror (rechts) rasch reagierende Sättigungs- und Drainageflächen vorherrschen.



**Bild 10.** Die Abflussbereitschaft im Allenbach-Einzugsgebiet. Im Teileinzugsgebiet des Gilbaches (linke Bildhälfte) herrschen verzögert bis stark verzögert reagierende Flächen vor, im Teileinzugsgebiet des Allenbach dominieren rasch reagierende Flächen.

in Isert (Bild 9, links) verzögert reagierenden Prozesse vor, während im benachbarten Ror schnelle Prozesse dominieren (Bild 9, rechts). Solch kleinräumige Unterschiede, die die Grösse der Hochwasser wesentlich prägen, lassen sich nur mit hoch aufgelösten Bodenkarten erkennen.

#### 4. Abflussprozesse in alpinen Einzugsgebieten

Die Methodik der automatischen Herleitung dominanter Abflussprozesse wurde auch im alpinen Einzugsgebiet des Allenbachs (28 km<sup>2</sup>) bei Adelboden erprobt. Die grössten Hochwasser des Allenbachs zeichnen sich durch eine scharfe Spitze und einen raschen Abfall aus und werden durch intensive Gewitter verursacht (Naef et al., 1999). Das Gebiet reagiert aber nicht homogen; das westliche Teileinzugsgebiet reagiert rasch und heftig und das östliche verzögert und gedämpft (vgl. Bild 3).

Da im Allenbach, wie fast überall im Alpenraum, keine Bodenkarten vorhanden sind, mussten die hydrologischen Bodeneigenschaften wie Gründigkeit oder Bodenwasserhaushalt aus dem digitalen Höhen-

modell, der Geologie und der Landnutzung hergeleitet werden. Diese Methodik wurde in der Schweiz schon mehrfach verwendet (Egli, et al. 2005, Margreth, 2004, Kaegi 2006). Sie eignet sich gut für den alpinen Raum, weil dort die Bodenbildung wesentlich durch Topographie und Geologie geprägt wird.

In Bild 10 sind die aus der Speicherkapazität hergeleiteten, unterschiedlich beitragenden Gebiete des Allenbachs dargestellt. An den steilen Flyschflanken des nordwestlichen, rasch reagierenden Teileinzugsgebiets liegen Fels oder geringmächtiger Boden. Dort kommt es zu raschem Oberflächenabfluss. Die gedämpfte Reaktion des südöstlichen Teileinzugsgebiets, dem Gilbach, ist durch das kluftreiche Kalkgebirge im Südosten und den höheren Anteil an hochdurchlässigen Moränen und Schutthalden erklärbar. Karstflächen, Schutthalden und Moränen stellen effiziente Speicherkörper dar.

Kurzfristige Speicher können Hochwasser auch in steilen alpinen Einzugsgebieten wesentlich dämpfen. Ihre Ausdehnung und ihr Einfluss auf die Abflussbildung lässt sich auf Abflussprozesskarten erkennen, die

deshalb auch im alpinen Raum von Nutzen sind.

#### 5. Abschätzung von Hochwasserabflüssen

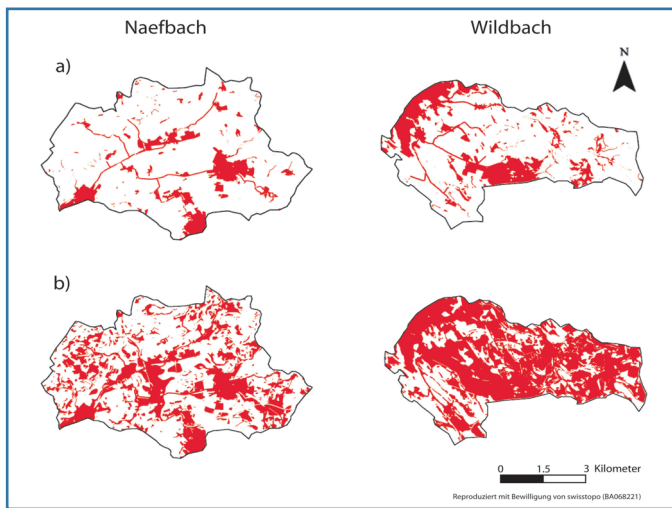
Hochwasser werden durch eine Kombination von komplexen Faktoren gebildet. Mit den hier vorgestellten Forschungsergebnissen, die in Abflussprozesskarten münden, kann die unterschiedliche Bildung von Hochwasserabflüssen in verschiedenen Einzugsgebieten gut nachvollzogen werden.

Bild 11 zeigt als Beispiel die Entwicklung der beitragenden Flächen in zwei Einzugsgebieten. Während im Naefbach verzögert beitragende Prozesse verbreitet sind, dominieren im Wildbach rasch reagierende. Bei ergiebigen Niederschlägen vergrössern sich deshalb die beitragenden Flächen und die Abflüsse im Wildbach wesentlich rascher. Auch die eingangs erwähnten Unterschiede im Abfluss in Ror und Isert und im Allenbach lassen sich mit den Prozesskarten erklären.

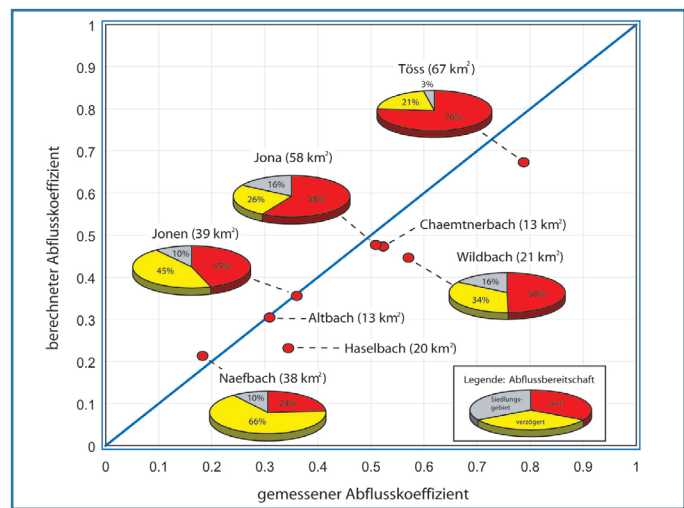
Mit Prozesskarten lassen sich die bei Starkregen entstehenden Abflussvolumen ermitteln. Dazu werden im GIS aus der Verteilung der dominanten Abflussprozesse und den zugeordneten Speichervolumen die Volumen bestimmt, die bei einem Starkregen zurückgehalten werden. Das Abflussvolumen ergibt sich dann aus der Differenz zum Gebietsniederschlag (MeteoSchweiz). In Bild 12 sind die so berechneten Abflusskoeffizienten für den Zeitraum zwischen 12.05.1999 und 15.05.1999 in 8 Einzugsgebieten im Kanton Zürich dargestellt, die gut mit den gemessenen Werten (AWEL, 2006) übereinstimmen. Ebenfalls in Bild 12 ist zu erkennen, wie mit der Zunahme der schnell beitragenden Flächen der Abflusskoeffizient ansteigt.

Sollen Abflussganglinien oder der Spitzenabfluss nachgerechnet werden, lässt sich ein Niederschlag-Abfluss-Modell einsetzen, das neben der Abflussbildung an einzelnen Standorten auch die Drainage der Böden, die Ausbildung von Fließwegen und die Wirkung der dezentralen Retention berücksichtigt. Im Modell Qarea (Schmocker-Fackel, 2005) lassen sich die Parameter der Abflussbildung direkt aus der Verteilung der dominanten Prozesse herleiten und müssen nicht durch Kalibrierung bestimmt werden. Ein Verfahren zur Bestimmung der Drainage- und Retentionsparameter befindet sich in Entwicklung.

Jedem Hochwasserschutzprojekt liegt ein Dimensionierungshochwasser zugrunde, das Projektkosten und -dimensionen wesentlich beeinflusst. Deshalb besteht ein Bedürfnis nach zuverlässigen, einfachen und übersichtlichen Verfahren zur



**Bild 11. Ausdehnung der beitragenden Flächen im Naefbach und im Wildbach bei 40 mm Niederschlag (oben) und 100 mm (unten). Die beitragenden Gebiete und damit die Hochwasserabflüsse steigen im Wildbach wesentlich rascher an.**



**Bild 12. Gegenüberstellung von berechneten und gemessenen Abflusskoeffizienten von 8 Einzugsgebieten im Kanton Zürich beim Hochwasser im Mai 1999. Die Abflusskoeffizienten wurden anhand der gemessenen Niederschläge und der ermittelten Prozessflächen berechnet. Der Abflusskoeffizient vergrössert sich mit zunehmendem Anteil an schnell beitragenden Gebieten.**

Abschätzung von Hochwasserabflüssen mit definierten Wiederkehrperioden. Die in den letzten Jahrzehnten entwickelten einfachen Schätzverfahren liefern oft brauchbare Werte, versagen aber auch in vielen Fällen. Die Vielfalt an Abflussprozessen mit kleinräumigen Unterschieden in der Abflussbildung lässt sich durch mittlere Gebietseigenschaften oder Regionalisierung nicht erfassen. Die hier vorgestellten Erkenntnisse der aktuellen Prozessforschung, kombiniert mit einem leistungsfähigen GIS, ermöglichen es, diese Komplexität mit vertretbarem Aufwand zu berücksichtigen.

#### Dank

Ein wichtiger Teil der Studie wurde im Rahmen des Interreg III B-Projektes WaReLa durchgeführt mit Unterstützung durch da BafU, das SECO, das AWEL (Kanton Zürich) und das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Rheinland-Pfalz.

#### Literatur

ALN (2005): Entwässerungsflächen des Kantons Zürich 1:25000. Amt für Landschaft und Natur, Kanton Zürich.  
 ALN (1993): Vegetationskundliche Kartierung der Wälder des Kantons Zürich. Amt für Landschaft und Natur, Abteilung Wald, Kanton Zürich.  
 AWEL (2006): Abflussdaten verschiedener Abflussmesstationen des Kantons Zürich. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich. [http://www.hochwasser.zh.ch/internet/bd/awel/wb/hw/de/messwerte/jahrbuch\\_abfluss\\_wasserstand.html](http://www.hochwasser.zh.ch/internet/bd/awel/wb/hw/de/messwerte/jahrbuch_abfluss_wasserstand.html).  
 Egli, M., Margreth, M., Vökt, U., Fitze, P., Tognina, G., Keller, F. (2005): Modellierung von Bodentypen und Bodeneigenschaften im Oberengadin

(Schweiz) mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS). Geographica Helvetica, 2. S. 87–96.

FAL (1997): Bodenkarte Kanton Zürich, Landwirtschaftsflächen 1:5000. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Zürich

Frei, E., Vökt, U., Flückiger, R., Brunner, H., Schai, F. (1980): Bodeneignungskarte der Schweiz, Massstab 1:200 000. Grundlagen für die Raumplanung, Bundesämter für Raumplanung, Landwirtschaft und Forstwesen, EDMZ Bern.

Hantke, R. und Mitarbeiter 1967. Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete 1:50 000. Kommissionsverlag Lehmann, Zürich.

Kaegi, Ch. (2006): Erstellung einer synthetischen Bodenkarte für den Schweizerischen Nationalpark. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich.

Margreth, M. (2004): GIS-gestützte Modellierung der Bodentypen und anderen Bodeneigenschaften im Berninatal. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Zürich.

MeteoSchweiz: Niederschlagsdaten verschiedener Starkregenereignisse von verschiedenen Messstationen im Kanton Zürich.

Naef F., Scherrer, S., Zurbrügg, Ch. (1999): Hydrologischer Atlas der Schweiz. Landeshydrologie und -geologie. Blatt 5.7.

Römkens M.J.M. Prasad, S.N. Whisler F.D. (1990): Surface Sealing and Infiltration. In: Process studies in hillslope hydrology. Eds. M.G. Anderson, T.P. Burt, Chichester.

Scherrer, S. and 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.

Schmider, P. und Mitarbeiter (1993): Die Waldstandorte im Kanton Zürich. Kommentar zur vege-

tationskundlichen Kartierung der Wälder im Kanton Zürich. Oberforstamt und Amt für Raumplanung, Kanton Zürich.

Schmocker-Fackel, P. (2005): A method to delineate runoff processes in a catchment and its implications for runoff simulations. Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 15638, 2004. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=diss&nr=15638>.

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

Swisstopo, 2000: Geländedaten: DHM25 © 2000. Kartenblätter: 1011, 1031, 1032, 1051, 1052, 1070, 1071, 1072, 1073, 1090, 1091, 1092, 1093, 1110, 1111, 1112, 1113, 1131, 1132. Bundesamt für Landestopographie (DV002234.1).

Swisstopo, 2006: Kartendaten: VECTOR25 © 2006. Bundesamt für Landestopographie (DV00232.1)

Weiler, M. (2001): Mechanisms controlling macropore flow during infiltration. Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich.

#### Anschrift der Verfasser:

Dr. Felix Naef, Dipl. Geogr. Michael Margreth  
 Institut für Umweltingenieurwissenschaften  
 ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich  
 naef@ifu.baug.ethz.ch  
 margreth@ifu.baug.ethz.ch  
 Dr. Petra Schmocker-Fackel, Institut für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Zürcherstrasse 111 CH-8903 Birmensdorf.  
 petra.schmocker@wsl.ch  
 Dr. Simon Scherrer, Scherrer AG Hydrologie und Hochwasserschutz  
 General Guisanstr. 22, CH-4153 Reinach  
 scherrer@scherrer-hydrol.ch