Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 42

Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe

Daniel B. Bernet
Rouven A. Sturny
Catherine Berger
Andy Kipfer
Volker Prasuhn
Benno Staub
Sebastian Stoll
Luzius Thomi

Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL)
Schweizerische Hydrologische Kommission (CHy)
Mobiliar Lab für Naturrisiken der Universität Bern

Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 42

Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe

Daniel B. Bernet (Mobiliar Lab für Naturrisiken und Universität Bern)
Rouven A. Sturny (Mobiliar Lab für Naturrisiken)
Catherine Berger (geo7)
Andy Kipfer (geo7)
Volker Prasuhn (Agroscope)
Benno Staub (VKF)
Sebastian Stoll (Agroscope)
Luzius Thomi (Mobiliar Lab für Naturrisiken)

Herausgeber
Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL)
Schweizerische Hydrologische Kommission (CHy) der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)
Mobiliar Lab für Naturrisiken der Universität Bern

Bern, 2018

Inhaltsverzeichnis

Vorwort
Zusammenfassung
Résumé

1 **Einleitung** ... 9
1.1 Ziele ... 9
1.2 Zielpersonen ... 9
1.3 Abgrenzung ... 10
1.4 Werkzeuge ... 10
1.5 Aufbau der Entscheidungshilfe ... 10

2 **Grundlagen** ... 11
2.1 Definition von Oberflächenabfluss ... 11
2.2 Gebäudeschäden durch Oberflächenabfluss ... 12
2.3 Niederschlag als Auslöser von Oberflächenabfluss ... 16

3 **Entscheidungsschema** ... 19

4 **Faktenblätter** ... 22
4.1 Beurteilung vor Ort ... 22
4.2 Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ... 24
4.3 Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte ... 26
4.4 Punktuelle Gefahrenabklärung ... 28
4.5 Modellierung von Phosphorverlusten ... 30
4.6 Feinskalige Modellierung von Oberflächenabfluss ... 32
4.7 Toolbox zur Schadendaten-Klassierung ... 34
4.8 Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen ... 36
4.9 Gebäudeschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss ... 38

5 **Anwendungsbeispiele** ... 41
5.1 Anwendungsgebiet ... 41
5.2 Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ... 42

• *Insert Ester Vonplon, Val Curciusa* ... 48

5.3 Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte ... 49
5.4 Punktuelle Gefahrenabklärung ... 55
5.5 Modellierung von Phosphorverlusten ... 61
5.6 Feinskalige Modellierung von Oberflächenabfluss ... 66
5.7 Toolbox zur Schadendaten-Klassierung ... 75
5.8 Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen ... 79
5.9 Gebäudeschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss ... 85

Literaturverzeichnis ... 92

Vorwort

Es ist doch sehr erstaunlich: Oberflächenabfluss ist in der Schweiz für fast 50 % der Schäden verantwortlich, und trotzdem wurde ihm lange Zeit wenig Beachtung geschenkt. «Hochwasserschutz» bedeutete primär Schutz vor fluvialen Überschwemmungen. Seit den grossen Überschwemmungen im August 2005 wird auch dem Oberflächenabfluss mehr Aufmerksamkeit geschenkt und verschiedene Akteure haben sich mit der Thematik auseinandergesetzt. Die vorliegende Publikation dokumentiert den aktuellen Kenntnisstand, wobei dem Bezug zur Praxis ein hoher Stellenwert eingeräumt wird.

Oberflächenabfluss stellt ein komplexes Phänomen dar, das verschiedenste Aspekte – vom Abflussbildungsprozess bis zum Objektschutz – umfasst. Auch beim Oberflächenabfluss gilt: Nur mit einem breiten und interdisziplinären Zugang wird man seiner Komplexität gerecht. Die vorliegende Entscheidungshilfe wird von dieser Idee getragen.

Ich danke allen beteiligten Institutionen für ihre Unterstützung und die hervorragende Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank geht an Daniel B. Bernet und Rouven A. Sturny, an die Koautoren sowie die Begleitgruppe, die wesentlich zur Entstehung des Bandes beigetragen haben. Dorothea Strauss, Leiterin des Bereichs Corporate Social Responsibility bei der Schweizerischen Mobiliar Versicherungsgesellschaft, hat angeregt, bei der Buchgestaltung über das klassisch wissenschaftliche Layout hinauszugehen, Wissenschaft und Kunst zusammenzuführen und so neue, ungewohnte Einsichten in ein wissenschaftliches Thema zu ermöglichen. Für das Insert hat sie die Künstlerin Ester Vonplon eingeladen, die eine eindrückliche Fotoserie zeigt. Die Hydrologische Kommission der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz schliesslich hat den Druck dieser Publikation mit einem namhaften Beitrag unterstützt.

Rolf Weingartner

Leiter der Gruppe für Hydrologie am Geographisches Institut sowie Co-Leiter des Mobiliar Labs für Naturrisiken, Universität Bern

Zusammenfassung

Oberflächenabfluss gefährdet Personen, Sachwerte, landwirtschaftliche Kulturen, die Umwelt und kann zu Verkehrs- und Betriebsunterbrüchen führen. Zu Oberflächenabfluss kommt es, wenn Niederschlag nicht (mehr) im Boden versickern oder durch die Entwässerung abgeführt werden kann. Obwohl in der Schweiz verschiedene Werkzeuge für die Beurteilung und für den Umgang mit der Naturgefahr Oberflächenabfluss existieren, fehlt bisher eine Übersicht, die Lösungswege für diverse Fragestellungen aufzeigt. Das Hauptziel der vorliegenden Entscheidungshilfe besteht darin, Fachpersonen bei der Auswahl der geeigneten Werkzeuge im konkreten Fall zu unterstützen.

Die Entscheidungshilfe bietet eine Übersicht verschiedener Werkzeuge, charakterisiert diese hinsichtlich Einsatzzweck, Branche und Aufwand und illustriert deren Anwendung anhand einer typischen Fragestellung in einem exemplarischen Untersuchungsgebiet. Zudem fasst die Entscheidungshilfe den Kenntnisstand über Oberflächenabfluss als Naturgefahr in der Schweiz zusammen und hebt die Wichtigkeit einer Beurteilung vor Ort hervor.

Folgende Werkzeuge sind Teil der Entscheidungshilfe:
– Gefährdungskarte Oberflächenabfluss
– Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte
– Punktuelle Gefahrenabklärung
– Modellierung von Phosphorverlusten
– Feinskalige Modellierung von Oberflächenabfluss
– Toolbox zur Schadendaten-Klassierung
– Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen
– Gebäudeschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss.

Résumé

Le ruissellement est non seulement une menace pour les personnes, les biens, les cultures et l'environnement, mais aussi la cause possible de perturbations du trafic et de pertes d'exploitation. Le phénomène se produit lorsque la quantité de précipitations est telle qu'elles ne peuvent plus être absorbées par le sol ou évacuées par le système d'évacuation des eaux. Bien que nous disposions en Suisse de divers outils qui permettent d'évaluer et de gérer le risque de ruissellement, il manquait jusqu'ici une vue d'ensemble des approches possibles pour les différents aspects de la problématique. C'est précisément cette lacune qu'entend combler la présente publication. Destinée aux personnes confrontées au problème du ruissellement, mais n'ayant que des connaissances sommaires dans ce domaine, elle doit servir d'aide à la décision quant au choix des moyens à engager.

Cette aide à la décision fournit ainsi une vue d'ensemble des différents outils et de leurs caractéristiques par rapport à leurs buts, domaines et contraintes d'utilisation, et illustre leur mise en œuvre au regard d'un ensemble de questions-types pour un domaine d'étude exemplaire. En outre, il fait la synthèse des connaissances sur le ruissellement en Suisse et souligne l'importance d'une évaluation locale sur place du risque.

Les outils contenus dans cette aide à la décision sont les suivants:
– carte de l'aléa ruissellement
– carte du risque d'érosion et carte de surface en connexion des eaux
– étude ponctuelle sur les dangers de ruissellement
– modélisation des pertes de phosphore
– modélisation à grande échelle du ruissellement
– boîte à outils pour la classification des données de sinistre
– données d'observation d'événements de ruissellement
– mesures de protection des bâtiments contre le ruissellement.

1

Einleitung

Nicht nur ausufernde Gewässer, sondern auch Oberflächenabfluss stellt eine Gefahr für unsere Gesellschaft dar. Oberflächenabfluss kann Personen, Sachwerte und landwirtschaftliche Kulturen gefährden und zu Verkehrs- und Betriebsunterbrüchen führen. Zudem kann er aufgrund von Erosion und der Abschwemmung von Schadstoffen grosse Umweltschäden anrichten. Zu solchen kann es auch kommen, wenn infolge von Oberflächenabfluss Öl oder andere Chemikalien austreten. Oberflächenabfluss entsteht dann, wenn Niederschlag nicht (mehr) in den Boden versickern oder durch die Entwässerung abgeführt werden kann.

Die Siedlungswasserwirtschaft, Landwirtschaft, Versicherungen und verschiedene Bundesämter beschäftigen sich schon länger mit dem Thema. Neuer ist, dass Oberflächenabfluss vermehrt auch im Hochwasserschutz und der diesbezüglichen Gefahrenbeurteilung berücksichtigt wird. Ebenso hat er in der Wissenschaft erst vor Kurzem mehr Aufmerksamkeit erhalten.

Für mit Oberflächenabfluss konfrontierte Fachpersonen ist es schwierig, sich einen Überblick über den aktuellen Kenntnisstand und mögliche Lösungsansätze zu verschaffen. Bisher gibt es keine Zusammenstellung von Werkzeugen zum Thema Oberflächenabfluss, die im konkreten Fall Lösungswege aufzeigt. Hier setzt diese Entscheidungshilfe an.

1.1 — Ziele

Das Hauptziel der Entscheidungshilfe besteht darin, der Leserschaft die Wahl eines oder mehrerer Werkzeuge zu erleichtern. Zudem hat sie zum Ziel:
- die Kenntnisse über Oberflächenabfluss als Naturgefahr in der Schweiz zusammenzufassen,
- eine Übersicht über bereits etablierte und neue Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr zu geben,
- die Werkzeuge anhand des Einsatzzwecks, der Branche, des Einsatzzeitpunkts, des Aufwands, der Granularität und der Anwendungsskala einheitlich zu charakterisieren
- und die Anwendung der Werkzeuge anhand einer typischen Fragestellung in einem exemplarischen Untersuchungsgebiet zu illustrieren.

1.2 — Zielpersonen

Die Entscheidungshilfe richtet sich hauptsächlich (aber nicht ausschliesslich) an Fachpersonen ohne oder mit geringen Vorkenntnissen bezüglich Oberflächenabfluss als Naturgefahr, die aber mit diesem Thema konfrontiert werden. Sie müssen sich beispielsweise zu einer bestimmten Fragestellung einen Überblick über die verfügbaren Werkzeuge verschaffen. Solche Fachpersonen finden sich etwa in Architektur-, Planungs- oder Ingenieurbüros, in der Landwirtschaft, in der Forschung, bei Versicherungen oder bei Bund, Kantonen und Gemeinden.

1.3 — Abgrenzung

Der Fokus der Entscheidungshilfe richtet sich auf anwendungsorientierte Werkzeuge für die Beurteilung und Abschätzung von Oberflächenabfluss als Naturgefahr, auf dessen Auswirkungen in der Schweiz sowie auf die möglichen Massnahmen zum Schutz von Gebäuden. Administrative, politische und rechtliche Aspekte zum Umgang mit Oberflächenabfluss sind nicht Teil der Entscheidungshilfe.

Normalerweise versickert der Regen im Boden oder er wird durch die Siedlungsentwässerung abgeführt. Bei selteneren Niederschlagsereignissen wird die Aufnahmefähigkeit des Bodens bzw. die Kapazität der Liegenschafts- und Siedlungsentwässerung überschritten. Die in dieser Entscheidungshilfe betrachteten Wiederkehrperioden von Niederschlägen für Oberflächenabfluss liegen über dem 5- bis 10-jährlichen Niederschlag, auf den Entwässerungseinrichtungen üblicherweise dimensioniert werden. Deshalb wird vereinfacht davon ausgegangen, die Liegenschafts- und Siedlungsentwässerung sei während eines Oberflächenabfluss-Ereignisses bis an die Kapazitätsgrenze gefüllt oder verstopft (z. B. mit Hagel, Laub, Ästen etc.) sodass sie kein zusätzliches Wasser aufnehmen kann. Die Liegenschafts- und Siedlungsentwässerung wird somit nicht im Detail betrachtet.

1.4 — Werkzeuge

Unter dem Begriff «Werkzeug» werden in dieser Entscheidungshilfe öffentlich zugängliche Grundlagen und Materialien verstanden. Diese können in Form von Wegleitungen, Karten, wissenschaftlichen Artikeln, Methoden oder Datensätzen vorliegen. Sie unterstützen die verschiedenen Nutzergruppen bei der Beantwortung diverser Fragestellungen zum Thema Oberflächenabfluss. Grob lassen sich die Werkzeuge in «Produkte» und «Methoden» einteilen. Bei Methoden handelt es sich um dokumentierte Anleitungen oder Vorgehensweisen. Die Benutzerinnen und Benutzer müssen die Methoden also selber anwenden, um ein Resultat zu erhalten. Produkte hingegen sind bereits ein eigenständiges Resultat, das direkt weiterverwendet werden kann; sie umfassen z. B. Karten oder Datensätze.

Für die vorliegende Entscheidungshilfe wurden diejenigen Werkzeuge ausgewählt, die direkt oder zumindest indirekt das Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr betreffen und in irgendeiner Form in der Schweiz veröffentlicht wurden, also frei zugänglich sind. Zweifelsohne existieren Werkzeuge, die von verschiedenen Akteuren für den internen Gebrauch entwickelt wurden. Sie wurden in dieser Entscheidungshilfe nicht berücksichtigt. Die Auswahl deckt ein sehr breites Spektrum an Werkzeugen ab. Bietet sie auch keine abschliessende Zusammenstellung, so ist sie doch, nach bestem Wissen und Gewissen der Autorenschaft, repräsentativ für den aktuellen Kenntnisstand in der Schweiz.

1.5 — Aufbau der Entscheidungshilfe

Zu Beginn der Entscheidungshilfe wird im Grundlagenkapitel der Prozess Oberflächenabfluss definiert *(Kap. 2.1)*. Anschliessend werden neue Forschungsergebnisse zum Thema Oberflächenabfluss in der Schweiz zusammengefasst *(Kap. 2.2–2.3)*. Der zentrale Einstiegspunkt ist ein grafisches Entscheidungsschema *(Kap. 3, Abb. 3.1)*, das es der Leserschaft ermöglicht, direkt zu den entsprechenden Werkzeugen zu gelangen. Die Werkzeuge werden zuerst anhand eines Faktenblatts einheitlich charakterisiert *(Kap. 4)*. Die Art und Weise, wie jedes Werkzeug typischerweise eingesetzt werden kann, wird anschliessend anhand von Anwendungsbeispielen illustriert *(Kap. 5)*.

2

Grundlagen

Einleitend wird in diesem Kapitel der Prozess Oberflächenabfluss definiert *(Kap. 2.1)*. Anschliessend werden typische Merkmale von Oberflächenabfluss bzw. von daraus entstandenen Gebäudeschäden vorgestellt *(Kap. 2.2)*. Schliesslich wird auf den Niederschlag als Hauptursache für Oberflächenabfluss eingegangen *(Kap. 2.3)*.

2.1 — Definition von Oberflächenabfluss

Niederschlag versickert im Boden oder wird von Entwässerungssystemen gesammelt und abgeleitet. Sobald dies nicht (mehr) möglich ist, kommt es zu Oberflächenabfluss. Dies ist etwa dann der Fall, wenn der Boden bereits mit Wasser gesättigt ist (Sättigungsüberschuss) oder das Wasser nicht genügend schnell versickern kann (Infiltrationsüberschuss). Die Entwässerungssysteme können das Wasser nicht ableiten, wenn sie selbst oder ihre Zuläufe bereits gefüllt oder verstopft sind (z. B. durch Hagel, Laub, Äste, Sedimente etc.). In diesen Fällen staut sich das überschüssige Wasser an der Oberfläche auf. Je nach Gefälle und Beschaffenheit der Oberfläche fliesst das Wasser dann als Oberflächenabfluss ab. Die Fliesswege des Wassers folgen in erster Linie der Topografie. Sie werden dabei von Feinstrukturen wie Mauern, Böschungen, Strassen, Fahr- und Bearbeitungsspuren (z. B. Kartoffeldämme) beeinflusst. Das Wasser fliesst generell in Richtung der Gewässer ab. Falls es unterwegs nicht versickert (oder verdunstet), fliesst es irgendwann direkt oder indirekt (z. B. via Entwässerung und Kläranlage) einem Gewässer zu. Unter (Oberflächen-)Gewässer versteht man Bäche, Flüsse, Teiche und Seen. Wenn das abfliessende Wasser ein Gewässer erreicht hat, wird es nicht mehr als Oberflächenabfluss bezeichnet. Obwohl das Zufliessen von Oberflächenabfluss in ein Gewässer zu dessen Ausuferung beitragen kann, bezeichnet man diesen Fall als fluviale Überschwemmung, also als Überschwemmung durch ein Gewässer. Beide Begriffe werden in dieser Publikation synonym verwendet.

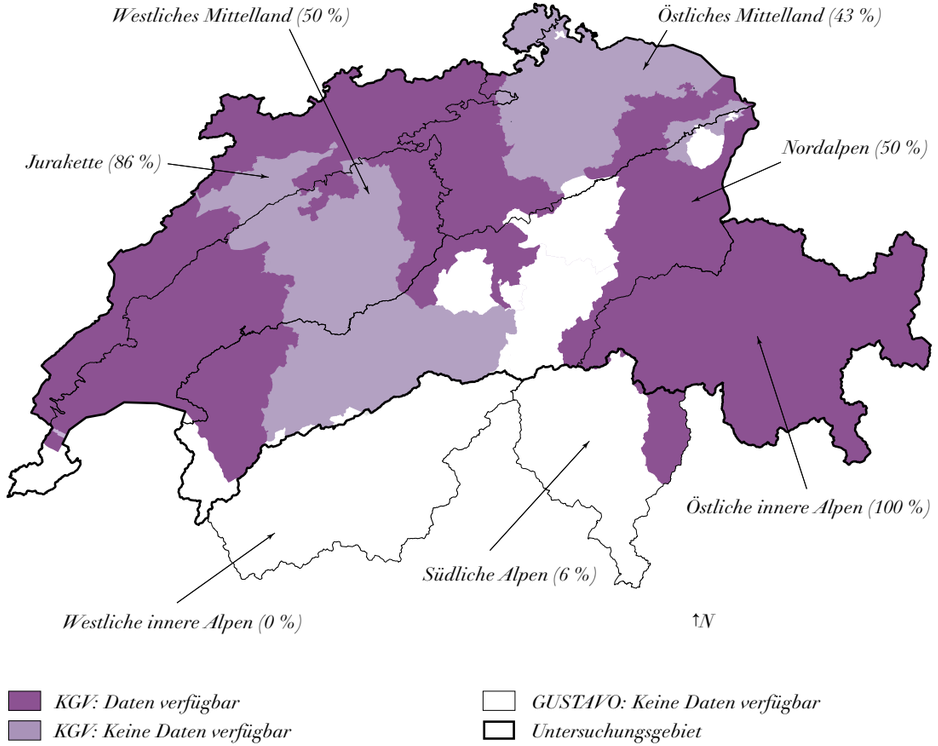
Die Begriffsverwendungen zum Thema Oberflächenabfluss (frz. «ruissellement», engl. «overland flow» oder je nach Disziplin auch «surface runoff») sind in der Literatur nicht immer eindeutig. Überschwemmung durch Oberflächenabfluss etwa (engl. «surface water flood») wird im deutschsprachigen Raum häufig mit dem Begriff «Sturzflut» beschrieben. Dieser Begriff (engl. «flash flood») bezieht sich aber ursprünglich auf plötzlich ausufernde Gewässer. Da Oberflächenabfluss eben gerade nicht aus einem Gewässer stammt, wird davon abgeraten, den Begriff Sturzflut in diesem Zusammenhang zu verwenden.

2.2 — Gebäudeschäden durch Oberflächenabfluss

Während weitgehend anerkannt ist, dass Oberflächenabfluss vielerorts und häufig Schaden anrichtet, gibt es nur wenige Informationen darüber, wo und wann genau die Schäden auftreten. Im Rahmen einer Dissertation am Mobiliar Lab für Naturrisiken wurde deshalb unter anderem dieser Frage nachgegangen. Im Folgenden werden die entsprechenden Erkenntnisse, publiziert in *Bernet et al. (2017)*, zusammengefasst.

2.2.1 Datengrundlage und Datenaufbereitung

Oberflächenabfluss wird zwar beobachtet (von der Bevölkerung, von Bauern, der Feuerwehr etc.), jedoch selten so dokumentiert, dass die Aufzeichnungen für fachliche Auswertungen verwendbar wären. Es ist allgemein schwierig, Oberflächenabfluss zu messen, da er häufig ohne oder mit sehr kurzer Vorwarnzeit auftritt und meistens nur von kurzer Dauer ist. Er ist im Gegensatz zum ausufernden Gewässer nicht auf ein klar abgegrenztes Gebiet beschränkt, sondern kann im Prinzip überall auftreten. Zudem besteht Oberflächenabfluss häufig aus einem fein verästelten Netz von Fliesspfaden, die schwierig zu erfassen sind. Der Abfluss lässt sich damit nicht wie bei den Flüssen an einer zentralen Stelle aufzeichnen.



Eine interessante Datenquelle stellen Schadendaten von Versicherungen dar. Anhand des Schadendatums und des Objektstandorts kann indirekt auf das Auftreten von Oberflächenabfluss geschlossen werden. Die Analyse von Schadendaten, die grössere Gebiete über längere Zeiträume abdecken, erlaubt daher Rückschlüsse über das Auftreten von Oberflächenabfluss. Besonders geeignet für solche Analysen sind Gebäudeschadendaten der 19 Kantonalen Gebäudeversicherungen (KGV) der Schweiz: Fast alle Gebäude sind gemäss Gesetz gegen Elementarschäden versichert. Dabei sind Schäden durch Oberflächenabfluss und ausufernde Gewässer gedeckt, andere Schadenursachen wie Grundwasseranstieg und Rückstau aus der Kanalisation sind jedoch ausgeschlossen. Zudem besitzen die KGV in den jeweiligen Kantonen ein Monopol. Somit geben Schadendaten der KGV ein fast lückenloses Bild der entstandenen Überschwemmungsschäden durch Oberflächenabfluss und Gewässer wieder. Herausfordernd ist dabei jedoch, dass die Versicherungen Oberflächenabfluss und fluviale Überschwemmung nicht unterscheiden. Deshalb müssen die Schäden durch Oberflächenabfluss vorgängig identifiziert werden. Zu diesem Zweck wurde eine Methode entwickelt, mit der Überschwemmungsschadendaten von Versicherungen klassiert werden können *(Schadendaten-Klassierung, Kap. 4.7)*.

Von allen 19 angefragten KGV haben 14 KGV Gebäudeschadendaten geliefert. Die Daten wurden vereinheitlicht und punktgenau verortet. Daraus ist ein einzigartiger Datensatz entstanden, der grosse Teile der Schweiz *(Abb. 2.1)* und je nach KGV einen Zeitraum von 10 bis 33 Jahren abdeckt.

2.2.2 Schadenanteile

Die erste Erkenntnis aus der Analyse des Datensatzes ist, dass Oberflächenabfluss für mindestens 45 % aller Schadenfälle verantwortlich ist *(Abb. 2.2)*. Die Anteile variieren je nach Region aber stark. Im westlichen Mittelland wurden im betrachteten Zeitraum von 1999 bis 2013 mindestens zwei Drittel der Gebäudeschadenfälle durch Oberflächenabfluss verursacht. Die Anteile der Jurakette, der östlichen inneren Alpen und des östlichen Mittellandes liegen knapp über bzw. unter dem schweizerischen Mittelwert von 45 %. Der mit Abstand kleinste Anteil ist in den Nordalpen zu finden.

Bezogen auf die Schadensumme sind die Anteile von Oberflächenabfluss kleiner *(Abb. 2.2)*. Im gesamten Untersuchungsgebiet gehen 23 % der Gesamtschadensumme von Überschwemmungen zulasten von Oberflächenabfluss. Das westliche Mittelland sticht mit 51 % auch bei der Schadensumme hervor. Der kleinste Anteil der durch Oberflächenabfluss verursachten Schadensumme geht wiederum auf die Nordalpen zurück.

Abb. 2.1: Regionale Abdeckung der zusammengetragenen Überschwemmungsschadendaten von 14 verschiedenen Kantonalen Gebäudeversicherungen (KGV), unterteilt in verschiedene geografische Regionen. Die Prozentwerte in Klammern zeigen an, wie viele der Gebäude innerhalb jeder Region durch diese Daten repräsentiert werden. In den Kantonen Genf, Uri, Schwyz, Tessin, Appenzell Innerrhoden, Wallis und Obwalden (GUSTAVO) werden die Gebäude nicht durch eine KGV, sondern durch verschiedene Privatversicherer versichert.

Die Gründe für die unterschiedlichen Schadenanteile sind nicht eindeutig, da die Schadenzahlen aus dem Zusammenspiel verschiedener Faktoren entstehen. Sie sind ein Produkt aus der Entstehung und Ausbreitung von Oberflächenabfluss (Gefährdung), der Verteilung der exponierten Werte (Exposition) und der Anfälligkeit der Objekte für die Einwirkung von Oberflächenabfluss (Vulnerabilität). In Bezug auf Oberflächenabfluss ist über diese Faktoren, im Gegensatz zur fluvialen Überschwemmung, erst wenig bekannt. Fest steht aber, dass die Schäden nicht homogen über die Schweiz verteilt sind. Zudem zeigen die Schadenzahlen deutlich, dass Schäden durch Oberflächenabfluss häufig sind, jedoch pro Schaden i. d. R. weniger Kosten verursachen als ausufernde Gewässer.

Dieser Unterschied kann damit erklärt werden, dass Überschwemmungen durch Oberflächenabfluss durch geringe Fliesstiefen charakterisiert sind. Dadurch sind die äusseren Einwirkungen auf exponierte Objekte vergleichsweise klein. Trotzdem ist zu beachten, dass es insbesondere in Untergeschossen von Gebäuden zu hohen Wassertiefen und Schäden sowie zu einer Gefährdung von Personen kommen kann.

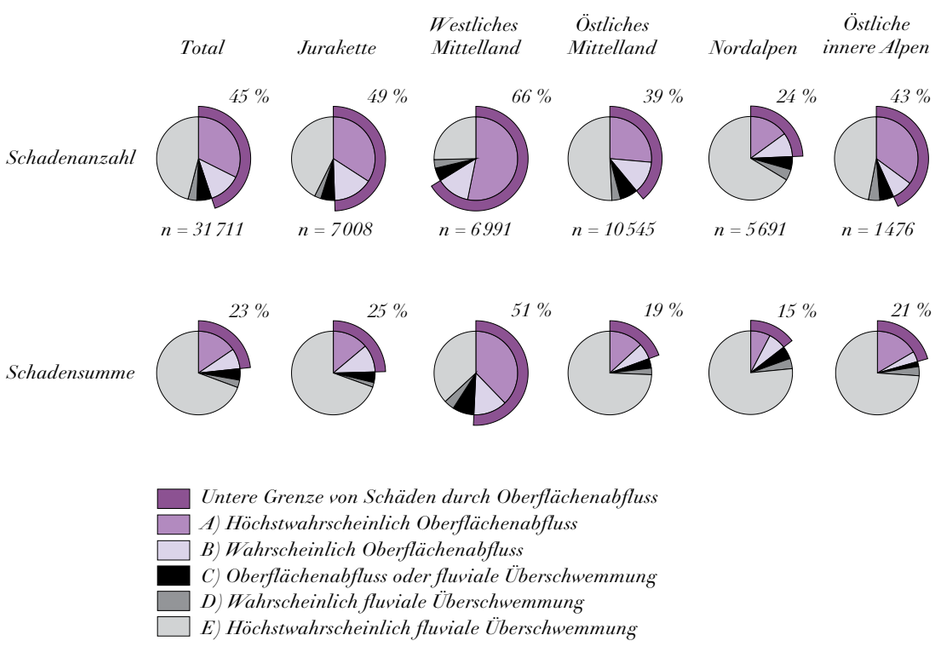


Abb. 2.2: Kuchendiagramme der Schadenanzahl (1. Zeile) und Schadensumme (2. Zeile) der Kantonalen Gebäudeversicherungen (KGV) im Zeitraum 1999–2013 (1. Spalte) aufgeteilt nach verschiedenen geografischen Regionen (2.–6. Spalte). Die Anzahl der Schadenfälle pro Region ist mit «n» angegeben. Die Schadenanteile, die im Minium auf Oberflächenabfluss zurückgehen, sind mit dunkelvioletten Sektoren hervorgehoben und mit der entsprechenden Prozentzahl gekennzeichnet. Die Klassierung der Schadendaten wurde mit dem entsprechenden Werkzeug vorgenommen *(Schadendaten-Klassierung, Kap. 4.7)*.

Im Vergleich zu Oberflächenabfluss können fluviale Überschwemmungen sehr grosse Fliesstiefen und Fliessgeschwindigkeiten erreichen sowie viel Geschiebe mittransportieren. Der Bereich der möglichen Einwirkungen und die dabei auftretenden Kräfte sind folglich viel grösser. Bildhaft gesprochen, haben Gewässer die Kraft, ganze Gebäude zu zerstören, wohingegen Oberflächenabfluss dafür normalerweise zu schwach ist. Dies spiegelt sich in den Schadenzahlen wider. Der durchschnittliche Schaden durch Oberflächenabfluss *(Klasse A, Abb. 2.2)* beträgt CHF 9'800 (Median CHF 1'200), während der durchschnittliche Schaden durch fluviale Überschwemmung *(Klasse E, Abb. 2.2)* mit CHF 31'000 (Median CHF 5'600) mehr als dreimal so hoch ist.

2.2.3 Zeitliche Verteilung der Schäden

Die Schäden sind aber nicht nur räumlich, sondern auch über die Zeit unterschiedlich verteilt. Die meisten Schäden werden in den Sommermonaten von Juni bis August verursacht *(Abb. 2.3, rechts)*. Erhöhte Schadenzahlen lassen sich auch im Mai und im September ausmachen. Im Winterhalbjahr (Oktober bis und mit April) werden, mit einer Ausnahme *(Abb. 2.3, rechts)*, nur wenige Schäden verzeichnet.

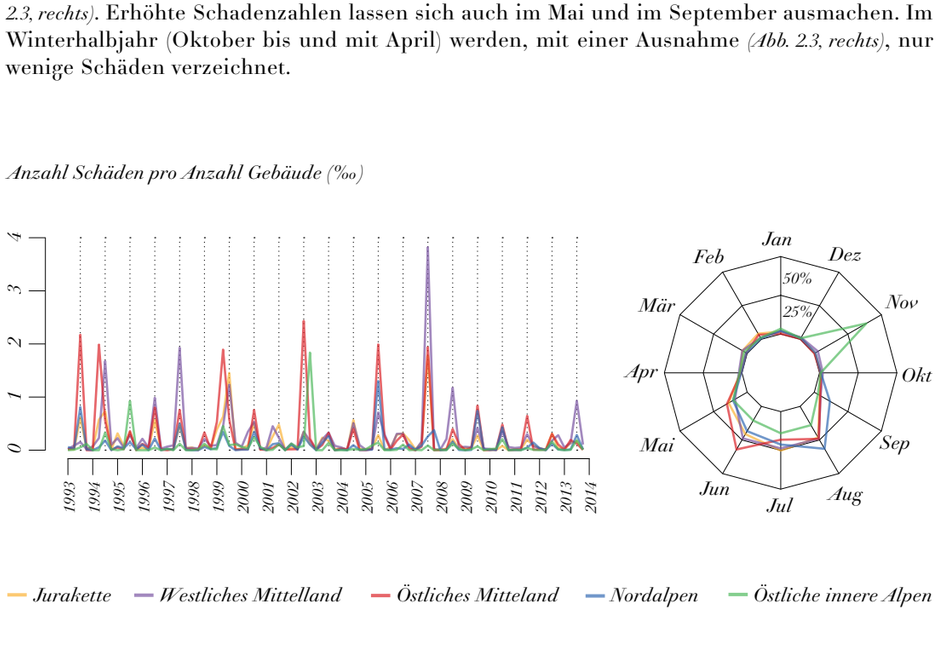


Abb. 2.3: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Schäden pro Anzahl Gebäude (links), basierend auf Gebäudeschadendaten von Kantonalen Gebäudeversicherungen (KGV) im Zeitraum 1993–2013 (n = 40'233). Die Daten wurden auf die vier Jahreszeiten Winter (Dezember–Februar), Frühling (März–Mai), Sommer (Juni–August, gekennzeichnet durch die gepunkteten, vertikalen Linien) und Herbst (September–November) aggregiert. Die monatliche Verteilung der Anzahl Gebäudeschäden im Zeitraum 1999–2013 (n = 31'711) ist rechts abgebildet. Der hohe Wert der östlichen inneren Alpen im November ist auf ein Einzelereignis im Jahr 2002 mit verheerenden Schäden durch Oberflächenabfluss und fluvialen Überschwemmungen zurückzuführen.

Der zeitliche Verlauf der Schäden verdeutlicht, dass die Anzahl der Schäden in den letzten 25 Jahren in keiner der Regionen zugenommen hat *(Abb. 2.3, links)*. Dies legt nahe, dass die steigenden absoluten Schadenzahlen zum grössten Teil durch die sozioökonomische Entwicklung (Zunahme der Siedlungsdichte, Wertezuwachs insbesondere in den tief liegenden Geschossen, Anstieg der Vulnerabilität etc.) verursacht werden. Der Klimawandel scheint in diesem Zusammenhang (bisher) eine untergeordnete Rolle zu spielen. Es ist aber davon auszugehen, dass mit der erwarteten Zunahme der Häufigkeit und der Intensität von Starkniederschlägen in Zukunft auch die Schäden durch Oberflächenabfluss steigen werden.

2.2.4 Schlussfolgerungen

Die räumliche und zeitliche Analyse der Gebäudeschadendaten liefert wichtige Erkenntnisse bezüglich Oberflächenabfluss: Die Analysen belegen erstmals quantitativ, dass Oberflächenabfluss sehr häufig auftritt und insgesamt mindestens ein Viertel aller Überschwemmungsschäden verursacht. Die räumliche Verteilung der Schäden verdeutlicht, dass Oberflächenabfluss, im Gegensatz zu fluvialen Überschwemmungen, im Prinzip überall auftreten kann. Zeitlich tritt Oberflächenabfluss hauptsächlich in den Sommermonaten auf. Der Schluss liegt nahe, dass die Schäden vor allem durch Gewitter verursacht werden. Wie im nächsten Kapitel ausgeführt wird, ist in vielen Fällen aber auch lang anhaltender Niederschlag mit grossen Niederschlagssummen für Oberflächenabfluss verantwortlich.

2.3 — Niederschlag als Auslöser von Oberflächenabfluss

Niederschlag ist einer von vielen Faktoren, die mitbestimmen, ob Oberflächenabfluss entsteht und ob dieser einen Schaden verursachen kann. Wie viele Schäden alleine durch den Niederschlag erklärt werden können, wurde am Mobiliar Lab für Naturrisiken ebenfalls untersucht. Die Erkenntnisse aus dieser Studie *(Bernet et al., 2018a)* werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

2.3.1 Datengrundlage und Datenaufbereitung

Verwendet wurden Niederschlagsdaten vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), die auf der Verschmelzung von Radar- und Stationsdaten beruhen. Dies hat den Vorteil, dass die hohe Genauigkeit von Stationsdaten mit der guten räumlichen Abdeckung der Radardaten verknüpft werden kann. Das entsprechende Raster-Produkt CombiPrecip weist eine Zellauflösung von 1 × 1 km auf, gibt stündliche Niederschlagssummen wieder und umfasst den Zeitraum von 2005 bis heute.

Die im vorangegangenen Kapitel *(Kap. 2.2.1)* beschriebenen Schadendaten der KGV wurden mit Gebäude- und Fahrhabeschadendaten (Hausrat, Geschäftsinventar) der Mobiliar Versicherung ergänzt und auf den überlappenden Zeitraum von 2005 bis 2013 eingeschränkt. Mit dieser Ergänzung wird die gesamte Schweiz hinreichend durch Schadendaten abgedeckt.

Für jede Rasterzelle (1 × 1 km) mit mindestens einem Schaden durch Oberflächenabfluss wurden alle Niederschlagsereignisse identifiziert und deren Kenngrössen berechnet (u. a. Niederschlagssumme, -dauer, -verlauf, maximale Intensität, Vorregen, Wetterlage). Jedem Schaden wurde danach das verursachende Niederschlagsereignis zugeordnet.

2.3.2 Schaden verursachende Niederschläge

Die Niederschläge sind aufgrund der komplexen Topografie der Schweiz regional sehr unterschiedlich. So sind beispielsweise die jährlichen Niederschlagsmengen und die täglichen Niederschlagsintensitäten im Tessin wesentlich höher als in der Nordschweiz. Deshalb ist der Vergleich der Charakteristiken in absoluten Zahlen nicht sehr aufschlussreich. Aussagekräftiger sind relative Werte, also der Vergleich der Kenngrössen der Schaden verursachenden Niederschläge mit denjenigen ohne Schadenfolge am selben Standort. Ein solcher Vergleich kann mit der Bestimmung von Perzentilwerten gemacht werden. Der Perzentilwert der Niederschlagssumme eines Schadenereignisses gibt z. B. an, wie viel Prozent aller Niederschlagsereignisse eine kleinere oder gleich grosse Niederschlagssumme aufweisen. Ein Beispiel: In einer Rasterzelle sind während des Zeitraums von 2005 bis 2013 insgesamt 300 Niederschlagsereignisse identifiziert worden, wovon eines zu einem Schaden geführt hat. Ein Perzentilwert von 99 Prozent bedeutet nun konkret, dass 3 Ereignisse eine höhere Niederschlagssumme aufweisen als das Schadenereignis, 297 jedoch kleinere oder gleich grosse. Die lokalen Perzentilwerte geben also an, wie extrem die einzelnen Kenngrössen der Schadenereignisse im Vergleich zur entsprechenden Kenngrösse aller Niederschläge am selben Standort sind.

Die Niederschläge, die zu Schäden durch Oberflächenabfluss geführt haben, weisen im Vergleich zu den Niederschlägen ohne Schadenfolge am selben Ort entweder höhere Niederschlagssummen auf und/oder sind durch höhere Niederschlagsintensitäten geprägt. Daraus lassen sich Schwellenwerte ableiten, die ein Niederschlagsereignis i. d. R. überschritten hat, wenn ein Schaden entstanden ist. Wählt man dabei die Schwellenwerte zu hoch, dann werden viele Schadenereignisse verpasst. Im umgekehrten Fall identifiziert man auch viele Niederschlagsereignisse, die keinen Schaden verursacht haben. Anhand eines Gütemasses lassen sich optimale Schwellenwerte finden. In dieser Studie liegt der Schwellenwert bei einem Perzentilwert von 98 % für die Niederschlagssumme und von 88 % für die maximale Niederschlagsintensität, was dem 98. bzw. 88. Perzentil der entsprechenden Grösse entspricht.

2.3.3 Schlussfolgerungen

Als besonders relevante Kenngrössen kristallisieren sich die Niederschlagssumme und die maximale Niederschlagsintensität heraus. Die Analysen zeigen, dass die meisten Schäden bei Niederschlagsereignissen mit besonders viel Niederschlag (≥ 98. Perzentil) und/oder sehr intensivem Niederschlag (≥ 88. Perzentil) entstehen. Für die Praxis bedeutet dies, dass nicht nur kurze, intensive Niederschlagsereignisse betrachtet werden sollten. Ebenso relevant für die Entstehung von Schäden sind lang anhaltende Ereignisse mit hohen Niederschlagssummen.

Diese Erkenntnisse verdeutlichen, dass der Entstehung von Oberflächenabfluss i. d. R. lokal intensive Niederschläge und/oder Niederschläge mit hohen Niederschlagssummen vorangehen. Die Resultate deuten aber auch darauf hin, dass bei ungünstiger Konstellation Oberflächenabfluss entstehen kann, obschon der Niederschlag selbst nicht extrem ist. So mag der Boden bereits stark mit Wasser gesättigt sein oder ein Acker mit besonders hohem Erosionsrisiko mag während des Ereignisses unzureichend mit Vegetation bedeckt sein. Ob und wo der Oberflächenabfluss im Einzelfall Schäden anrichten kann, hängt jedoch hauptsächlich von weiteren Faktoren wie der Topografie und der Vulnerabilität der exponierten Objekte ab.

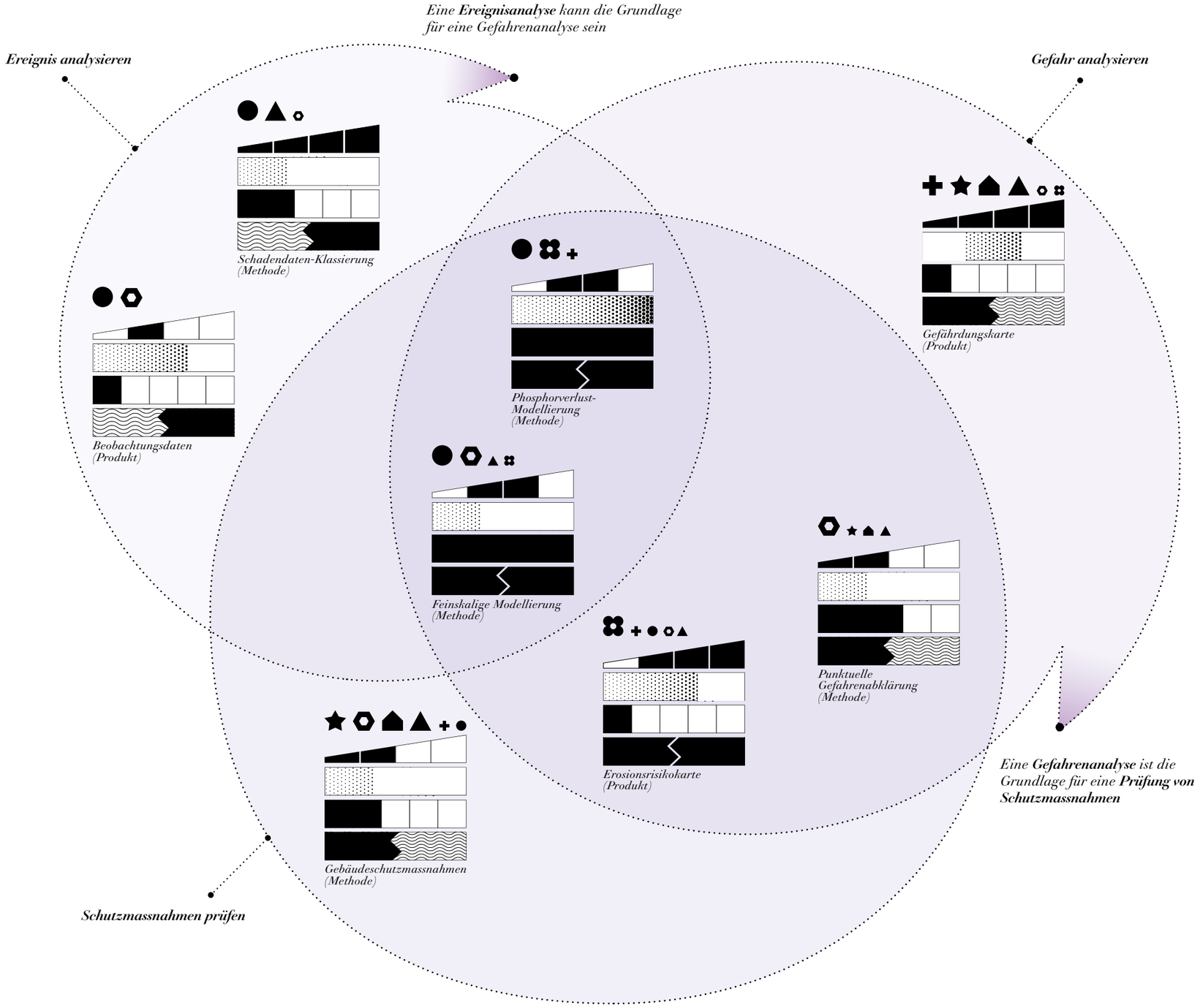
3

Entscheidungsschema

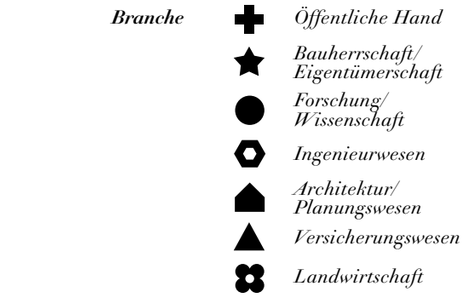
Das Entscheidungsschema erlaubt es, auf einen Blick diejenigen Werkzeuge zu finden, die sich für die jeweilige Fragestellung oder Branche eignen *(Abb. 3.1)*. Sie liefert zwei Entscheidungskriterien: Einsatzzweck und Hauptmerkmale.

Beim Einsatzzweck der Werkzeuge wird zwischen «Gefahr analysieren», «Ereignis analysieren» und «Schutzmassnahmen prüfen» unterschieden. Er ergibt sich aus der zu beantwortenden Fragestellung und spiegelt nicht die zeitliche Abfolge des Werkzeugeinsatzes wider. Nachdem ein Werkzeug ausgewählt worden ist, soll daher mithilfe der Pfeile bzw. der Zacken zwischen den drei Einsatzzwecken überprüft werden, ob als Vorbereitung zum vorgesehenen Werkzeugeinsatz und/oder im Anschluss daran allenfalls weitere Werkzeuge angewandt werden müssen.

Jedes Werkzeug wird durch fünf Hauptmerkmale charakterisiert:
– Branche: Wie wichtig ist das Werkzeug für die jeweiligen Anwendergruppen?
– Zeitpunkt der Anwendung: Wird das Werkzeug vor und/oder nach einem Ereignis angewandt?
– Aufwand: Wie gross ist der durchschnittliche zeitliche Aufwand für die Anwendung des Werkzeugs bzw. für die Beantwortung einer typischen Fragestellung? Er wird in einer relativen Skala dargestellt, von klein (z. B. fertiges Produkt, das nur zurate gezogen werden muss) bis gross (z. B. aufwendige Modellierung).
– Granularität: Bis zu welchem Massstab liefert das Werkzeug verlässliche Aussagen? Sie reicht von fein (bis 2 m) über mittel (2–30 m) bis grob (> 30 m).
– Anwendungsskala: Wie gross ist die räumliche Skala bzw. die räumliche Ausdehnung, mit der das Werkzeug typischer- und sinnvollerweise angewandt wird? Die Anwendungsskala reicht vom Einzelobjekt über die lokale und regionale bis zur überregionalen Skala.



***Entscheidungsschema** (Abb. 3.1)*



4

Faktenblätter

Die Werkzeuge werden anhand eines Faktenblatts einheitlich charakterisiert. Die Hauptmerkmale, Unterschiede, Vor- und Nachteile sowie Grenzen und Herausforderungen der einzelnen Werkzeuge werden systematisch aufgezeigt. Die einzelnen Publikationen und Begleitdokumente zu den Werkzeugen werden hier nicht reproduziert bzw. zusammengefasst. Für die konkrete Anwendung eines bestimmten Werkzeugs wird daher empfohlen, vorgängig die aufgeführten Hauptquellen hinzuzuziehen. Bevor die einzelnen Faktenblätter vorgestellt werden *(Kap. 4.2–4.9)*, wird die Wichtigkeit einer Beurteilung vor Ort hervorgehoben *(Kap. 4.1)*.

4.1 — Beurteilung vor Ort

Eine Beurteilung vor Ort ist zentraler Bestandteil jeder Untersuchung hinsichtlich Oberflächenabfluss. Sie ist nicht nur für die Plausibilisierung von Modellresultaten wichtig *(Kap. 4.1.2)*, sondern dient in jedem Fall auch dem Verständnis und der Beurteilung der lokalen Situation *(Kap. 4.1.1)*. Auf beide Punkte wird im Folgenden eingegangen.

4.1.1 Beurteilung der lokalen Situation

Bei der allgemeinen Beurteilung vor Ort geht es hauptsächlich darum, im Feld die lokale Situation hinsichtlich Oberflächenabfluss zu untersuchen und kritisch zu beurteilen. Auf was bei der Beurteilung vor Ort zu achten ist und wie vorgegangen werden kann, wird nachfolgend in groben Zügen skizziert.

Die Ausbreitung von Oberflächenabfluss wird vor allem durch die Topografie bestimmt. Vor Ort geht es daher zuallererst darum, die Topografie grob zu «lesen». Wo kommt das Wasser her? Wo fliesst es hin? Wo liegen Tiefenlinien, Rinnen und Gräben, in denen sich das Wasser sammelt und konzentriert abfliesst? Wo liegen Senken, in denen sich das Wasser aufstaut? Diese Fragen helfen dabei, sich einen ersten Überblick über die Fliesspfade vor Ort zu verschaffen.

Dem Grundsatz «vom Groben zum Feinen» folgend, ist der Blick in einem zweiten Schritt auf mögliche Spuren von Oberflächenabfluss zu richten. Sind im Gebiet Erosionsspuren oder Ablagerungen vorhanden? Sind in den Tiefenlinien oder in Rinnen Spuren erkennbar, die auf den Abfluss von Wasser hindeuten? Solche Spuren weisen auf Bereiche hin, die häufig oder stark überflossen werden.

Das abfliessende Wasser wird nicht nur durch die Topografie, sondern auch durch künstliche Bauten beeinflusst. Insbesondere Entwässerungssysteme können die Menge des oberflächlich anfallenden Wassers mitbestimmen und auf zufliessendes Wasser hindeuten. Sie sammeln zufliessendes Wasser in Fassungen oder Einläufen und leiten es meist unterirdisch ab

und/oder um. Unterirdische Leitungen in der unbebauten Landschaft können oft anhand von Senklochdeckeln erkannt werden. Auch Fassungen sind im Feld oft auffindbar. Einerseits bedeuten solche Systeme eine Reduktion des Oberflächenabflusses. Andererseits haben sie nur eine beschränkte Kapazität, und diese wird zusätzlich eingeschränkt, wenn die Einläufe oder die Leitungen verstopfen. Dem Zustand der Einlaufsysteme ist deshalb ebenso Beachtung zu schenken. Es ist davon auszugehen, dass bei starken Niederschlägen kein oder nur ein Teil des anfallenden Wassers abgeleitet werden kann. Vor Ort muss daher unbedingt beurteilt werden, welchen Weg das Wasser in diesem Fall nimmt.

Schliesslich sind die Feinstrukturen im Feld zu beurteilen. Sie können die Ausbreitung von Oberflächenabfluss massgeblich beeinflussen. So ist es möglich, dass Feinstrukturen das abfliessende Wasser in eine andere Richtung als die des topografischen Hauptgefälles ablenken. Zu beachten sind dabei bauliche Feinstrukturen (Mauern, Böschungen, Strassen, Wege etc.) ebenso wie Feinstrukturen in der Landwirtschaft (Fahrspuren, Ackerrandfurchen, Bearbeitungsspuren wie Kartoffeldämme etc.).

Mit einer Besichtigung vor Ort lässt sich die lokale Situation gut einschätzen. Steht sie ganz am Anfang einer Beurteilung, hat dies den Vorteil, dass dieser erste Augenschein noch vollkommen losgelöst von jeglichen Werkzeugen, also unbefangen stattfinden kann. In anderen Fällen mag es sinnvoll sein, sich schon vor der Besichtigung einen Überblick zu verschaffen, etwa mithilfe der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* und ergänzend mit der Erosionsrisikokarte *(Kap. 4.3)*. In diesem Fall lassen sich bereits im Büro kritische Stellen identifizieren, die im Feld überprüft werden müssen. Zudem kann eine Besichtigung vor Ort je nach Fragestellung auch gleich mit der Erhebung von Feldparametern kombiniert werden. Dies ist z. B. dann nützlich, wenn eine punktuelle Gefahrenabklärung *(Kap. 4.4)*, die Modellierung von Phosphorverlusten *(Kap. 4.5)* oder eine feinskalige Modellierung von Oberflächenabfluss *(Kap. 4.6)* ins Auge gefasst wird. Darüber hinaus können, sofern vorhanden, die Ereignisdokumentation gesichtet und nach Möglichkeit Zeugen von Oberflächenabfluss (z. B. die lokale Feuerwehr, Gemeindeverwaltung, Bauern und Anwohner) zu ihren Erfahrungen befragt werden.

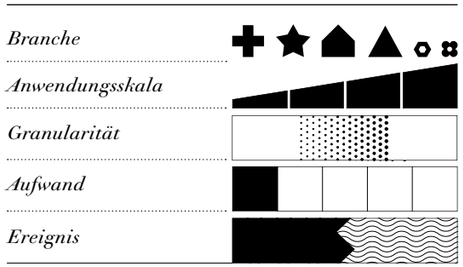
4.1.2 Plausibilisierung von Modellresultaten

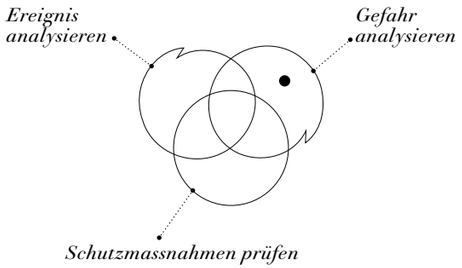
Bei fast allen Methoden und Produkten kommen bzw. kamen Modelle zum Einsatz. Eine Kalibrierung kann je nach Modell hilfreich sein, um die Prozesse im Einzelfall besser abbilden zu können. Mittels Validierung kann anschliessend überprüft werden, ob das Modell die Prozesse realitätsnah abbildet. Dies setzt aber voraus, dass Beobachtungsdaten zu einem vergangenen Ereignis vorliegen. Sind keine brauchbaren Daten im Untersuchungsgebiet vorhanden, kann das Modell auch in anderen Gebieten kalibriert bzw. validiert werden. Die Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen können z. B. für diesen Zweck eingesetzt werden *(Kap. 4.8)*.

Auch das beste Modell ist – unabhängig davon, ob und wie es kalibriert und validiert wurde – nur eine Vereinfachung der realen Prozesse. Alle Modelle sind mit Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten zu quantifizieren, ist meist schwierig. Es wird deshalb empfohlen, die Modellresultate im Feld zu plausibilisieren.

Eine Plausibilisierung der Modellresultate läuft im Prinzip analog zur Beurteilung der konkreten Situation vor Ort ab *(Kap. 4.1.1)*. Der einzige Unterschied ist, dass die Beobachtungen vor Ort sogleich mit den Modellierungen verglichen werden. Sind die Resultate insgesamt plausibel? Weichen die Modellresultate in gewissen Bereichen von der Beurteilung der Situation im Feld ab? Wenn ja, warum? Welche konkreten Auswirkungen haben die Unsicherheiten der Resultate auf die zu fällenden Entscheidungen? Anhand der Plausibilisierung lassen sich die Modellresultate i. d. R. besser interpretieren und Fehleinschätzungen vermeiden.

4.2 — Gefährdungskarte Oberflächenabfluss





Kurzbeschrieb
Ausgehend von einer schweizweit flächendeckenden Modellierung auf einem 1 × 1-Meter-Raster zeigt die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss die potenziell durch Oberflächenabfluss gefährdeten Gebiete und die dort zu erwartenden, klassierten Fliesstiefen im Massstab 1:12'500 auf.

Typische Fragestellungen
- Welche Gebiete und Objekte sind potenziell durch Oberflächenabfluss gefährdet? Wo liegen kritische Objekte mit besonders hohem Risiko? Wo sind Massnahmen zu prüfen und/oder Detailabklärungen notwendig?
- Sind raumplanerische Vorgaben oder Bauauflagen (z. B. Abflusskorridore) zu prüfen?
- Sind (vorgesehene) Massnahmen zum Schutz vor Hochwasser auch im Hinblick auf Oberflächenabfluss sinnvoll und gut platziert oder ergibt sich durch sie eine Gefahrenverlagerung (z. B. durch ungewollten Aufstau)?
- In welchen Punkten und an welchen Stellen können bezüglich Siedlungsentwässerung hilfreiche Hinweise gegeben werden?

Aufwand
Gering: Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ermöglicht es, innerhalb weniger Minuten einen Überblick über die möglichen Wassertiefen und potenziell gefährdeten Gebiete zu erlangen. Sie bildet die Ausgangslage für die Plausibilisierung vor Ort sowie für weiterführende Analysen und Abklärungen, deren Bearbeitungszeiten je nach Fragestellung und betrachteter Gebietsgrösse variieren.

Überschneidungen
Die Gefährdungskarte gibt erste Hinweise darauf, ob die Prüfung von Gebäudeschutzmassnahmen *(Kap. 4.9)* angebracht ist bzw. Detailabklärungen nötig sind.
Lässt die Gefährdungskarte nach einer Plausibilisierung vor Ort keine verlässliche Aussage zu, kann mittels punktueller Gefahrenabklärung *(Kap. 4.4)* oder feinskaliger Modellierung von Oberflächenabfluss *(Kap. 4.6)* die Gefährdung eines Einzelobjekts bzw. eines Gebiets detailliert untersucht werden.

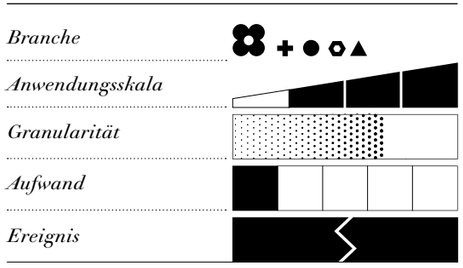
Stärken und Schwächen
[+] Die Gefährdungskarte wurde für die ganze Schweiz nach einer einheitlichen Methode erstellt.
[+] Sie ist flächendeckend verfügbar und auf *map.geo.admin.ch* öffentlich zugänglich.
[+] Sie stellt ein wichtiges Instrument für die Planung von Gebäudeschutzmassnahmen dar, da sie die bestehenden Gefahrengrundlagen um die Gefährdung durch Oberflächenabfluss ergänzt. Dargestellt sind diejenigen Flächen, die bei seltenen bis sehr seltenen Niederschlagsereignissen potenziell durch Oberflächenabfluss betroffen sind (Wiederkehrperiode > 100 Jahre).
[+] Sie ist Ausgangspunkt für viele Anwendungen: Nutzungsplanung, Baubewilligungsverfahren, Planung von Massnahmen im Objekt- und Quartierschutz, Notfallplanungen, Planung und Dimensionierung von Siedlungsentwässerung, Bodenschutzmassnahmen in der Landwirtschaft etc.
[+/-] Die Gefährdungen durch Fliessgewässer oder stehende Gewässer sowie unterirdische Wasserflüsse oder Siedlungsentwässerungen werden nicht berücksichtigt.
[+/-] Die Karte ist rechtlich nicht verbindlich und hat lediglich einen hinweisenden Charakter.
[+/-] Sie ist ein computergestütztes, auf der Basis digitaler Daten (digitales Geländemodell, Bodenbedeckung etc.) erstelltes Modellierungsprodukt. Die Qualität des Resultats ist stark abhängig von den Eingangsdaten, insbesondere des Geländemodells.
[-] Die Resultate wurden nicht im Gelände verifiziert. Für Aussagen auf Stufe «Gefahrenkarte» ist deshalb eine Plausibilisierung vor Ort notwendig.
[-] Innerhalb von Siedlungen kann die Genauigkeit aufgrund der zahlreich vorhandenen, in den Eingabedatensätzen nur beschränkt oder nicht abgebildeten Feinstrukturen (wie Mauern oder Randsteinen) abnehmen. Auch Unterführungen und Durchlässe wurden in der Modellierung nicht berücksichtigt.
[-] Die angegebene Gefährdung bezieht sich auf den Stand der Eingabedaten bei der Erstellung der Karte. Eine Nachführung ist momentan nicht geplant. Künftige Veränderungen in der Bebauung, Strassengestaltung etc. können auch die Gefährdung verändern.

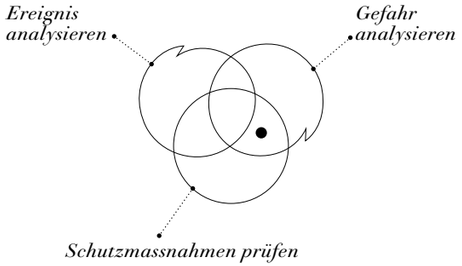
Grenzen und Herausforderungen
Das Produkt weist die Genauigkeit einer Gefahrenhinweiskarte auf, d. h. es gibt Hinweise auf mögliche Gefährdungen. Eine Plausibilisierung vor Ort ist trotzdem erforderlich *(Kap. 4.1.2)*.
Die Gefährdungskarte weist die potenzielle Gefährdung durch Oberflächenabfluss aus. Ob ein Objekt tatsächlich einen Schaden erleiden kann, ist u. a. abhängig von der Verletzlichkeit und der Nutzung des Objekts. Dies muss im Einzelfall vor Ort beurteilt werden *(Kap. 4.1.1 und Gebäudeschutzmassnahmen, Kap. 4.9)*.
Für die Interpretation der Resultate ist zu bedenken, dass praktisch jedes Gebäude durch Starkregen betroffen sein kann. Bereits der auf einem Grundstück anfallende Regen kann zu Problemen führen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Gefälle zum Gebäude gerichtet ist und tief liegende oder bodenebene Öffnungen vorhanden sind *(Kap. 4.9)*. Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss indessen zeigt u. a., was von aussen konzentriert zufliessen kann. Durch passende Massnahmen lassen sich Schäden verhindern *(Kap. 4.9)*.

Hauptquellen
- *map.geo.admin.ch:* Geokatalog – Natur und Umwelt – Naturbedingte Risiken – Gefährdungskarte Oberflächenabfluss
- BAFU, SVV, VKG (2018): «Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz». geo7 – Geowissenschaftliches Büro, Bern.

Nützliche und weiterführende Quellen
- *www.bafu.admin.ch/oberflaechenabfluss:* Weiterführende Informationen zur Gefährdungskarte Oberflächenabfluss
- *Schutz-vor-Naturgefahren.ch*

4.3 — Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte





Kurzbeschrieb
Die Karte des potenziellen Erosionsrisikos von landwirtschaftlichen Nutzflächen (ERK2) und die Karte der Wahrscheinlichkeit eines direkten oder indirekten Gewässeranschlusses dieser Flächen (GAK2) liegen im 2 × 2-Meter-Raster vor und wurden schweizweit einheitlich erstellt.

Typische Fragestellungen
- Wie gross ist das standortbedingte Erosionsrisiko einer Ackerparzelle?
- Auf welchen Ackerflächen eines Gebietes sollten Erosionsschutzmassnahmen vorhanden sein oder ergriffen werden?
- Durch welche Flächen ist eine Gewässerbelastung mit Sediment, Phosphor oder Pflanzenschutzmitteln durch Erosion oder Abschwemmung zu erwarten?

Aufwand
Gering: Mit den Karten lässt sich innerhalb weniger Minuten einen Überblick über die Erosionsrisiken bzw. Gewässeranschlüsse von landwirtschaftlichen Nutzflächen gewinnen. Für weiterführende geostatistische Auswertungen im Geoinformationssystem (GIS) werden einige Minuten bis eine Stunde benötigt.

Überschneidungen
Die Erosionsrisiko- und die Gewässeranschlusskarte weisen ähnlich wie die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* auf Hauptfliesswege von Oberflächenabfluss hin, jedoch fokussiert auf landwirtschaftliches Gebiet.
Für die Analyse von Einzelereignissen oder für spezifische Untersuchungen bezüglich Phosphorverlusten kann das Rainfall-Runoff-Phosphorus-Modell (RRP) herangezogen werden *(Kap. 4.5)*.
In Kombination mit der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* kann die Erosionsrisikokarte einen Hinweis darauf geben, ob potenziell mit abgeschwemmten Sedimenten zu rechnen ist. Falls ja, kann das Problem möglicherweise durch eine geeignete Bewirtschaftung entschärft werden.

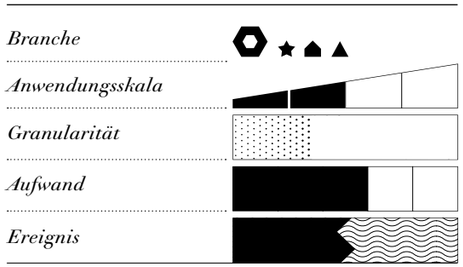
Stärken und Schwächen
[+] Die Erosionsrisiko- und die Gewässeranschlusskarte für landwirtschaftliche Nutzflächen wurden schweizweit nach einer einheitlichen Methode erstellt und sind auf *map.geo.admin.ch* öffentlich zugänglich.
[+] Die Beurteilung des potenziellen Erosionsrisikos und des Gewässeranschlusses von einzelnen Parzellen, hydrologischen Einzugsgebieten oder beliebigen Gebieten ist mit sehr geringem Aufwand möglich.
[+] Die Karten stellen ein einfaches Hilfsmittel für die Planung von Erosionsschutz- und/oder Gewässerschutzmassnahmen dar.
[+] Es wird zwischen direktem und indirektem Gewässeranschluss unterschieden.
[-] Das potenzielle Erosionsrisiko erfasst die generellen Standortfaktoren Relief (Hangneigung und -länge), Boden (Bodenerodibilität) und Niederschlag (Niederschlagserosivität). Bodennutzung, -bearbeitung und -bedeckung werden nicht berücksichtigt, da sie sich zeitlich stark unterscheiden.
[-] Es wird nur der langjährige, mittlere Bodenabtrag erfasst, womit keine Analysen von Einzelereignissen möglich sind.
[-] Die Gewässeranschlusskarte erlaubt nur eine qualitative Beurteilung des Risikos von Stoffeinträgen in Gewässer, jedoch keine Aussagen zu Stoffeintragsfrachten.
[-] Der Wasserzufluss aus Wäldern, von Strassen, Wegen und aus Siedlungsflächen wird nicht berücksichtigt.
[-] Es bestehen Unsicherheiten bei der Klassierung von entwässerten und nicht entwässerten Strassen.

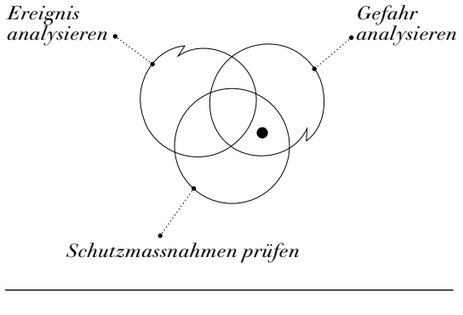
Grenzen und Herausforderungen
Eine Plausibilisierung der Produkte vor Ort ist erforderlich *(Kap. 4.1.2)*.
Zur Abschätzung des aktuellen Erosionsrisikos sind Angaben zum Bewirtschaftungs- und Erosionsschutzfaktor notwendig. Ein entsprechendes Tool ist in Entwicklung (für Rückfragen bitte Agroscope kontaktieren).
Die Gewässeranschlusskarte erfasst nur Oberflächenabfluss/Erosion, jedoch keine Drainageabflüsse.

Hauptquellen
- *map.geo.admin.ch*: Geokatalog – Natur und Umwelt – Boden – Erosionsrisiko quantitativ
- *map.geo.admin.ch*: Geokatalog – Natur und Umwelt – Boden – Gewässeranschluss erweitert
- Prasuhn, V., Liniger, H., Gisler, S., Herweg, K., Candinas, A., Clément, J.-P. (2013): «A high-resolution soil erosion risk map of Switzerland as strategic policy support system», in: Land Use Policy 32, S. 281–291. doi: *10.1016/j.landusepol.2012.11.006*
- Alder, S., Prasuhn, V., Liniger, H., Herweg, K., Hurni, H., Candinas, A., Gujer, H.U. (2015): «A high-resolution map of direct and indirect connectivity of erosion risk areas to surface waters in Switzerland — A risk assessment tool for planning and policy-making», in: Land Use Policy 48, S. 236–249. doi: *10.1016/j.landusepol.2015.06.001*

Nützliche und weiterführende Quellen
- BAFU und BLW (2013): «Bodenschutz in der Landwirtschaft: Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft», Umwelt-Vollzug Nr. 1313, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Gisler, S., Liniger, H., Prasuhn, V. (2010): «Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz im 2 × 2-Meter-Raster (ERK2)», Centre for Development and Environment (CDE); Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Bern.
- Alder, S., Herweg, K., Liniger, H., Prasuhn, V. (2013): «Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Gewässeranschlusskarte der Erosionsrisikokarte der Schweiz (ERK2) im 2 × 2-Meter-Raster». Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW). Centre for Development and Environment (CDE); Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Bern.

4.4 — Punktuelle Gefahrenabklärung





Kurzbeschrieb
Hierbei handelt es sich um eine Wegleitung zur Abklärung der Gefährdung durch Oberflächenabfluss an einem bestimmten Standort, beispielsweise für eine Parzelle oder ein Gebäude.

Typische Fragestellungen
• Kann ein spezifisches Objekt durch Oberflächenabfluss gefährdet sein?
• Wie hoch ist die zu erwartende, punktuell auftretende Wassermenge, die an einem spezifischen Standort zum Abfluss kommt?

Aufwand
Mittel: Das mit der punktuellen Gefahrenabklärung ermittelbare Worst-Case-Szenario lässt sich ungefähr im Laufe eines halben Tages abschätzen. Für die Hauptuntersuchung gemäss Wegleitung werden 1 bis maximal 2 Tage benötigt. Eine Feldbegehung ist dabei zwingend erforderlich.

Überschneidungen
Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* und die Erosionsrisikokarte *(Kap. 4.3)* können auf potenziell gefährdete Objekte hinweisen. Eine detailliertere Untersuchung der Situation kann mithilfe der punktuellen Gefahrenabklärung und/oder einer feinskaligen Modellierung *(Kap. 4.6)* vorgenommen werden. Dies ist z. B. dann erforderlich, wenn sich die Situation verändert hat (etwa durch neue oder veränderte Wege, Strassen oder Gebäude) und die Auswirkungen dieser Veränderung nicht einfach zu interpretieren sind. Falls Elemente vorkommen, die in den Karten nicht berücksichtigt wurden, aber die Fliesswege beeinflussen können (z. B. Unterführungen, Durchlässe, Feinstrukturen wie Mauern etc.), ist eine detailliertere Beurteilung der Situation nötig.
Mit der punktuellen Gefahrenabklärung lässt sich ohne den Aufwand einer Modellierung abklären, ob ein bestimmtes Objekt durch Oberflächenabfluss gefährdet ist und mit welcher Wassermenge gerechnet werden muss. Insbesondere mit der Abschätzung des Worst-Case-Szenarios ist der Aufwand einer punktuellen Gefahrenabklärung im Vergleich zu einer feinskaligen Modellierung *(Kap. 4.6)* geringer. Mit einer feinskaligen Modellierung lässt sich die Gefährdung jedoch detaillierter untersuchen. Da für beide Methoden dieselben oder zumindest ähnliche Daten benötigt werden, lassen sie sich zum Vergleich auch parallel anwenden.
Die zu erwartenden Wassermengen können mithilfe der punktuellen Gefahrenabklärung abgeschätzt werden. Anhand dieser Wassermengen sowie der Fliesssituation am betroffenen Objekt lassen sich anschliessend die zur Planung von Gebäudeschutzmassnahmen *(Kap. 4.9)* benötigten Wassertiefen ermitteln.

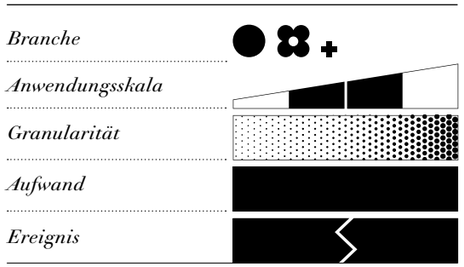
Stärken und Schwächen
[+] Mit der punktuellen Gefahrenabklärung ist eine detaillierte Abschätzung der Gefährdung eines Einzelobjekts (inkl. der zu erwartenden Wassermengen bzw. Fliesstiefen) möglich.
[+] Die Abschätzung der Gefährdung (d. h. ohne Modellierung der Überschwemmung) ist mit einem vertretbaren Aufwand verbunden.
[-] Die Abgrenzung des Einzugsgebietes und die Bestimmung der Fliessrichtung können je nach Bebauung (z. B. im Siedlungsgebiet) und Topografie (z. B. im schwach geneigten Gelände) schwierig sein.
[-] Die anfallenden Wassermengen müssen bei Bedarf in Fliessgeschwindigkeiten bzw. Fliesstiefen umgerechnet werden.

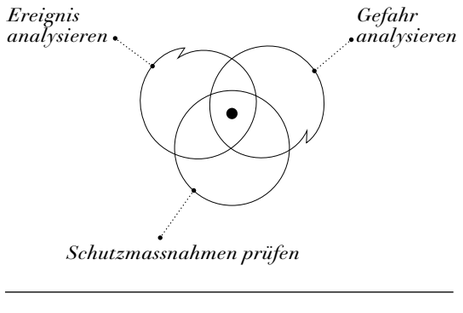
Grenzen und Herausforderungen
Die punktuelle Gefahrenabklärung zeigt die zu erwartenden Wassermengen im Ist-Zustand auf. Für ein detailliertes Durchspielen verschiedener Szenarien (wie den Einfluss von Geländeanpassungen, die Auswirkungen von Rückhaltebecken, erwartete Fliessgeschwindigkeiten) sind i. d. R. weitergehende Analysen nötig. Dafür besser geeignet sind feinskalige Modellierungen *(Kap. 4.6)*.

Hauptquelle
• Rüttimann, D., Egli, T. (2010): «Wegleitung punktuelle Gefahrenabklärung Oberflächenwasser», Naturgefahrenkommission des Kantons St. Gallen, St. Gallen.

Nützliche und weiterführende Quellen
• *Schutz-vor-Naturgefahren.ch*
• *Klima-Extreme.ch*

4.5 — Modellierung von Phosphorverlusten





Kurzbeschrieb
Dieses Werkzeug modelliert schnelle Abflussprozesse und zeigt in landwirtschaftlich geprägten Einzugsgebieten Flächen auf, die zu Phosphorverlusten beitragen können. Dazu wird das Open-Source Rainfall-Runoff-Phosphorus-Modell (RRP) verwendet.

Typische Fragestellungen
- Welche Flächen tragen massgeblich zu Phosphorverlusten durch Oberflächenabfluss in einem Einzugsgebiet bei?
- Wie hoch sind die jährlichen Phosphoreinträge in Oberflächengewässer?
- Mit welchen Phosphorverlusten muss bei einem 100-jährlichen Niederschlagsereignis gerechnet werden?

Aufwand
Hoch: Je nach Programmierkenntnissen, Datenverfügbarkeit und Fragestellung kann die Modellierung wenige Stunden bis hin zu Wochen beanspruchen.

Überschneidungen
Als Basis zur Ausscheidung hydrologisch aktiver Flächen dient ein «multiple-Flow-Algorithmus», der auch bei der Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte zur Anwendung kommt *(Kap. 4.3)*.

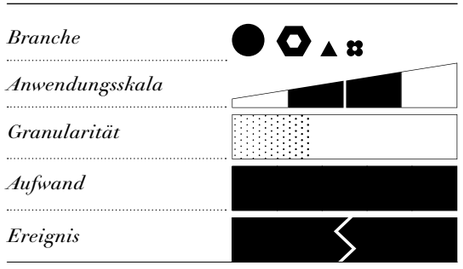
Stärken und Schwächen
[+] Mit der Modellierung von Phosphorverlusten sind quantitative Auswertungen und Betrachtung diverser Szenarien möglich.
[+] Die Unsicherheiten werden durch die Verwendung mehrerer Parametersätze direkt berücksichtigt.
[+] Die Methode ist auf jedes Einzugsgebiet anwendbar, sofern alle benötigten Input-Daten verfügbar sind.
[+/-] Für Bestimmung der Phosphor-Parameter sind Feldexperimente nötig.
[+/-] Die hydrologischen Parameter müssen kalibriert werden. Damit können die lokalen Prozesse besser abgebildet werden. Die Kalibrierung ist aber aufwendig und setzt entsprechende Abflussdaten voraus.
[-] Es muss mit einem generell hohen Aufwand gerechnet werden.
[-] Es wird eine – nur selten verfügbare – Karte mit Boden-Phosphorgehalten benötigt.
[-] Oberflächenabfluss und schnelle unterirdische Abflussprozesse werden nicht unterschieden.

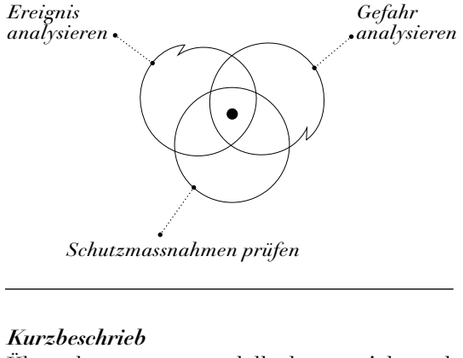
Grenzen und Herausforderungen
Das Modell liegt zum jetzigen Zeitpunkt nur als kommentierter Quellcode vor. Vor der Anwendung von Drittpersonen ist eine umfangreiche Einführung nötig.

Hauptquellen
- Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Lazzarotto, P., Evangelou, M.W.-H., Schulin, R. (2013): «Prediction of dissolved reactive phosphorus losses from small agricultural catchments: calibration and validation of a parsimonious model», in: Hydrology and Earth System Sciences 17(10), S. 3679–3693. doi: *10.5194/hess-17-3679-2013*
- Der Modellcode des Rainfall-Runoff-Phosphorous-Modells ist auf GitHub verfügbar: *github.com/Rainfall-Runoff-Phosphorus-Model/RRP*

Nützliche und weiterführende Quellen
- Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Milledge, D.G., Schulin, R. (2014): «A comparison of three simple approaches to identify critical areas for runoff and dissolved reactive phosphorus losses», in: Hydrology and Earth System Sciences 18(8), S. 2975–2991. doi: *10.5194/hess-18-2975-2014*
- Lazzarotto, P., Stamm, C., Prasuhn, V., Flühler, H. (2006): «A parsimonious soil-type based rainfall-runoff model simultaneously tested in four small agricultural catchments», in: Journal of Hydrology 321(1–4), S. 21–38. doi: *10.1016/j.jhydrol.2005.07.038*

4.6 — Feinskalige Modellierung von Oberflächenabfluss





Kurzbeschrieb
Überschwemmungsmodelle lassen sich auch für die Beantwortung von Fragestellungen zum Thema Oberflächenabfluss nutzen. Mit der Verwendung von Geländemodellen mit Auflösungen im Meter- bis Dezimeterbereich kann Oberflächenabfluss feinskalig modelliert werden. Für Detailuntersuchungen sind solche feinskaligen Modellierungen oft ein unverzichtbares, flexibles und vielfältig einsetzbares Werkzeug.

Typische Fragestellungen
• Was ist bei einem vergangenen Unwetter, das zu Schäden durch Oberflächenabfluss geführt hat, genau passiert?
• Führt die Umsetzung einer Massnahme zum Schutz eines Gebäudes oder Quartiers zu einer geringeren Gefährdung durch Oberflächenabfluss, anderswo jedoch zu einer Mehrgefährdung?
• Wie verändert sich die Gefährdung durch Oberflächenabfluss in Zukunft (z. B. in Klimaszenarien mit intensiveren Niederschlägen)?

Aufwand
Hoch. Das Sammeln und Aufbereiten von Daten sowie die Kalibrierung und Validierung eines Überschwemmungsmodells ist im Allgemeinen aufwendig, kann sich aber je nach Modellwahl stark unterscheiden.

Überschneidungen
Bevor eine aufwendige Modellierung in Angriff genommen wird, sollten die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* sowie die Erosionsrisikokarte *(Kap. 4.3)* zurate gezogen werden, um einen generellen Überblick über die Situation zu erhalten.
Überschwemmungsmodelle können oftmals direkte Angaben zu Grössen wie Fliessgeschwindigkeit, Fliesstiefe, Stauhöhe etc. machen. Für die Dimensionierung von Gebäudeschutzmassnahmen *(Kap. 4.9)* werden solche Angaben benötigt.
Zur Plausibilisierung der Resultate kann eine punktuelle Gefahrenabklärung *(Kap. 4.4)* hilfreich sein. Da beide Werkzeuge sehr ähnliche Eingangsgrössen benötigen, ist der Mehraufwand im Allgemeinen überschaubar.
Feinskalige Modelle müssen i. d. R. kalibriert und validiert werden, was mithilfe der Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen *(Kap. 4.8)* möglich ist.

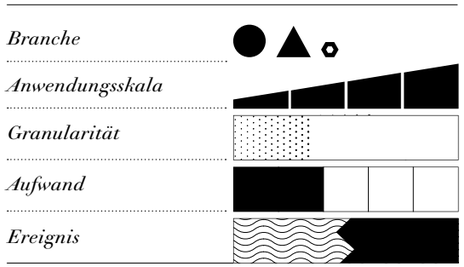
Stärken und Schwächen
[+] Überschwemmungsmodelle können normalerweise nicht nur maximale Überschwemmungstiefen berechnen, sondern ebenso Fliessgeschwindigkeiten, Stauhöhen, Sedimenttransportkapazität etc. Zudem werden neben den Maximalwerten auch die Entwicklung der einzelnen Grössen über die Zeit abgebildet.
[+] Im Gegensatz zu vorgefertigten Modellierungsprodukten wie der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* oder der Erosionsrisikokarte *(Kap. 4.3)* können beliebige Szenarien betrachtet werden.
[-] Modellierungen sind i. d. R. sehr aufwendig. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn nicht auf bestehende Simulationen zurückgegriffen werden kann und das Modell von Grund auf neu aufgesetzt werden muss.
[-] Feinskalige Modellierungen benötigen eine Vielzahl von Daten, die häufig schwer zu beschaffen bzw. zu erheben sind und selten in der gewünschten Auflösung zur Verfügung stehen.

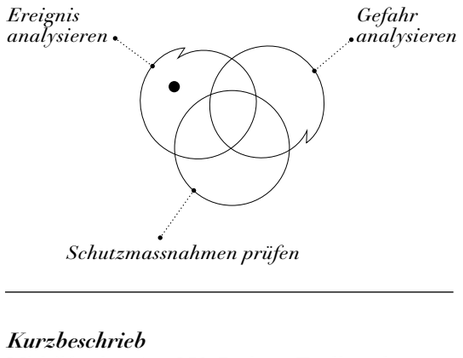
Grenzen und Herausforderungen
Feinskalige Strukturen können für die Ausbreitung von Oberflächenabfluss entscheidend sein. Solche Strukturen werden durch höher aufgelöste Geländemodelle meist besser abgebildet. Aber auch das am feinsten aufgelöste Modell ist mit gewissen Unsicherheiten behaftet und bildet die reale Oberfläche nur abstrakt ab. Zumindest eine Plausibilisierung der Modellresultate im Feld ist deshalb in jedem Fall nötig *(Kap. 4.1.2)*.
Trotz zunehmender Rechenleistung muss bei einer feinskaligen Modellierung ein Kompromiss zwischen der Ausdehnung des zu modellierenden Gebiets, der räumlichen und zeitlichen Auflösung und der Simulationszeit gemacht werden. Die Zunahme der Simulationszeit erhöht sich i. d. R. um den Skalierungsfaktor hoch drei. Wird also beispielsweise eine Simulation anstatt mit einem Geländemodell mit der Auflösung von 5 × 5 m mit einem Raster von 50 × 50 cm erstellt, dann muss mit der ungefähr 1000-fachen Simulationszeit gerechnet werden.

Hauptquelle
• Bernet, D.B., Zischg, A.P., Prasuhn, V., Weingartner, R. (2018b): «Modeling the extent of surface water floods in rural areas: Lessons learned from the application of various uncalibrated models», in: Environmental Modelling & Software 109, S. 134–151. doi: *10.1016/j.envsoft.2018.08.005*

Nützliche und weiterführende Quelle
• Die Beobachtungsdaten der Oberflächenabfluss-Ereignisse *(Kap. 4.8)*, die im Rahmen der vorangehend genannten Hauptquelle modelliert wurden, sind auf Mendeley Data publiziert und unter folgender doi frei verfügbar: *10.17632/v8z6kwh8kw.2*

4.7 — Toolbox zur Schadendaten-Klassierung





Kurzbeschrieb
Mithilfe der ArcGIS Python-Toolbox können punktgenau verortete Überschwemmungsschäden klassiert werden. Sie hilft zu unterscheiden, ob ein betroffenes Objekt eher aufgrund von Oberflächenabfluss oder fluvialer Überschwemmung beschädigt wurde. Die Toolbox lässt sich auf Einzelschäden sowie auf ganze Portfolios anwenden.

Typische Fragestellungen
• Wie viele Schäden und welche Schadensummen eines Versicherungsportfolios wurden durch Oberflächenabfluss verursacht?
• Welche Objekte wurden in einem spezifischen Ereignis vermutlich durch Oberflächenabfluss beschädigt?
• Wie sind die Schäden durch Oberflächenabfluss räumlich und zeitlich verteilt?

Aufwand
Gering bis mittel: Für die Einrichtung des Tools wird weniger als eine Stunde benötigt. Die Berechnungszeit beträgt wenige Minuten für Einzelschäden bzw. mehrere Stunden bis Tage für ganze Portfolios.

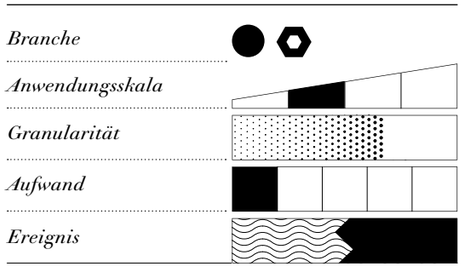
Überschneidungen
Liegen Schadendaten für die Validierung von feinskaligen Modellierungen von Oberflächenabfluss *(Kap. 4.6)* vor, können diese vorab mittels ArcGIS-Toolbox klassiert werden, sodass nur die für die Modellierung relevanten Schäden ausgewählt werden. Daraus lassen sich die Unsicherheiten der Validierungsdaten verringern.

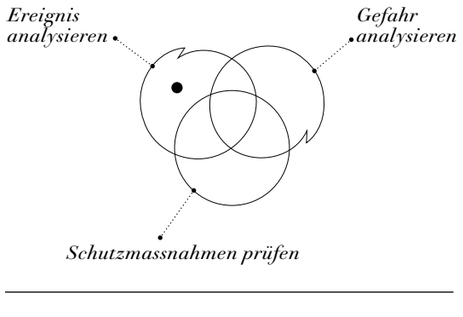
Stärken und Schwächen
[+] Mit der Toolbox zur Schadendaten-Klassierung können Einzelschäden wie auch ganze Portfolios mit sehr geringem Aufwand in Schäden durch Oberflächenabfluss und solche durch fluviale Überschwemmungen eingeteilt werden.
[+] Schadendatensätze, die grössere Gebiete über längere Zeiträume abdecken, können in Bezug auf Oberflächenabfluss untersucht werden.
[+/-] Die Methode liefert eine robuste untere Grenze der Schäden durch Oberflächenabfluss. In der Realität sind die Schadenanteile von Oberflächenabfluss *(Kap. 2.2.2)* höchstwahrscheinlich höher.
[-] In fluvialen Überschwemmungsgebieten können sowohl Schäden durch Oberflächenabfluss wie auch Schäden durch ausufernde Gewässer auftreten – eine genaue Unterscheidung der Prozesse in diesen Gebieten ist nicht möglich.
[-] Die beiden Hauptprozesse Oberflächenabfluss und fluviale Überschwemmung können mit der Toolbox nicht weiter differenziert werden.
[-] Die Unsicherheiten der Resultate können bei der Anwendung auf Einzelschäden relativ gross sein – mit zunehmender Anzahl untersuchter Schäden nehmen sie jedoch ab.
[-] Die Methode setzt voraus, dass Schäden einzig durch Oberflächenabfluss oder ausufernde Gewässer verursacht wurden. Falls die Schadendaten auch andere Prozesse wie Grundwasseranstieg oder Rückstau aus der Kanalisation beinhalten, müssen die Schadenklassen der Toolbox *(Kap. 5.7.3)* sinngemäss interpretiert werden (z. B. Überschwemmungen in Gewässernähe und Überschwemmungen abseits von Gewässern).

Grenzen und Herausforderungen
Für die Klassierung der Schäden wird deren punktgenaue Verortung vorausgesetzt.
Die Zuordnung der Schäden zum Prozess Oberflächenabfluss ist abseits von Gewässern sehr zuverlässig, in der Nähe zu Gewässern jedoch weniger.

Hauptquellen
• Bernet, D.B., Prasuhn, V., Weingartner, R. (2017): «Surface water floods in Switzerland: what insurance claim records tell us about the damage in space and time», in: Natural Hazards and Earth System Sciences 17(9), S. 1659–1682. doi: *10.5194/nhess-17-1659-2017*
• Die ArcGIS Python-Toolbox ist auf GitHub publiziert und frei verfügbar: *github.com/SurfaceWaterFlooding/ClassifyDamageClaims*

4.8 — Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen





Kurzbeschrieb
Die Beobachtungsdaten umfassen acht verschiedene, gut dokumentierte Oberflächenabfluss-Ereignisse und können als Grundlage für die Kalibrierung, Validierung und die (Weiter-)Entwicklung von Modellen genutzt werden. Sie enthalten für jedes Ereignis beobachtete Überschwemmungsflächen, Niederschlagsganglinien, Grundlagendaten sowie einen kurzen Begleitbericht.

Typische Fragestellungen
• Wie gut kann ein Überschwemmungsmodell die Überschwemmungsflächen abbilden, die während verschiedenen Oberflächenabfluss-Ereignissen aufgetreten sind?
• Führt eine Weiterentwicklung eines Modellansatzes zur Abschätzung von Oberflächenabfluss zu einer Verbesserung der Modellresultate?
• Liefert ein Überschwemmungsmodell, das anhand eines spezifischen Oberflächenabfluss-Ereignisses aufgesetzt wurde, auch für andere Ereignisse eine gute Übereinstimmung zwischen beobachteter und modellierter Überschwemmungsfläche?

Aufwand
Gering: Die Daten können heruntergeladen und direkt für die jeweilige Anwendung eingesetzt werden. So sind z. B. die meisten Daten im Datenpaket vorhanden, die typischerweise für die Modellierung von Oberflächenabfluss benötigt werden, sodass ohne grösseren Aufwand mit der Modellierung begonnen werden kann.

Überschneidungen
Die Beobachtungsdaten können als Grundlage für die Kalibrierung und Validierung von Überschwemmungsmodellen *(Feinskalige Modellierung, Kap. 4.6)* genutzt werden.

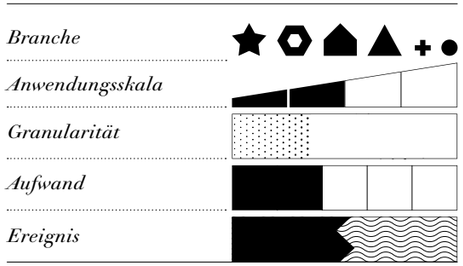
Stärken und Schwächen
[+] Die Beobachtungsdaten lassen den Vergleich zwischen Beobachtung und Simulation zu und können somit für die Kalibrierung, Validierung oder (Weiter-)Entwicklung von Modellen genutzt werden.
[+] Die Beobachtungsdaten ermöglichen es, verschiedene Modelle in unterschiedlichen Gebieten und unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu testen.
[+] Für die Modellierung der beobachteten Oberflächenabfluss-Ereignisse entfällt der Aufwand für die Datenaufbereitung weitgehend.
[-] Die Beobachtungsdaten enthalten aufgrund von Datennutzungseinschränkungen keine Terraindaten. Es sind jedoch Links zu Produkten zu den kantonalen GIS-Portalen angegeben, von wo hochaufgelöste Geländemodelle bezogen werden können.
[-] Die Überschwemmungsflächen von Oberflächenabfluss umfassen meist nicht das jeweils gesamte Einzugsgebiet und sind mit einigen schwer quantifizierbaren Unsicherheiten verbunden.
[-] Die Fallstudien sind auf relativ kleine Gebiete beschränkt.
[-] Die Bodendaten sind sehr grob aufgelöst. Werden die hydrologischen Vorgänge modelliert, so basieren diese auf derselben Auflösung und bilden die realen Verhältnisse möglicherweise nur bedingt ab.

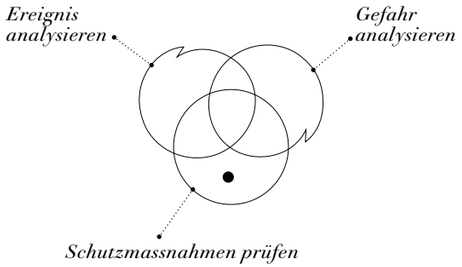
Grenzen und Herausforderungen
Die Überschwemmungsflächen umfassen Flächen, auf denen Oberflächenabfluss direkt bzw. indirekt über die hinterlassenen Spuren beobachtet wurde. Möglich ist jedoch, dass es auch ausserhalb dieser Überschwemmungsflächen zu Oberflächenabfluss kam, etwa zu einem anderen Zeitpunkt als dem der Beobachtung oder so, dass keine sichtbaren Spuren hinterlassen wurden. Beim Vergleich des Modells mit den Beobachtungen sollte dies berücksichtigt werden.

Hauptquelle
• Bernet, D.B., Stawicki, M., Zischg, A.P., Prasuhn, V., Weingartner, R. (2018c): «Observational data of surface water flood events», Mendeley Data, v2. doi: *10.17632/v8z6kwh8kw.2*

Nützliche und weiterführende Quelle
• Bernet, D.B., Zischg, A.P., Prasuhn, V., Weingartner, R. (2018b): «Modeling the extent of surface water floods in rural areas: Lessons learned from the application of various uncalibrated models», in: Environmental Modelling & Software 109, S. 134–151. doi: *10.1016/j.envsoft.2018.08.005*

4.9 — Gebäudeschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss





Kurzbeschrieb

Gebäude lassen sich mit konzeptionellen und baulichen Massnahmen wirksam vor Überschwemmungen durch Oberflächenabfluss und Hochwasser schützen. Die Informationsplattform *Schutz-vor-Naturgefahren.ch* zeigt Bauherren, Architektinnen und Ingenieuren je nach Gebäudetyp, Gebäudeteil und Situation geeignete Schutzmassnahmen auf und bietet spezifische Hintergrundinformationen sowie entsprechende Praxishilfen.

Typische Fragestellungen

- Wo kann Wasser auf dem Grundstück zu-, durch- und abfliessen, wo kann es sich gegebenenfalls ansammeln und aufstauen?
- Wie können Umgebungsgestaltung und Konzeption eines Neubaus den Wasserabfluss vom Gebäude wegführen?
- Gegen welche Ereignisse ist das Gebäude zu schützen und welche Schutzhöhe ist massgebend? Sind sämtliche Öffnungen (Zugänge in Untergeschosse und Tiefgaragen, Fenster und Türen, Lichtschächte, Lüftungsöffnungen, Leitungsdurchführungen etc.) geschützt? Sind die Materialien im betroffenen Bereich resistent gegen Feuchtigkeit und mechanische Beanspruchung?

Aufwand

Gering bis mittel: Die Erstabklärung ist mit geringem bis mittlerem Aufwand verbunden. Der Aufwand für die Planung und Umsetzung von Schutzmassnahmen hängt stark von der Gefährdung, dem möglichen Schadenausmass, dem Zeitpunkt im Bauprozess und davon ab, ob detailliertere Abklärungen erforderlich sind. Wird der Schutz vor Oberflächenabfluss von Beginn weg mitgeplant, lässt sich beim Neubau i. d. R. ein zuverlässiger Schutz weitestgehend ohne Mehrkosten realisieren.

Überschneidungen

Für eine erste, grobe Beurteilung, ob und in welchem Bereich ein Gebäude potenziell durch Oberflächenabfluss betroffen sein kann, reicht in vielen Fällen die Information aus der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* in Kombination mit einer Begehung vor Ort zwecks Plausibilisierung *(Kap. 4.1.2)* aus. Werden zusätzliche Angaben zur Dimensionierung von Schutzmassnahmen benötigt, kann eine detaillierte Betrachtung *(Punktuelle Gefahrenabklärung, Kap. 4.4 und/oder Feinskalige Modellierung, Kap. 4.6)* helfen. Dies ist ebenfalls erforderlich, wenn die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss infolge von Geländeanpassungen oder Bautätigkeiten nicht mehr die aktuelle Situation widerspiegelt oder die Interpretation z. B. aufgrund von Feinstrukturen oder einer wenig ausgeprägten Topografie schwierig ist.

Stärken und Schwächen

[+] Die zum Schutz vor Oberflächenabfluss in kauf zu nehmenden gestalterischen und baulichen Einschränkungen sind meist gering: Oft entscheiden, z. B. bei einer Schwelle zur Garageneinfahrt, wenige Zentimeter darüber, ob das Untergeschoss geflutet wird oder nicht.

[+] Massnahmen zum Schutz vor Oberflächenabfluss lassen sich i. d. R. einfach umsetzen und sind daher sehr wirtschaftlich. Dies gilt speziell für Neubauten und wenn bei der Planung von Neu- und Umbauten schon früh an den Schutz vor Naturgefahren gedacht wird.

[+] Gebäude können gut geschützt werden; die konzeptionellen und technischen Lösungsansätze hierzu sind vorhanden. *Schutz-vor-Naturgefahren.ch* zeigt auf, wie viel Schutz es braucht und welche Massnahmen sich eignen. Sind die Fliesswege und maximalen Wassertiefen schwer abschätzbar oder könnten sich grössere Wassermengen aufstauen, ist die Schutzhöhe am Objekt durch eine Fachperson zu beurteilen *(Punktuelle Gefahrenabklärung, Kap. 4.4; Feinskalige Modellierung, Kap. 4.6)*.

[+] Bauliche, permanente Schutzmassnahmen bieten unabhängig von menschlichem Zutun zuverlässigen Schutz (vorausgesetzt sie wurden richtig dimensioniert).

[-] Mobile (nicht automatisch ausgelöste) Schutzmassnahmen sind gegen Oberflächenabfluss nicht wirksam, da normalerweise keine Vorwarnzeit gegeben ist.

[-] Abschirmungsmassnahmen können den Wasserabfluss auch auf benachbarten Grundstücken verändern. Sämtliche Schutzmassnahmen sind so zu gestalten, dass eine relevante Mehrgefährdung anderer Grundstücke ausgeschlossen werden kann.

[-] In Einzelfällen können Zielkonflikte entstehen, z. B. wenn in einer Mulde ein Gebäude in die Tiefe gebaut wird, um die Anzahl der Stockwerke zu erhöhen. Damit führen die Zugänge zum Gebäude hinab und sind besonders durch Oberflächenabfluss gefährdet.

[-] Die Liegenschaftsentwässerung ist nur auf häufig wiederkehrende Niederschlagsereignisse (5- bis 10-jährlich) dimensioniert und entwässert i. d. R. nur befestigte Grundstücksbereiche. Sie kann durch Hagel, Laub, Äste oder Sedimente verstopfen und muss deshalb regelmässig unterhalten werden.

Grenzen und Herausforderungen

Der Beizug einer Fachperson ist erforderlich, wenn Hinweise auf grosse Wassertiefen oder hohe Fliessgeschwindigkeiten vorliegen, Unsicherheiten in der Plausibilisierung bestehen oder die Fliesswege schwer zu beurteilen sind.

Auch ein Grundwasseranstieg oder ein Rückstau aus der Kanalisation kann Schäden verursachen, die allerdings andere Schutzmassnahmen erfordern (z. B. den Einbau von Rückstauklappen in Abwasserleitungen oder, falls durch Auftrieb des Gebäudes noch grössere Schäden entstehen könnten, die Verstärkung des Fundaments bzw. die sogenannte nasse Vorsorge).

Hauptquelle

- *Schutz-vor-Naturgefahren.ch*

Nützliche und weiterführende Quellen

- SIA Norm 261/1: «Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen», überarbeitete Version erscheint 2019.
- SIA Dokumentation D 0260: «Entwerfen und Planen mit Naturgefahren», erscheint Ende 2018. *www.schutz-vor-naturgefahren.ch/D0260*
- SIA Dokumentation D 0261: «Hochwasser», erscheint Anfang 2019. *www.schutz-vor-naturgefahren.ch/D0261*

5

Anwendungsbeispiele

Jedes Werkzeug wird für eine Fragestellung in einem gemeinsamen Gebiet angewendet. Die konkrete Fragestellung und die Rahmenbedingungen sind rein hypothetisch. Etwaige Übereinstimmungen mit der realen Ausgangslage sind daher zufälliger Natur. Im Rahmen eines einzigen Anwendungsbeispiels kann nicht das gesamte Anwendungsspektrum der jeweiligen Werkzeuge illustriert werden. Die Beispiele spiegeln jedoch eine typische Situation wider, die andernorts genauso auftreten könnte.

Im nächsten Kapitel wird das Anwendungsgebiet kurz vorgestellt *(Kap. 5.1)*. Anschliessend folgt je Werkzeug ein entsprechendes Anwendungsbeispiel *(Kap. 5.2–5.9)*.

5.1 — Anwendungsgebiet

Das gemeinsame Anwendungsgebiet liegt in Niederscherli, in der Gemeinde Köniz im Kanton Bern *(Abb. 5.1)*. Es wurde ausgewählt, weil es dort in den vergangenen Jahren wiederholt zu – teils erheblichen – Oberflächenabfluss-Ereignissen gekommen ist.

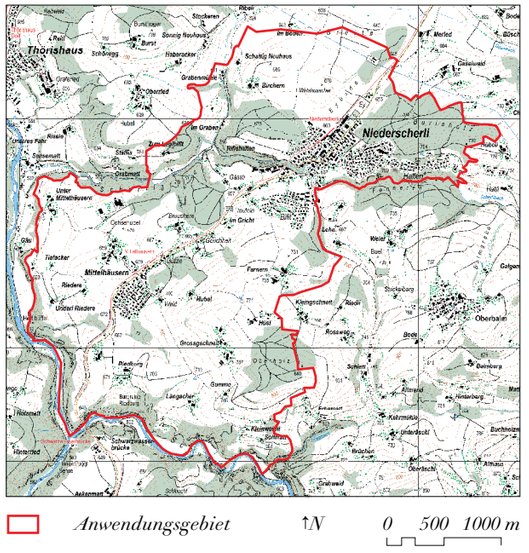
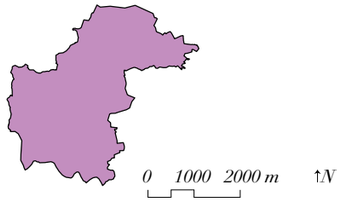


Abb. 5.1: Übersichtskarte des gemeinsamen Anwendungsgebiets.

5.2 — Gefährdungskarte Oberflächenabfluss



5.2.1 Fragestellung

Wo liegen die potenziellen Gefahrengebiete in Bezug auf Oberflächenabfluss in Niederscherli? Sind Gebiete mit hohem Schadenpotenzial sowie Parzellen mit laufenden Baubewilligungsverfahren möglicherweise gefährdet? Falls eine potenzielle Gefährdung vorliegt, welche weiteren Schritte sind angezeigt?

5.2.2 Ausgangslage

Ein Gemeinderat von Köniz will sich ein Bild über die Gefährdungssituation in Bezug auf Oberflächenabfluss im Ortsteil Niederscherli machen. Neben der Prozessbetrachtung innerhalb des gesamten Ortsgebiets interessiert er sich ausserdem für die potenzielle Gefährdungssituation der ihm bekannten Gebiete mit hohem Schadenpotenzial sowie der laufenden Baubewilligungsverfahren. Er nimmt die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss zu Hilfe, die einen raschen Überblick über den gesamten Ortsteil ermöglicht *(Abb. 5.2)*.

5.2.3 Grundlagen

Datenbedarf
Einzig benötigter Datensatz ist die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss. Dieser steht online auf *Schutz-vor-Naturgefahren.ch* und *map.geo.admin.ch* (Geokatalog – Natur und Umwelt – Naturbedingte Risiken – Gefährdungskarte Oberflächenabfluss) zur Verfügung.

Methodischer Hintergrund
Um die Resultate der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss korrekt interpretieren zu können, ist Folgendes zu berücksichtigen:
– Die Karte ist ein reines Modellierungsprodukt, das Hinweise auf eine mögliche Gefährdung durch Oberflächenabfluss bei einem seltenen Ereignis gibt (Wiederkehrperiode > 100 Jahre). Die dargestellten Abflussbereiche sind im Gelände zu plausibilisieren.
– Es ist davon auszugehen, dass die Siedlungsentwässerung bei Ereignissen, die seltener als alle 5 bis 10 Jahre auftreten, überlastet ist. Sie wurde deshalb bei der Modellierung als voll betrachtet und nicht speziell berücksichtigt.
– Die Auswirkung von Durchlässen und Unterführungen auf den Oberflächenabfluss wird auf der Karte nicht abgebildet.

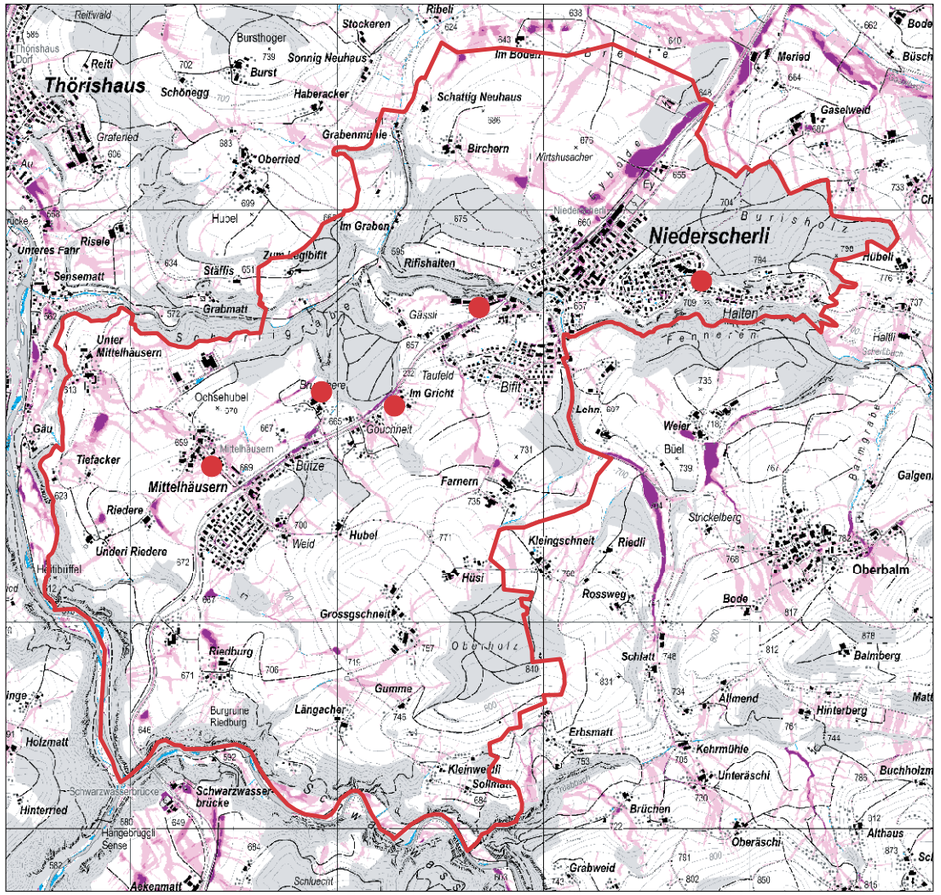


Abb. 5.2: Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Niederscherli mit fiktiven Objekten im Baubewilligungsverfahren.

– Wasser, das einem Gewässer zugeführt wurde, wird per Definition *(Kap. 2.1)* nicht weiter als Oberflächenabfluss betrachtet. Fluviale Überschwemmungen werden deshalb nicht in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss dargestellt. Sie sind in den Gefahrenhinweis- und/oder Gefahrenkarten Wasser enthalten *(www.bafu.admin.ch/naturgefahren)*.
– Unterirdische Wasserflüsse wurden nicht modelliert.

5.2.4 Anwendung des Werkzeugs Schritt für Schritt

Für die Analyse der möglichen Gefährdungssituation in Niederscherli bzw. der Gefahrenstellen mit hohem Schadenpotenzial und der Objekte im laufenden Baubewilligungsverfahren geht der Gemeinderat nach folgendem Schema vor:

Schritt 1: Fliesswege Oberflächenabfluss
Wo fliesst das Wasser durch und welche Gebiete sind potenziell betroffen?

Schritt 2: Schlüsselstellen in Bezug auf Gefährdung und Risiko
Liegen Objekte mit besonders hohen Werten (z. B. Industriegebiete) oder Sonderobjekte (Schulen, Tankstellen etc.) innerhalb der Gefährdungsfläche?

Schritt 3: Gefährdungssituation von Bauvorhaben
Liegen die Bauvorhaben in potenziell durch Oberflächenabfluss gefährdeten Gebieten und wenn ja: Woher ist die Gefährdung zu erwarten? Sind detaillierte Abklärungen in Bezug auf den Schutz vor der Gefährdung notwendig?

Schritt 4: Weiteres Vorgehen
Wie kann die Gefährdung durch Oberflächenabfluss ins Baubewilligungsverfahren bzw. in die Bau- und Zonenordnung integriert werden? Wo werden Abflusskorridore freigehalten? Wie sieht es mit den bestehenden Gebäuden und dem Einbezug in die Notfallplanung aus? Wie werden die gewonnenen Erkenntnisse kommuniziert und weiterverfolgt?

5.2.5 Resultate

Folgende Erkenntnisse hat der Gemeinderat mithilfe der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss gewonnen:

Fliesswege Oberflächenabfluss
– Fliesswege sind insbesondere auf offenen Flächen und an Siedlungsrändern deutlich sichtbar und zuverlässig abgebildet. Der Oberflächenabfluss folgt hauptsächlich der Geländetopografie. In Rinnen und Mulden läuft das Wasser zusammen. Gewässer nehmen Oberflächenabfluss auf *(Abb. 5.3)*.
– Ausgehend von einer minimalen Fliesstiefe unterscheidet die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss zwischen nicht überschwemmten Flächen (Fliesstiefe ist kleiner als minimale Fliesstiefe) und potenziell von Oberflächenabfluss überschwemmten Flächen (Fliesstiefe ist gleich oder grösser als minimale Fliesstiefe). Die modellierten Fliesswege können daher unterbrochen sein, z. B. wenn sich ein Abflusskorridor verbreitert und die Fliesstiefe im Zuge dessen bis unter die minimale Fliesstiefe sinkt *(Abb. 5.3)*.
– Versiegelte Flächen wie Strassen bilden häufig wichtige Leitstrukturen für die Fliesswege von Oberflächenabfluss *(Abb. 5.4)*. Diesem Umstand wurde in der Modellierung durch die künstliche Absenkung der versiegelten Flächen und Strassen um 25 cm Rechnung getragen.

– Da innerhalb von Siedlungen zahlreiche Kleinststrukturen (Randsteine, Mauern etc.) die Fliesswege beeinflussen können, kann die Genauigkeit der Gefährdungskarte innerhalb von Siedlungen abnehmen *(Abb. 5.5)*. Ebenfalls können Terrainveränderungen und/oder Neubauten die in der Gefährdungskarte abgebildeten Fliesswege verändern.

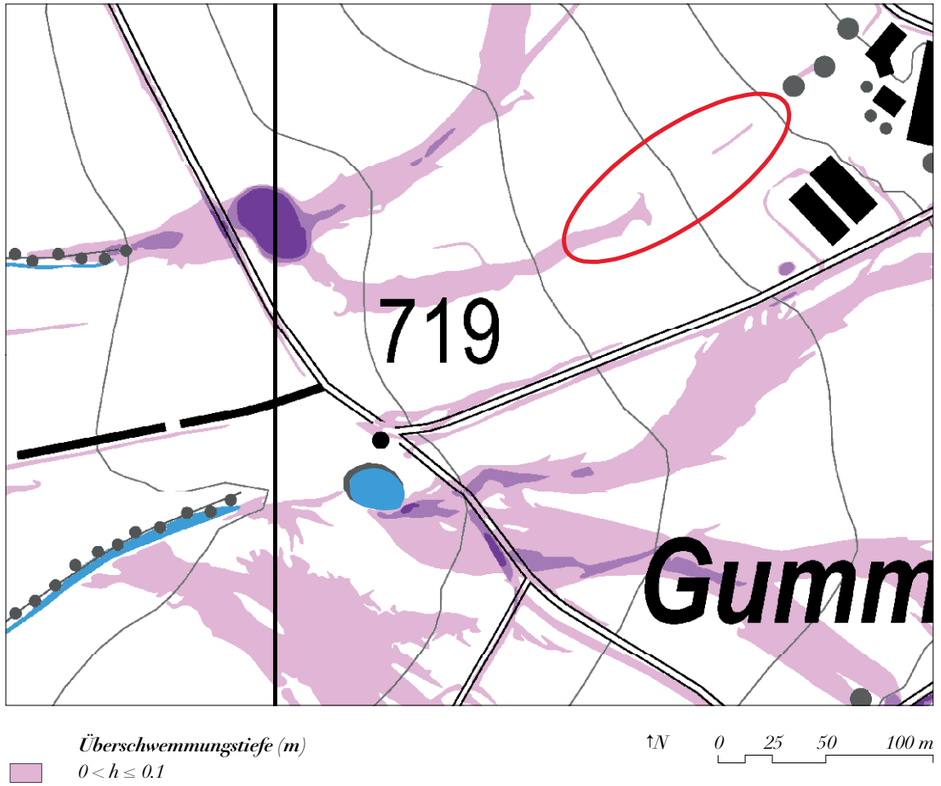


Abb. 5.3: Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen bzw. auf offenen Flächen sind Hauptabflusswege (violett) gut erkennbar. Die in der Modellierung berücksichtigten Gewässer (blau) führen Oberflächenabfluss ab. Fluviale Überschwemmungen werden nicht dargestellt und sind in der Gefahrenkarte bzw. Gefahrenhinweiskarte Wasser enthalten. Aufgrund der angewandten Methode können Fliesswege unterbrochen sein, wie im rot markierten Bereich ersichtlich ist.

Schlüsselstellen in Bezug auf Gefährdung und Risiko
Besondere Beachtung ist Objekten und Gebieten mit erhöhtem Schadenpotenzial zu schenken. Dem Gemeinderat fällt auf, dass das Schulhaus und der Bahnhof innerhalb der durch Oberflächenabfluss potenziell gefährdeten Flächen liegen *(Abb. 5.5)*. Insbesondere in intensiv genutzten Untergeschossen kann eindringendes Wasser hohe Schäden verursachen. Da Oberflächenabfluss ohne oder nur mit sehr kurzen Vorwarnzeiten auftritt, sind im schlimmsten Fall auch Personen gefährdet. Diese Situation könnte sowohl im Schulhaus als auch in der neuen Einstellhalle am Bahnhof eintreten, da schon wenige Zentimeter Wasser an einer kritischen Stelle zu einer Überflutung führen können. Der Gemeinderat weist die zuständigen Personen unverzüglich auf die Gefährdung hin und empfiehlt, weitere, detaillierte Abklärungen zu treffen *(Schritt 4)*.

Gefährdungssituation von Bauvorhaben
Drei der fünf eingegangenen Baugesuche liegen in einem potenziell durch Oberflächenabfluss gefährdeten Gebiet *(Abb. 5.6)*. Die möglichen Auswirkungen auf und der Schutzbedarf für diese Gebäude muss geprüft werden *(Gebäudeschutzmassnahmen, Kap. 4.9)*, gegebenenfalls sind zusätzliche Abklärungen hinsichtlich der Gefährdung notwendig *(Punktuelle Gefahrenabklärung, Kap. 4.4; Feinskalige Modellierung, Kap. 4.6)*.

Weiteres Vorgehen
Der Gemeinderat informiert das Bauinspektorat, die Schulleitung und die BLS als Betreiberin der Einstellhalle am Bahnhof über die in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ausgewiesene potenzielle Gefahrenlage. Unter Berücksichtigung der lokalen Gefährdung, der bestehenden Gebäudestruktur und der beabsichtigten Nutzung sollen gemeinsam mit Experten Schutzmassnahmen ausgearbeitet und umgesetzt werden (*Gebäudeschutzmassnahmen, Kap. 4.9*).

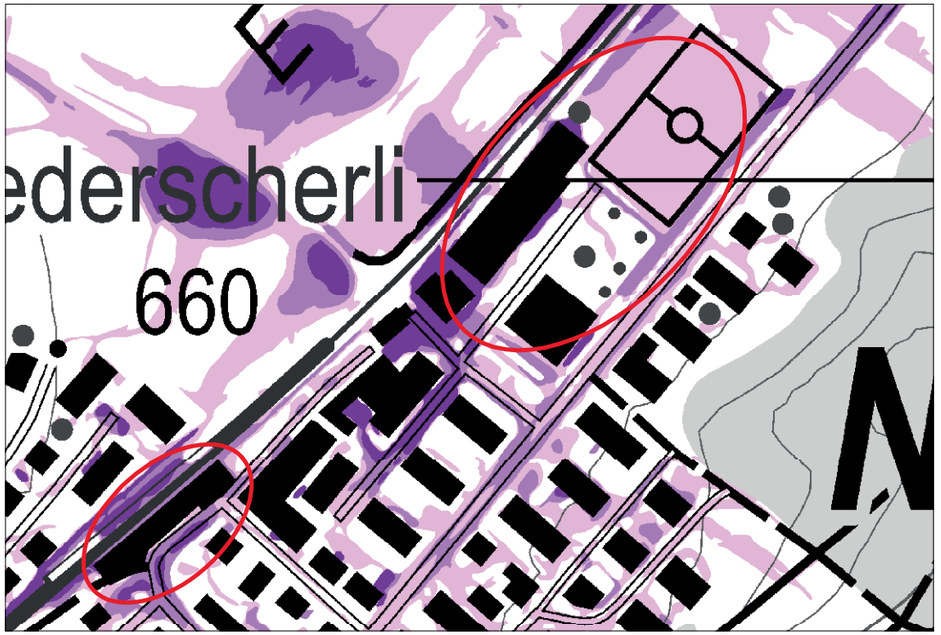
Bei den Baugesuchen, deren Prüfung eine potenzielle Gefährdung durch Oberflächenabfluss ergab, informiert der Bauinspektor die Bauherren und die mit der Planung betrauten Personen. Mithilfe der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss und anhand von Erfahrungen aus vergangenen Ereignissen sensibilisiert er sie und legt ihnen die Prüfung der Plausibilität der dargestellten Fliesswege im Gelände nahe. Bei Hinweisen auf sich am Gebäude oder an Zugängen, Einfahrten und Öffnungen aufstauendes Wasser sollte die Bauherrschaft frühzeitig Schutzmassnahmen ergreifen. Sind die Fliesswege und Wassertiefen bzw. Wirkungshöhen schwer abschätzbar oder könnten sich grössere Wassermengen aufstauen, ist die lokale Gefährdung und die Schutzhöhe am Objekt durch eine Fachperson zu beurteilen *(Punktuelle Gefahrenabklärung, Kap. 4.4; Feinskalige Modellierung, Kap. 4.6; Gebäudeschutzmassnahmen, Kap. 4.9)*. Der Gemeinderat empfiehlt den Bauherren, frühzeitig Kontakt mit der zuständigen kantonalen Fachstelle und der Gebäudeversicherung aufzunehmen. Das Bauinspektorat verweist auf seiner Webseite auf die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Gefährdungskarte, Kap. 4.2)* und rät Bauwilligen, die Gefährdung und die entsprechenden Auswirkungen an ihrem Standort zu prüfen und gegebenenfalls Schutzmassnahmen einzuplanen.

Abb. 5.4: Versiegelte Flächen wie Strassen bilden wichtige Leitstrukturen für den Oberflächenabfluss und vermögen den Abfluss in neue Gebiete zu lenken. Im rot markierten Bereich folgt der Oberflächenabfluss z. B. dem Strassenverlauf und nicht der Richtung des Hauptgefälles.
Abb. 5.5: Im Siedlungsinnern nimmt die Genauigkeit der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ab, da die zahlreichen Kleinstrukturen, welche die Abflusswege massgeblich beeinflussen können, in den Eingabedatensätzen nur beschränkt abgebildet werden. Die roten Ellipsen markieren das Schulhaus Niederscherli mit Sportplatz (oben rechts) und eine (fiktive) Einstellhalle am Bahnhof (unten links), die besonders gefährdet sind.

Abb. 5.4



Abb. 5.5



5.2.6 Fazit

Mit der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss steht ein Werkzeug zur Verfügung, das von Behörden, Architektinnen, Ingenieuren, Privatpersonen etc. einfach genutzt werden kann und flächendeckend wertvolle Hinweise über die Prozessräume und mögliche Gefährdungen durch Oberflächenabfluss liefert.

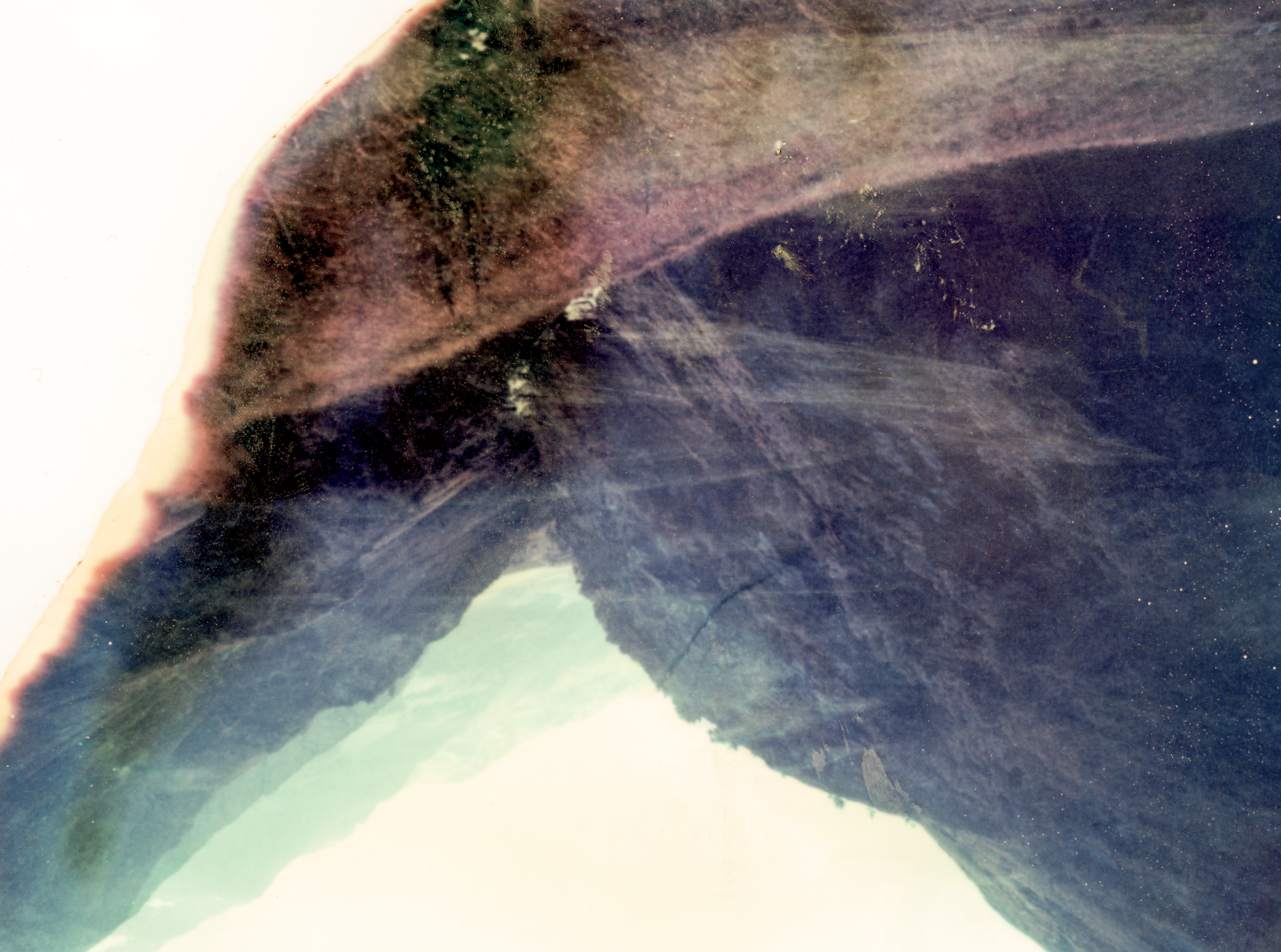
Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ist eine Hinweiskarte im Massstab 1:12'500, die auf Modellierungsresultaten basiert. Bei einer weitergehenden Verwendung der Resultate sind diese vor Ort zu plausibilisieren, zu interpretieren *(Beurteilung vor Ort, Kap. 4.1)* und gegebenenfalls zu ergänzen.



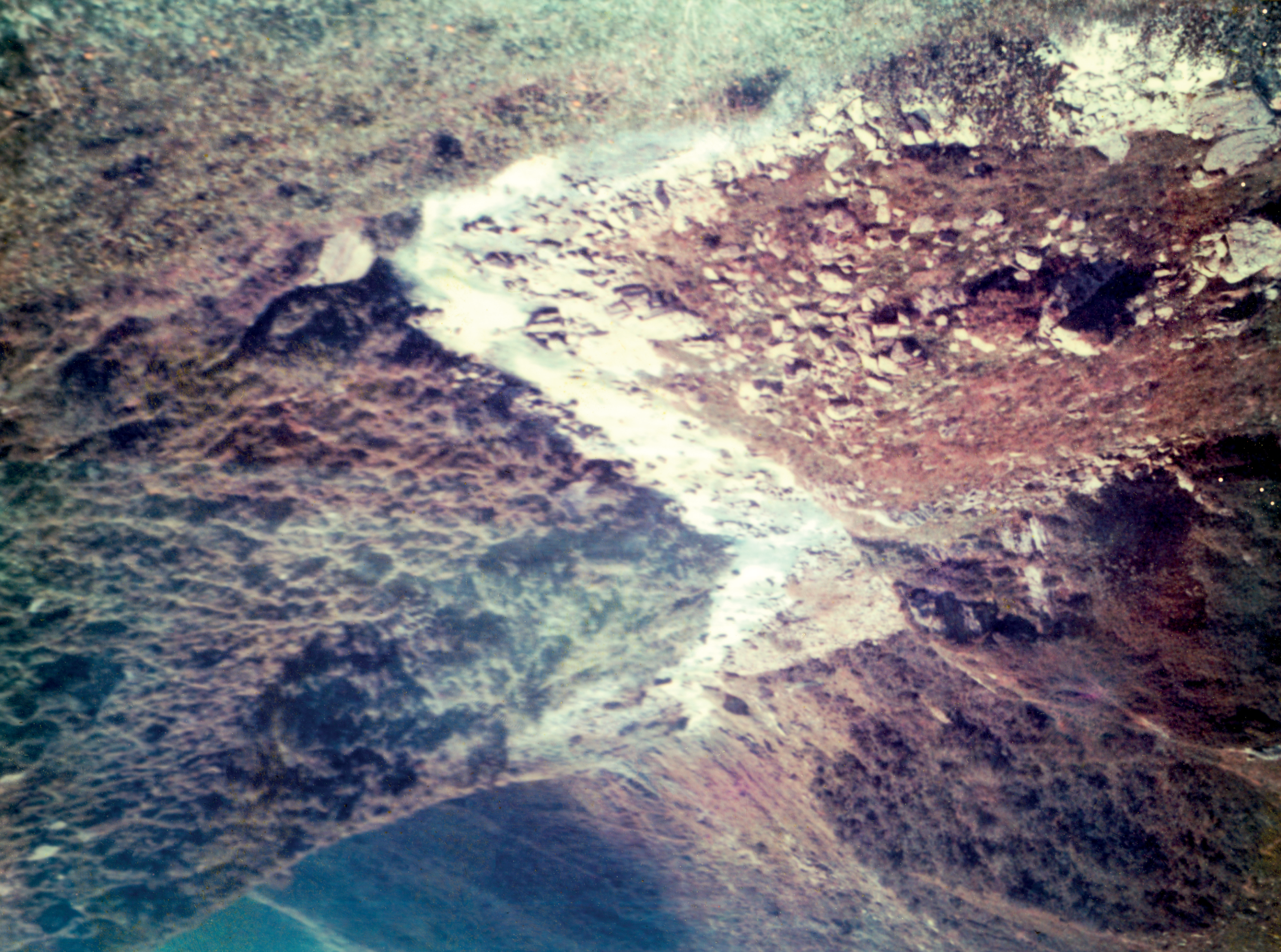
Abb. 5.6: Gefährdungssituation bei Einzelobjekten im Baubewilligungsverfahren.













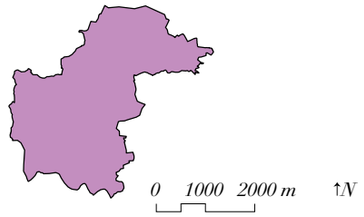
Ester Vonplon

Val Curciusa

Das alpine Hochtal Val Curciusa ist ein wundersam geheimnisvoller Ort. Dorthin kommt man nur zu Fuss. Und die weitverzweigten Wasserläufe sind alle noch genau so, wie sie die Natur einst geschaffen hat. Die in Castrisch/GR lebende Künstlerin Ester Vonplon (*1980) kennt diesen Ort schon länger. Im Sommer 2018 ist sie erneut dorthin gewandert, um das Tal mit der Kamera einzufangen. Die leichten Überblendungen, Verwischungen und Lichtstreifen auf den Fotografien lassen sie wie Erinnerungen an eine vergangene Zeit erscheinen – und während man sie anschaut, kommt man dem magischen Erlebnis in der Natur ganz nah.
Ester Vonplon inszeniert in ihren Naturfotografien Räume von grosser atmosphärischer Dichte. Sie werfen Fragen nach unserem Umgang mit der Natur auf und danach, welche Rolle wir als Individuen im Hinblick auf eine nachhaltige Zukunftsgestaltung einnehmen wollen. Vonplons Arbeiten begleiten uns auf sinnliche Weise auf den Prüfstand, auf dem wir uns fragen können, wer wir in dieser Welt sein möchten: jemand, der sich um die Zukunft sorgt und sich für eine positive Entwicklung starkmachen will – oder jemand, der vor allem konsumiert und nicht nach dem Morgen fragt.

Dorothea Strauss, September 2018

5.3 — Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte



5.3.1 Fragestellung

Wie gross sind das Erosionsrisiko und die Wahrscheinlichkeit von Gewässerbelastungen durch Oberflächenabfluss und Erosion von landwirtschaftlich genutzten Flächen in der Region Niederscherli? Können Hotspots für die Massnahmenplanung identifiziert werden?

5.3.2 Ausgangslage

In der Region Niederscherli wurden in der Vergangenheit mehrfach grössere Erosionsschäden im Landwirtschaftsland beobachtet. In mehreren kleinen Fliessgewässern wurden hohe Pflanzenschutzmittelkonzentrationen gemessen. Die kantonale Behörde möchte die beitragenden Flächen identifizieren und mit den Bewirtschaftern Massnahmenpläne zur Verminderung von Erosion und Gewässereintrag erstellen.

5.3.3 Grundlagen

Erosionsrisikokarte im 2 × 2-Meter-Raster (ERK2)
Die ERK2 bildet das potenzielle Erosionsrisiko der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Schweiz vom Talgebiet bis zur Bergzone 2 im 2 × 2-Meter-Raster ab. Grundlage bildet eine angepasste Version des Erosionsmodells «Allgemeine Bodenabtragsgleichung», die Einflüsse von Hangneigung (S), Hanglänge (L), Erodibilität der Böden (K) und Erosivität der Niederschläge (R) miteinander verrechnet. Die Reliefparameter wurden über einen Multiple-flow-Algorithmus aus dem digitalen Geländemodell mit einer Auflösung von 2 m im GIS abgeleitet *(L-Faktorkarte, Abb. 5.8)*. Dadurch werden die Fliesswege für Oberflächenabfluss in Geländemulden (sogenannten Talwegen) sehr gut abgebildet. Die Berechnungsgrundlage bilden Feldblöcke, die hydrologische Kleinsteinzugsgebiete der landwirtschaftlichen Nutzfläche darstellen, in die kein Wasser von ausserhalb hineinfliessen und aus denen kein Wasser herausfliessen kann. Die Einteilung in verschiedene Gefährdungsstufen (grün = gering, gelb = mittel, rot = hoch) erfolgt durch die Multiplikation der Faktoren S, L, K und R.

Gewässeranschlusskarte im 2 × 2-Meter-Raster (GAK2)
Die GAK2 bildet ab, inwieweit die Flächen der ERK2 direkt oder indirekt an Gewässer angeschlossen sind. Es wurden anhand der Strassenklassen und deren Lage im Relief alle Strassen und Wege in entwässerte und nicht entwässerte Strassen klassiert. Für die Berechnung

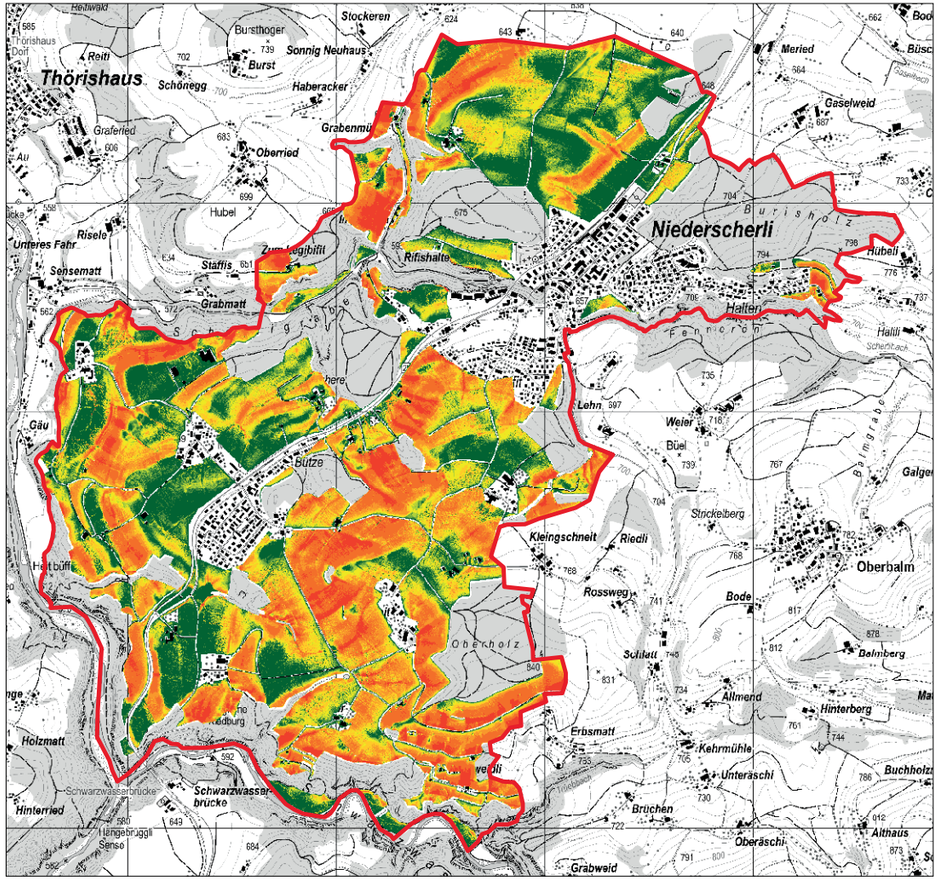


Abb. 5.7a: Erosionsrisikokarte (ERK2) für das Gebiet Niederscherli.

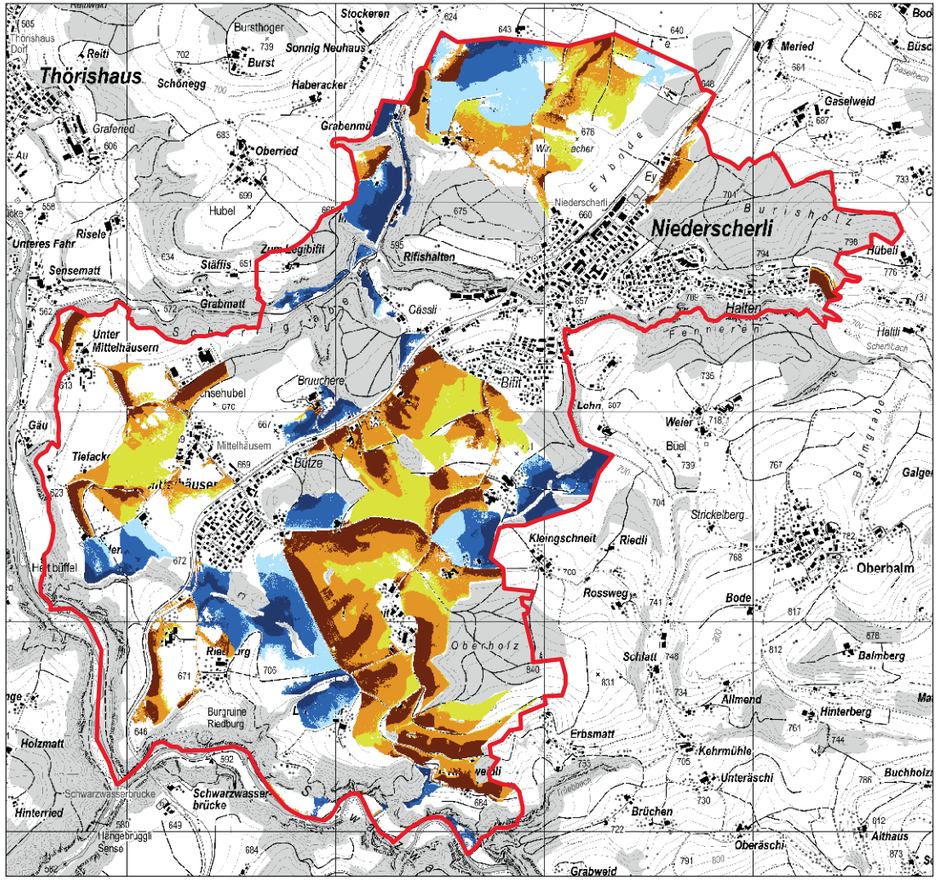


Abb. 5.7b: Gewässeranschlusskarte (GAK2) für das Gebiet Niederscherli.

wurde dann angenommen, dass alles Wasser, das in eine definierte Tiefenlinie oder auf eine entwässerte Strasse fliesst, auch ins nächste Gewässer gelangt. Entwässerte Strassen und definierte Tiefenlinien bilden zusammen mit dem Oberflächengewässernetz das erweiterte Gewässernetz. Flächen mit weniger als 2 % Neigung wurden als nicht zum Abfluss beitragende Flächen ausgeschnitten. Von jeder Rasterzelle wurde dann in einem GIS die Oberflächenfliessdistanz zum erweiterten Gewässernetz berechnet. Die Fliessdistanz zum erweiterten Gewässernetz wurde mit den Erosionsrisikoklassen unter Zuhilfenahme von Gewichtungsfaktoren verrechnet und zu drei Klassen der Anschlusswahrscheinlichkeit (niedrig, mittel, hoch) aggregiert. Flächen mit hohem Erosionsrisiko und geringer Fliessdistanz zum erweiterten Gewässernetz haben die grösste Anschlusswahrscheinlichkeit, Flächen mit geringem Erosionsrisiko und grosser Fliessdistanz haben die geringste Anschlusswahrscheinlichkeit.

5.3.4 Anwendung des Werkzeugs Schritt für Schritt

Die Erosionsrisikokarte und die Gewässeranschlusskarte sind auf *map.geo.admin.ch* (Geokatalog – Natur und Umwelt – Boden – Erosionsrisiko quantitativ bzw. Gewässeranschluss erweitert) aufrufbar: Den gewünschten Ort in die Suchmaske eingeben, einen Hintergrund auswählen und zur gewünschten Region/Parzelle zoomen. Der gewählte Kartenausschnitt kann ausgedruckt und/oder gespeichert werden. Werden die GIS-Daten oder die L-Faktorkarte benötigt, können diese beim Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) oder bei Agroscope angefordert werden. Damit sind auch statistische Auswertungen möglich.

5.3.5 Resultate

Übersicht über das Untersuchungsgebiet

56 % der Flächen im gewählten Untersuchungsgebiet sind landwirtschaftlich genutzt. 46 % dieser Flächen zeigen gemäss ERK2 ein hohes bis sehr hohes standortbedingtes Erosionsrisiko (>100 t/(ha × a), siehe orange und rote Flächen in *Abb. 5.7a* und *Abb. 5.7b*).

Ein grosser Teil der landwirtschaftlich genutzten Flächen hat in der GAK2 einen Gewässeranschluss (58 %), viele davon mit mittlerer (45 %) bis hoher (27 %) Anschlusswahrscheinlichkeit. Gut zwei Drittel der Flächen (67 %) haben einen indirekten Gewässeranschluss über Strassen und Wege.

Beispiele für indirekten Gewässeranschluss

Der grösste Teil (75 %) einer exemplarischen Ackerparzelle *(Abb. 5.8)* im Südosten des Untersuchungsgebiets weist mit angenommener ackerbaulicher Nutzung und konventioneller Bodenbearbeitung ein hohes bis sehr hohes potenzielles Erosionsrisiko auf (>100 t/(ha × a), siehe orange und rote Flächen in *Abb. 5.8*). Die Strasse im Norden der Parzelle wurde als entwässerte Strasse klassiert, entsprechend besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit für indirekten Gewässereintrag auf einem grossen Teil der Fläche (38 %). Dem Bewirtschafter dieser Parzelle sollten Massnahmen zur Verminderung von Oberflächenabfluss (z. B. konservierende Bodenbearbeitung) empfohlen werden. Die L-Faktorkarte zeigt, dass in der Mitte der Parzelle mit konzentriertem Oberflächenabfluss und Talwegerosion zu rechnen ist. Insbesondere in dieser Mulde sowie an deren Übertritt auf die Strasse sind zusätzliche Schutzmassnahmen wie z. B. ein genügend breiter Pufferstreifen entlang der Strasse zu ergreifen, um Einträge von Pflanzenschutzmitteln ins angeschlossene Gewässer zu verringern.

Abb. 5.8

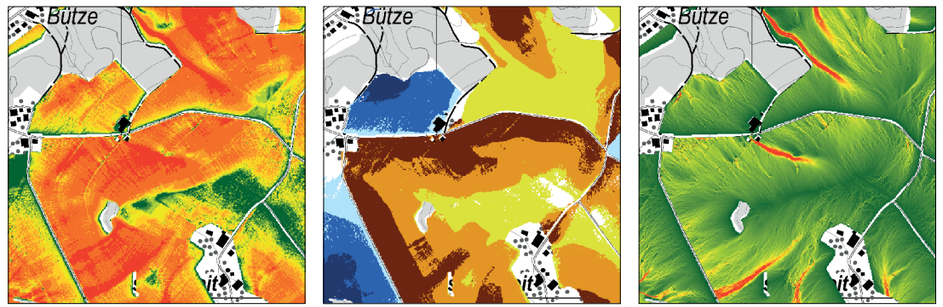
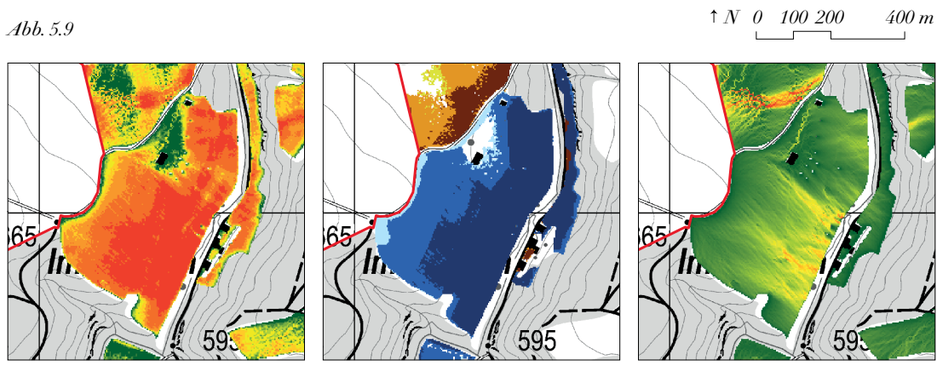


Abb. 5.9



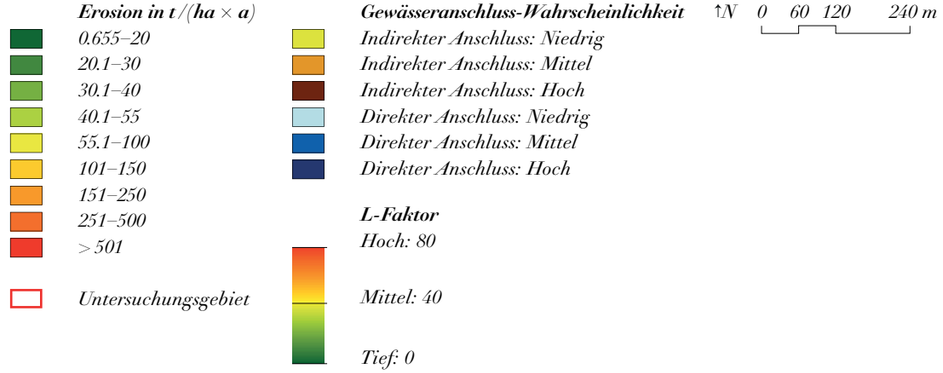


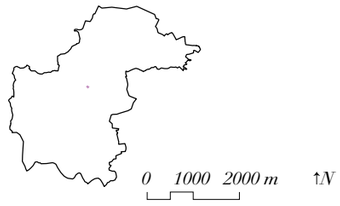
Abb. 5.8: Erosionsrisikokarte (ERK2, links), Gewässeranschlusskarte (GAK2, Mitte) und L-Faktorkarte (rechts) für eine ausgewählte Ackerparzelle mit indirektem Gewässeranschluss im Gebiet Niederscherli.
Abb. 5.9: Erosionsrisikokarte (ERK2, links), Gewässeranschlusskarte (GAK2, Mitte) und L-Faktorkarte (rechts) für eine exemplarische Ackerparzelle mit direktem Gewässeranschluss im Nordosten des Untersuchungsgebiets.

Beispiele für direkten Gewässeranschluss
Die exemplarische Ackerparzelle in *Abb. 5.9* grenzt direkt an einen kleinen Bach. Sie ist insgesamt stark geneigt, und die Fliessdistanz zum Bach ist klein. Entsprechend besteht auf einem grossen Teil der Parzelle eine hohe Wahrscheinlichkeit für direkten Gewässereintrag. Sie sollte daher aus der ackerbaulichen Nutzung genommen und in eine Dauergrünlandfläche oder ökologische Ausgleichsfläche überführt werden.

5.3.6 Fazit

Die ERK2 und GAK2 zeigen eine Art «Worst-Case-Szenario», da hier alle landwirtschaftlichen Nutzflächen als permanente Schwarzbrachen ohne Erosionsschutzmassnahmen, Pufferstreifen oder bauliche Massnahmen angenommen werden. Mithilfe der Karten lassen sich somit die Flächen identifizieren, die bei nicht standortgerechter Bewirtschaftung ein erhebliches Risiko für Bodenerosion und/oder bodenerosionsbedingte Stoffeinträge in Gewässer aufweisen. Sie bilden damit Hilfsmittel für eine zielgerichtete Massnahmenplanung im Boden- und Gewässerschutz, sei es auf der erosionsgefährdeten Parzelle selbst (onsite) oder für die Anlage geeigneter Pufferstreifen oder anderer baulicher Massnahmen an der Übertrittstelle ins Gewässer (offsite). Die Karten dienen vor allem der Prävention, d. h. der Sensibilisierung und Beratung. Für die Beurteilung von konkreten Schadenfällen sind Feldbesichtigungen *(Beurteilung vor Ort, Kap. 4.1)* und zusätzliche Erhebungen unerlässlich. Schliesslich können mithilfe der Karten keine quantitativen Angaben zum Sediment-, Nähr- oder Schadstoffeintrag gemacht werden. Dafür eignen sich Modelle wie z. B. das Rainfall-Runoff-Phosphorus-Modell für die Abschätzung von Phosphorverlusten *(Kap. 4.5)*.

5.4 — Punktuelle Gefahrenabklärung



5.4.1 Fragestellung

In welchem Ausmass ist ein geplanter Neubau durch Oberflächenabfluss gefährdet? Sind aufgrund der Gefährdung Schutzmassnahmen vorzusehen?

5.4.2 Ausgangslage

Ein Grundbesitzer will auf seinem Grundstück ein neues Wohngebäude errichten *(Abb. 5.10)* und beauftragt deshalb ein Architekturbüro mit der Planung des Gebäudes. Der Architekt informiert sich vorausschauend auf der Informationsplattform *Schutz-vor-Naturgefahren.ch* über mögliche Naturgefahren, insbesondere über Oberflächenabfluss *(Gebäudeschutzmassnahmen, Kap. 4.9)*. Aus der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* geht hervor, dass der Standort innerhalb eines Fliesspfads von Oberflächenabfluss liegt. Die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss ist an dieser Stelle jedoch nicht mehr aktuell: Nach ihrer Erstellung wurde oberhalb des geplanten Neubaus ein Gebäude errichtet. Da nicht klar ist, wie das neue Gebäude, die befestigten Flächen und die Geländeanpassungen die Fliesspfade von Oberflächenabfluss beeinflussen, beschliesst der Architekt, ein Ingenieurbüro mit der punktuellen Gefahrenabklärung in Bezug auf Oberflächenabfluss zu beauftragen.

Dieses Beispiel zeigt, welche Schritte die Ingenieurin unternimmt, um die punktuelle Gefährdung des geplanten Neubaus, gestützt auf die Wegleitung «Punktuelle Gefahrenabklärung Oberflächenwasser» *(Rüttimann und Egli, 2010)*, zu untersuchen. Das Ziel dabei ist, die durch den Neubau veränderte Gefährdung des Standorts zu untersuchen. Anhand der abgeschätzten Gefährdung kann das Architekturbüro entscheiden, ob und in welchem Umfang Schutzmassnahmen vorzusehen und frühzeitig einzuplanen sind.

5.4.3 Grundlagen

Detaillierte Informationen zum Vorgehen finden sich in der vorangehend erwähnten Wegleitung sowie auf *Schutz-vor-Naturgefahren.ch*.

Die punktuelle Gefahrenabklärung ist beispielsweise dann hilfreich, wenn infrage steht, ob die in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* abgebildete Gefährdung mit der realen Situation übereinstimmt. Dies ist der Fall, wenn oberhalb eines Standorts Wege, Strassen oder Gebäude verändert oder neu gebaut wurden, die Gefährdungskarte an dieser Stelle also nicht mehr aktuell ist. Die Gefährdungskarte entspricht auch dann nicht der realen Situation, wenn Elemente wie Unterführungen, Durchlässe, Mauern, Strassen etc. im Einflussbereich des Standorts zu finden sind, da diese bei der Modellierung nicht berücksichtigt wurden.

Abb. 5.10

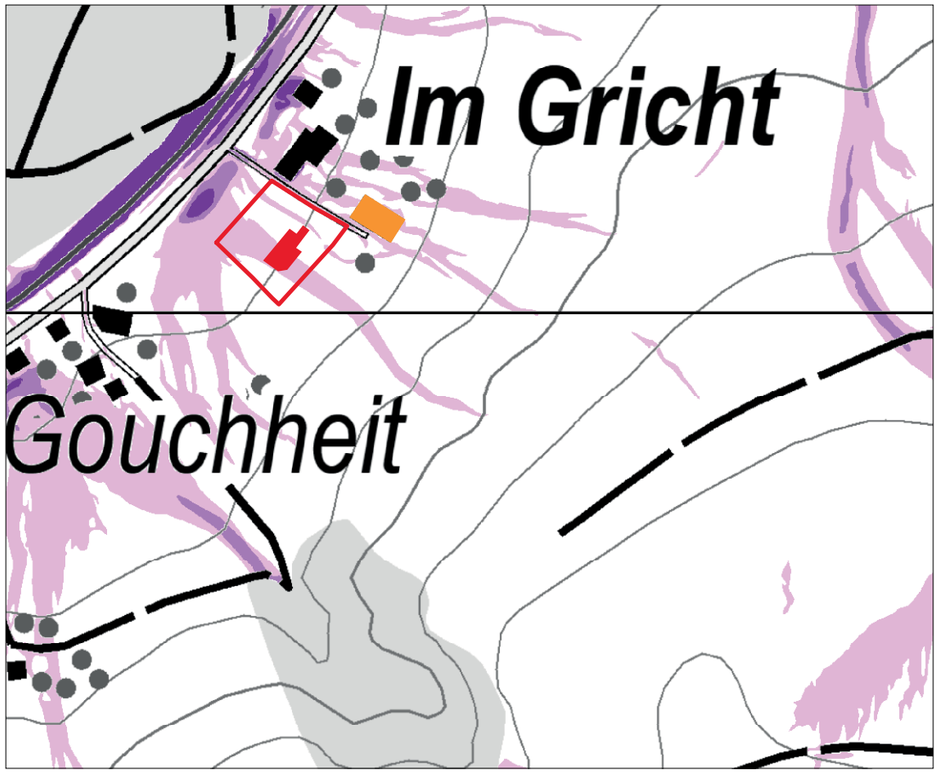


Abb. 5.11

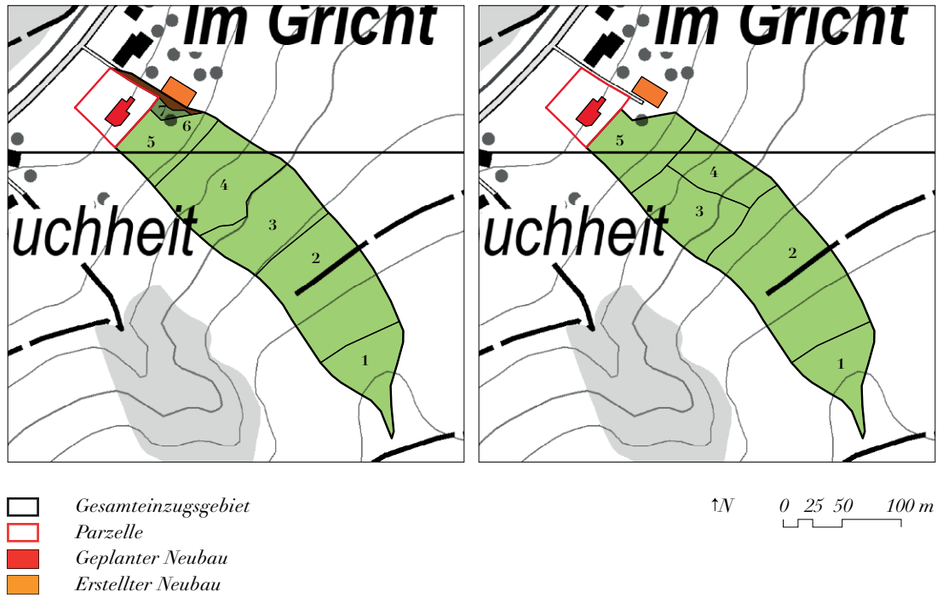


Abb. 5.10: Standort des geplanten Neubaus an der Schwarzenburgstrasse zwischen Niederscherli und Mittelhäusern.
Abb. 5.11: Gesamteinzugsgebiet inkl. Unterteilung anhand der im Büro verfügbaren Informationen (links). Auf Grundlage der Beobachtungen vor Ort wurden das Gesamteinzugsgebiet und die Teileinzugsgebiete sowie die Variablen für die Abflussberechnung überprüft und angepasst (rechts). Aufgrund der Neubebauung wird der Oberflächenabfluss stärker zur Parzelle des Neubaus gelenkt als vorher.

Im Vergleich zur feinskaligen Modellierung *(Kap. 4.6)* ist die punktuelle Gefahrenabklärung im Allgemeinen mit weniger Aufwand verbunden. Insbesondere kann die punktuelle Gefahrenabklärung auch nur für ein Worst-Case-Szenario durchgespielt werden, wofür normalerweise rund ein halber Tag benötigt wird. Dafür werden alle Parameter nur grob geschätzt und im oberen zu erwartenden Bereich festgelegt. Falls bei der Betrachtung dieses Szenarios eine Gefährdung mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann oder mögliche Schutzmassnahmen problemlos umsetzbar sind, kann auf die detailliertere Hauptuntersuchung verzichtet werden.

Die feinskalige Modellierung *(Feinskalige Modellierung, Kap. 4.6)* ist im Gegensatz dazu nicht nur für relativ einfache Fälle, sondern auch für komplexe Situationen in grösseren Gebieten einsetzbar. Sobald das Modell aufgesetzt ist, können verschiedene Szenarien ohne grossen Zusatzaufwand untersucht werden. Auch werden die Zielgrössen für die Dimensionierung von Schutzmassnahmen (Wassermenge bzw. Fliesstiefe und Fliessgeschwindigkeit) meist direkt vom Modell ausgegeben. Da die Eingangsgrössen für beide Ansätze ähnlich sind, können die Methoden zur gegenseitigen Plausibilisierung auch parallel angewendet werden.

5.4.4 Anwendung des Werkzeugs Schritt für Schritt

Schritt 1: Grundlagen
Für die Beurteilung der Gefährdung benötigt das Ingenieurbüro die relevanten Grundlagen zum Untersuchungsgebiet und zur betroffenen Parzelle:
– Übersichtsplan inkl. Angaben zur Hangneigung (kann bei Bedarf auch anhand eines Geländemodells selber berechnet werden)
– Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)*
– Erosionsrisikokarte *(Kap. 4.3)*
– Für den Standort massgebende Niederschlagssummen *(Schritt 4)*
– Gewässernetz sowie Pläne zur Kanalisation, Entwässerung und Drainage

Nützliche Zusatzinformationen können häufig über kantonale Geoportale abgerufen, und falls nötig, für eigene Analysen im GIS beschafft werden. Darüber hinaus können folgende Informationen hilfreich sein:
– Ereignisdokumentationen und Ereigniskataster von früheren Überschwemmungen
– Bodenkarten und -untersuchungen
– Baupläne, in denen vorgesehene oder neue Geländemodellierungen und Umgebungsgestaltungen abgebildet sind
– Gefahrenkarten, Intensitätskarten und Gefahrenhinweiskarten bezüglich Hochwasser
– Karten oder Angaben zu Grundwasserstand und -vorkommen

Schritt 2: Vorbereitung der Feldbegehung
Im zweiten Schritt werden die Informationen für die Feldbegehung aufbereitet. Insbesondere wird das Gesamteinzugsgebiet abgegrenzt. Dies kann entweder von Hand oder alternativ auch mithilfe eines GIS wie der Open-Source Software QGIS *(www.qgis.org)* zusammen mit einem Geländemodell vorgenommen werden.

Falls die Wassermengen auch im Worst Case schadlos abfliessen können und es zu keiner relevanten Mehrgefährdung der umliegenden Parzellen kommt, reicht eine grobe Abschätzung aus. Nach deren Überprüfung im Feld *(Schritt 3)* kann auf eine detailliertere Untersuchung verzichtet werden.

Ist jedoch eine Gefährdung des Standorts nicht eindeutig auszuschliessen, muss eine detailliertere Hauptuntersuchung durchgeführt werden. Dazu wird das Gesamteinzugsgebiet in Teileinzugsgebiete mit möglichst homogenen Oberflächen- und Bodeneigenschaften unterteilt. Die Variablen für die Abflussberechnung werden bereits im Büro nach dem strukturierten Vorgehen der Wegleitung *(Rüttimann und Egli, 2010)* geschätzt. Die Informationen werden anschliessend bei der Feldbegehung kritisch überprüft und gegebenenfalls angepasst bzw. ergänzt *(Schritt 3)*.

Wenn Informationen zu vergangenen Ereignissen vorhanden sind, so werden diese begutachtet. Sofern zusätzliche Hintergrundinformationen benötigt werden, können Zeugen von Oberflächenabfluss (z. B. die lokale Feuerwehr, Gemeindeverwaltung, Bauern, Anwohner) ausfindig gemacht und vor oder während der Feldbegehung befragt werden.

Schritt 3: Feldbegehung
Im Feld werden grundsätzlich alle gesammelten Informationen kontrolliert, fehlerhafte Informationen angepasst bzw. neue Informationen aufgenommen. Gerade Feinstrukturen wie Mauern, Feldwege, Wälle und weitere Geländeformen, die den Oberflächenabfluss massgeblich beeinflussen können und im Büro nicht erkannt worden sind, werden ergänzt. Der Hauptfokus der Feldbegehung liegt darauf, die Fliesswege sowie die zum Oberflächenabfluss beitragenden Flächen zu erkennen und zu überprüfen. Zudem werden die im Büro geschätzten Abflussbeiwerte und Speicherfähigkeiten kritisch überprüft.

Schritt 4: Abschätzung der Abflussmengen
Es werden i. d. R. zwei Szenarien betrachtet: ein Gewitterregen (10-minütige Niederschlagssumme) und ein Dauerregen (1-tägige Niederschlagssumme). Die Wiederkehrperiode des Niederschlagsereignisses wird anhand des Schutzziels festgelegt. Für normale Wohn- und Gewerbegebäude wird z. B. ein Schutz bis zu mindestens einem 100- bis 300-jährlichen Niederschlagsereignis empfohlen *(Gebäudeschutzmassnahmen, Kap. 4.9)*.

Die Niederschlagssummen der entsprechenden Niederschlagsdauern und Wiederkehrperioden können den aktuellen Extremwertanalysen von MeteoSchweiz *(Klima-Extreme.ch)* entnommen werden. Falls in der Nähe des Standorts keine Messstationen vorhanden sind, kann über MeteoSchweiz abgeklärt werden, welche Station für den betrachteten Standort repräsentativ ist.

Die Berechnung der Abflussmengen wird einzeln für jedes Teileinzugsgebiet und Szenario gemäss Wegleitung *(Rüttimann und Egli, 2010)* vorgenommen. Für jedes Szenario wird aus der Summe der Abflussmengen der Teileinzugsgebiete der geringste bzw. der grösste zu erwartende Abfluss des Gesamteinzugsgebietes und damit die entsprechende Wassermenge am betrachteten Neubauobjekt berechnet.

Schritt 5: Datenaufbereitung und Dokumentation
Zuletzt werden die Daten aufbereitet, dokumentiert und in einem Bericht zusammengestellt.

5.4.5 Resultate

Das Ingenieurbüro beschafft sich die relevanten Grundlagendaten und grenzt das Einzugsgebiet ab *(Abb. 5.11)*. Auf eine vorgängige Grobabschätzung im Sinne eines Worst-Case-Szenarios wird verzichtet, da anhand der Topografie eine Gefährdung durch Oberflächenabfluss sehr wahrscheinlich ist.

Wie in *Schritt 2* erläutert, wird die Feldbegehung vorbereitet *(Abb. 5.11, links)*. Während der Feldbegehung zeigt sich, dass die Neubebauung den Oberflächenabfluss zusätzlich zum Standort des geplanten Neubaus lenkt. Der Oberflächenabfluss, der auf der neubebauten Fläche entstehen kann, wird jedoch an der Parzelle des geplanten Neubaus vorbeigelenkt. Das Einzugsgebiet wird diesen Beobachtungen entsprechend angepasst *(Abb. 5.11, rechts)*.

Der Schutzgrad des Neubaus wird auf ein mindestens 100-jährliches Niederschlagsereignis festgelegt. Die massgebenden Niederschlagshöhen werden, im Unterschied zur Wegleitung *(Rüttimann und Egli, 2010)*, den aktuelleren Extremwertanalysen von MeteoSchweiz *(Klima-Extreme.ch)* entnommen. Die nächstgelegene Station mit 10-Minuten-Werten ist Mühleberg mit einer Niederschlagssumme von 28,3 mm/10 min für eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren. Die Zuverlässigkeit dieser Extremwertanalyse wird von MeteoSchweiz aber als fragwürdig angegeben. Um diesen Unsicherheiten Rechnung zu tragen, werden die Werte einer Wiederkehrperiode von 50 Jahren (22,8 mm/10 min) und von 200 Jahren (ca. 35 mm/10 min) herausgelesen und für die Berechnung der zu erwartenden Abflussmengen benutzt.

Für die 1-tägige Niederschlagshöhe wird die Station Laupen verwendet, die noch näher am Standort des Neubaus liegt und einen Wert von 92,5 mm/24 h für eine Wiederkehrperiode von 100 Jahren aufweist. Die Zuverlässigkeit dieser Extremwertanalyse wird von MeteoSchweiz als gut angegeben. Um die Unsicherheiten zu berücksichtigen, werden die Werte des 95 %-Konfidenzintervalls als untere (76,6 mm/24 h) bzw. obere (142,2 mm/24 h) Niederschlagssumme benutzt. Da die Station Mühleberg und weitere Stationen ähnliche Werte aufweisen, ist anzunehmen, dass die ausgewählten Stationen für den Standort des Neubaus repräsentativ sind.

Mit den erhobenen Werten können schliesslich die zu erwartenden Abflüsse für die zwei untersuchten Szenarien berechnet werden. Bei einem Gewitterregen ist gemäss diesen Berechnungen mit einem Abfluss von 198–461 l/s zu rechnen. Bei einem 100-jährlichen Dauerregen wird hingegen nur ein Abfluss von 19–79 l/s erwartet.

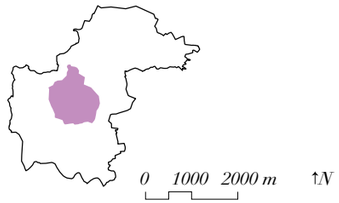
Der Abfluss des Gewitterszenarios liegt deutlich über dem zu erwartenden Abfluss des Dauerregenszenarios. Für den Neubau ist deshalb vor allem das Gewitterszenario relevant. Der Abfluss wird mit der zu erwartenden Fliessbreite (ca. 30 m), der Neigung (ca. 15 %) und der Rauigkeit (Strickler-Beiwert = 20 für Wiese) in eine Fliesstiefe umgerechnet, die am oberen Parzellenrand zu erwarten ist. Auch bei ungünstigeren Parametern (kleinerer Fliessbreite, geringerer Neigung und tieferem Strickler-Beiwert) liegen die zu erwartenden maximalen Fliesstiefen unter 10 cm.

Die Ingenieurin bereitet im letzten Arbeitsschritt alle Informationen auf und fasst sie in einem Bericht zuhanden der Auftraggeber, also des Architekturbüros und des Bauherrn, zusammen. Darin weist die Ingenieurin auf die Notwendigkeit hin, die Gefahr durch Oberflächenabfluss bei der Planung des Neubaus zu berücksichtigen. Aufgrund der geringen Fliesstiefen kann der Architekt selber geeignete konzeptionelle Gebäudeschutzmassnahmen *(Kap. 4.9; Schutz-vor-Naturgefahren.ch)* prüfen und frühzeitig einplanen.

5.4.6 Fazit

Mit der punktuellen Gefahrenabklärung lässt sich die Gefahr durch Oberflächenabfluss an einem oder mehreren spezifischen Standorten abschätzen. Die Anwendung lohnt sich vor allem dann, wenn die Gefährdung eines Objekts überprüft werden muss, sich der Zusatzaufwand für eine feinskalige Modellierung *(Kap. 4.6)* jedoch nicht lohnt. Dies ist etwa dann der Fall, wenn die Fliesspfade anhand der Topografie und der Feinstrukturen relativ einfach zu eruieren sind, es nur um die Beurteilung weniger Objekte geht und nur einzelne Szenarien gefragt sind.

5.5 — Modellierung von Phosphorverlusten



5.5.1 Fragestellung

Wie hoch waren die Phosphorverluste durch Oberflächenabfluss im Einzugsgebiet des Hundsbachs bei zwei Starkniederschlagsereignissen? Welche Flächen waren besonders von diesen Ereignissen betroffen und sollten im Hinblick auf Präventionsmassnahmen eingehend betrachtet werden?

5.5.2 Ausgangslage

Es wird vermutet, dass es während zwei Niederschlagsereignissen (Ereignis 1: 12.07.2014, Ereignis 2: 06.06.2015) im Hundsbach zu grossen Phosphorverlusten durch Oberflächenabfluss gekommen ist. Die kantonale Behörde möchte die Menge des ausgetragenen Phosphors quantifizieren und für die Massnahmenplanung diejenigen Flächen identifizieren, die besonders betroffen waren bzw. sind.

5.5.3 Grundlagen

Methodischer Hintergrund

Das hier verwendete dynamische Rainfall-Runoff-Phosphorus-Modell (RRP) ist ein klassisches Niederschlags-Abfluss-Modell, das mit einem Phosphor-Abschwemmungs-Modul gekoppelt ist.

Das Niederschlags-Abfluss-Modell unterscheidet insgesamt vier verschiedene hydrologische Einheiten (Hydrological Response Units = HRU), die unterschiedlich auf Niederschlagsinputs reagieren: gut durchlässige Böden, schlecht durchlässige Böden, Siedlungsflächen und Wald. Basierend auf diesen HRUs sowie dem topografischen Feuchtigkeitsindex werden für jeden Zeitschritt der Gesamtabfluss berechnet und diejenigen Flächen ausgeschieden, die schnellen Abfluss produzieren (Oberflächenabfluss und schnelle unterirdische Abflusskomponenten). Um dies so realistisch wie möglich zu gestalten, werden die Parameter der einzelnen HRUs mithilfe eines Monte-Carlo-Verfahrens kalibriert. Insgesamt werden auf diese Weise ca. 500–1000 Modellrealisationen erstellt, die den Bereich des zu erwartenden Abflussverhaltens abbilden. Dieser Bereich kann als ein Mass für die Unsicherheit der Modellierung angesehen werden.

Basierend auf den modellierten Abflüssen und Flächen, die zum Abfluss beitragen (hydrologisch aktive Flächen), können anschliessend flächenspezifische Phosphorverluste berechnet werden. Ausgangslage dafür ist eine Karte des Phosphorgehaltes des Bodens. Diese

Karte wird mit Phosphor-Abschwemmungsraten (Literaturwerten) und den Ergebnissen der hydrologischen Modellierung kombiniert, sodass die gesamte Phosphorfracht sowie flächenspezifische Verluste quantifiziert werden können.

Datenbedarf
- Stündliche meteorologische Daten (Niederschlag, Verdunstung)
- Stündliche hydrologische Daten (Abflussdaten)
- Möglichst fein aufgelöstes digitales Geländemodell des Einzugsgebietes
- Landnutzungskarte, unterschieden in Siedlungsflächen, landwirtschaftliche Flächen und Wald
- Bodenkarte
- Karte des Boden-Phosphorgehalts
- Phosphor-Abschwemmungsraten (Literaturwerte)

5.5.4 Anwendung des Modelles Schritt für Schritt

Schritt 1: Erstellung HRU-Karte
Erstellung einer HRU-Karte aus Landnutzungs- und Bodenkarte:
HRU1: Gut durchlässige Böden der landwirtschaftlich genutzten Flächen
HRU2: Schlecht durchlässige Böden der landwirtschaftlich genutzten Flächen
HRU3: Siedlungsflächen
HRU4: Wald

Schritt 2: Berechnung TWI
Berechnung des «Topographic Wetness Index» (TWI) mithilfe des TWI-Moduls von SAGA-GIS *(www.saga-gis.org)* anhand des digitalen Geländemodells des Einzugsgebietes. Dieses Tool kann auch via QGIS *(www.qgis.org)* aufgerufen werden.

Schritt 3: Kalibrierung
Kalibrierung der hydrologischen Modellparameter:
- Festlegen eines Akzeptanzwertes, der Parameterbereiche und der Anzahl Monte-Carlo-Iterationen
- Einlesen der TWI- und HRU-Karte sowie der meteorologischen und hydrologischen Daten für den Kalibrierzeitraum
- Start der Kalibrierung, die den modellierten Abfluss mit dem gemessenen Abfluss vergleicht. Parameterkombinationen, die eine gute Übereinstimmung ergeben, werden gespeichert.

Schritt 4: Validierung
Validierung der hydrologischen Modellparameter:
- Einlesen der TWI- und HRU-Karte sowie der meteorologischen und hydrologischen Daten für den Validierzeitraum
- Einlesen der ausgewählten Parameterkombinationen
- Start der Validierung mit den ausgewählten Parameterkombinationen
- Berechnung der hydrologisch aktiven Flächen

Schritt 5: Berechnung von Abfluss und Oberflächenverlusten
- Einlesen der TWI- und HRU-Karte sowie der meteorologischen Daten für den Untersuchungszeitraum
- Einlesen der akzeptierten Parameterkombinationen, Boden-Phosphor-Karte und Phosphor-Abschwemmungsraten
- Berechnung des Abflusses, der hydrologisch aktiven Flächen sowie der Phosphorverluste für den Untersuchungszeitraum

5.5.5 Resultate

In der Kalibrierung *(Schritt 3)* wurden insgesamt 606 Parameterkombinationen identifiziert, die eine realistische Modellierung des Abflussverhaltens gewährleisten. Aufbauend auf diesen 606 Modellrealisationen wurden die zwei ausgewählten Niederschlagsereignisse modelliert. Die Ergebnisse der Abfluss- und Phosphormodellierung sind in *Abb. 5.12* dargestellt.

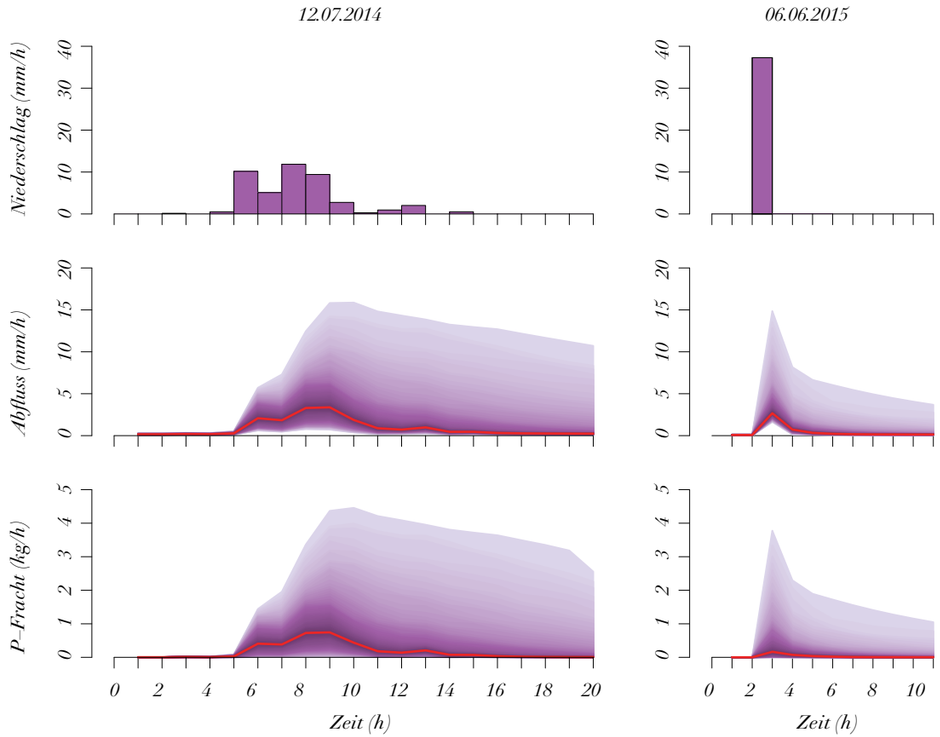


Abb. 5.12: Stündlicher Niederschlag (oben), Abfluss (Mitte) und Phosphorfracht (unten) für das Niederschlagsereignis vom 12.07.2014 (linke Spalte) und vom 06.06.2015 (rechte Spalte). Der violette Farbverlauf der Abfluss- und Phosphor-Modellierung repräsentiert den Vertrauensbereich (5.–95. Perzentil) von insgesamt 606 Modellrealisationen.

Gesamte Phosphorverluste
Im Mittel wurden über alle Modellrealisationen hinweg während des ersten Niederschlagsereignisses vom 12.07.2014 8,24 kg (Median: 4,07 kg) an gelöstem Phosphor abgeschwemmt. Während des zweiten Ereignisses vom 06.06.2015 betrug die Phosphorabschwemmung nur 1,97 kg. Der höhere Abfluss und die höhere Abschwemmung sind insbesondere auf die deutlich höheren Bodenfeuchtigkeitsbedingungen im Vorfeld des ersten Ereignisses zurückzuführen. Betrachtet man die Verteilung über alle Modellrealisationen hinweg *(Abb. 5.13)*, zeigt sich eine moderate Unsicherheit mit einem Interquartilsabstand von 8,11 kg für Ereignis 1 bzw. 2,0 kg für Ereignis 2.

Hydrologisch aktive Flächen
Durch das Modell konnten Flächen klar identifiziert werden, die während der Niederschlagsereignisse schnellen Abfluss (Oberflächenabfluss und schnellen unterirdischen Abfluss) generiert haben *(Abb. 5.14)*. Auf diesen Flächen muss auch mit den grössten Phosphorverlusten gerechnet werden. Um zukünftige Phosphorverluste zu verringern, sollten auf diesen Flächen Massnahmen zur Verminderung von Oberflächenabfluss (z. B. konservierende Bodenbearbeitung) ergriffen werden.

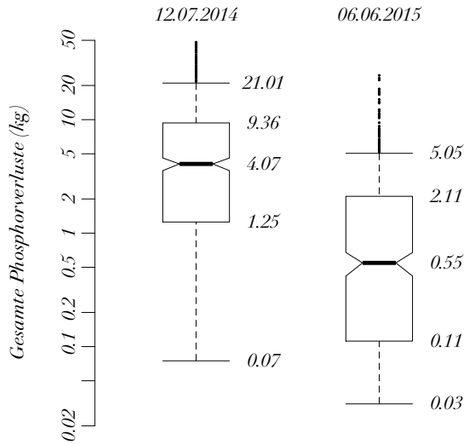


Abb. 5.13: Box-Plot der Phosphorverluste der 606 Modellrealisationen für das Niederschlagsereignis vom 12.07.2014 (links) sowie für das Niederschlagsereignis vom 06.06.2015 (rechts), dargestellt auf einer logarithmischen Skala.

5.5.6 Fazit

Mit der Anwendung des RRP-Modells können sowohl Informationen zur Identifikation von abschwemmungsgefährdeten Flächen gewonnen als auch quantitative Analysen hinsichtlich des Eintrags von Phosphor in Oberflächengewässer durchgeführt werden. Behörden können so das Ausmass des Problems einschätzen und gezielte Präventionsmassnahmen vorschlagen. Zudem bietet das Modell die Möglichkeit, verschiedene Szenarien durchzuspielen. So kann man zum Beispiel die Auswirkungen einer Verringerung des Boden-Phosphors (z. B. durch Einschränkung der Gülledüngung) direkt evaluieren. Darüber hinaus lassen sich die Unsicherheiten der Ergebnisse durch das angewandte Monte-Carlo-Verfahren quantifizieren.

Die Durchführung der Modellierung ist mit einem grossen Aufwand hinsichtlich der Input-Daten verbunden. Auch sollten Anwender des Modells über gute Programmierkenntnisse verfügen, da es zum jetzigen Zeitpunkt nur als Quellcode in Python vorliegt. Dies bietet jedoch auch den Vorteil, dass man das Modell seinen Wünschen entsprechend anpassen und modifizieren kann.

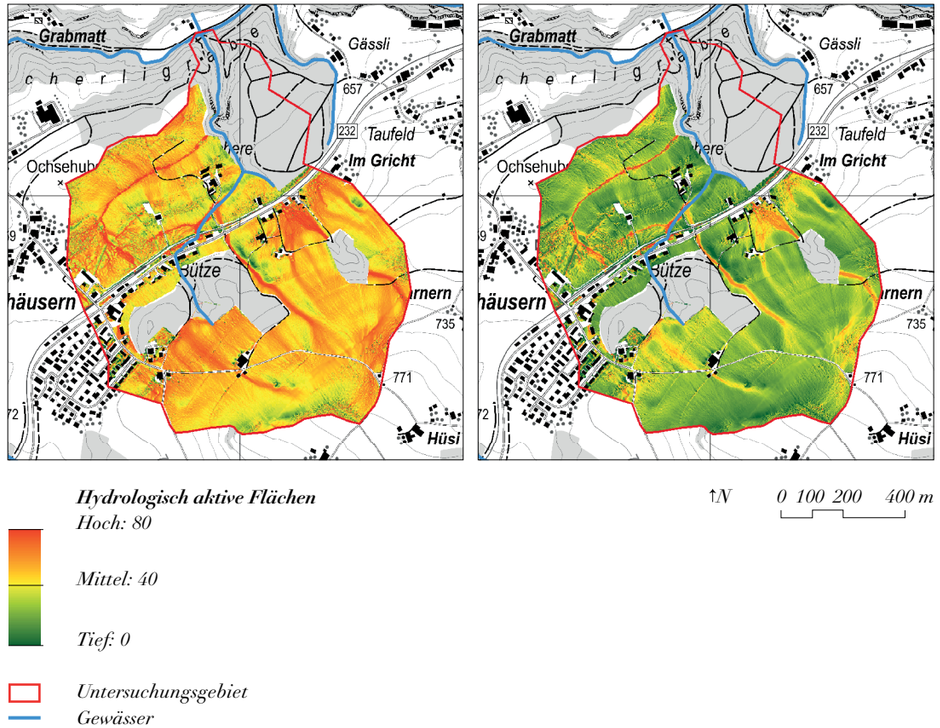
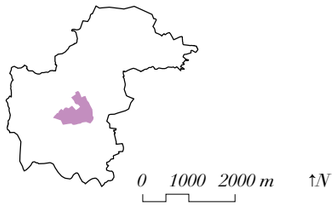


Abb. 5.14: Zum Abfluss beitragende (hydrologisch aktive) Flächen zum Zeitpunkt des höchsten Niederschlags und Abflusses des Ereignisses vom 12.07.2014 (t = 12 h, links) und vom 06.06.2015 (t = 9 h, rechts). Rote Farbtöne zeigen Flächen an, die in allen Modellrealisationen hydrologisch aktiv waren. Grüne Farbtöne hingegen zeigen Flächen an, die in keiner der Modellrealisationen hydrologisch aktiv waren.

5.6 — Feinskalige Modellierung von Oberflächenabfluss



5.6.1 Fragestellung

Wie kann ein Überschwemmungsmodell anhand von beobachteten Überschwemmungsflächen eines Oberflächenabfluss-Ereignisses kalibriert und validiert werden? Wo liegen dabei die Schwierigkeiten und wo die Vorteile?

5.6.2 Ausgangslage

Im Raum Niederscherli soll eine neue Wohnbausiedlung entstehen. Das beauftragte Planungsbüro zieht während der Projektierung die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss *(Kap. 4.2)* und die Erosionsrisikokarte *(Kap. 4.3)* zurate. Das Gebiet liegt innerhalb eines potenziellen Fliesspfades von Oberflächenabfluss mit erwarteten Fliesstiefen von mindestens 25 cm. Zudem weisen die angrenzenden Felder ein hohes potenzielles Erosionsrisiko auf. Es ist deshalb davon auszugehen, dass es im Gebiet zu erheblichem Oberflächenabfluss, möglicherweise in Verbindung mit Sedimentfracht, kommen kann. Ausserdem wurde kürzlich eine Erschliessungsstrasse fertiggestellt, deren Einfluss in der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss nicht berücksichtigt ist. Die Planerin erkennt aus diesen Gründen, dass detailliertere Abklärungen nötig sind. Sie beauftragt ein Ingenieurbüro damit, die aktuelle Gefährdungssituation zu beurteilen und verschiedene Massnahmen zum Schutz der geplanten Wohnsiedlung vor Oberflächenabfluss auszuarbeiten. Der ausführende Ingenieur wendet zur Überprüfung der möglichen Massnahmen ein Überschwemmungsmodell an. Vorher jedoch will er das Modell kalibrieren und validieren, um die Unsicherheiten der Modellanwendung abschätzen und verringern zu können.

Dieses Anwendungsbeispiel zeigt, wie das hydrodynamische Überschwemmungsmodell FLO-2D Pro für die Modellierung von Oberflächenabfluss aufgesetzt und anhand von Beobachtungen kalibriert und validiert werden kann. Dabei wird auf die Schwierigkeiten und die Notwendigkeit eines solchen Vorgehens eingegangen.

5.6.3 Grundlagen

Sowohl für die Kalibrierung wie auch die Validierung eines Modells werden Beobachtungsdaten benötigt. Wie im Grundlagenkapitel *(Kap. 2)* bereits erwähnt, sind Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss rar – und noch seltener in der gewünschten räumlichen und zeitlichen Auflösung vorhanden. In den allermeisten Fällen liegen zudem keine Daten zu Fliesstiefen, geschweige denn zu Fliessgeschwindigkeiten vor. Falls es überhaupt Beobachtungsdaten gibt, beschränken sich diese häufig auf dokumentierte stumme Zeugen (z. B. abgelagerte Feststoffe)

oder Angaben über beschädigte Objekte. Daraus lassen sich jedoch meistens Überschwemmungsflächen ableiten, die für die Validierung von Überschwemmungsmodellen verwendet werden können. Eine Kalibrierung im klassischen Sinne ist aber selten möglich. Durch den Vergleich mit Beobachtungsdaten lässt sich das Modell aber zumindest anpassen und überprüfen.

In diesem Beispiel werden für den Vergleich zwischen Modellresultaten und Beobachtungen die Überschwemmungsflächen der Beobachtungsdaten *(Kap. 5.8)* benutzt. Dies ermöglicht sowohl einen visuellen als auch einen quantitativen Vergleich zwischen den modellierten und den beobachteten Überschwemmungsflächen. Für den quantitativen Vergleich werden Überschwemmungsflächen übereinandergelegt, miteinander verschnitten und in vier Kategorien eingeteilt (Treffer, Falsch positiv, Falsch negativ, Korrekt negativ; *Abb. 5.15*). Anhand dieser Werte können verschiedene Indizes berechnet werden, darunter der hier verwendete Critical Success Index (CSI) *(Abb. 5.15; Bernet et al., 2018b)*. Ein Wert von CSI = 1 zeigt eine perfekte, ein Wert von CSI = 0 hingegen eine schlechte bzw. keine Übereinstimmung.

5.6.4 Anwendung des Werkzeugs Schritt für Schritt

Schritt 1: Datenbeschaffung
Die Beobachtungsdaten *(Kap. 4.8, doi: 10.17632/v8z6kwh8kw.2)* werden heruntergeladen und entpackt. Des Weiteren wird ein frei verfügbares, hochaufgelöstes Geländemodell des Untersuchungsgebietes beschafft (Digitales Terrainmodell LIDAR 50 cm, Kanton Bern, Stand 2.11.2014; *www.geo.apps.be.ch*). Weil die Kalibrierung des Modells eine Vielzahl von Simulationen erfordert, die Rechenzeiten mit dem Geländemodell in Originalauflösung (0,5 × 0,5 m) aber sehr lang sind, wird das Geländemodell auf verschiedene Auflösungen aggregiert (1 × 1 m und 2 × 2 m). Falls nicht anders erwähnt, wird das auf 2 × 2 m aggregierte Geländemodell benutzt.

Schritt 2: Parametrisierung und Basissimulation
Anhand der Beobachtungsdaten wird das Modell FLO-2D Pro parametrisiert (für eine detailliertere Beschreibung dieses Schritts siehe das entsprechende Anwendungsbeispiel, *Kap. 5.8*). Anschliessend wird die Basissimulation aufgesetzt, die erstellt würde, falls keine Beobachtungsdaten für eine Kalibrierung zur Verfügung stünden.

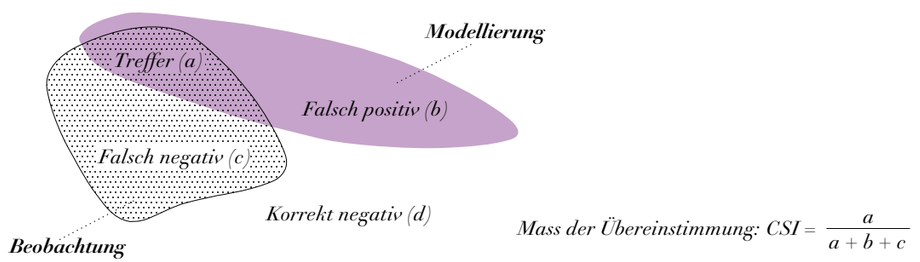


Abb. 5.15: Schematische Darstellung des quantitativen Vergleichs zwischen modellierter und beobachteter Überschwemmungsfläche von Oberflächenabfluss.

Schritt 3: Sensitivitätsanalysen

Minimale Fliesstiefe

Um die Modellresultate mit den beobachteten Überschwemmungsflächen vergleichen zu können, muss zuerst eine minimale Fliesstiefe festgelegt werden. Dieser Schwellenwert bestimmt, welche Zellen als überschwemmt (modellierte maximale Fliesstiefen ≥ Schwellenwert) und welche als nicht überschwemmt (modellierte maximale Fliesstiefen < Schwellenwert) interpretiert werden. Dieser Schwellenwert ist nicht vorgegeben, sondern hängt vom Modell sowie von den Eingabedaten ab. Da die Überschwemmungsfläche nicht nur vom Schwellenwert, sondern von vielen weiteren Faktoren abhängt, ist die Kalibrierung dieses Wertes nicht trivial. Gleichzeitig reagiert die Ausdehnung der modellierten Überschwemmungsfläche sehr sensitiv auf Veränderungen dieses Schwellenwerts. Der minimalen Fliesstiefe kommt deshalb beim Vergleich zwischen Modell und Beobachtungen besondere Bedeutung zu. Bei der Modellanwendung sollte dieser Umstand deshalb immer berücksichtigt werden. Gegebenenfalls muss die minimale Fliesstiefe nachträglich nochmals überprüft und angepasst werden.

In diesem Beispiel wird die minimale Fliesstiefe sukzessive erhöht. Für jeden Wert wird anschliessend der entsprechende CSI berechnet. Derjenige Schwellenwert wird schliesslich ausgewählt, der den höchsten CSI liefert.

Niederschlagsinput

Der Niederschlagsinput hat einen sehr grossen Einfluss auf die Simulationsresultate. Gleichzeitig sind Niederschlagsdaten oft mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, insbesondere bei Starkregenereignissen. Es ist deshalb wichtig zu wissen, wie sich Unsicherheiten im Niederschlagsinput auf die Modellresultate auswirken.

Um den Einfluss des Niederschlags auf die Überschwemmungsfläche abzuschätzen, wird je eine Simulation mit einer Niederschlagsganglinie im unteren sowie im oberen Bereich der plausiblen Werte ausgeführt.

Geländemodell

Topografische Feinstrukturen wie Strassen, Mauern, Bordkanten etc. können im Geländemodell selten realistisch abgebildet werden, sei dies aufgrund einer zu groben Auflösung des Geländemodells oder aufgrund von Messunsicherheiten bei der Erfassung der Topografie. Da solche Strukturen die Ausbreitung von Oberflächenabfluss massgeblich beeinflussen können, kommt es häufig zu Abweichungen zwischen modellierten und realen Fliesspfaden. Feiner aufgelöste Geländemodelle führen i. d. R. zu einer Verbesserung der Resultate, sie gehen aber mit einer massiven Erhöhung der Simulationszeit einher *(Faktenblatt, Kap. 4.6)*. Alternativ dazu können auch Schlüsselstellen identifiziert werden, die das Geländemodell mangelhaft abbildet, um diese manuell anzupassen. Der Vorteil davon ist, dass sich die Simulationszeit nicht wesentlich verändert.

Um den Einfluss des Geländemodells auf die Simulationsergebnisse abzuschätzen, werden in diesem Beispiel verschieden aufgelöste Geländemodelle verwendet. Zudem werden für eine Simulation Bereiche des Geländemodells, welche die Feinstrukturen mangelhaft abbilden, manuell angepasst.

Bodenparameter

Die bodenhydrologischen Verhältnisse entscheiden massgeblich darüber, wie viel des Gesamtniederschlags über die Oberfläche abfliesst. Häufig aber liegen für die Parametrisierung der in den Modellen abgebildeten Prozesse nur sehr grob aufgelöste Bodendaten vor. Zudem ist es schwierig, den Zustand wie beispielsweise die Vorfeuchte des Einzugsgebiets zu Beginn des Ereignisses präzis zu erfassen und abzubilden.

Aufgrund fehlender Daten wird der Boden in diesem Beispiel im ganzen Gebiet als schluffiger Lehm angenommen, dessen Wasserspeichervermögen aufgrund der Niederschlagsverhältnisse vor dem Ereignis bereits zu 80 % ausgeschöpft war. Um den Einfluss der Bodenart auf die Simulation zu untersuchen, werden neben der Parametrisierung mit schluffigem Lehm Simulationen mit Lehm, tonigem Lehm sowie siltig tonigem Lehm ausgeführt.

Rauigkeitsbeiwerte

Die Rauigkeitsbeiwerte werden anhand der Landnutzung verknüpft mit Literaturwerten festgelegt. Um abzuschätzen, wie sensitiv die modellierten Überschwemmungsflächen auf die Rauigkeit reagieren, werden Simulationen mit veränderten Werten von ±10 % durchgeführt.

Schritt 4: Referenzsimulation

Basierend auf den Sensitivitätsanalysen aus *Schritt 3* wird das Modell für eine bessere Übereinstimmung mit den Beobachtungen angepasst. Mit dem angepassten Modell wird anschliessend die Referenzsimulation ausgeführt.

Schritt 5: Validierung

Ob das Modell auch für andere Ereignisse plausible Ergebnisse liefert, wird im Zuge der Validierung ermittelt. Dafür wird das zweite Ereignis (06.06.2015) mit dem angepassten Modell nachmodelliert und mit den entsprechenden Überschwemmungsflächen verglichen.

5.6.5 Resultate

Basissimulation

Die Basissimulation *(Schritt 2)* zeigt, dass gewisse modellierte Fliesspfade stark von den Beobachtungen abweichen *(Abb. 5.16)*. Dies ist vor allem dort der Fall, wo Strassen oder Wege die natürlichen Fliesspfade beeinflussen. Zudem ist ersichtlich, dass die Spuren von Oberflächenabfluss im höchstgelegenen (südöstlichen) Teil des Einzugsgebiets von der Simulation nicht erfasst werden. Dies deutet darauf hin, dass in diesem Bereich nicht alle bodenhydrologischen Prozesse modelliert werden konnten.

Minimale Fliesstiefe

Der Schwellenwert der minimalen Fliesstiefe hat einen äusserst starken Einfluss auf die modellierte Überschwemmungsfläche *(Abb. 5.17)*. Bei einer minimalen Fliesstiefe von h = 0,02 m ist die Übereinstimmung gemessen am CSI am höchsten. Der Schwellenwert wird deshalb auf diesen Wert (h = 0,02 m) festgelegt.

Geländemodell

Die Modellierungen zeigen, dass auch bei höherer Auflösung des Geländemodells einige Strassenabschnitte überflossen werden und so markante Fliesspfade entstehen können, die stark von den Beobachtungen abweichen *(Abb. 5.18a–c)*. Zwar wird der Abfluss auf den Strassen mit feineren Auflösungen besser erfasst, dieser Gewinn geht aber zulasten der Simulationszeit.

Um die Beobachtungen besser nachzubilden, werden Strassenabschnitte identifiziert, für die das Modell ein markantes Überfliessen anzeigt, das nicht beobachtet wurde. Diese Stellen werden im Geländemodell manuell abgesenkt. Dadurch können die beobachteten Fliesswege besser nachgebildet werden *(Abb. 5.18d)*. Dieser Eingriff hat aber den Nachteil, dass eine mögliche Überströmung der Strasse während heftigerer Ereignisse verhindert wird. Eine solche Massnahme muss deshalb mit Bedacht eingesetzt werden.

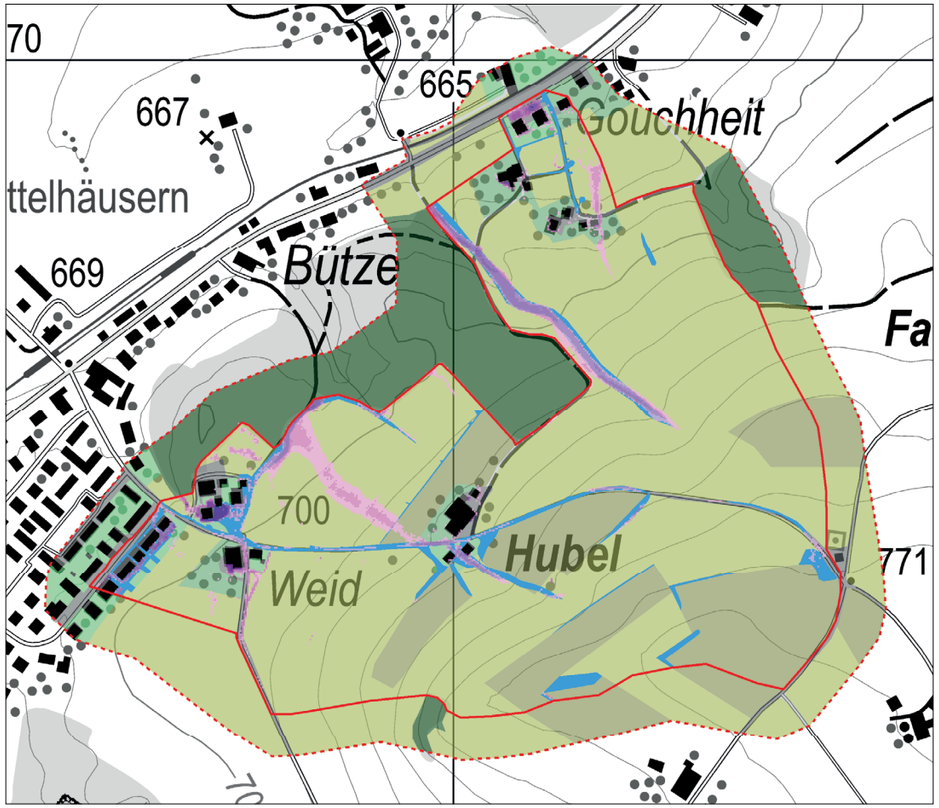
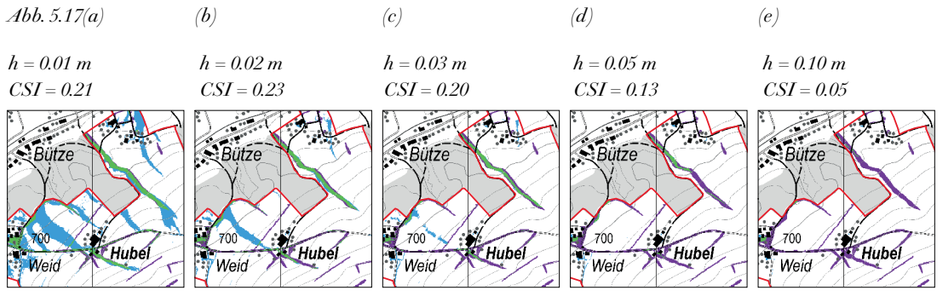


Abb. 5.16: Darstellung der modellierten Fliesstiefen der Basissimulation im Vergleich zu den beobachteten Überschwemmungsflächen von Oberflächenabfluss des Ereignisses vom 12.07.2014. Die Landnutzung zum Zeitpunkt des Ereignisses ist ebenfalls dargestellt.



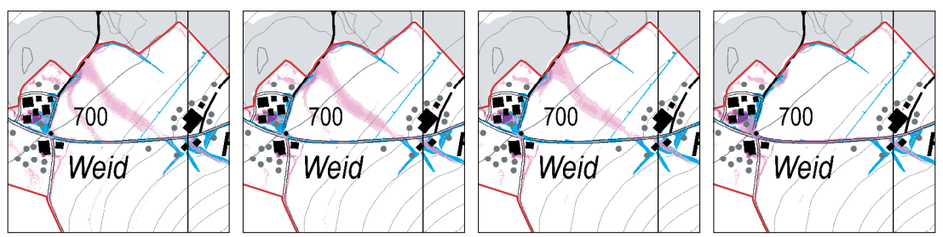


Abb. 5.17: Einfluss auf den Vergleich zwischen modellierter und beobachteter Überschwemmungsfläche mit ansteigender minimalen Fliesstiefe (h). Die Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Modellierung wird mit dem Critical Success Index (CSI) quantitativ erfasst. Je höher der Wert liegt, desto grösser ist die Übereinstimmung.
Abb. 5.18: Auch bei feiner aufgelösten Geländemodellen wird ein markanter Fliesspfad modelliert (a–c), der nicht beobachtet wurde. Mit der Absenkung der Strasse in diesem Bereich (d), können die Beobachtungen besser nachmodelliert werden. Dargestellt sind nur die Fliesstiefen, die den Schwellenwert von h = 0,02 m übersteigen.

Weitere Sensitivitätsanalysen
Wie bei *Schritt 3* beschrieben, wurden die Modellsensitivitäten in Bezug auf Veränderungen des Niederschlagsinputs (Ganglinie im Bereich der minimalen bzw. maximalen Wertebereiche), der Rauigkeitsbeiwerte (Veränderung der Werte um ±10 %) sowie der Bodenparameter (Änderung der vorherrschenden Bodenart) getestet. Der Einfluss des Niederschlags ist in diesem Fall markanter als der Einfluss der Rauigkeit oder der Bodenparameter *(Abb. 5.19)*.

Referenzsimulation
Basierend auf den Sensitivitätsanalysen aus Schritt 3 wird eine Referenzsimulation *(Abb. 5.20)* erstellt.

Validierung
Das angepasste Modell *(Schritt 4)* kann anschliessend anhand des zweiten beobachteten Ereignisses vom 06.06.2015 validiert werden *(Schritt 5, Abb. 5.20)*. Der Vergleich zwischen der Referenzsimulation und der Validierung illustriert, dass trotz eines fein aufgelösten Geländemodells und der Kalibrierung des Modells nicht alle Prozesse abgebildet werden können. Im Allgemeinen ist die Übereinstimmung zwischen Modell und Beobachtung, gemessen an den tiefen CSI-Werten, sehr gering. Dies kann teilweise darauf zurückgeführt werden, dass auch die angebauten Kulturen sowie die Bodenbearbeitung eine Rolle spielen, wie dies *Abb. 5.20* suggeriert. Diese Effekte konnten nicht berücksichtigt werden, da die dafür benötigten Daten

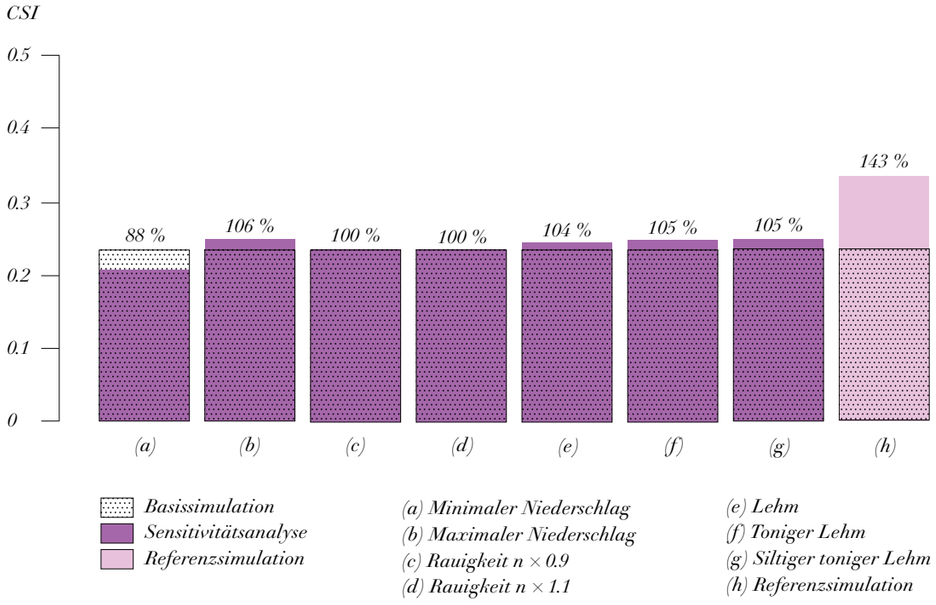


Abb. 5.19: Einfluss von Veränderungen des Niederschlagsinputs sowie der Rauigkeitsbeiwerte und der Bodenart auf die Übereinstimmung zwischen Modell und Beobachtung, gemessen am Critical Success Index (CSI). Die Veränderung der Modellgüte im Vergleich zur Basissimulation (100 %) ist ebenfalls dargestellt.

fehlen. Ein anderer Grund für die schlechte quantitative Übereinstimmung liegt in den Unsicherheiten der Beobachtungsdaten selbst. Sie beruhen in diesem Beispiel auf der Kartierung von sichtbaren Spuren. Falls keine Spuren kartiert worden sind, bedeutet dies jedoch nicht unbedingt, dass es zu keinem Oberflächenabfluss gekommen ist. Umgekehrt sind beobachtete Spuren ein robuster Hinweis darauf, dass Wasser geflossen ist. Der numerische Vergleich mittels CSI-Werten ist aber trotzdem hilfreich, da Unterschiede, die visuell schwierig zu erfassen sind, objektiv quantifiziert werden können. Für die Kalibrierung und Validierung des Modells ergänzen sich somit visuelle und quantitative Vergleichsmethoden.

5.6.6 Fazit

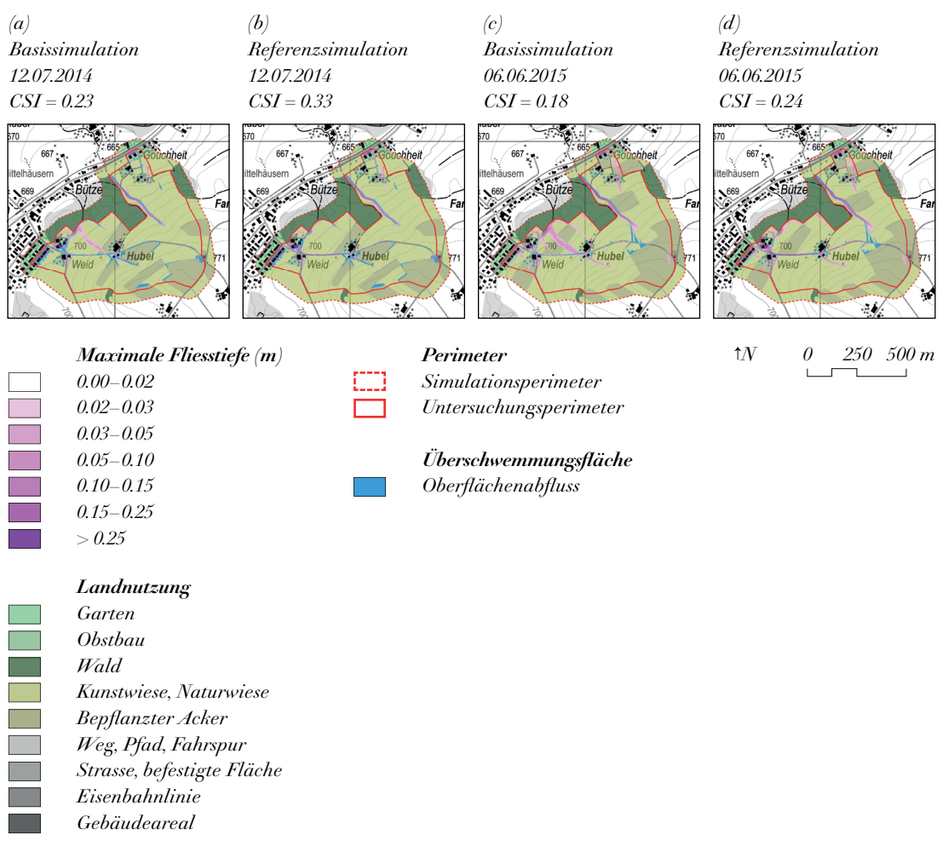
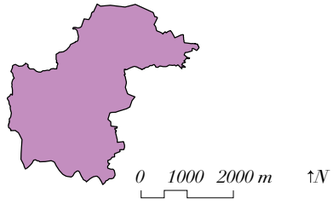


Abb. 5.20: Basissimulation (a) und Referenzsimulation (b) des Ereignisses vom 12.07.2014. Validierung des kalibrierten Modells anhand des Ereignisses vom 06.06.2015 (d). Zum Vergleich ist auch die Basissimulation des Ereignisses vom 06.06.2015 dargestellt (c).

Mit der feinskaligen Modellierung von Oberflächenabfluss können fast beliebige Fragestellungen untersucht werden. Damit ist die feinskalige Modellierung für viele Anwendungen ein unverzichtbares Werkzeug. Jedoch sind die Datenbeschaffung und Datenaufbereitung sehr zeitaufwendig. Je nach Auflösung, Modell, Untersuchungsgebiet und Rechenleistung fällt zudem die Simulationszeit ins Gewicht. Es muss deshalb oft ein Kompromiss zwischen diesen Parametern getroffen werden.

Die hohe Auflösung sowie die Genauigkeit der Modellresultate mögen den Eindruck erwecken, die Resultate seien nur mit kleinen Unsicherheiten behaftet. Wie in diesem Beispiel gezeigt wurde, kann dieser Eindruck täuschen. Die Unsicherheiten der Modellresultate sind auf keinen Fall vernachlässigbar. Dies wiegt gerade deshalb schwer, da Beobachtungsdaten für die Überprüfung der Modelle weitgehend fehlen. Trotz dieser unbefriedigenden Datenlage sollte nicht auf die Berücksichtigung der Unsicherheiten verzichtet werden. Es wird daher empfohlen, die Modelle so weit als möglich und zielführend zu kalibrieren. Eine Validierung der Modelle anhand von Beobachtungsdaten und/oder anhand einer Plausibilisierung der Modellresultate im Feld ist in jedem Fall erforderlich *(Kap. 4.1.2)*, damit die Modellresultate richtig interpretiert werden können.

5.7 — Toolbox zur Schadendaten-Klassierung



5.7.1 Fragestellung

Welche Überschwemmungsschäden eines Versicherungsportfolios können auf Oberflächenabfluss und nicht auf fluviale Überschwemmungen zurückgeführt werden?

5.7.2 Ausgangslage

Nicht nur ein Mal wurden während eines Starkregenereignisses in Niederscherli Gebäude und Fahrhabe durch Überschwemmungen beschädigt *(Abb. 5.21)*. Die Fahrhabeschäden, die der Versicherungsgesellschaft Allgemeine Versicherungen (AV) gemeldet wurden, liegen aber grösstenteils weit abseits von Gewässern und Hochwasser-Gefahrenzonen. Die AV vermutet deshalb, dass viele der Schäden auf Oberflächenabfluss zurückzuführen sind – und dies nicht nur in Niederscherli, sondern auch an vielen anderen Orten.

Die AV nimmt das Schadenereignis in Niederscherli zum Anlass, ihre Schadendaten genauer zu untersuchen. Konkret interessiert sich die AV dafür, wie viele der Überschwemmungsschäden in ihrem gesamten Portfolio dem Prozess Oberflächenabfluss zuzuordnen sind. Darüber hinaus will die AV anhand der Resultate untersuchen, ob die Schäden durch Oberflächenabfluss im jüngsten Ereignis in Niederscherli im Vergleich zu Ereignissen in anderen Gebieten überdurchschnittlich hoch sind.

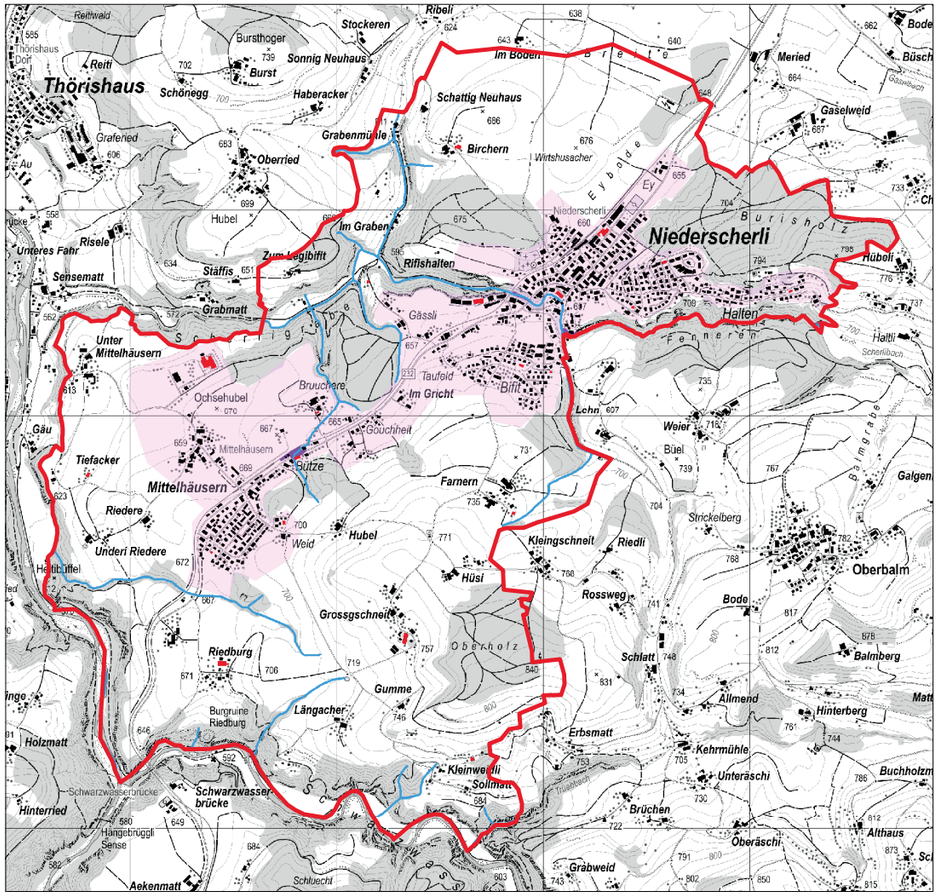
Dieses Anwendungsbeispiel zeigt auf, wie mithilfe einer frei verfügbaren, benutzerdefinierten Python-Toolbox in ArcGIS *(www.esri.ch)* Schäden durch Oberflächenabfluss von jenen durch fluviale Überschwemmungen unterschieden werden können.

5.7.3 Grundlagen

Methodischer Hintergrund

Das grundlegende Prinzip der Klassierung ist einfach: Wenn ein Objekt durch eine Überschwemmung beschädigt wurde und weit weg von jeglichen Gewässern liegt, ist davon auszugehen, dass der Schaden nicht durch eine fluviale Überschwemmung verursacht wurde. In diesem Fall kann die Schadenursache dem Oberflächenabfluss zugeordnet werden.

Für die Unterscheidung dieser zwei Schadenprozesse wird unter anderem ein Distanzmass, die höhenbeschränkte euklidische Distanz, herangezogen. Zudem werden Gefahrenkarten und/oder Überschwemmungskarten sowie ein Gewässernetz und ein digitales Geländemodell benötigt. Mit diesen Informationen kann jeder genau lokalisierte Schaden anhand eines Fliessschemas nach *Bernet et al. (2017)* klassiert werden. Die benötigten Geoanalysen sowie


Thörishaus
Niederscherli
Mittelhäusern
Ochsehubel
Oberholz
Holzmatt
Hinterried
Schwarzwasserbrücke
Aekenmatt
Riedburg
Gümme
Längacher
Kleinwedli
Sollmatt
Erbsmatt
Brüchen
Kehrmühle
Unteräschi
Oberäschi
Althaus
Balmberg
Hinterberg
Allmend
Schlatt
Grabweid
Oberholz
Rossweg
Grossgschneit
Kleingschneit
Riedli
Strickelberg
Oberbalm
Farnern
Hüsi
Hubel
Weid
Tiefacker
Riedere
Underi Riedere
Gäu
Butze
Gouchneit
Bruuchere
Taufeld
Im Gricht
Biffi
Lehn
Weier
Büel
Halten
Gässli
Rifishalten
Zum Liegibiffi
Im Graben
Grabenmüdle
Schattig Neuhaus
Im Boden
Birchern
Wirtshusacher
Stockeren
Sonnig Neuhaus
Haberacker
Schönegg
Burst
Bursthoger
Reitti
Reithwald
Grafenried
Oberried
Hubel
Unteres Fahr
Risele
Sensematt
Stäffis
Grabmatt
Unter Mittelhäusern
Meried
Gaselweid
Hubeli
Halti
Galgen
Eybode
Burishölz
Ey
Ribeli
Bode
Büsch
Buchholzm
Matt
Ch
Sc
Hangebrüggli Sense
Schuechti
Burgruine Riedburg
Schwarzwasserbrücke
Schenlibach
Bümgrabe
Ey
Sense
Schwarzwasser
Eybode
Fenner
Burishölz
Oberholz
Bode
Ey
Eybode
Bümgrabe
Schenlibach

Trotz dieser Einschränkung lassen sich mit dieser Methode Schäden durch Oberflächenabfluss identifizieren (Klasse A und B), für die eine Überschwemmung durch Gewässer mit relativ hoher Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Damit lassen sich die Schäden dieser Klassen gut als indirekte Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss benutzen.

5.7.4 Anwendung des Werkzeugs Schritt für Schritt

Für die Klassierung der Schadendaten führt die AV folgende Schritte aus.

Schritt 1: Beschaffen der Grundlagendaten
Alle Grundlagendaten werden beschafft und auf offensichtliche Datenfehler überprüft.

Schritt 2: Aufbereitung der Gefahrenkarte
Aus der Gefahrenkarte werden zwei neue Shapefiles erstellt: Das erste umfasst den Untersuchungsperimeter der Gefahrenkarte und das zweite alle Gebiete, die schwach bis stark durch ausufernde Gewässer gefährdet sind (Gefahrenstufen «gelb», «blau» und «rot»).

Schritt 3: Klassierung der Daten
Die *Toolbox* wird heruntergeladen und eingerichtet. Die zugeschnittenen und vorbereiteten Daten werden eingelesen, und das Tool wird anschliessend ausgeführt.

5.7.5 Resultate

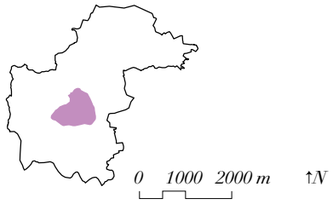
Mit der Anwendung der Toolbox können alle Schadeneinträge des Versicherungsportfolios gemäss Schadenursache klassiert werden. Dank der Klassierung erhält die AV einen Überblick darüber, welche Schadenanteile im Minimum auf Oberflächenabfluss zurückzuführen sind. Die Klassierung der Schäden des vergangenen Unwetters in Niederscherli zeigen zudem, dass überdurchschnittlich viele Schäden durch Oberflächenabfluss verursacht wurden *(Abb. 5.22)*.

5.7.6 Fazit

Die Toolbox stellt ein praktisches und einfaches Werkzeug dar, um Schäden durch Oberflächenabfluss zu identifizieren. Die Grundlagendaten können leicht beschafft werden und sind i. d. R. sogar gratis verfügbar. Die Toolbox ist auf Einzelschäden wie auch auf ganze Schadenportfolios anwendbar.

Es gilt zu beachten, dass die Methode keine Detailuntersuchung darstellt und mit Unsicherheiten behaftet ist. Für Einzelfälle muss die Schadenursache daher vor Ort genauer untersucht werden. Bei der Anwendung auf grosse Schadendatensätze nehmen die Unsicherheiten insgesamt jedoch ab, sodass robuste Aussagen auch ohne Detailabklärungen möglich sind. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass die Klassierung «nur» eine untere Grenze für die Schäden durch Oberflächenabfluss liefert. Wie vorangehend erläutert, ist zu erwarten, dass die Schadenanteile von Oberflächenabfluss in der Realität (noch) höher sind.

5.8 — Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen



5.8.1 Fragestellung

Wie gut lässt sich mit einem Überschwemmungsmodell beobachtete Überschwemmungsflächen eines Oberflächenabfluss-Ereignisses nachmodellieren?

5.8.2 Ausgangslage

Ein Ingenieurbüro möchte testen, wie tauglich das frei verfügbare Überschwemmungsmodell r.sim.water aus GRASS GIS *(grass.osgeo.org)* für die Modellierung von Oberflächenabfluss ist. Da es nicht viele dokumentierte Oberflächenabfluss-Ereignisse gibt und die Datenaufbereitung sehr aufwendig ist, benutzt das Ingenieurbüro die Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen. Aus diesem frei verfügbaren Datensatz wählt das Büro das Ereignis vom 12.07.2014 in Mittelhäusern bei Niederscherli aus. Das Ereignis wird mithilfe der Beobachtungsdaten nachmodelliert und die Simulationsresultate werden anschliessend den beobachteten Überschwemmungsflächen gegenübergestellt.

In diesem Anwendungsbeispiel wird nur am Rande auf den Vergleich zwischen Modell und Beobachtungen eingegangen. Der Zweck dieses Beispiels ist in erster Linie zu illustrieren, was die Beobachtungsdaten beinhalten, wie sie aufgebaut sind und wie sie exemplarisch für die Simulation von Oberflächenabfluss mit einem Überschwemmungsmodell genutzt werden können.

5.8.3 Grundlagen

Für die Modellierung von Oberflächenabfluss werden neben einem Modell auch Daten benötigt, mit denen das Modell parametrisiert werden kann. In diesem Anwendungsbeispiel wird das Modell r.sim.water benutzt, ein Modul aus dem Open Source Softwarepaket GRASS GIS *(grass.osgeo.org)*.

Die Informationen für die Parametrisierung des Modells werden den Beobachtungsdaten entnommen. Sie sind auf Mendeley Data *(data.mendeley.com)* unter der doi *10.17632/v8z-6kwh8kw.2* publiziert und frei verfügbar. Sie können heruntergeladen werden und beinhalten folgende Grundlagen:

Perimeter
Die Beobachtungsdaten enthalten pro Ereignis jeweils drei verschiedene Perimeter in Form von Shapefiles:
– Perimeter_ezg.shp: Einzugsgebietsperimeter des jeweiligen Ereignisses; dieser Perimeter wurde so festgelegt, dass möglichst keine Fliesspfade von aussen über die Grenze des Einzugsgebiets führen.
– Perimeter_sim.shp: Simulationsperimeter, der mindestens 50 m über den Rand des Einzugsgebietes hinausreicht, damit bei der Modellierung von Oberflächenabfluss Randeffekte minimiert bzw. ausgeschlossen werden können.
– Perimeter_beo.shp: Beobachtungsperimeter, in dem alle Überschwemmungsflächen von Oberflächenabfluss kartiert wurden.

Kartierter Oberflächenabfluss
Zentraler Bestandteil der Beobachtungsdaten sind kartierte Überschwemmungsflächen von Oberflächenabfluss *(Abb. 5.24)*. Grundlage für dieses Produkt waren verschiedene Quellen, die den Oberflächenabfluss entweder direkt (durch Fotos, Videos, Berichte) oder indirekt über dessen Spuren (durch Luftbilder, Fotos, Feldkartierungen etc.; *Abb. 5.23*) dokumentierten. Die Beobachtungen von Oberflächenabfluss wurden digitalisiert und in Form von Shapefiles gespeichert. Dabei ist wichtig hervorzuheben, dass nur diejenigen Flächen aufgenommen werden konnten, auf welche die Informationsquellen hingewiesen haben. Es ist anzunehmen, dass Oberflächenabfluss zum Teil auch ausserhalb der kartierten Flächen aufgetreten ist.



Abb. 5.23: Dokumentierte Spuren von Oberflächenabfluss drei Tage nach dem Ereignis vom 06.06.2015 in Mittelhäusern. (Foto: Daniel Bernet, 09.06.2015)

Geländemodell
Den Beobachtungsdaten liegen aufgrund von unterschiedlichen Datennutzungsbestimmungen keine Terraindaten bei. Hochaufgelöste Geländemodelle können aber häufig über kantonale Geoportale bezogen werden. Entsprechende Links sind in den Beobachtungsdaten enthalten. Für das Anwendungsbeispiel wird auf ein hochaufgelöstes Geländemodell zurückgegriffen, das vom Geoportal des Kantons Bern heruntergeladen werden kann (Digitales Terrainmodell LIDAR 50cm, Kanton Bern, Stand 2.11.2014, *www.geo.apps.be.ch*).

Boden
Um zumindest einen groben Überblick über die Eigenschaften des Bodens zu erhalten, wurde die Bodeneignungskarte der Schweiz vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) auf die Einzugsgebiete der Oberflächenabfluss-Ereignisse zugeschnitten und aufbereitet.

Landnutzung
Die Landnutzung wurde mithilfe von Orthofotos (swissIMAGE) und einem Landschaftsmodell (swissTLM3D v1.4) von swisstopo rekonstruiert. Für fünf Ereignisse konnte die Landnutzung zudem detaillierter erhoben werden, da kurz nach den jeweiligen Ereignissen Felderhebungen durchgeführt wurden. Wo möglich, wurden dabei zusätzliche Informationen aufgenommen, darunter Angaben zur angebauten Feldfrucht oder zur Vegetationsdichte.

Niederschlag
Zu jedem Fallbeispiel wurden Niederschlagsganglinien erstellt. Die Ganglinien wurden aus dem Produkt CombiPrecip von MeteoSchweiz abgeleitet. Es handelt sich dabei um hochaufgelöste Niederschlagshöhen aus einer Verschmelzung von Radar- und Stationsdaten. Sie weisen eine räumliche Auflösung von 1 × 1 km und eine zeitliche Auflösung von einer Stunde auf.

Für die Erstellung der Niederschlagsganglinien wurden diejenigen Zellen ausgewählt, die im Untersuchungsperimeter liegen. Um die räumliche Variabilität zu berücksichtigen, wurden zudem die angrenzenden Zellen mitberücksichtigt. Aus diesen Zellen wurden dann für jeden Zeitschritt der Minimal-, Mittel- und der Maximalwert berechnet.

Begleitbericht
Zu jedem Ereignis liegt ein standardisierter Begleitbericht vor. Er fasst das entsprechende Ereignis sowie die beiliegenden Daten zusammen und liefert nützliche Hintergrundinformationen.

5.8.4 Anwendung des Werkzeugs Schritt für Schritt

Schritt 1: Datenbeschaffung
Die *Beobachtungsdaten* werden beschafft. Des Weiteren wird über das Geoportal des Kantons Bern das digitale Geländemodell *(www.geo.apps.be.ch)* besorgt. Schliesslich wird GRASS GIS *(grass.osgeo.org)* heruntergeladen und installiert. Das Modul r.sim.water kann auch auf andere Weise ausgeführt werden, beispielsweise via QGIS *(www.qgis.org)* oder allgemeiner via OSGeoLive *(live.osgeo.org)*.

Schritt 2: Datenvorbereitung
Das Geländemodell wird auf die Ausdehnung des Simulationsperimeters zugeschnitten und von einer Auflösung von 0,5 m auf 2 m aggregiert. Zwar lässt sich das Ereignis auch mit dem Geländemodell in Originalauflösung nachmodellieren, doch bewegt sich damit r.sim.water gerade im Bereich der maximalen Anzahl von modellierbaren Zellen, was sehr lange Rechenzeiten verursacht.

Schritt 3: Parametrisierung
Für die Modellierung des Ereignisses mit r.sim.water werden unter anderem Rauigkeitsbeiwerte sowie effektive Niederschlagshöhen (Niederschlag abzüglich Infiltration = Niederschlag × Abflusskoeffizient) benötigt, die räumlich differenziert eingegeben werden können. Die Rauigkeitsbeiwerte wie auch die effektiven Niederschlagshöhen werden deshalb anhand der Landnutzung unterschieden und festgelegt.

Während für die Rauigkeitsbeiwerte (n) Literaturwerte herangezogen werden *(McCuen, 2016)*, werden die Abflusskoeffizienten (r) anhand der Zusatzinformationen aus dem Begleitbericht geschätzt: Es wird davon ausgegangen, dass die Siedlungsentwässerung während der intensivsten Phase des Niederschlagsereignisses kein zusätzliches Wasser mehr aufnehmen konnte (r = 1). Zudem wird angenommen, dass aufgrund der Bodenbeschaffenheit im Wald der gesamte anfallende Niederschlag versickern konnte (r = 0) und auf den Grasflächen (Kunstwiesen, Naturwiesen und Heimweiden) fast der gesamte Niederschlag (r = 0,1). Da die Vegetationsdichte aller bepflanzten Ackerflächen gering war und starke Verschlämmungen beobachtet wurden, wird auf diesen Flächen mit einer Versickerung von nur 20 % des Niederschlags gerechnet (r = 0,8).

Da zeitlich variierender Niederschlag in r.sim.water nicht direkt modelliert werden kann, wird einzig die Stunde mit dem höchsten gemessenen Niederschlagswert simuliert. Es kann davon ausgegangen werden, dass während dieser Zeit am meisten Wasser abfloss. Dies deshalb, weil die Konzentrationszeit von Oberflächenabfluss, also die Zeit, die benötigt wird, bis der Niederschlag oberflächlich zum Abfluss kommt, in diesem Anwendungsbeispiel sehr kurz ist. Die effektiven Niederschlagshöhen werden somit durch die Multiplikation des Stundenmaximums der Niederschlagsganglinie (17,4 mm/h) mit den Abflusskoeffizienten (r) gewonnen. Die daraus resultierende Parametrisierung ist in *Tab. 5.1* zusammengefasst.

Landnutzung	*Rauigkeitsbeiwert n ($s/m^{1/3}$)*	*Abflusskoeffizient r (-)*	*Eff. Niederschlag P_{eff} (mm/h)*
Gebäudeareal	*0.011*	*1.0*	*17.4*
Strasse/Weg/Befestigte Fläche	*0.012*	*1.0*	*17.4*
Obstbau/Garten	*0.410*	*0.1*	*1.7*
Bracher Acker	*0.090*	*0.8*	*13.9*
Bepflanzter Acker	*0.090*	*0.1*	*1.7*
Kunstwiese/Naturwiese	*0.240*	*0.1*	*1.7*
Wald	*0.400*	*0.0*	*0.0*

Tab. 5.1: Parametrisierung von r.sim.water, basierend auf den Beobachtungsdaten und Literaturwerten *(McCuen, 2016)*. Der effektive Niederschlag (P_{eff}) wurde durch die Multiplikation der Abflusskoeffizienten mit dem Stundenmaximum des Ereignisses (17,4 mm/h) ermittelt.

Schritt 4: Erstellung der Eingabedaten
Dem Shapefile der Landnutzung wird nun eine Spalte für den Rauigkeitsbeiwert sowie eine Spalte für den effektiven Niederschlag hinzugefügt. Daraufhin wird das Shapefile in ein Raster umgewandelt – zuerst für den Rauigkeitsbeiwert und anschliessend für den effektiven Niederschlag. Als Vorlage dient das zugeschnittene und aggregierte Geländemodell aus *Schritt 2*, d. h. die resultierenden Raster haben eine identische Ausdehnung und Auflösung wie das aufbereitete Geländemodell.

Schritt 5: Ausführen des Modells
Das Modell wird mit den erstellten Eingabedaten gefüttert und ausgeführt. Die Modellresultate werden auf den Untersuchungsperimeter bzw. das Einzugsgebiet zugeschnitten. Innerhalb des Beobachtungsperimeters können schliesslich die Modellresultate mit den beobachteten Überschwemmungsflächen verglichen werden. In diesem Fallbeispiel ist der Perimeter des Einzugsgebietes identisch mit dem Beobachtungsperimeter.

5.8.5 Resultate

Die maximalen Fliesstiefen der Simulation mit r.sim.water sind in *Abb. 5.24* dargestellt. Der Vergleich mit den beobachteten Überschwemmungsflächen zeigt, dass r.sim.water mit der gewählten Parametrisierung die Überschwemmungsflächen wesentlich unterschätzt. Die Hauptfliesswege werden vom Modell zwar grösstenteils erfasst, die Fliesspfade entlang der Strasse werden jedoch schlecht abgebildet.

Wie eingangs erwähnt, wird in diesem Anwendungsbeispiel nicht näher auf den Vergleich zwischen modellierten und beobachteten Überschwemmungsflächen eingegangen. Dieser Vergleich könnte bzw. müsste jedoch als Ausgangspunkt für eine verbesserte Nachmodellierung des Ereignisses angestellt werden («Kalibrierung» des Modells). Auch weiterreichende Fragestellungen, etwa zur Quantifizierung verschiedener Unsicherheiten oder zur Übertragbarkeit eines kalibrierten Modells auf andere Fallstudien, könnten mithilfe der Beobachtungsdaten untersucht werden.

5.8.6 Fazit

Mit den Beobachtungsdaten lassen sich ohne grossen Aufwand Überschwemmungsmodelle auf feinskaliger Stufe anwenden *(Kap. 4.6)* und mit Beobachtungen plausibilisieren *(Kap. 4.1.2)*. Dieser Schritt ist für viele Anwendungen, die sich auf Modellergebnisse stützen, zentral. Eine Voraussetzung für zuverlässige Aussagen ist i. d. R., dass die Modelle bestmöglich kalibriert und deren Simulationsergebnisse mit unabhängigen Beobachtungen validiert wurden. Oftmals wird aber aufgrund fehlender Daten auf diesen Schritt verzichtet.

Für die Bereitstellung der Eingabedaten sind zwar GIS-Kenntnisse nötig, die Anforderungen sind jedoch gering. Mithilfe der Landnutzung, die in unterschiedliche Aggregationsstufen eingeteilt ist, lassen sich zusammen mit den anderen Inhalten Überschwemmungsmodelle einfach für unterschiedliche Ausgangslagen parametrisieren. Zwar liegen den Beobachtungsdaten keine Terraindaten bei, diese können aber i. d. R. bei den verantwortlichen kantonalen Stellen bezogen werden.

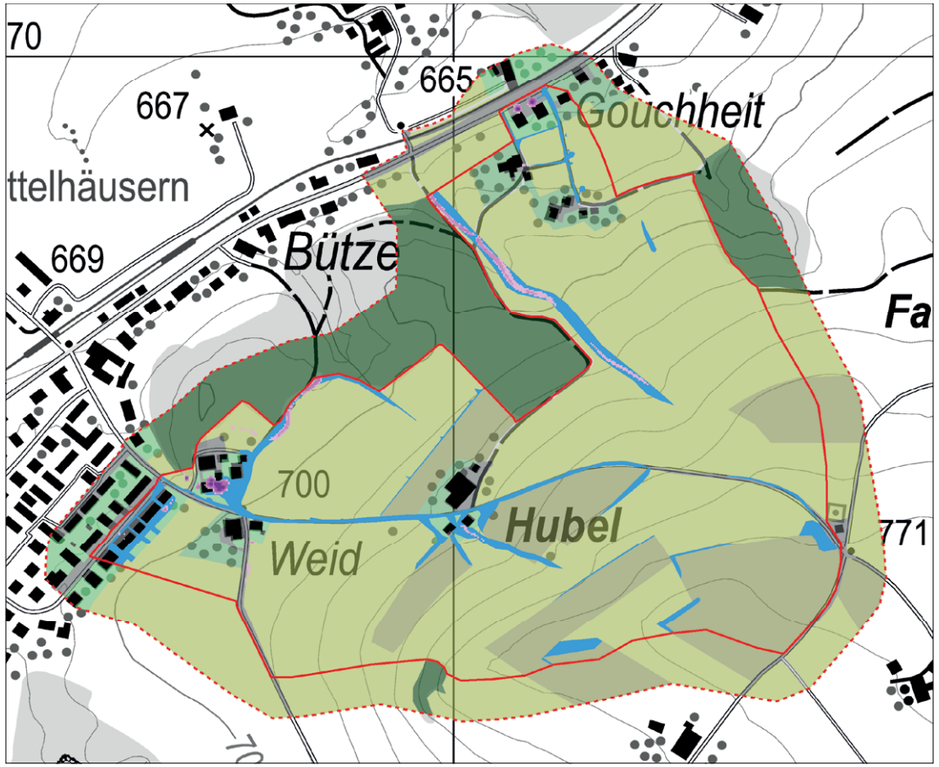
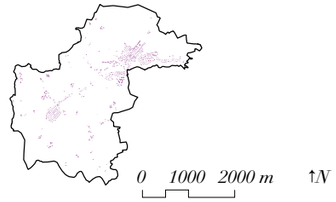


Abb. 5.24: Modellierte Fliesstiefen im Vergleich zu den beobachteten Überschwemmungsflächen von Oberflächenabfluss.

5.9 — Gebäudeschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss



5.9.1 Fragestellung

Wie können Gebäude und sich darin befindende Personen, Tiere und Sachwerte wirksam vor Oberflächenabfluss geschützt werden? Worauf ist beim Entwurf eines Neubaus besonders zu achten? Welche Massnahmen eignen sich zum Schutz bestehender Gebäude?

5.9.2 Ausgangslage

Ein Bauherr informiert sich im Internet, bei der Gemeinde oder bei seiner Versicherung über die Gefährdung durch Naturgefahren und erfährt, dass der Standort seines geplanten Neubaus in Niederscherli in einem potenziell von Oberflächenabfluss gefährdeten Gebiet liegt. Dieses Anwendungsbeispiel illustriert, welche Schritte zur Beurteilung der Gefährdung des geplanten Gebäudes und der Auswirkungen darauf erforderlich sind, wo die typischen Schwachstellen am Gebäude liegen und welche Schutzmassnahmen sich eignen.

Sowohl konzeptionelle als auch bauliche Schutzmassnahmen sind wirksam und kosteneffizient, sofern sie früh in den Planungsprozess einbezogen werden. Aufgrund der fehlenden oder zu kurzen Vorwarnzeit sind mobile Schutzmassnahmen generell ungeeignet. Deshalb wird ausschliesslich auf permanent wirkende, konzeptionelle und bauliche Massnahmen eingegangen. Sind mehrere benachbarte Objekte gefährdet, können koordinierte Massnahmen für ein ganzes Quartier sinnvoll sein (Arealschutz).

5.9.3 Grundlagen

Nebst Sachwerten können speziell in Untergeschossen wie Tiefgaragen auch Personen gefährdet sein, z. B. wenn das eintretende Wasser Fluchtwege versperrt. Bereits wenige Zentimeter Wasser an einer kritischen Stelle reichen aus, um einen beträchtlichen Schaden zu verursachen. Zudem können hohe indirekte Kosten entstehen, etwa infolge eines Betriebsunterbruchs. Dem Gebäudeschutz vor Oberflächenabfluss kommt deshalb grosse Bedeutung zu. Die Informationsplattform *Schutz-vor-Naturgefahren.ch* liefert Hintergrundinformationen und zeigt Lösungswege auf, wie Gebäude wirksam gegen Oberflächenabfluss geschützt werden können.

Eintrittswege von Wasser in Gebäude
Wasser kann über viele Wege in Gebäude eintreten; die Überschwemmung im Gebäudeinneren kann somit verschiedenste Ursachen haben. Typische Schwachstellen bei Oberflächenabfluss sind zu tief liegende oder ungeschützte Eingänge und Zufahrten, Fenster und Türen sowie Lichtschächte und Lüftungsöffnungen. Zudem kann Wasser über undichtes Mauerwerk oder Leitungsdurchführungen in das Gebäude eindringen, oder wenn sich Meteorwasser auf Balkonen, Terrassen und Vorplätzen aufstaut. Überdies können Laub, Äste, Schlamm, Hagel etc. Abläufe verstopfen und so zum Eindringen von Wasser in das Gebäude führen (siehe Nummern 4, 5, 6 und 8 in *Abb. 5.25*).

Typische Gefährdungs- und Schadenbilder bei Oberflächenabfluss
Durch Nässe, Verschmutzung und gegebenenfalls durch die Ablagerung von Feststoffen kann Oberflächenabfluss am und im Gebäude grossen Schaden anrichten. Die Schadenwirkung reicht typischerweise über die maximale Überschwemmungshöhe hinaus (Luftfeuchtigkeit, Kapillarität). Erfahrungsgemäss sehr kostenintensiv sind Schäden an technischen Anlagen wie Heizungen, Fahrstuhl oder IT-Infrastruktur, in Tiefgaragen sowie bei Innenausbauten gehobenen Standards. Ebenfalls problematisch sind Schäden an Aussenwärmedämmungen, falls diese grossflächig repariert oder ersetzt werden müssen. Auch chemische Reaktionen mit gelagerten Stoffen bzw. deren Einlagerung oder Austragung können schwerwiegende Folgen haben (z. B. aufschwimmender Öltank).

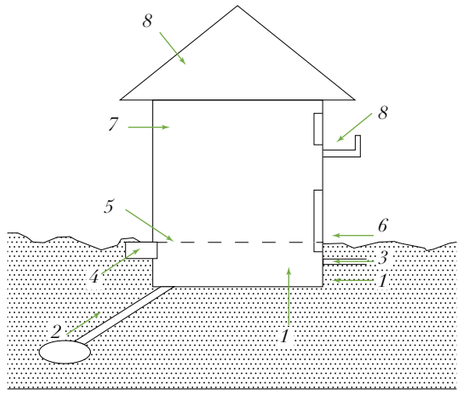


Abb. 5.25: Eintrittswege von Wasser in Gebäude. Die Nummern zeigen an: 1: Wasser durchdringt Kellerwände und/oder die Bodenplatte; 2: Wasserrückstau aus der Kanalisation; 3: Wasser durchdringt undichte Hausanschlüsse (Rohrwege, nicht druckwasserdicht ins Mauerwerk eingebettete Kabel) oder undichte Fugen; 4: Wasser strömt durch Lichtschächte und Kellerfenster; 5: Wasser durchsickert die Aussenwand; 6: Wasser dringt durch Tür- und Fensteröffnungen; 7: Wasser durchdringt die Fassade bei starkem Regen mit Sturm; 8: Wasser dringt über das Dach, den Balkon oder die Terrasse in das Gebäude ein. (Quelle: VKF)

Die wichtigsten Gefährdungsbilder *(Abb. 5.26)* bei Oberflächenabfluss sind:
– Zufluss von höher liegenden Hängen auf das Grundstück
– Zufluss über eine Strasse auf das Grundstück
– Ansammlung von Wasser in Muldenlage (dieses Gefährdungsbild ist besonders ungünstig)

Auch ohne Zufluss von aussen fällt auf dem Grundstück Meteorwasser und Oberflächenabfluss an. Ohne ausreichende Schutzmassnahmen kann Wasser in das Gebäude eindringen, wenn es sich z. B. auf Vorplätzen, Terrassen, an der Hauswand oder auf Flachdächern aufstaut. Die Entwässerung von Dächern ist meist auf das 5- bis 10-jährliche Niederschlagsereignis ausgelegt. Für seltenere Ereignisse sind Notüberläufe vorzusehen. Auf dem Grundstück werden i. d. R. nur die befestigten Plätze entwässert, die ebenfalls nur auf das 5- bis 10-jährliche Niederschlagsereignis dimensioniert sind. Bei selteneren Ereignissen sollte ein kurzzeitiger Aufstau keine nennenswerten Schäden verursachen können. Das Wasser kann auch an unerwarteten Stellen (z. B. über den Balkon) in das Gebäude eindringen oder die Konstruktion beschädigen (z. B. durch die Aufnahme von Feuchtigkeit in der Fassade). Deshalb ist es wichtig, dass Dachrinnen, Fallrohre und Bodeneinläufe regelmässig inspiziert und gereinigt werden. Wenn die Entwässerung nicht einwandfrei funktioniert, können bereits häufigere Ereignisse zum Aufstau und damit zu Schäden führen.

Schutzziele
Schutz-vor-Naturgefahren.ch empfiehlt, normale Wohn- und Gewerbegebäude mindestens bis zum 100-jährlichen Niederschlagsereignis zu schützen. Neubauten können meist mit einfachen Massnahmen auch gegen das 300-jährliche Ereignis geschützt werden. Wenn aufgezeigt werden kann, dass das Risiko über die gesamte Nutzungsdauer des Gebäudes gering ist, kann der Schutzgrad in Absprache mit allen Risikoträgern tiefer angesetzt werden. Die 2019 in Kraft tretende, überarbeitete Tragwerksnorm SIA 261/1 geht vom 300-jährlichen Ereignis als Schutzziel vor Hochwasser und Oberflächenabfluss aus, mit einem zusätzlich erhöhten Schutzgrad für die Bauwerksklassen II (z. B. Schulgebäude) und III (z. B. Akutspital).

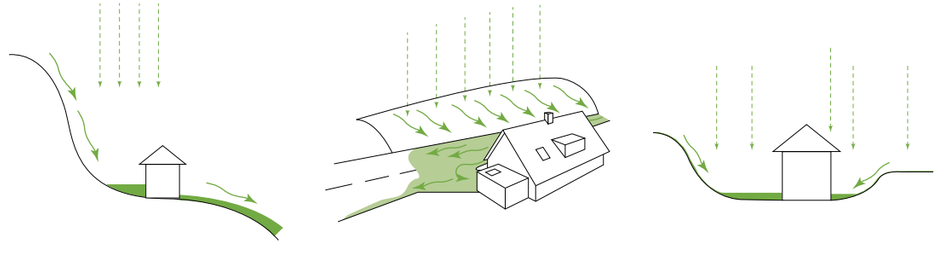


Abb. 5.26: Typische Gefährdungsbilder bei Oberflächenabfluss sind der Zufluss vom Hang (links), von angrenzenden Strassen, Vorplätzen und Zufahrten (Mitte) sowie die Ansammlung von Wasser in Mulden (rechts). (Quelle: VKF)

Das Spektrum der möglichen Massnahmen variiert. Neubauten lassen sich grundsätzlich auch an stark gefährdeten Standorten sehr gut schützen, i. d. R. ohne oder mit geringem Mehraufwand. Dies bedingt jedoch eine frühzeitige Auseinandersetzung der Projektverfasser mit der Gefährdung und den möglichen Schäden bereits im Rahmen des Vorprojekts. Nicht jede Schutzmassnahme ist sinnvoll, Aufwand und Wirkung müssen in einem guten Verhältnis stehen. Deshalb sind bei bestehenden Gebäuden die Wirtschaftlichkeit und Verhältnismässigkeit massgebend für die Wahl der Schutzmassnahmen. Zur Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses kann das Online-Tool *Prevent-Building* genutzt werden, das auf *Schutz-vor-Naturgefahren.ch* frei verfügbar ist. Das Tool richtet sich an Fachpersonen mit Hintergrundwissen bezüglich Schadenschätzung und Risikoberechnung.

5.9.4 Anwendung des Werkzeugs Schritt für Schritt

Für die Abklärung der Gefährdung und des Risikos, durch Oberflächenabfluss einen Schaden zu erleiden, und zur Planung geeigneter Schutzmassnahmen, werden die folgenden Schritte empfohlen.

Schritt 1: Erstabklärung
Im Rahmen der Erstabklärung der Gefährdung mithilfe der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss wird die auf der Karte abgebildete Situation studiert *(Kap. 4.2)*, vor Ort beurteilt *(Kap. 4.1.1)* und mit Plänen verglichen. Anpassungen am Gelände, an Wegen und Strassen hangaufwärts sowie an Kleinstrukturen müssen in die Beurteilung einbezogen werden. Nachfolgende Fragen sind zu beantworten:
– Enthält die Gefährdungskarte Oberflächenabfluss für das betreffende Grundstück oder direkt daran angrenzende Gebiete im Umkreis von 300 Metern Hinweise auf Oberflächenabfluss? Wo fliesst das Wasser auf und um das Grundstück ab?
– Wo kann sich Wasser im Gelände und wo am Gebäude aufstauen (unter der Annahme, dass die Entwässerung nicht oder nur eingeschränkt funktioniert)?
– Wie liegt das Gebäude im Gelände? Ist beispielsweise das Gefälle zum Gebäude hin gerichtet oder liegt das Gebäude sogar in einer Mulde, in der sich Wasser sammeln kann?
– Liegen das Gebäude und dessen Öffnungen und Zugänge deutlich über dem potenziell benetzten Bereich? Welche Zugänge, Öffnungen und Leitungsdurchdringungen erfordern zusätzlichen Schutz?
– Wie sieht die Situation in der Umgebung aus? Beeinflussen Terrainveränderungen oder bereits geplante Schutzmassnahmen *(Schritt 3)* die Gefährdung benachbarter Grundstücke (gemäss ZGB Art. 689 darf der natürliche Wasserabfluss nicht zum Schaden des Nachbarn verändert werden!)?

Schritt 2: Detaillierte Abklärung der Gefährdung am Standort
Für die Beurteilung des Risikos ebenso relevant wie die Gefahrenanalyse ist die Analyse der Nutzung und die Folgen für die potenziell betroffenen Werte. Sind die Auswirkungen auf Personen, Tiere, auf die Umwelt sowie auf Sachwerte und den Betrieb sehr gering und Schutzmassnahmen aufwendig, kann Oberflächenabfluss eventuell toleriert werden (eine Absprache mit den Behörden und weiteren Risikoträgern wird empfohlen). Damit erübrigen sich auch detaillierte Analysen der Gefährdung. In den meisten Fällen sind jedoch die oben erwähnten Schutzziele massgebend und erfordern eine detaillierte Gefahrenabklärung.

Die Erstabklärung *(Schritt 1)* bietet einen ersten Anhaltspunkt, ob das Gebäude an einem bestimmten Standort gefährdet sein könnte und welche Schwachpunkte genauer zu analysieren sind. Der Wasserabfluss auf und um das Grundstück wird vor Ort analysiert, d. h. die folgenden Fragen sind mit Blick hangaufwärts und rund um das Grundstück im Umkreis von ca. 300 Metern zu beantworten: Woher kommt das Wasser? Welche Strukturen verändern die Fliessrichtung? Auf welcher Breite/Fläche fliesst das Wasser ab und wo kann es sich aufstauen? Welchen weiteren Weg nimmt es? Ein Blick auf die Erosionsrisikokarte *(Kap. 4.3)* gibt zudem einen Hinweis, ob auch Feststoffe mitgeführt werden könnten.

Bestehen sowohl für das Grundstück als auch die direkt daran angrenzenden Gebiete keine Hinweise auf Oberflächenabfluss, ist das Gebäude wahrscheinlich nicht gefährdet, vorausgesetzt das auf der Parzelle anfallende Wasser wird korrekt vom Gebäude weggeleitet oder ein allfälliges Aufstauen bleibt schadlos *(s. Empfehlungen auf Schutz-vor-Naturgefahren.ch)*. Bei Hinweisen auf geringe Wassertiefen bis maximal 25 cm und geringer Geländeneigung (max. 10 %) kann die Architektin oder der Architekt mit einfachen konzeptionellen Massnahmen *(Schritt 3 und Schritt 4)* einen guten Schutz erreichen und diese Massnahmen i. d. R. auch selbst planen und umsetzen. In Abhängigkeit der Schutzziele und als Grundlage zur Planung von Schutzmassnahmen ist die Schutzhöhe zu definieren, die mindestens der Wirkungshöhe entspricht. Die Wirkungshöhe setzt sich zusammen aus der erwarteten Wassertiefe und, bei höheren Fliessgeschwindigkeiten, dem Zuschlag einer Stauhöhe *(siehe Suter, 2013)*. Insbesondere bei Wassertiefen von mehr als 25 cm, höheren Fliessgeschwindigkeiten oder komplexen Situationen empfiehlt sich der frühzeitige Beizug einer Fachperson bzw. eine detaillierte Abklärung der Gefährdung und der Schutzhöhe für den Standort *(Punktuelle Gefahrenabklärung, Kap. 4.4; Feinskalige Modellierung, Kap. 4.6)*.

Schritt 3: Überprüfung von Strategien und konzeptionellen Lösungsansätzen
Bei Hinweisen auf eine Gefährdung durch Oberflächenabfluss *(Schritt 2)* wird abgeklärt, welche der folgenden Strategien und konzeptionellen Schutzmassnahmen umsetzbar sind. Grundsätzlich muss das ganze Gebäude bis auf die definierte Schutzhöhe dicht und wasserunempfindlich ausgebildet sein. Besteht bei grösseren Überbauungen oder mehreren benachbarten Gebäuden Handlungsbedarf, können sich koordinierte Schutzmassnahmen lohnen. Als Schutzstrategien bieten sich Massnahmen zur Abschirmung und Ableitung in Abflusskorridoren an.

– Standort und Ausrichtung des Gebäudes auf dem Grundstück: Die Wahl eines möglichst ungefährdeten Standorts ist bei gravitativen Naturgefahren generell sehr wirksam, in der Praxis aber meist stark eingeschränkt. Bei Oberflächenabfluss kann schon eine kleine Verschiebung des Gebäudes auf derselben Parzelle oder eine andere Orientierung von Fassade und Zugängen die Sicherheit positiv beeinflussen. Besonders zu meiden sind Mulden und Rinnen, in denen sich Wasser ansammeln kann (hier sollten Zugänge und Einfahrten talseitig liegen oder geschützt sein, *Abb. 5.27*).
– Die Terraingestaltung auf dem und unmittelbar um das Grundstück hat einen entscheidenden Einfluss auf die Abflusswege und maximalen Wassertiefen. Die Umgebungsgestaltung ist so zu konzipieren, dass das Wasser stets vom Gebäude wegfliesst und sich nicht am Gebäude oder bei Zugängen und Öffnungen aufstauen kann. Gegebenenfalls sind auf dem Grundstück auch Retentionsräume in Geländemulden, Versickerungsmulden oder Abflusskorridore realisierbar. Kleine Dämme lassen sich gut in die Gartengestaltung integrieren *(Abb. 5.27)*, müssen aber widerstandsfähig und dauerhaft geplant werden.

– Ein bei Neubauten besonders wirksames Konzept ist der Schutz durch erhöhte Anordnung, d. h. durch die Höherlegung des Gebäudes über die Schutzhöhe (inkl. sämtlicher Öffnungen und Zugänge).
– Abdichtung und erhöhte Öffnungen: Wird die gesamte Gebäudehülle im potenziell benetzten Perimeter vollständig abgedichtet und mit wasserunempfindlichen Materialien ausgestaltet, lässt sich der Wassereintritt wirksam verhindern. Die Unterkante von Öffnungen muss über der maximal zu erwartenden Wasserhöhe (Schutzhöhe) liegen.

Schritt 4: Planung und Umsetzung von konstruktiven Schutzmassnahmen
Konstruktive Schutzmassnahmen bieten zusätzlichen Schutz vor Oberflächenabfluss, falls konzeptionelle Massnahmen *(Schritt 3)* nicht ausreichen. Das Spektrum solcher baulichen Schutzmassnahmen ist am Beispiel einer Fassade mit Türe, Fenster und Lichtschacht in *Abb. 5.28* exemplarisch illustriert.

5.9.5 Fazit

Die Anordnung und Gestaltung des Gebäudes und dessen Umgebung haben einen entscheidenden Einfluss auf den Schutz vor Oberflächenabfluss. Wer Muldenlagen meidet und den Wasserabfluss konsequent vom Gebäude weg plant, erzielt i. d. R. einen guten Schutz. Potenziell gefährdete Gebäudeöffnungen können erhöht angeordnet oder abgedichtet werden. Aufgrund der zu kurzen Vorwarnzeit sind mobile Schutzelemente ungeeignet. Sämtliche Veränderungen des Wasserabflusses auf dem Grundstück dürfen nicht zu einer Erhöhung der Gefährdung benachbarter Grundstücke führen. Die Informationsplattform *Schutz-vor-Naturgefahren.ch* zeigt das Spektrum der möglichen Schutzmassnahmen auf und bietet Planungshilfen für deren Umsetzung.



Abb. 5.27: Ein leichtes Gegengefälle und seitliche Mauern schützen die Einfahrt dieser Tiefgarage vor Wassereintritt (links). In die Umgebungsgestaltung integrierter Damm (Mitte). Hochgezogener Lichtschacht in Kombination mit Sitzbank (rechts). (Quelle: Aargauische Gebäudeversicherung AGV)

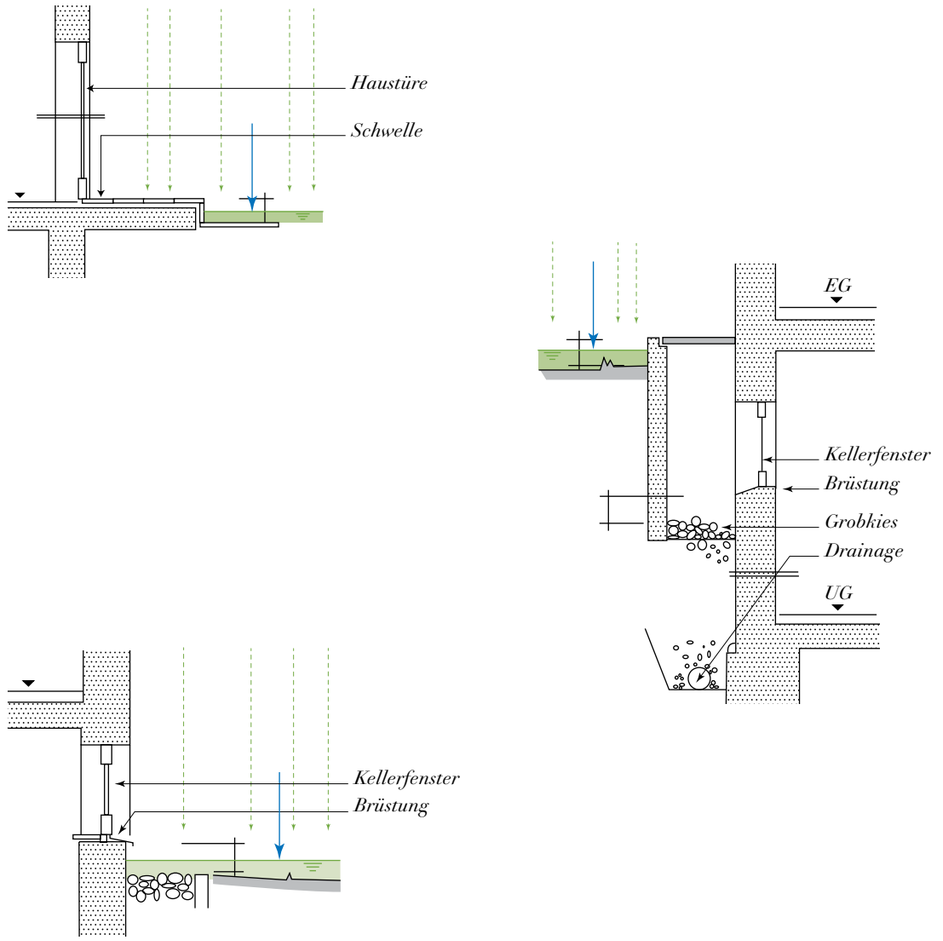


Abb. 5.28: Türsituation (oben links): Die Rückstauebene (blauer Pfeil) darf das Niveau der Türöffnung nicht erreichen. Das Gefälle muss vom Gebäude wegführen. Fenstersituation: Die Rückstauebene (blauer Pfeil) darf das Niveau der Fensteröffnung nicht erreichen. Lichtschachtsituation: Die Rückstauebene (blauer Pfeil) darf das Niveau der Lichtschachtöffnung nicht erreichen. Der Lichtschacht kann bei ausreichender Untergrundentwässerung an seiner Sohle offen ausgebildet sein. Im Fall von drückendem Grundwasser ist der Lichtschacht als geschlossenes Becken dicht und auftriebssicher ans Gebäude anzuschliessen. (Quelle: VKF)

Literaturverzeichnis

Alder, S., Herweg, K., Liniger, H., Prasuhn, V. (2013): «Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Gewässeranschlusskarte der Erosionsrisikokarte der Schweiz (ERK2) im 2×2-Meter-Raster». Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW). Centre for Development and Environment (CDE); Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

Alder, S., Prasuhn, V., Liniger, H., Herweg, K., Hurni, H., Candinas, A., Gujer, H.U. (2015): «A high-resolution map of direct and indirect connectivity of erosion risk areas to surface waters in Switzerland – A risk assessment tool for planning and policy-making», in: Land Use Policy 48, S. 236–249. doi: *10.1016/j.landusepol.2015.06.001*

BAFU und BLW (2013): «Bodenschutz in der Landwirtschaft: Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft», in: Umwelt-Vollzug Nr. 1313, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

BAFU, SVV, VKG (2018): «Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz». geo7 – Geowissenschaftliches Büro, Bern.

Bernet, D.B., Prasuhn, V., Weingartner, R. (2017): «Surface water floods in Switzerland: what insurance claim records tell us about the damage in space and time», in: Natural Hazards and Earth System Sciences 17(9), S. 1659–1682. doi: *10.5194/nhess-17-1659-2017*

Bernet, D.B., Trefalt, S., Zischg, A.P., Weingartner, R., Martius, O. (2018a [in prep.]): «Characterizing precipitation events leading to surface water flood damages».

Bernet, D.B., Zischg, A.P., Prasuhn, V., Weingartner, R. (2018b): «Modeling the extent of surface water floods in rural areas: Lessons learned from the application of various uncalibrated models», in: Environmental Modelling & Software 109, S. 134–151. doi: *10.1016/j.envsoft.2018.08.005*

Bernet, D.B., Stawicki, M., Zischg, A.P., Prasuhn, V., Weingartner, R. (2018c): «Observational data of surface water flood events», Mendeley Data, v2. doi: *10.17632/v8z6kwh8kw.2*

Gisler, S., Liniger, H., Prasuhn, V. (2010): «Technisch-wissenschaftlicher Bericht zur Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz im 2×2-Meter-Raster (ERK2)». Centre for Development and Environment (CDE); Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Bern.

Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Lazzarotto, P., Evangelou, M.W.-H., Schulin, R. (2013): «Prediction of dissolved reactive phosphorus losses from small agricultural catchments: calibration and validation of a parsimonious model», in: Hydrology and Earth System Sciences 17(10), S. 3679–3693. doi: *10.5194/hess-17-3679-2013*

Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Milledge, D.G., Schulin, R. (2014): «A comparison of three simple approaches to identify critical areas for runoff and dissolved reactive phosphorus losses», in: Hydrology and Earth System Sciences 18(8), S. 2975–2991. doi: *10.5194/hess-18-2975-2014*

Lazzarotto, P., Stamm, C., Prasuhn, V., Flühler, H. (2006): «A parsimonious soil-type based rainfall-runoff model simultaneously tested in four small agricultural catchments», in: Journal of Hydrology 321(1–4), S. 21–38. doi: *10.1016/j.jhydrol.2005.07.038*

McCuen, R.H. (2016): Hydrologic analysis and design, 4. Aufl.; Hoboken.

Prasuhn, V., Liniger, H., Gisler, S., Herweg, K., Candinas, A., Clément, J.-P. (2013): «A high-resolution soil erosion risk map of Switzerland as strategic policy support system», in: Land Use Policy 32, S. 281–291. doi: *10.1016/j.landusepol.2012.11.006*

Rüttimann, D., Egli, T. (2010): «Wegleitung punktuelle Gefahrenabklärung Oberflächenwasser», Naturgefahrenkommission des Kantons St. Gallen, St. Gallen.

SIA Norm 261/1: «Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen», überarbeitete Version erscheint 2019.

SIA Dokumentation D 0260: «Entwerfen und Planen mit Naturgefahren», erscheint Ende 2018. *www.schutz-vor-naturgefahren.ch/D0260*

SIA Dokumentation D 0261: «Hochwasser», erscheint Anfang 2019. *www.schutz-vor-naturgefahren.ch/D0261*

Suter, U. (2013): «Definition der Schutzhöhe beim Objektschutz Hochwassergefahren», Suter Hydro Engineering AG, Meilen.

Impressum

Herausgeber:
Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie (SGHL), Schweizerische Hydrologische Kommission (CHy) der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) und Mobiliar Lab für Naturrisiken der Universität Bern

Autoren:
– Daniel B. Bernet, Mobiliar Lab für Naturrisiken und Geographisches Institut der Universität Bern: Projektleitung und Koordination, allgemeine Kapitel, punktuelle Gefahrenabklärung, feinskalige Modellierung, Schadendaten-Klassierung, Beobachtungsdaten
– Rouven A. Sturny, Mobiliar Lab für Naturrisiken, Bern: Projektbegleitung, Entscheidungsschema
– Catherine Berger, geo7 – Geowissenschaftliches Büro, Bern: Gefährdungskarte Oberflächenabfluss
– Andy Kipfer, geo7 – Geowissenschaftliches Büro, Bern: Gefährdungskarte Oberflächenabfluss
– Volker Prasuhn, Agroscope – Kompetenzzentrum des Bundes für landwirtschaftliche Forschung, Zürich: Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte
– Benno Staub, Schutz-vor-Naturgefahren.ch/Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bern: Gebäudeschutzmassnahmen
– Sebastian Stoll, Agroscope – Kompetenzzentrum des Bundes für landwirtschaftliche Forschung, Zürich: Phosphorverlust-Modellierung
– Luzius Thomi, Mobiliar Lab für Naturrisiken, Bern: Projektbegleitung

Begleitgruppe:
Antoine Magnollay, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern
Ueli Salvisberg, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern
Dörte Aller, Aller Risk Management, Zürich

Lektorat: Britta Schröder, Bad Nauheim
Gestaltung: Graphic design: superbüro, Biel/Bienne
Druck: Ediprim AG, Biel/Bienne
Bewilligungsvermerk: Hintergrundkarten reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA18069)

Bezug des Bandes:
Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)
Schweizerische Hydrologische Kommission (CHy)
Haus der Akademien
Laupenstrasse 7
Postfach
3001 Bern
www.naturwissenschaften.ch/organisations/chy

Zitiervorschlag:
Bernet DB, Sturny RA, Berger C, Kipfer A, Prasuhn V, Staub B, Stoll S, Thomi L (2018) Werkzeuge zum Thema Oberflächenabfluss als Naturgefahr – eine Entscheidungshilfe. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 42, Bern.

ISBN: 978-3-9524235-4-7
ISSN: 1421-1130 (gedruckte Version)/1664-9729 (elektronische Version)

Notizen

Oberflächenabfluss gefährdet Personen, Sachwerte, landwirtschaftliche Kulturen, die Umwelt und kann zu Verkehrs- und Betriebsunterbrüchen führen. Zu Oberflächenabfluss kommt es, wenn Niederschlag nicht (mehr) im Boden versickern oder durch die Entwässerung abgeführt werden kann.

Diese Entscheidungshilfe bietet eine Übersicht verschiedener Werkzeuge, charakterisiert diese hinsichtlich Einsatzzweck, Branche und Aufwand und illustriert deren Anwendung anhand einer typischen Fragestellung in einem exemplarischen Untersuchungsgebiet.

Folgende Werkzeuge sind Teil der Entscheidungshilfe:
– Gefährdungskarte Oberflächenabfluss
– Erosionsrisiko- und Gewässeranschlusskarte
– Punktuelle Gefahrenabklärung
– Modellierung von Phosphorverlusten
– Feinskalige Modellierung von Oberflächenabfluss
– Toolbox zur Schadendaten-Klassierung
– Beobachtungsdaten von Oberflächenabfluss-Ereignissen
– Gebäudeschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss.

ISBN 978-3-9524235-4-7