FAN Praxiskurs
«Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren»

Modul BASIS

Grundsätze, Rahmenbedingungen und generelles Vorgehen

Autoren:

Dörte Aller, Aller Risk Management GmbH
Tel. 044 311 98 86, aller@aller-risk.ch

Veronika Röthlisberger, Amt für Wald, Jagd und Fischerei Kanton Solothurn
Tel. 062 311 87 87, veronika.roethlisberger@vd.so.ch
(vormals: Geomorphologie und Risiko, Geographisches Institut der Universität Bern)

David Jud, Meier und Partner AG
Tel. 071 227 30 06, d.jud@meierpartner.ch

Im Auftrag von

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Der Praxiskurs «Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren» der Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN) im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) bietet Berufseinsteigern mit geringer praktischer Erfahrung in der Gefahrenbeurteilung eine Möglichkeit, sich Fachkenntnisse zur Beurteilung von gravitativen Naturgefahrenprozessen anzueignen, entsprechende Fähigkeiten zu trainieren und diese zielgerichtet anzuwenden.

Projektleitung
Eva Gertsch-Gautschi, BAFU
Christoph Graf, FAN (Gesamtprojektleiter)
Nils Hählen, FAN
Wolfgang Ruf, BAFU

Begleitgruppe
Hans Kienholz
Roberto Loat, BAFU
Christian Wilhelm, Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Graubünden

Kontakt
Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN)
c/o Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Gebirgshydrologie und Massenbewegungen
Christoph Graf Zürcherstrasse 111
8903 Birmensdorf
+41 44 7392 454
christoph.graf@wsl.ch / praesident@fan-info.ch

Zitiervorschlag
Aller, Dörte (Modulleitung); Röthlisberger, Veronika; Jud, David. 2021: Skript Modul BASIS. Praxiskurs Gefahrenbeurteilung gravitative Naturgefahren. Fachleute Naturgefahren Schweiz FAN, V. 1.0, 81 S.

Bezug
Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN)
c/o geo7 AG
Sonja Cosandey
Neufeldstrasse 5-9
3012 Bern
Tel: 031 300 44 33
kontakt@fan-info.ch

© Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN), 2022 Datum 14. April 2022

Inhalt

Inhalt 3
1 Einleitung 6
2 Umgang mit Risiken aus Naturgefahren in der Schweiz – Integrales Risikomanagement (IRM) 8
2.1 Gefahrenanalyse und –beurteilung als Grundpfeiler des IRM 8
2.2 Was ist integrales Risikomanagement (IRM)? 9
2.3 Angestrebtes Sicherheitsniveau 10
2.4 Risikoübersichten 11
3 Gesetzliche und regulatorische Rahmenbedingungen für die Gefahrenbeurteilung 12
3.1 Strategie Umgang mit Risiken aus Naturgefahren 12
3.2 Gesetzliche Grundlagen Bund 12
3.3 Gesetzliche Grundlagen Kantone 14
3.4 Vollzugshilfen/Richtlinien/Empfehlungen 15
4 Prinzipien und wichtige Arbeitsschritte der Gefahrenbeurteilung 16
4.1 Bearbeitungstiefe und Massstab 16
4.2 Räumliche Systemabgrenzung - Einbezug der Prozessquellen 17
4.3 Zeitlicher Bezug der Gefahrenbeurteilung 19
4.4 Gesamter Ablauf einer Gefahrenbeurteilung 20
4.5 Beschaffung der projektspezifischen Grundlagen 22
4.6 Grundansätze der Gefahrenbeurteilung 22
4.6.1 Ereignisdokumentation 23
4.6.2 Geländeaufnahmen 24
4.6.3 Berechnungen und Modellierungen 25
4.7 Erarbeitung und Wahl der relevanten Szenarien 26
4.7.1 Szenarienbildung und Szenarienwahl 26
4.7.2 Qualitative Überlegungen - Ereignisablaufszenarien 28
4.7.3 Prozessgrössen (Ausmass, Massen, Volumen, Magnitude, etc.) 30
4.7.4 Wiederkehrperioden und Wahrscheinlichkeit 31
4.8 Festlegung der Szenarien - Szenariensitzung 33
4.9 Gefahrenbeurteilung im Wirkungsgebiet 34
4.9.1 Wirkungsanalyse (Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten pro Prozessquelle) 34

4.9.2 Intensitätskarten 35
4.9.3 Gefahrenkarten 37
4.9.4 Von der Einzelgefahrenkarte zur synoptischen Gefahrenkarte 40
4.10 Massnahmenvorschläge 40
5 Qualitätsmanagement bei der Gefahrenbeurteilung 41
5.1 Qualitätsmanagement durch die Auftragnehmer 41
5.1.1 Fachlich richtig 41
5.1.2 Nachvollziehbar 41
5.1.3 Kompetenz der Bearbeiter 42
5.2 Umgang mit Unsicherheiten und Unschärfen 42
5.3 Besondere Herausforderungen bei der Revision bestehender Gefahrenkarten 43
6 Produkte der Gefahrenbeurteilung 45
6.1 Allgemeines 45
6.2 Qualitätssicherung der Dossiers 45
6.3 Kartenwerke 45
6.4 Daten 46
6.5 Bericht 47
6.6 Erstbeurteilungen und Nachführung 47
7 Kommunikation 49
7.1 Einbezug der Akteure und Wissensträger 49
7.2 Kommunikation der Resultate 49
8 Auftrags- und Vergabewesen der Gefahrenbeurteilung: rechtliche Rahmenbedingungen 51
8.1 Gefahrenbeurteilungen sind Dienstleistungen 51
8.2 Gefahrenbeurteilungen für die öffentliche Hand 52
9 Literatur 54
10 Anhänge 58
10.1 Anhang: Historische Entwicklung 58
10.2 Anhang: Schäden durch Naturgefahren 59
10.2.1 Todesfälle 59
10.2.2 Sachschäden 59
10.2.3 Betriebsunterbruch, etc. 60
10.3 Anhang: Anforderungen für Subventionierung durch den Bund 61

10.4 Anhang: Wahrscheinlichkeiten 63
10.5 Anhang: Extremwertstatistik 65
10.5.1 Einleitung 65
10.5.2 Zeitreihe analysieren 65
10.5.3 Empirische Wiederkehrperioden 66
10.5.4 Lognormal-Verteilung 67
10.5.5 Extremwert-Statistik – Einleitung 68
10.5.6 Extremwert-Statistik – Block Maximum Approach 69
10.5.7 Extremwert-Statistik – Peak-over-Threshold Methode 73
10.5.8 Extremwert-Statistik – Beispiele aus der Praxis 76
10.5.9 Extremwert-Statistik – Fazit 78
10.5.10 Extremwert-Statistik – Literatur 79
10.6 Anhang: Verantwortung und Haftung von Experten und Behörden – zivil und strafrechtliche Fragen 80
10.6.1 Haftung Behörden 80
10.6.2 Zivilrechtliche Haftung für Expertisen, Gutachten 80
10.6.3 Strafrechtliche Verantwortung des Experten 80
10.6.4 Anforderung Zweitgutachen 81

1 Einleitung

Naturgefahren schliessen alle Vorgänge und Einwirkungen der Natur ein, die für Schutzgüter wie Personen, erhebliche Sachwerte und die Umwelt schädlich sein können (PLANAT 2015).

Aufgrund ihrer Ursache lassen sich Naturgefahren in vier verschiedene Gruppen gliedern:

- gravitative
- tektonische
- klimatisch-meteorologische
- biologische

Der FAN PRAXISKURS «GEFAHRENBEURTEILUNG GRAVITATIVE NATURGEFAHREN» fokussiert auf die Gefahrenbeurteilung von **gravitativen Naturgefahren auf Stufe Orts- oder Nutzungsplanung** (Ebene Gemeinde), konkret auf die Erstellung von standardisierten Gefahrenkarten. Gravitiative Naturgefahren haben einen starken Raumbezug und lassen sich deshalb vergleichsweise gut räumlich abgrenzen.[1]

Die Abbildung 1 zeigt die **Einteilung und Begrifflichkeiten der Haupt- und Teilprozesse der gravitativen Naturgefahren gemäss dem Datenmodell Gefahrenkartierung des BAFU** (BAFU 2017).

Bei bestehenden Gefahrenbeurteilungen wurden zum Teil noch abweichende Begriffe und Aufteilungen verwendet. Auf diese Beispiele beziehen sich teilweise die Fachmodule. Dabei steht die didaktische Vermittlung im Vordergrund. Neu zu erarbeitende Gefahrenbeurteilungen orientieren sich am Datenmodell des BAFU.

Oberflächenabfluss, Grundwasseraufstoss (an die Oberfläche) oder Kanalisationsrückstau (aus einem Gewässer) können zusätzlich als Hinweisprozesse (mit spezieller Darstellung) in den Gefahrenkarten Eingang finden.

Im FAN PRAXISKURS «GEFAHRENBEURTEILUNG GRAVITATIVE NATURGEFAHREN» werden folgende **MODULE** angeboten:

- BASIS
- FLIESSGEWÄSSER A (Wildbäche)
- FLIESSGEWÄSSER B (Talflüsse / flache Talgewässer / Gebirgsflüsse)
- STURZ
- RUTSCHUNGEN
- LAWINEN

[1] Im Gegensatz zu den gravitativen Naturgefahren können Starkregen, Hagel, Schneefall, Sturm und Erdbeben per se überall auftreten, wenn auch unterschiedlich stark. Diese Gefahren können jedoch sekundär gravitative Prozesse auslösen oder zusammenwirken (zum Beispiel Schneefall → Lawinen, Erdbeben → Rutschungen; Starkregen → Hochwasser und Oberflächenabfluss).

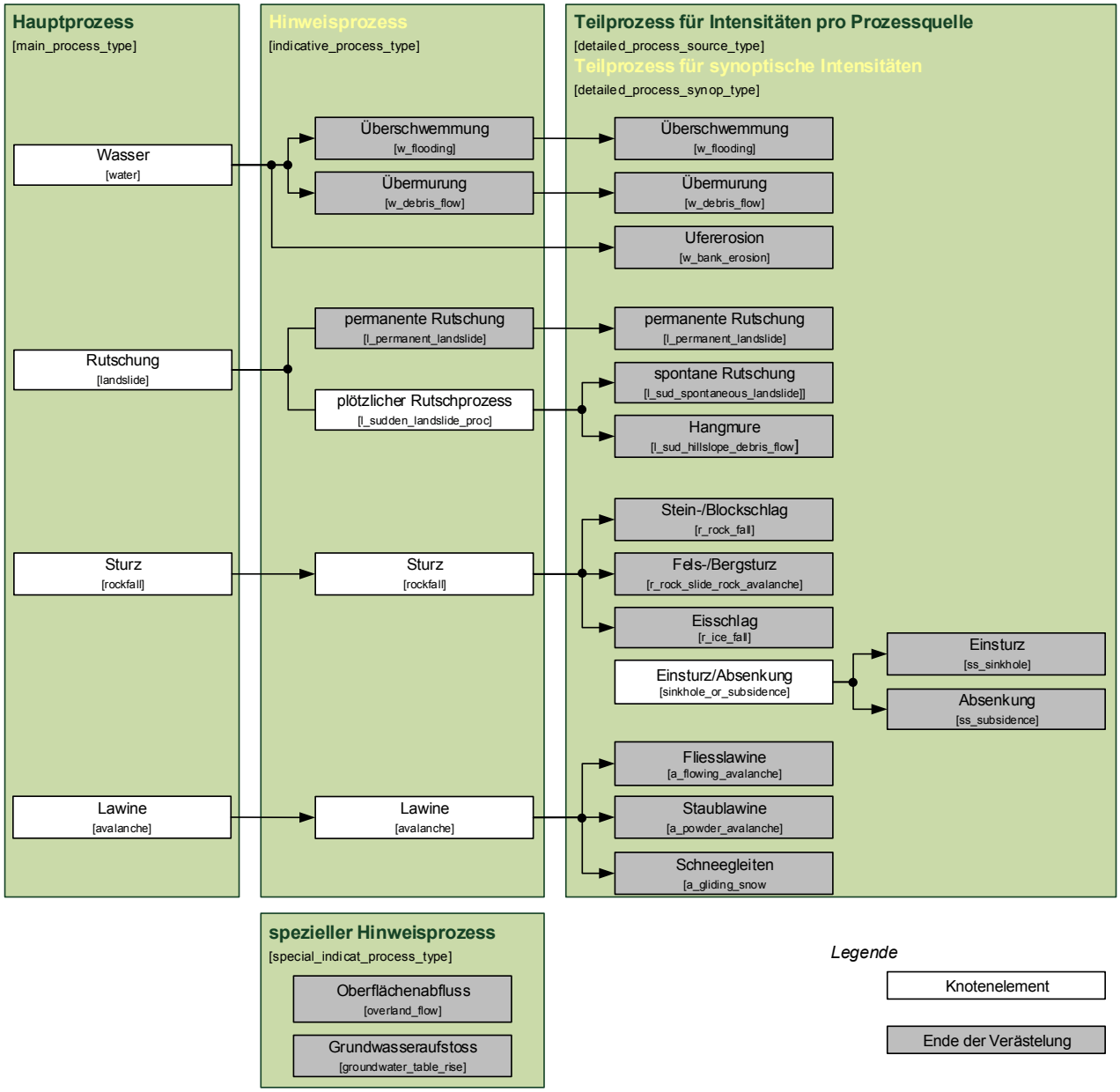


Abbildung 1 Haupt- und Teilprozesse der gravitativen Naturgefahren gemäss dem Datenmodell Gefahrenkartierung des BAFU. Quelle: BAFU 2017

Im **BASISMODUL** werden das grundsätzliche Vorgehen und die Prinzipien einer Gefahrenbeurteilung aufgezeigt. Der Fokus liegt auf der Vermittlung der entscheidenden Aspekte und Faktoren, die bei der Beurteilung von Naturgefahren zu beachten sind.

Das Skript behandelt die wesentlichen Punkte, Prinzipien und Rahmenbedingungen einer Gefahrenbeurteilung. Es ist teilweise eng an bestehende Texte angelehnt, die alle im Literaturverzeichnis (Kapitel 9) aufgeführt sind. Das Skript enthält neben den wesentlichen Punkten auch ausführlichere Hinweise, wenn diese in geeigneter Form nicht an anderer Stelle zur Verfügung stehen. Ansonsten wird auf Dokumente verwiesen, welche die jeweilige Thematik vertiefen, zum Beispiel auf Publikationen des Bundes. Auf eine ausführliche Wiederholung längerer Passagen im Skript wird bewusst verzichtet. Auch Arbeitsinstrumente, deren Anwendung heute in Weiterbildungen erlernt werden kann, werden nicht behandelt, zum Beispiel Geographische Informationssysteme (GIS). **Die Inhalte des Skriptes und die am Kurstag vermittelten Inhalte ergeben zusammen ein Gesamtpaket.**

2 Umgang mit Risiken aus Naturgefahren in der Schweiz – Integrales Risikomanagement (IRM)

Risiken werden durch das Ausmass und die Wahrscheinlichkeit möglicher Schäden definiert. Charakteristische Kennwerte des Risikos sind einerseits der mittlere Schaden pro Jahr und andererseits die Schadenhöhen bei verschiedenen Wiederkehrperioden (PLANAT 2015a und Kleinn 2022). In die Risikoabschätzung miteinbezogen werden Informationen zur Intensität, Ausdehnung und Häufigkeit von Naturgefahrenprozessen (Gefährdung) sowie die davon potenziell betroffenen Schutzgüter (Exposition) und deren Verwundbarkeit (Abbildung 2).



Abbildung 2 (Katastrophen-)Risiken werden durch Gefährdungen, die Exposition der (potenziell betroffenen) Schutzgüter und deren Verwundbarkeit bestimmt. Quelle: IPCC 2016, eigene Anpassung

2.1 Gefahrenanalyse und –beurteilung als Grundpfeiler des IRM

«Integrales **R**isiko**m**anagement (IRM) bedeutet, Risiken im Rahmen einer Gesamtbetrachtung zu beurteilen und den Handlungsbedarf zu priorisieren (Kapitel 2.2)

Dabei werden drei Fragen beantwortet (Abbildung 3):

- **Was kann passieren?** Die Risikoanalyse beruht auf wissenschaftlich gestützten Verfahren; erfasst werden Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren (→ **Gefahrenbeurteilung)** sowie die zu erwartenden Schäden.
- **Was darf passieren?** Die Risikobewertung klärt, welche Risiken akzeptierbar sind und welche nicht.
- **Was ist zu tun?** Die integrale Massnahmenplanung wägt Risiken und Chancen ab und definiert, in welchem Umfang Risiken gemieden, gemindert und getragen werden sollen.»

(PLANAT 2018)

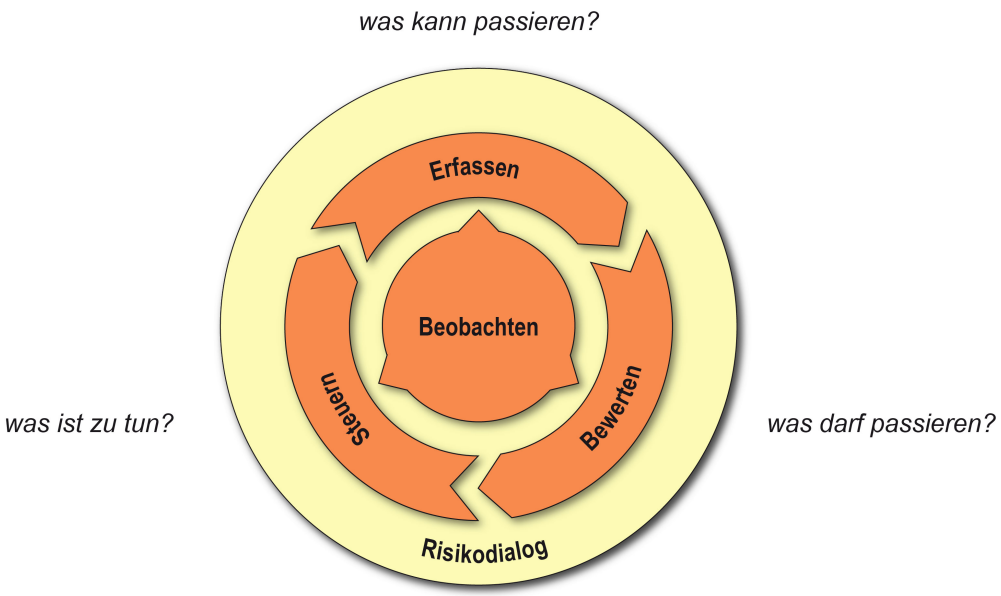


Abbildung 3 Kreislauf des integralen Risikomanagements. Quelle: PLANAT 2015a

Die Erstellung der Intensitäts- und Gefahrenkarten ist Teil der Beantwortung der Frage «Was kann passieren?» und Gegenstand des FAN PRAXISKURS «GEFAHRENBEURTEILUNG GRAVITATIVE NATURGEFAHREN» und des vorliegenden Skripts.

Intensitäts- und Gefahrenkarten dienen dazu, mögliche Gefährdungen zu erkennen. Die **Gefahrenbeurteilung** ist damit der Ausgangspunkt für die Risikoanalyse («was kann passieren?»). Dann folgen die Risikobewertung («was darf passieren?») sowie die Minderungsstrategien mit (raum-)planerischen, technischen, biologischen oder organisatorischen Massnahmen («was ist zu tun?»). Der Risikodialog fördert die Wahrnehmung und die Akzeptanz der einzelnen Schritte. Diese weiteren Bestandteile des IRM werden im Kurs angesprochen, aber in diesem Skript nicht vertieft.

Die Kenntnis der nachgelagerten Anwendungen der Gefahrenkarte hilft, die Produkte der Gefahrenbeurteilung und deren Dokumentation nützlich auszugestalten. So haben zum Beispiel die Notfallplanung oder die Raumplanung unterschiedliche Fragestellungen zu bearbeiten und schauen aus verschiedenem Blickwinkel auf die Produkte der Gefahrenbeurteilung.

2.2 Was ist integrales Risikomanagement (IRM)?

«Das **Risikomanagement** (DIN 2011) beinhaltet die Gesamtheit der Massnahmen und Methoden, mit denen die angestrebte Sicherheit in Bezug auf Naturgefahren erreicht werden kann. Es umfasst die periodische Erfassung, Analyse und Bewertung von Risiken hinsichtlich ihrer Akzeptanz. Daraus werden der Handlungsbedarf und die Prioritäten abgeleitet. Mit den geeignetsten Massnahmen wird die Entwicklung der Risiken gesteuert: Künftige Risiken können gemieden, bestehende Risiken auf ein akzeptables Mass reduziert und akzeptable Risiken solidarisch getragen werden. Ein erfolgreiches Risikomanagement setzt einen intensiven Risikodialog zwischen allen beteiligten Akteuren voraus.» (BAFU 2016a, Kapitel 2). Grundsätze, die auch für die Gefahrenbeurteilung relevant sind, findet man auch in der Schweizer Norm „SN ISO 31000: Risikomanagement - Leitlinien" (ISO 2018).

In der Schweiz wird im Zusammenhang mit Risiken aus Naturgefahren von **integralem Risikomanagement** gesprochen (vgl. Kapitel 2.1).

Integrales Risikomanagement

- stützt sich auf umfassende und aktuelle Gefahren- und Risikogrundlagen (und bezieht zukünftige Entwicklungen ein)
- misst Risiken mit vergleichbaren Massstäben (evtl. nicht nur monetär)
- benennt, quantifiziert (soweit möglich) und kommuniziert Unsicherheiten und berücksichtigt diese bei Entscheidungen
- geht mit allen Risiken vergleichbar um (nach einem einheitlichen Vorgehen)
- beteiligt alle Akteure und Betroffenen (auch die Risikoträger)
- berücksichtigt Rahmenbedingungen (lokale Rahmenbedingungen, Empfehlungen zum angestrebten Sicherheitsniveau)
- nutzt Handlungsoptionen (optimale Kombination von Massnahmen)
- wägt mögliche Massnahmen unter Einbezug aller Aspekte der Nachhaltigkeit ab und setzt Prioritäten
- betrachtet alle Naturgefahren (nicht nur die gravitativen Naturgefahren)
- erfolgt über geographische Einheiten hinweg (Gesamtbetrachtung)

2.3 Angestrebtes Sicherheitsniveau

Das «**angestrebte Sicherheitsniveau**» ist der von allen Risiko- und Verantwortungsträgern gemeinsam erstrebte Sicherheitszustand.

«**Schutzziel**» bezeichnet das Niveau an Sicherheit, das bestimmte Verantwortungsträger in ihrem Verantwortungsbereich grundsätzlich anstreben. In der Praxis dient das Schutzziel auch als ein Überprüfungskriterium zur Beurteilung des Handlungsbedarfs für die Erreichung der angestrebten Sicherheit.

Ein «**Massnahmenziel**» ist das Mass der Sicherheit, welches mit einer bestimmten Massnahme erreicht werden soll. Die Gesamtwirkung der getroffenen Massnahmen (planerisch, baulich, biologisch, organisatorisch, etc.) dient der Erreichung der angestrebten Sicherheit.

Dabei werden als «**Risikoträger**» Personen und Institutionen bezeichnet, welche mit ihren personellen und finanziellen Mitteln für den Schaden aufkommen, der aufgrund von Naturgefahren eintreten kann. Direkte Risikoträger sind u.a. Eigentümer und Nutzer von Gebäuden sowie Grundeigentümer, Versicherungen, öffentliche Hand und Betreiber von Anlagen.

Als «**Verantwortungsträger**» bezeichnet werden Personen und Institutionen, welche die Pflicht haben, bestehende Risiken auf akzeptablem Mass zu halten und/oder auf ein akzeptables Mass zu reduzieren.

(PLANAT 2015a)

Das Vorgehen zum Erreichen und Halten des angestrebten Sicherheitsniveaus ist in Abbildung 4 illustriert:

- «Risiken erfassen und prüfen: Schutzziele dienen den Verantwortungsträgern zur periodischen Überprüfung, ob für sie Handlungsbedarf besteht.
- Mehr Sicherheit schaffen: Massnahmen werden integral mit den anderen Akteuren geplant und umgesetzt, um damit das Risiko zu reduzieren.
- Erreichte Sicherheit halten: Die erreichte Sicherheit wird langfristig durch alle Akteure (Verantwortungs- und Risikoträger) gemeinsam erhalten, insbesondere mittels raumplanerischer Massnahmen.»

Abbildung 4 veranschaulicht wie wichtig das Meiden neuer inakzeptabler Risiken durch (raumplanerische) Massnahmen ist, um das erreichte Sicherheitsniveau zu halten. Eine wichtige Grundlage dazu sind die Gefahrenkarten.

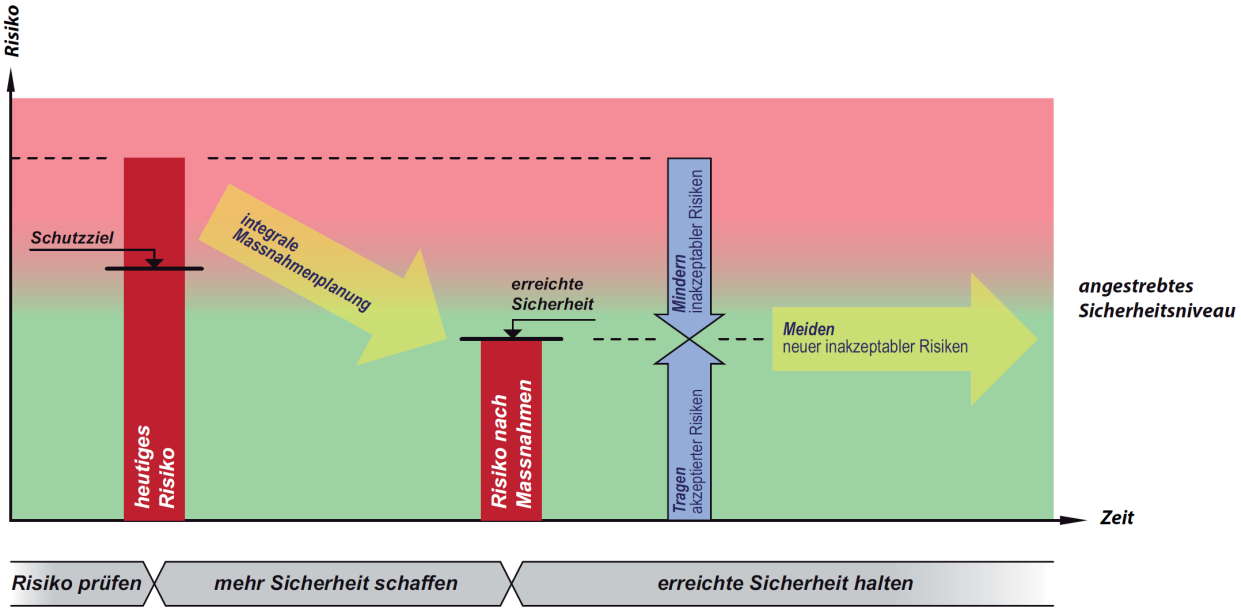


Abbildung 4 Vorgehen, um das angestrebte Sicherheitsniveau zu erreichen und zu halten. Quelle: PLANAT 2015a

2.4 Risikoübersichten

Die Gefahrenbeurteilungen sind auch Grundlage für diverse Risikoanalysen. Sei es im konkreten Fall oder für eine grossräumige Risikoübersicht. Das BAFU hat für kantonale Risikoübersichten minimale Standards formuliert (BAFU 2020b).

3 Gesetzliche und regulatorische Rahmenbedingungen für die Gefahrenbeurteilung

3.1 Strategie Umgang mit Risiken aus Naturgefahren

Das vorangehende Kapitel 2 erläutert die Prinzipien des integralen Risikomanagements (IRM). Diese Prinzipien sind Ergebnis eines Denk-, Erfahrungs-, Diskussions- und Umsetzungsprozesses zwischen Akteuren in der Praxis an der «Front» in privaten Büros und kantonalen Ämtern, Versicherungen, Bundesverwaltung, Hochschulen und Forschungsanstalten und – auf strategischer Ebene – der ausserparlamentarischen Kommission PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren). Treiber dieser Entwicklung sind häufig Erkenntnisse aus Ereignissen (Anhang 10.1) oder der Wissenschaft.

Vertiefte Ausführungen sind der Publikation «Umgang mit Risiken aus Naturgefahren – Strategie PLANAT» (PLANAT 2018) und «Sicherheitsniveau für Naturgefahren – Materialien» (PLANAT 2015a) nachzulesen.

Der 2016 publizierte und breit abgestützte Bericht «Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz» (Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 12.4271 von Alt-Nationalrat Darbellay, BAFU 2016) zeigt die aus Sicht aller Akteure notwendigen Massnahmen auf. Zusammen mit den von der PLANAT (PLANAT 2018) empfohlenen Prioritäten tragen diese Massnahmen wesentlich zur Umsetzung der Strategie bei. Im Jahr 2020 wurde der Stand der Umsetzungen analysiert und publiziert (BAFU 2020a).

In der Schweiz werden pro Jahr im Durchschnitt rund 3 Mrd. CHF für den Umgang mit Naturgefahren investiert. Davon werden ca. 4 % für die Erarbeitung von Grundlagen verwendet. (PLANAT 2007). Fast die Hälfte wird für die Prävention aufgewendet, gefolgt von Versicherungen und der Vorsorge für die Intervention. Gesetze steuern, welcher Akteur welche Kosten trägt.

Die Schadenhöhe schwankt von Jahr zu Jahr – in Abhängigkeit der aufgetretenen Gefahrenprozesse, der getroffenen Werte und deren Verletzlichkeit (siehe Anhang 10.2).

3.2 Gesetzliche Grundlagen Bund

«Die Gesetzgebungskompetenzen des Bundes beschränken sich auf Massnahmen gegen schädigende Auswirkungen von Wasser, Lawinen, Rutschungen, Steinschläge und Erosionen. Dabei ist die Abwehr schädigender Einwirkungen des Wassers gemäss Art. 76 Abs. 1 der Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (BV, SR 101) die einzige Gesetzgebungskompetenz des Bundes, die sich explizit auf eine bestimmte Naturgefahr bezieht. Die Gesetzgebungskompetenzen zum Schutz vor Lawinen, Rutschungen, Steinschlägen und Erosion sowie zur Bekämpfung und Behebung von Sturm- und Feuerschäden im Wald ergeben sich gemäss Art. 77 Abs. 1 BV indirekt aus dem Auftrag an den Bund, die Schutzfunktion des Waldes sicherzustellen.» (BAFU 2016a)

Als gesetzliche Grundlage für die Erstellung von Gefahrengrundlagen sind folgende **Gesetze** ausschlaggebend:

Wasserbaugesetz und -verordnung

Das Bundesgesetz über den Wasserbau (Wasserbaugesetz / WBG / 721.100; vom 21. Juni 1991, Stand am 1. Januar 2011) bezweckt «den Schutz von Menschen und erheblichen

Sachwerten vor schädlichen Auswirkungen des Wassers, insbesondere vor Überschwemmungen, Erosionen und Feststoffablagerungen (Hochwasserschutz).»

«Die Kantone bezeichnen die Gefahrengebiete» (Art. 21 der Verordnung über den Wasserbau / Wasserbauverordnung / WBV / 721.100.1; vom 2. November 1994, Stand am 1. Januar 2016).» Das WBG befindet sich in Teil-Überarbeitung (Vernehmlassung April 2021). Es soll an die neuen Herausforderungen wie Klimawandel und die wachsende Besiedlung der Schweiz angepasst werden. Der Fokus von der Gefahrenabwehr hin zu einem integralen Risikomanagement soll auch im Gesetz verankert werden. (HWSG, 2021)

Waldgesetz und -verordnung

Das Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz / WaG, 921.0; vom 4. Oktober 1991, Stand am 1. Januar 2017) soll «dazu beitragen, dass Menschen und erhebliche Sachwerte vor Lawinen, Rutschungen, Erosion und Steinschlag (Naturereignisse) geschützt werden.»

Art. 15 der Verordnung über den Wald (Waldverordnung / WaV; SR 921.01; vom 30. November 1992, Stand am 1. Januar 2018) führt weiter aus:

1 Die Kantone erarbeiten die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen. Sie:

a. führen Inventare über Bauten und Anlagen, die für den Schutz vor Naturereignissen von Bedeutung sind (Schutzbautenkataster);

b. dokumentieren Schadenereignisse (Ereigniskataster) und analysieren, soweit erforderlich, grössere Schadenereignisse;

c. erstellen Gefahrenkarten und, für den Ereignisfall, Notfallplanungen und führen diese periodisch nach.

2 Bei der Erarbeitung der Grundlagen berücksichtigen sie die von den Fachstellen des Bundes durchgeführten Arbeiten und aufgestellten technischen Richtlinien.

3 Die Kantone berücksichtigen die Grundlagen bei allen raumwirksamen Tätigkeiten, insbesondere in der Richt- und Nutzungsplanung.

4 Sie stellen die Grundlagen dem BAFU auf Verlangen zur Verfügung und machen sie der Öffentlichkeit in geeigneter Form zugänglich.»

Raumplanungsgesetz und -verordnung

Art. 6 des Bundesgesetzes über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG, 700) vom 22. Juni 1979 (Stand am 1. Januar 2019) verlangt, dass die Kantone für ihre kantonalen Richtpläne Grundlagen erarbeiten, in denen sie feststellen, welche Gebiete durch Naturgefahren oder schädliche Einwirkungen erheblich bedroht sind.»

Grundlagenbeschaffung

«Das Recht und die Pflicht, Daten betreffend Naturgefahren zu erheben, stützt sich teils auf explizite Ermächtigungen ab (zum Beispiel trägt der 5. Abschnitt des WBG den Titel Grundlagen- beschaffung), teils ergibt sie sich auch einfach aus der Tatsache, dass die entsprechenden Informationen eine Voraussetzung dafür sind, geeignete Massnahmen ergreifen zu können. Die Kenntnis von Umweltdaten ist für das Risikomanagement unabdingbar.» (BAFU 2011, Kapitel 2.1.1.1)

Anwendung der Gefahrenkarten

Das Hauptinstrument zur detaillierten Ermittlung der Gefährdung sind die Gefahren- und Intensitätskarten. Aus ihnen werden die Gefahrenzonen als Teil der Nutzungspläne und die damit zu verbindenden Nutzungsauflagen abgeleitet. «Für die Nutzungsplanung legt Art. 15 Abs. 4 RPG fest, dass Land neu einer Bauzone zugewiesen werden kann, wenn es sich u. a. für die Überbauung eignet (Bst. a). Um zu beurteilen, ob dies zutrifft, ist auch dessen Gefährdung durch Naturgefahren relevant.» (BAFU 2016a, Kapitel 1.4.2)

«Die Gefahrenkarte als solche ist eine Sachverhaltsfeststellung. Sie soll, in Gefahrenstufen abgestuft, Angaben zur Gefahrenart, zur räumlichen Ausdehnung und zum Grad der Gefährdung machen. Verlangt wird ausserdem, dass eine parzellenscharfe Abgrenzung [zum Begriff der «parzellenscharfen Abgrenzung» siehe auch Kapitel 4.1 in diesem Skript] möglich sein soll. Ausmass und Art der Bedrohung müssen verbindlich, objektiv und nachvollziehbar aufgezeigt werden. Man zielt auf eine Synthese aller Gefährdungen in einer einzigen Karte ab. Dazu müssen auch die Beurteilungen der verschiedenen Naturgefahren aufeinander abgestimmt werden. Auf dieser Basis werden bestehende Nutzungskonflikte sichtbar und es sollen gestützt darauf künftige vermieden werden. Die Empfehlungen des Bundes sollen dazu beitragen, dass in der ganzen Schweiz die Naturgefahren nach einheitlichen Kriterien und Massstäben erfasst und berücksichtigt werden.» (FAN 2018)

Die Publikation «Rechtliche Aspekte im Zusammenhang mit der Gefahrenbeurteilung», weist daraufhin, dass Gemeinden vorhandene Hinweise auf Gefährdungen (insbesondere von Gefahrenbeurteilungen) berücksichtigen müssen. (PLANAT 2004)

In diesem und weiteren Kapiteln sind wichtige Auszüge aus folgenden Publikationen (siehe Kapitel 9 Literatur) zusammengestellt:

BAFU 2008

BAFU 2016a

BAFU 2011

FAN 2018

PLANAT 2004

Zu beachten ist, dass die Begriffe in den von Juristen verfassten Texten (mit Anführungszeichen markiert) nicht immer die gleichen sind, wie sie Naturgefahrenspezialisten verwenden würden. Zudem haben Begriffe über die Zeit – nicht nur in den juristischen Texten, sondern auch im Naturgefahrenbereich – geändert. Empfohlen wird in selbst zu erstellenden Dokumenten die Begriffe gemäss Datenmodell des Bundes (BAFU 2017) zu verwenden.

3.3 Gesetzliche Grundlagen Kantone

Auf kantonaler Stufe, teilweise auf kommunaler Ebene, ist das Thema Naturgefahren in den entsprechenden Gesetzen behandelt. Die Ausgestaltung unterscheidet sich von Kanton zu Kanton.

3.4 Vollzugshilfen/Richtlinien/Empfehlungen

Als Umsetzungshilfen werden von den zuständigen Bundesbehörden Vollzugshilfen, Richtlinien und Empfehlungen zur Verfügung erstellt, welche im Rahmen der Gesetze die Kriterien und das Vorgehen klären.

Hochwasser

Empfehlungen 1997 Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten; Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BWW, BRP, BUWAL 1997)

Hochwasserschutz an Fliessgewässern. Wegleitungen des BWG (BWG 2001)

Massenbewegungen

Schutz vor Massenbewegungsgefahren - Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren (BAFU 2016)

Lawinen

Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten (BBF 1984)

Raumplanung

Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren. Herausgeber: Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (ARE, BWG, BUWAL 2005)

Umgang mit dem Klimawandel im kantonalen Richtplan - Arbeitshilfe und Ergänzung des Leitfadens Richtplanung. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE 2022)

Kartierung der Phänomene

Empfehlungen. Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL und dem Bundesamt für Wasser und Geologie (BWW, BUWAL 1995)

Datenmodell BAFU

Der Bericht zum Datenmodell Gefahrenkartierung (BAFU 2017) enthält auch einen umfangreichen fachlichen Teil, in welchem viele Begriffe definiert und erläutert werden und das Vorgehen bei der Gefahrenkartierung strukturiert beschrieben wird.

Anforderungen für die Subventionierung durch den Bund

Gefahrengrundlagen wie auch Schutzprojekte sind subventionsberechtigt. Zwingende Voraussetzung ist die Einhaltung von Standards bezüglich der Gefährdungsgrundlagen (siehe auch Anhang 10.3 sowie BAFU 2015 und BAFU 2018)

4 Prinzipien und wichtige Arbeitsschritte der Gefahrenbeurteilung

Dieses Kapitel skizziert die Grundprinzipien einer Gefahrenbeurteilung und beschreibt das grundsätzliche, vom beurteilten Prozess unabhängige, Vorgehen (Abbildung 7). Prozess-spezifische Hinweise zum Vorgehen sind in den Unterlagen zu den entsprechenden Fachmodulen zu finden.

Bei allen Prozessen geben gesetzliche und regulatorische Bestimmungen (Kapitel 3) den Rahmen der Gefahrenbeurteilungen vor. Gleichzeitig sollen die Beurteilungen dem «aktuellen Stand der Fachkunde» entsprechen (siehe dazu auch Kapitel 5).

Die Methodik dieses Praxiskurses orientiert sich aus didaktischen Gründen an der Erstbeurteilung einer Gefahrenkarte. Die verschiedenen Schritte einer Erstbeurteilung sind auch bei einer Nachführung vorzunehmen oder zumindest zu plausibilisieren. Falls die Ergebnisse noch gültig sind, kann zum nächsten Schritt weitergegangen werden. Für das Siedlungsgebiet der Schweiz liegen die Gefahrenkarten heute weitgehend vor, so dass in der Realität meist keine Erstbeurteilung, sondern eine Nachführung gefordert wird. Bei einer Nachführung können auch der untersuchte Raum, weitere Prozessquellen oder Teilprozesse ergänzt werden.

4.1 Bearbeitungstiefe und Massstab

Die Anforderungen bei der Gefahrenbeurteilung nehmen mit dem Detaillierungsgrad (siehe auch Abbildung 25) zu. Es können drei Stufen mit unterschiedlichen Massstäben M1 - M3 unterschieden werden (u.a. BAFU, 2016), wobei es im Rahmen des FAN Praxiskurses ausschliesslich um den Massstab M2 geht:

- 1. Stufe: **Gefahrenhinweiskarte** (grober Massstab, M1)
  Die Gefahrenhinweiskarte (M1) gibt eine Übersicht über das räumliche Auftreten von Gefahrenprozessen und zeigt damit auf, wo ein Prozess auftreten kann. Sie soll alle Gebiete, die von Gefahrenprozessen betroffen sein können, darstellen. Die Gefahrenhinweiskarten beinhalten keine Gefahrenstufen, die nach Intensität und Wahrscheinlichkeit definiert werden. Sie zeigen lediglich, ob eine potenzielle Gefährdung vorliegt oder nicht (ja/nein-Klassifizierung).
  Gefahrenhinweisgebiete (BAFU, 2017) werden oder wurden grossflächig (im Allgemeinen über das ganze Kantonsgebiet) und in aller Regel mit Hilfe von Modellrechnungen erhoben. Sie stellen eine wertvolle Grundlage ausserhalb der Siedlungsgebiete dar und liefern eine kantonsweite Übersicht mit einheitlicher Erfassungsmethode.
- **2. Stufe: Gefahrenkarte (mittlerer Massstab, M2), Fokus des FAN Praxiskurses**
  Die **Gefahrenkarte (M2)** dient der Gemeinde und dem Kanton bei der **raumplanerischen Umsetzung (Nutzungsplan)**. Deshalb muss sie das Siedlungsgebiet und wichtige Verkehrswege möglichst genau in Gefahrenstufen einteilen. In der Regel wird für die Gefahrenkarte ein **Massstab 1:5'000 oder 1:10'000** verwendet. Punktuell und in Spezialfällen kann der Massstab auch detaillierter sein (zum Beispiel 1:2'000). Die Kartierung erfolgt **«parzellenscharf»**, vgl. unten. Der Detaillierungsgrad einer Gefahrenkarte mit Gefahrenstufen ist inhaltlich und räumlich grösser als derjenige der Gefahrenhinweiskarte.
- 3. Stufe: Untersuchungen bei **Bauprojekten oder für Detailstudien** (detaillierter Massstab, M3)
  Bauprojekte und komplexe Prozesse erfordern eine vertiefte Bearbeitung (M3), die den üblichen Aufwand bei der Erstellung der Gefahrenkarte übersteigt. Diese Detailstudie (Einzelgutachten) kann für ein Massnahmenprojekt, dessen Dimensionierung, ein grosses

Risiko oder für einen speziell gefährlichen Prozess erstellt werden. Die Stufe M3 ist auch für umstrittene Beurteilungen der Stufe M2 im Rahmen eines Gutachtens (evtl. Zweitmeinung) anzuwenden. In der Regel wird für eine detaillierte Karte ein Massstab 1:5'000 oder grösser verwendet.

«**Parzellenscharf**» in der Gefahrenkarte (M2) bedeutet, dass die räumliche Auflösung der Gefahrenflächen bis in die typische Grössenordnung einzelner Parzellen in Siedlungsräumen erfolgen soll. «Parzellenscharf» heisst dagegen nicht, dass die Abgrenzung von Flächen unterschiedlicher Gefahrenstufe entlang von künstlichen Parzellengrenzen (gemäss Grundbuch) zu erfolgen hat; die Abgrenzung muss den festgestellten Grenzen der Gefahrenbereiche entsprechen.

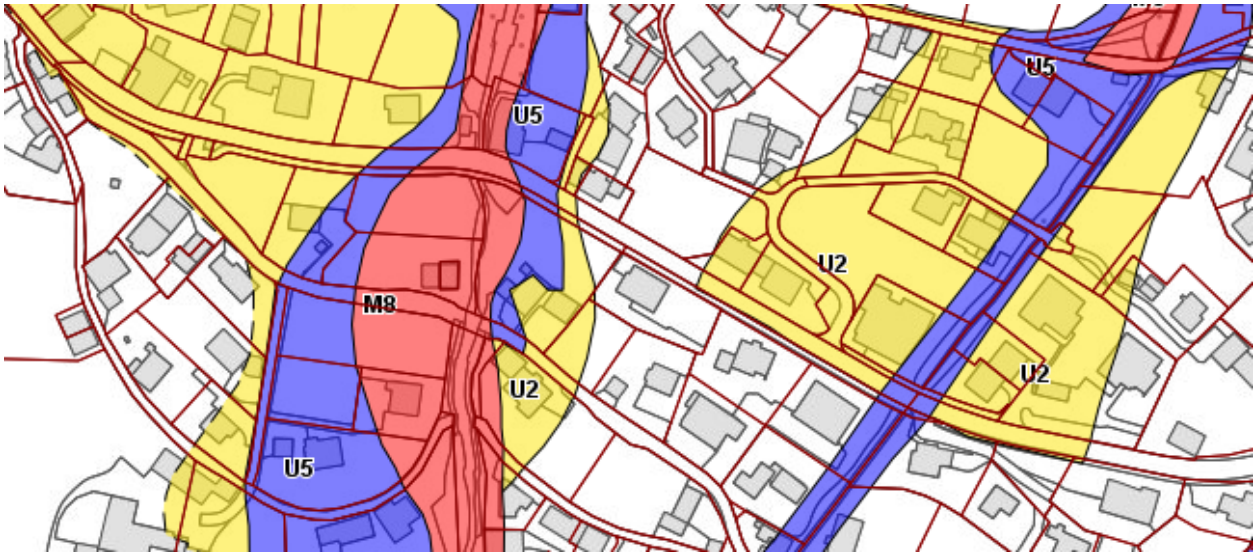


Abbildung 5 Ausschnitt aus einer Gefahrenkarte zum Begriff «parzellenscharf»: Die Abgrenzung der farbigen Flächen (Gefahrenstufen für Murgang- (M) und Überschwemmungsgefahr (U)) verlaufen unabhängig von den braunen Parzellengrenzen entsprechend der festgestellten Gefahr; in der Detaillierung ihres Verlaufs entsprechen sie der Grössenordnung der Parzellen. Quelle: Amt für Wald und Naturgefahren Graubünden, Geoportal des Kt. Graubünden

4.2 Räumliche Systemabgrenzung - Einbezug der Prozessquellen

Am Anfang einer Gefahrenbeurteilung steht das Erkennen der relevanten Prozesse und Prozessketten. Die Ursprünge dieser Prozesse, d.h. die **Prozessquellen** können auch ausserhalb des Perimeters liegen, für welchen eine Gefahrenbeurteilung gefordert wird. Es ist deshalb unabdingbar, auch die Hänge und Einzugsgebiete oberhalb dieses Perimeters zu untersuchen. Das Untersuchungsgebiet einer Gefahrenbeurteilung kann somit ein Mehrfaches des Gebietes umfassen, für welches die eigentliche Gefahrenbeurteilung durchgeführt werden muss (nach BAFU 2008a, Kapitel 6).

Hinweis: Falls die Arbeiten prozessweise (zum Beispiel pro Hauptprozess) vergeben werden, muss der Auftraggeber sicherstellen, dass die Einzelgefahrenkarten bezüglich Perimeter zu einer nachvollziehbaren und widerspruchsfreien Synopsis zusammengeführt werden: Es muss zum Beispiel Klarheit bestehen, welche Gebiete für alle Prozesse als gefahrenfrei betrachtet werden dürfen.

Die räumliche Abgrenzung der eigentlichen Gefahrenkarte zur Hinweiskarte kann beispielsweise mit einem Perimeter A und einem Perimeter B bewerkstelligt werden:

- Der Perimeter der eigentlichen Gefahrenkarte (Stufe M2 gemäss Kapitel 4.1, «Perimeter A» in Abbildung 6)
  (in der Regel Bereich geschlossener Siedlungen und Bauzonen sowie Infrastrukturanlagen).
- Der Perimeter mit Hinweisbereichen (Stufe M1 gemäss Kapitel 4.1, «Perimeter B» in Abbildung 6)
  (in der Regel restliches Gemeindegebiet).

Wie oben ausgeführt darf sich die Gefahrenanalyse und -beurteilung nicht auf den Perimeter A und B gemäss Abbildung 6 beschränken:

- Bei Wildbächen muss das ganze Einzugsgebiet untersucht werden (auch «Perimeter C» gemäss Abbildung 6).
- Bei Flüssen muss sichergestellt werden, dass Abflussdaten sowie Daten über Geschiebemobilisierung und -transport aus dem Einzugsgebiet verfügbar sind bzw. im Rahmen des Projektes oder separat ermittelt werden.
- Bei Rutschungs-, Lawinen- und Sturzprozessen muss der Abklärungsperimeter auch die Ausbruch- und Entstehungsgebiete dieser Prozesse umfassen.

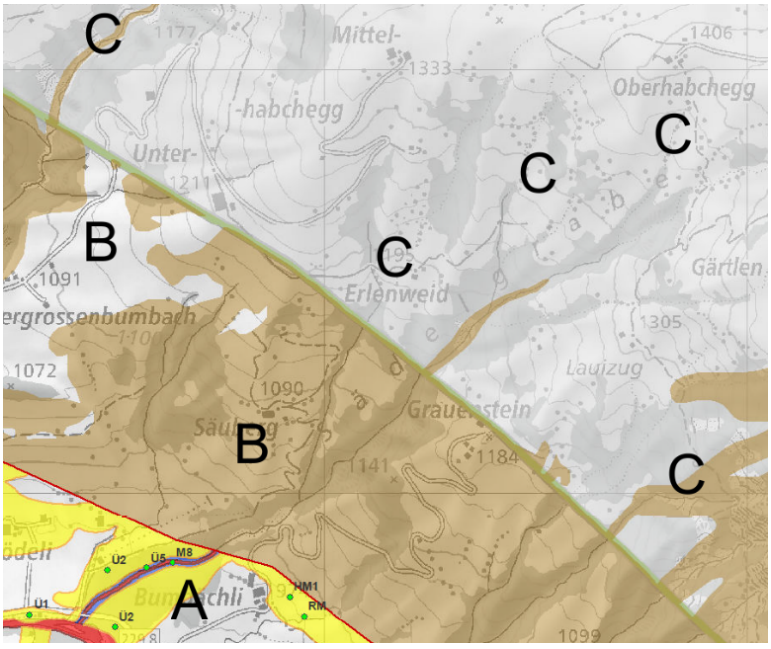


Abbildung 6 *Perimeter der eigentlichen Gefahrenkarte (A) mit Gefahrenstufen und Gefahrenindizes, Perimeter der Gefahrenhinweiskarte (B), deckt restliches Gemeindegebiet ab … (braun = vermutlich Gefahr, weiss = vermutlich keine Gefahr), Weitere Untersuchungsgebiete ausserhalb der Gemeinde bzw. des Kantons (C) (Grüne Linie meist oberhalb des braunen Gebietes = Gemeinde- und Kantonsgrenze). Quelle: Amt für Wald des Kt. Bern, Abt. Naturgefahren, Geoportal des Kt. Bern*

Im Beispiel von Abbildung 6 verläuft die Gemeinde- bzw. Kantonsgrenze (grüne Linie, zwischen B und C) quer durch Hänge und Bachgräben. Um die möglichen Prozessquellen zu erkennen und zu beurteilen, erfordert die Erarbeitung der Gefahrenkarte für den «Perimeter A»

selbstverständlich Untersuchungen mit Begehungen in den Einzugsgebieten (Hänge und Bachgräben) oberhalb der politischen Grenze: Der weitere Untersuchungsperimeter erstreckt sich somit auch in die «C-Gebiete».

Prozessquellen

Die Gefahrenbeurteilung und -dokumentation orientiert sich heute an den Prozessquellen (BAFU 2017). Prozessquellen werden je nach Prozessart unterschiedlich definiert.

Bei den Hauptprozessen Lawine, Sturz und Rutschung sind die Anriss- und Ablagerungsgebiete in der Regel räumlich relativ eng begrenzt. Im Allgemeinen gilt hier das Anrissgebiet als Prozessquelle.

Bei Überschwemmungen und Übermurungen tritt das Wasser bzw. der Murgang aus dem Gerinne aus und tangiert das umliegende Gebiet. Es kann hierbei verschiedene potenzielle Austrittsstellen geben, die alle zur Überschwemmung oder Übermurung an einem bestimmten Ort führen. Die verschiedenen Gewässer (zum Beispiel ein Vorfluter und ein Seitenbach) entsprechen im Allgemeinen den verschiedenen Prozessquellen (BAFU 2017).

4.3 Zeitlicher Bezug der Gefahrenbeurteilung

Was kann passieren? Eine Gefahrenbeurteilung beantwortet einen wichtigen Teil dieser Frage, nämlich den der möglichen Gefährdung. Das heisst, sie macht eine **Vorhersage** zu allfälligen **künftigen Ereignissen**.

Diese Vorhersage muss sich an den **Fakten im heutigen Gelände** orientieren. Bei der Gefahrenbeurteilung werden diese Fakten erhoben, dokumentiert, interpretiert und in (numerischen) Modellen umgesetzt. Auf dieser Basis ist eine fundierte Szenarienbildung (vgl. Kapitel 4.7) möglich.

Sich an den **Fakten im heutigen Gelände** zu orientieren bedeutet, dass in den Szenarien vom heutigen Naturzustand und der heutigen Nutzung, d.h. der heutigen Bausubstanz auszugehen ist. Letzteres bedeutet unter anderem auch, dass **geplante**, aber noch nicht realisierte bauliche Massnahmen (Schutzbauten) **nicht berücksichtigt** werden dürfen (bzgl. Berücksichtigung der bestehenden baulichen Massnahmen vgl. Fussnote im Abschnitt 4.7.2).

Entwicklungen in der Raumnutzung, bei der Bautätigkeit und der Umsetzung von Schutzmassnahmen, aber auch Entwicklungen in der Landschaft (bspw. infolge Klimawandel, vgl. Abschnitt 4.7.4) implizieren einen **Revisionsbedarf** der **Gefahrenbeurteilung** bzw. der **Gefahrenkarten** in regelmässigen, geeigneten Zeitabständen (vgl. Kapitel 6.6 Nachführungen). Das heisst, es gilt einen neuen «heutigen» Zustand des Geländes zu analysieren und die Gefahrenbeurteilung zu wiederholen. Damit ist auch klar, dass die Gefahrenkarte zwar Aussagen zu zukünftigen Ereignissen und ihren Eintretenswahrscheinlichkeiten macht, die dabei genannten «Anzahl» Jahre (30 – 1’000 Jahre, vgl. Kapitel 4.7.4) sich aber einzig auf Jährlichkeiten oder Wiederkehrperioden der Ereignisse beziehen – und nicht auf die Gültigkeitsdauer der Gefahrenkarte.

4.4 Gesamter Ablauf einer Gefahrenbeurteilung

Der schematische Ablauf einer Gefahrenbeurteilung ist in Abbildung 7 zusammengefasst. Sie zeigt die wesentlichen Schritte, die bei der Durchführung einer Gefahrenbeurteilung notwendig sind.

Je nach Prozess und Zielsetzung der Beurteilung ist der Ablauf anzupassen.

In der Regel erfolgen die Gefahrenbeurteilungen für die einzelnen Hauptprozesse separat durch verschiedene Auftragnehmer und werden schliesslich in der Synopsis zusammengeführt.

In der Projektbearbeitung gemäss Abbildung 7 wird unterschieden zwischen Situationsanalyse, Wirkungsanalyse und Dokumentation. Die Übergänge sind fliessend und besonders innerhalb und zwischen Situations- und Wirkungsanalyse sind iterative Denkprozesse unabdingbar.

Zu beachten ist, dass in den Publikationen und Unterlagen des Bundes und der verschiedenen Kantone die Begriffswelt nicht einheitlich ist. So wird statt Situationsanalyse auch von Gefahrenerkennung, statt von Wirkungsanalyse gemäss Abbildung 7 auch von Gefahrenbeurteilung gesprochen.

In den nachfolgenden Kapiteln 4.5 ff. werden wichtige Punkte aus Abbildung 7 erläutert.

Spezifitäten bei der Beurteilung der einzelnen Haupt- und Teilprozesse sind in den Unterlagen zu den Fachmodulen beschrieben.

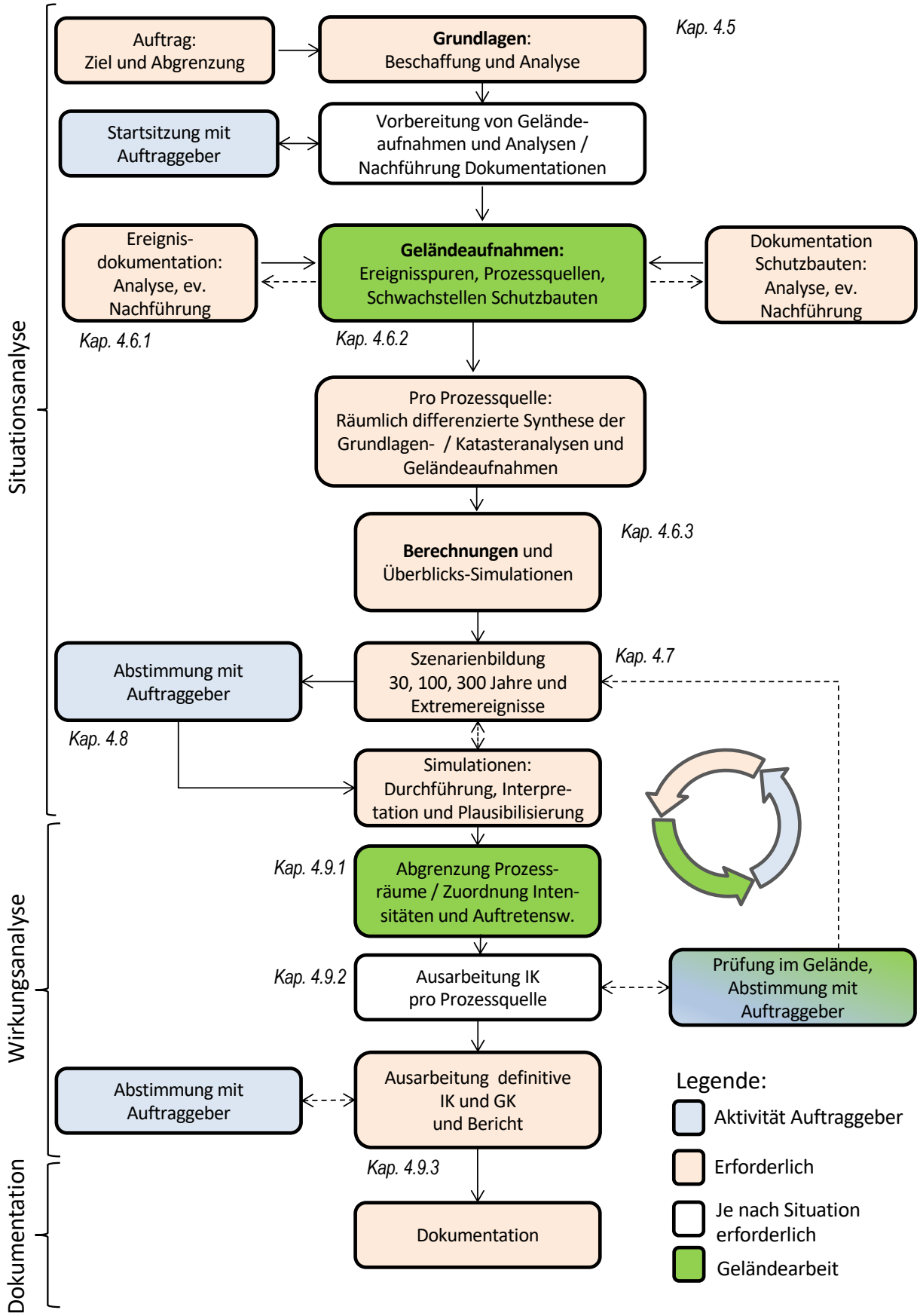


Abbildung 7 Schematischer Ablauf einer Gefahrenbeurteilung. In Unterlagen der Fachmodule finden sich gefahrenspezifische Schemata. Auftretensw. = Auftretenswahr–scheinlichkeit, GK = Gefahrenkarte, IK = Intensitätskarte

4.5 Beschaffung der projektspezifischen Grundlagen

In der ersten Projektphase müssen die projektspezifischen Grundlagen beschafft und gesammelt werden, unter anderem:

- **Fernerkundungsdaten** zur topographischen Analyse: Höhen-/Oberflächenmodelle, Orthofotos, Neigungskarten, Reliefschattierung, etc.
- **Ereignisdokumentation:** Ereigniskataster StorMe, weitere Grundlagen zu früheren Ereignissen, Schadendatenbanken, stumme Zeugen, historische Fotos/Kartierungen, Chroniken, Artikel, Wiederinstandstellungsprojekte, etc.
- **Dokumentation Schutzbauten:** Art, Typ, Lage, Zustand und Dimensionierung von Schutzbauten, Unterhalt, Zuständigkeiten, aufgetretene Schäden/Versagen, etc.
- **Walddaten:** Waldumriss, Bestandeskarten, Vegetationshöhenmodelle, etc.
- **Geologie/Geotechnik:** Tektonik, Geologie, Geotechnik, Baugrund, etc.
- **Hydrologie/Niederschlag:** Abfluss-, Geschiebe-, Niederschlags-, Wind-, Schneedaten, etc.
- **Frühere Beurteilungen:** Bestehende Gefahrenkarten, objektspezifische Gutachten, etc.

Wichtig ist, spätestens bei der Startsitzung mit dem Auftraggeber (Gemeinde und/oder Fachstelle) nach weiteren Grundlagen (u.a. vgl. Kapitel 4.6.1 und 6.6) sowie nach **lokalen Wissensträgern** zu fragen. Oft lohnt sich auch eine Klärung der in der Gemeinde gebräuchlichen **Flurnamen.**

Zahlreiche Datengrundlagen sind mittlerweile auf den Geoportalen des Bundes, der Kantone und der Gemeinden zu finden. Dort können die Daten heruntergeladen oder zumindest gesichtet werden und bei kostenpflichtigen Daten kann in Absprache mit dem Auftraggeber entschieden werden, welche Daten beschafft werden. Auch auftraggeberseitig werden in der Regel einige Datensätze bereitgestellt. Es empfiehlt sich, bei Projektstart nochmals explizit nach projektspezifischen Grundlagen des Auftraggebers (und seines Beziehungsnetzes) zu fragen. Grundsätzlich soll der Perimeter für die Datenbeschaffung möglichst grosszügig gewählt werden (siehe dazu Kapitel 4.2).

4.6 Grundansätze der Gefahrenbeurteilung

Gesetzliche und regulatorische Vorgaben (vgl. Kapitel 3) geben in der Schweiz den Rahmen für die Gefahrenbeurteilung zur Erstellung von Gefahrenkarten vor. Massgebend sind insbesondere die «Empfehlungen», «Vollzugshilfen» und «Arbeitshilfen» des Bundes sowie im einzelnen konkreten Fall das jeweilige Pflichtenheft des Auftraggebers (meist Kanton oder Gemeinde).

Die Gefahrenbeurteilung sollte grundsätzlich immer auf den drei Pfeilern Ereigniskataster (Auswertung vergangener Ereignisse), Geländeaufnahmen und Berechnungen/Simulationen basieren (Abbildung 8). Die Produkte der den drei Pfeilern zugeordneten Untersuchungen sind (falls bereits vorhanden zusammenzutragen oder) zu erstellen, zu interpretieren und soweit möglich und sinnvoll bei allen nachfolgenden Arbeitsschritten einer Gefahrenbeurteilung zu berücksichtigen. Bestehende Produkte sind zu prüfen, insbesondere bzgl. ihrer Aktualität.

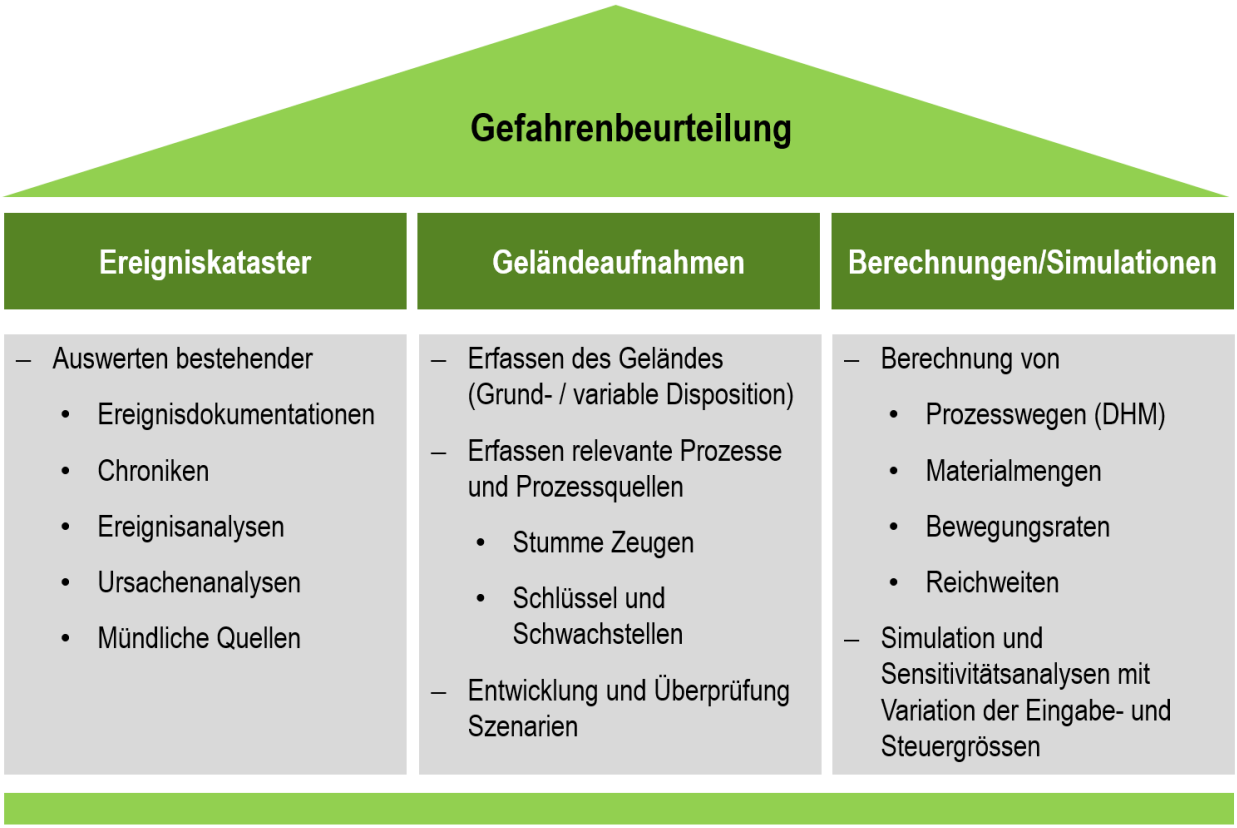


Abbildung 8 Die drei Pfeiler der Gefahrenbeurteilung. Grafik: G. Hunziker

Mit diesen drei Pfeilern basiert eine Gefahrenbeurteilung sowohl auf (lokaler und allgemeiner) Erfahrung, wie auch auf vorausschauenden Überlegungen.

Erfahrung bedeutet in diesem Zusammenhang, das bewusste Lernen aus bekannten Ereignisabläufen am Untersuchungsort oder das Treffen von Analogieschlüssen aus Naturgefahrenereignissen, die sich anderorts abgespielt haben.

Vorausschauende Überlegungen nutzen theoretische Kenntnisse physikalischer Gesetze und tradiertes Wissen zum Einfluss bestimmter Gebietseigenschaften (Niederschlag, Boden, etc.) auf Prozessbildung und –ablauf. Sie sind unabdingbare Voraussetzung, um mögliche künftige Ereignisabläufe abzuschätzen, insbesondere solche, die bisher «noch nie» beobachtet wurden.

4.6.1 Ereignisdokumentation

Bekannte frühere Ereignisse stellen im Prinzip unwiderlegbare Fakten dar, wenn sie gut dokumentiert sind (Film, Bild, Karte, schriftliche oder mündliche Beschreibungen). **Fakten und Bilder überzeugen.** Sie sind bei Diskussionen um Abgrenzung von als gefährdet zu bezeichnenden Flächen und Gefahreneinstufungen wichtige Argumentationshilfen.

Selbstverständlich müssen die überlieferten Ereignisse verifizierbar und zumindest plausibel sein. Ausserdem muss immer geklärt werden, ob sie nicht infolge Veränderungen im Gelände und / oder veränderter Disposition (vgl. Abschnitt 4.6.2) der entsprechenden Gefahrenprozesse ihre Aussagekraft verloren haben.

Zu vergangenen Naturgefahrenereignissen existieren zahlreiche Grundlagen und Dokumentationen. Die Ereignisdokumentationen können wertvolle Hinweise zu Prozessräumen (Ursachen und Auswirkungen) liefern. Insbesondere bei der Plausibilisierung von Berechnungen und Modellen und bei der Herleitung von Wiederkehrdauern sollten

Informationen zu vergangenen Ereignissen herbeigezogen werden. Mögliche Informationsquellen sind:

- Naturereigniskataster StorMe: Das BAFU stellt den kantonalen Fachstellen mit der Datenbank StorMe ein EDV-Hilfsmittel zur Verfügung, um die Naturereignisse gemäss gesetzlicher Pflicht zu dokumentieren. Fallweise ist die Erstellung von neuen Ereignisdokumentationen im Untersuchungsperimeter der Gefahrenbeurteilung Teil des Auftrags. Insbesondere länger zurückliegende Ereigniss müssen erst noch erfasst werden.
- weitere Ereignisdokumentationen der Kantone und Gemeinden
- lokale Wissensträger (zum Beispiel Forstpersonal, Werkhofmitarbeiter, Feuerwehr)
- Versicherungsdaten (Schäden): Bei dieser Informationsquelle ist der Datenschutz zu beachten (personenbezogene Daten). Die Aussagekraft von reinen Schadenstatistiken und -katastern ist beschränkt (veränderte physische Verletzlichkeit der geschädigten Objekte, ungenauer Ortsbezug).
- Unwetterschadens-Datenbank WSL: Die WSL erfasst seit 1972 im Auftrag des Bundes die Schäden durch Unwetter systematisch anhand von Zeitungsmeldungen. Auf diese Weise ist eine Datenbank mit über 20'000 Einträgen entstanden.
- Fotoarchive (zum Beispiel Überschwemmungsgedaechtnis.ch der Universität Bern oder kantonsspezifische Quellen) (vgl. Abbildung 9)
- Flurnamen geben oft Hinweise auf beobachtete Prozesse («in der Au», «Chli Rüfi»)

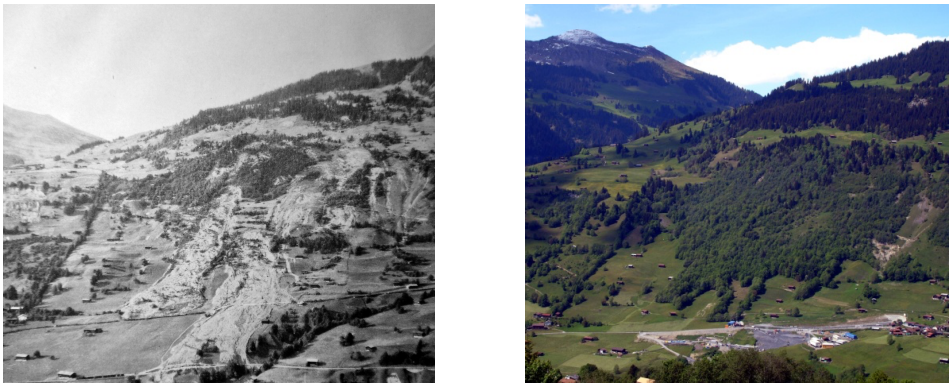


Abbildung 9 Saaser Rutsch 1931 (links), das gleiche Gebiet 2006 (rechts). Quelle: AWN GR

4.6.2 Geländeaufnahmen

Geländeaufnahmen umfassen sowohl die Anwendung von **Fernerkundungsmethoden** als auch die unabdingbare effektive **Begehung des Geländes**.

Es gilt,

- einerseits (rückwärts blickend) Spuren früherer Ereignisse (sog. «stumme Zeugen») zu lesen, im Gelände photographisch zu dokumentieren und wo sinnvoll in eine «Karte der Phänomene» (BWW, BUWAL 1995) einzutragen und
- anderseits (vorwärts blickend) kritische (oder spezielle) Situationen/Konstellationen topographischer, geomorphologischer, geologischer, hydraulischer und/oder anderer Elemente und Prozesse zu erkennen, zu beurteilen und zu dokumentieren.

Daraus lassen sich Hinweise ableiten auf:

- Disposition und mögliche Auslösemechanismen für (neue) Gefahrenprozesse
- Mögliche (ggf. auch neu- oder andersartige) Prozessabläufe und Wirkungen
- (neue) Schlüssel- oder Schwachstellen

Unter **Disposition** wird dabei die Anlage oder Bereitschaft eines Gebietes oder Systems verstanden, Gefahrenprozesse zu bilden. Kienholz (Kienholz 2005) unterscheidet zwischen Grunddisposition und variabler Disposition. Die **Grunddisposition** («der Charakter») wird bestimmt durch über längere Zeiträume konstant bleibende Grössen wie Relief, Geologie, Klima, Bewuchs, etc. Zu beachten ist, dass einzelne Parameter auch einen längerfristigen Entwicklungstrend aufweisen können. So kann die Klimaerwärmung zu einem Anstieg der Permafrost Untergrenze führen, was wiederum eine Erhöhung der Grunddisposition zu Massenbewegungen bedeuten kann (zur Berücksichtigung der Klimaerwärmung in den Gefahrenbeurteilungen vgl. Abschnitt 4.7.4). Die **variable Disposition** («die Laune») eines Gebietes hingegen wird bestimmt durch zeitlich ändernde Grösse wie Mächtigkeit der Schneedecke, Bodenwassergehalt, Geschiebepotential etc. Die Änderung kann periodisch (Vegetationszustand im Jahreszyklus) oder kontinuierlich (Verwitterung einer Felswand) erfolgen.

Mögliche **Schlüsselstellen** für den Prozessablauf, die im Gelände begutachtet werden müssen, sind zum Beispiel: Aufteilung in verschiedene Fliesswege bei Lawinen oder Wasserprozessen, Flachstrecken mit hohem Ablagerungsvermögen bei Wasserprozessen, Energieverlust beim Aufprall nach einer felsigen Steilstufe bei Lawinen und Sturzprozessen, Überspringen von Gelände bei Sturzprozessen, Scherbereiche bei permanenten Rutschungen.

Besonders bei Wasserprozessen werden mögliche Ausbruchstellen aus dem Gerinne, Verklausungsgefahren bei Brücken und anderen Hindernissen, Abschnitte mit Auflandungsgefahren etc. als **Schwachstellen** bezeichnet.

4.6.3 Berechnungen und Modellierungen

Die Herausforderung bei der Modellierung von Naturgefahrenprozessen besteht einerseits beim Modellaufbau (zeitintensiv) und andererseits bei der Kalibrierung und Validierung der Modelle. Vorhandene Informationen zu vergangenen Ereignissen (Kapitel 4.6.1) sollten für die Kalibrierung unbedingt herbeigezogen werden. So können zum Beispiel Hochwasserspuren helfen, die Kalibrierungsparameter von Modellen richtig festzulegen (zum Beispiel Rauigkeitswerte). Ist das Modell einmal kalibriert, so lassen sich damit durch die Variation der Eingabeparameter Sensitivitätsanalysen durchführen. Damit können Modelle beim «Denken des Undenkbaren» (Kapitel 4.7.3) wertvolle Hinweise geben. Modellierungen von Naturgefahrenprozessen müssen im Feld validiert werden. Wie bei der Beurteilung im Feld, ist auch bei der Anwendung und Interpretation von Modellierungen Erfahrung notwendig. Es ist zudem wichtig, dass die Auftraggeber von Gefahrenbeurteilungen durch die Auftragnehmer und Modellierer über die Grenzen der Modelle sowie über die Annahmen, welche den Modellen zu Grunde liegen in Kenntnis gesetzt werden. Die Grundannahmen und Modellparameter sollen im Bericht zur Gefahrenbeurteilung dokumentiert werden.

Modellierungen können zur Rationalisierung der Erhebungen im Gelände beitragen, indem sie frühzeitig mögliche Schlüssel- und Schwachstellen aufzeigen und zu einer gezielteren Planung der Begehungen beitragen.

All diese Arbeiten (Geländeaufnahmen, Aufbau von Modellen, Simulationen, Sensitivitätsanalysen) sowie der Übergang von der so genannten Situationsanalyse zur Wirkungsanalyse stellen einen **iterativen Prozess** dar, wie dies auch in Abbildung 7 angedeutet

ist. Dabei spielt die im folgenden Kapitel 4.7 diskutierte **Szenarienwahl** eine entscheidende Rolle.

4.7 Erarbeitung und Wahl der relevanten Szenarien

Szenarien stehen stellvertretend für mögliche zukünftige Ereignisse und Ereignisabfolgen. Wegen der grossen Vielfalt und Komplexität der Prozessabläufe muss bei der Gefahrenbeurteilung mit Szenarien gearbeitet werden. Während eines Ereignisses sind ganz unterschiedliche Abläufe vorstellbar, die sich sprunghaft verstärken, überraschend verändern oder anders als erwartet entwickeln können.

Die **Szenarienbildung** ist eine wesentliche Grundlage für die Gefahrenbeurteilung und die Modellierung. Die Szenarienbildung umfasst neben rein qualitativen Überlegungen auch Abschätzungen und Berechnungen zur Prozessgrösse. Dabei wird untersucht, welche Ereignisse in welcher Grössenordnung in Zukunft auftreten können.

Mit der **Szenarienwahl** werden die als **relevant** erachteten **Szenarien** bestimmt. Daraus ergibt sich, mit welchen Annahmen weitergearbeitet wird.

Für die Erstellung von Gefahrenkarten werden Szenarien für folgende festgelegte Wiederkehrperioden erstellt: 30, 100, 300 Jahre und Extremszenario («1'000 Jahre» gemäss BAFU 2017, vgl. 4.7.4)

Im Datenmodell (BAFU 2017) wird für die Szenarien mit den definierten Wiederkehrperioden der Begriff „**Grundszenario"** verwendet**:** „Das **Grundszenario** beschreibt zum Beispiel die bei Hochwasser in einem Einzugsgebiet entstehende Hochwasserganglinie (Spitzenabfluss, Volumen) sowie die mobilisierte Feststoff- und Schwemmholzmenge."

In der Praxis wird der Begriff auch allgemeiner, d.h. ohne explizite Zuordnung einer Wiederkehrperiode verwendet.

„**Teilszenarien**" stehen für Teilprozesse, die zum Verlauf oder zur Grösse des Hauptprozesses beitragen (zum Beispiel Wechselwirkung Rutschung – Gewässer) oder für unterschiedliche Ausprägungen und Verläufen des Hauptprozesses im Wirkungsgebiet (Kapitel 4.9.1).

4.7.1 Szenarienbildung und Szenarienwahl

Wenn über Szenarien gesprochen wird, muss immer klar sein, von welchem Szenarium die Rede ist. Abbildung 10 zeigt eine mögliche Kategorisierung der verschiedenen Szenarien auf und illustriert, wie diese ineinandergreifen.



Abbildung 10 Kategorien von Szenarien. Grafik: G. Hunziker

Szenarienbildung und -**wahl** sind meist ein iterativer Prozess, der folgende Schritte umfasst:

- **rein qualitative Überlegungen** (Was könnte hier überhaupt alles passieren?)
    - Hauptprozess, Teilprozesse, Prozessketten? → Ereignisablaufszenarien (siehe Kapitel 4.7.2)
- **Abschätzung der möglichen Prozessgrössen** (Magnitude, Ausmass, Massen, Volumen etc. und schliesslich der massgeblichen Intensität im Wirkungsgebiet) (siehe Kapitel 4.7.3)
- **Zuordnung der Wiederkehrperiode (WKP) bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit** (siehe Kapitel 4.7.4)

4.7.2 Qualitative Überlegungen - Ereignisablaufszenarien

Vor der Auseinandersetzung mit Intensitätsklassen, Wahrscheinlichkeiten und Wiederkehrperioden ist es sinnvoll, sich anhand von Ereignisdokumentationen (Kapitel 4.6.1), mit Studium von Karten- und Bildmaterial und aufgrund von Feststellungen im Gelände **rein qualitative Überlegungen** zu möglichen Ereignisabläufen anzustellen:

- Was ist hier bisher schon alles passiert?
- Was kann hier überhaupt passieren (Haupt- und Teilprozesse, Prozessketten)?
- Beteiligtes Material?
- Was lenkt die Prozesse?
- Was stellt sich den Prozessen entgegen?
- Können andere Prozesse beteiligt sein?
- Sind Schutzbauten[2] vorhanden? Können sie berücksichtigt werden?
- Was könnte auch noch passieren?
- Bedeutung erkannter Schlüssel- bzw. Schwachstellen (Kapitel 4.6.2)
- Mögliche Grund - und Teilszenarien (Kapitel 4.9.1)
- Wie könnte ein Extremereignis ablaufen (besonders viel, besonders lang, besonders intensiv)?

Bei der Beantwortung der oben aufgelisteten Fragen können bekannte Hilfsmittel wie zum Beispiel Mind-Maps, Baumstrukturen (Fehler- und Ereignisbäume) eingesetzt werden. Obschon Fehler- und Ereignisbäume meist (besonders bei Analysen im Technikbereich) semiquantitativ mit Wahrscheinlichkeitsangaben in den einzelnen Ästen verwendet werden, lassen sie sich gerade bei Naturgefahrenanalysen ohne weiteres auch rein qualitativ verwenden.

---

[2] Hinweis betreffend Schutzbauten:

Mit dem Auftraggeber ist festzulegen

- wie weit die im Untersuchungsperimeter vorhandenen Schutzbauten und deren Zustand bei der Beurteilung von Gefahrenprozessen und der Szenarienbildung einzubeziehen sind und
- wie weit auf die Angaben im kantonalen Schutzbautenkataster oder lokalen Dokumentationen abgestellt werden kann bzw.
- ob und wie weit die Beurteilung und Bewertung der Schutzbauten Teil des Auftrages ist.

In PROTECT (PLANAT 2008) sind allgemein gültige Grundsätze und eine generelle Vorgehensweise (Teil A) sowie konkrete Hinweise für die Berücksichtigung von Schutzbauten bei den einzelnen Hauptprozessen (Teile B-F) festgehalten.

Dem Verhalten der Schutzmassnahmen im **Überlastfall** ist besondere Beachtung zu schenken.
Unter Überlastfall wird folgendes verstanden:

- Belastung, welche die Dimensionierungswerte von Schutzmassnahmen deutlich überschreitet
- Extremereignis (ungefähr 1'000 jährlich): besonders viel, besonders lang, besonders intensiv
- Schwellenprozesse
- Ereignis tritt nicht wie erwartet ein
- Unerwartetes Verhalten von Bauwerken

Der **Ereignisbaum** zeigt ausgehend von einem Hauptszenarium die Möglichkeit unterschiedlicher Entwicklungsmöglichkeiten in Teilszenarien. Abbildung 11 zeigt ein mögliches Beispiel.

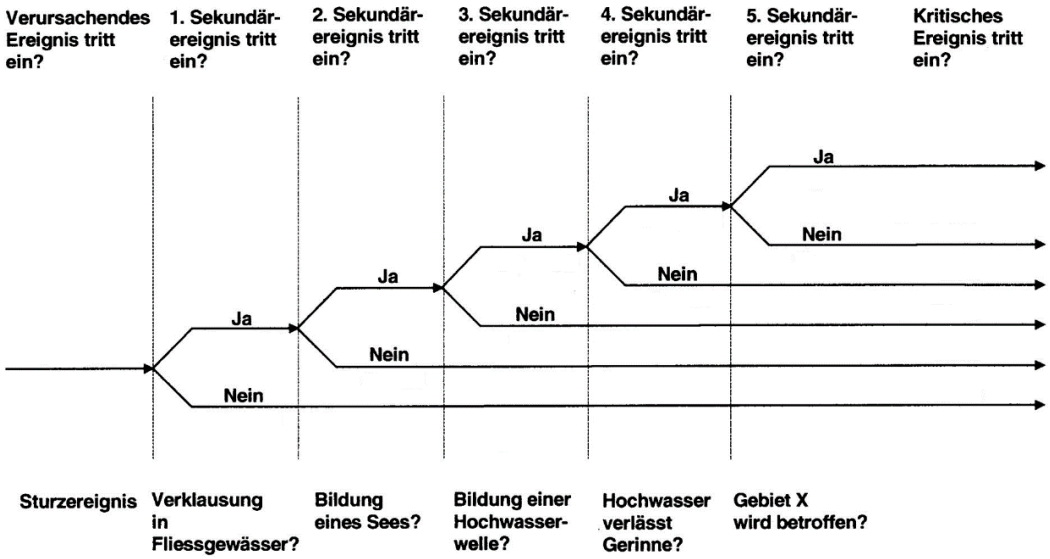


Abbildung 11 Ereignisbaum: Von einem verursachendem Ereignis (Grundszenarium) via mögliche Folgeereignisse (Teilszenarien) zu kritischen Ereignissen. Quelle: verändert aus Hollenstein 1997

Umgekehrt kann von einem möglichen (unerwünschten) Hauptereignis aus untersucht werden, auf welchen Wegen dieses entstehen könnte (sog. **Fehlerbaum** wie in Abbildung 12).

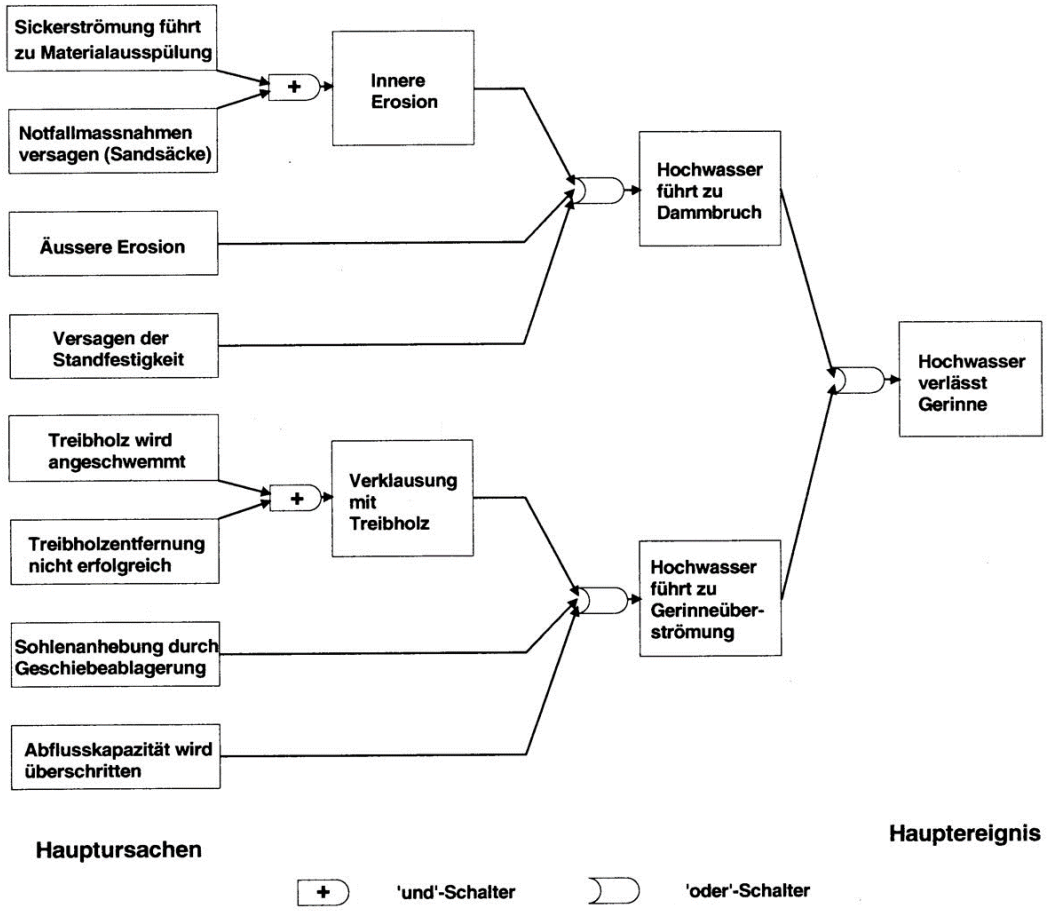


Abbildung 12 Fehlerbaum: Von vielen möglichen Ursachen zum Hauptereignis. Quelle: verändert aus Hollenstein 1997

Die qualitativ und iterativ erhärteten Überlegungen sollten zu einer gefestigten groben Vorstellung führen, was im Gelände passieren kann, welche Szenarien **relevant** sein könnten und mit welchen weitergearbeitet wird. In den nächsten Schritten sind die Szenarien bezüglich Grössen (Ausmass) der Teilprozesse und Wahrscheinlichkeiten zu **quantifizieren**.

4.7.3 Prozessgrössen (Ausmass, Massen, Volumen, Magnitude, etc.)

Die als relevant beurteilten Szenarien werden in einem nächsten Schritt quantifiziert. Das heisst, den einzelnen Szenarien werden konkrete Werte zu ihrem Ausmass (bspw. Grösse der massgebenden Sturzkörper, Bewegungsrate einer Rutschmasse etc.) zugeordnet. Dabei fliessen die Überlegungen und Erkenntnisse der vorausgegangenen Schritte (Analyse der Grundlagen, Geländeaufnahmen, erste Modellierungen) mit ein.

Die Kriterien für die Intensitätsstufen werden bei der Wirkungsanalyse (Kapitel 4.9.1) besprochen.

4.7.4 Wiederkehrperioden und Wahrscheinlichkeit

Zu verschiedenen Wahrscheinlichkeiten bzw. Wiederkehrperioden werden im nächsten Schritt Szenarien und entsprechende Intensitäten der Teilprozesse bestimmt.

Dazu wird in Anlehnung an die Publikation «Datenmodell» des BAFU (BAFU 2017) erläutert:

Die Begriffe „Jährlichkeit“ und „Wiederkehrperiode“ (WKP) sind äquivalent. Diese haben sich bei der Beurteilung der **Hochwasser- und Lawinengefahren** durchgesetzt.
Die Jährlichkeit oder Wiederkehrperiode“ (**WKP) eines Grundszenarios gibt die Zeitspanne an, in der ein Ereignis einen Wert im Durchschnitt einmal erreicht oder überschreitet.** Man spricht auch von 30-jährlichem (**nicht** 30-jährigem!) Ereignis und meint damit nicht ein Ereignis, welches vor 30 Jahren stattgefunden hat, sondern, dass es im langjährigen Mittel alle 30 Jahre auftritt.

Bei den **Massenbewegungen** wird meist der Begriff der jährlichen Eintretenswahrscheinlichkeit verwendet, wobei gilt, dass die jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit der Kehrwert der Jährlichkeit ist.

$$P = 1/T$$

P = jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit, T = Wiederkehrperiode.

Jährliche Eintretenswahrscheinlichkeit bedeutet: Die Wahrscheinlichkeit P, dass ein Ereignis innerhalb eines Jahres dieses Ausmass erreicht oder überschreitet. Fachlich korrekt spricht man von einer Überschreitenswahrscheinlichkeit.

Falls ein Ereignis mehrmals pro Jahr auftritt (was bei Lawinenzügen auf Passtrassen häufig der Fall sein kann) so würde P grösser als 1, was mathematisch nicht möglich ist. In diesem Fall wird hilfsweise die 'Wahrscheinlichkeit' als zeitbezogene relative Häufigkeit bezeichnet (zum Beispiel: Zwei Ereignisse pro Jahr bei einer Wiederkehrperiode von 0.5 Jahren).

In der Anwendung ist selten der Bezugszeitraum eines Jahres relevant. Entscheidungen beziehen sich oft auf längere Zeiträume, zum Beispiel die Lebensdauer von Bauwerken. Siehe dazu auch Anhang 10.4.

Für die **Gefahrenbeurteilung** im Rahmen der Gefahrenkartierung werden folgende Jährlichkeiten (oder Wiederkehrperioden bzw. Eintretenswahrscheinlichkeiten verwendet (siehe auch BAFU 2017):

Jährlichkeit	Wiederkehrperiode	Eintretenswahrscheinlichkeit
30 Jahre	**WKP 30**	**0.03 Jahr^{-1}**
100 Jahre	**WKP 100**	**0.01 Jahr^{-1}**
300 Jahre	**WKP 300**	**0.003 Jahr^{-1}**
1'000 Jahre	**WKP 1'000**	**0.001 Jahr^{-1}**

Für mache Prozesse kann einem Extremszenario methodisch bedingt keine Jährlichkeit oder Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Zum Beispiel: Mit welcher Wahrscheinlichkeit tritt der mögliche Bergsturz ein?

Idealerweise hätte man als Benutzer der Gefahrenbeurteilung auch für alle Zwischenschritte Szenarien. Da dies sehr aufwendig ist, hat man die obengenannten Werte festgelegt. Zu

beachten ist, dass diese jedoch für **Jährlichkeitsbereiche** stehen:

Jährlichkeit	Wiederkehrperiode	Eintretens-wahrscheinlichkeit	Häufigkeit
0 bis 30 Jahre	WKP 0 bis 30	häufiger als 0.03 Jahr^{-1}	häufige Ereignisse
>30 bis 100 Jahre	WKP 30 bis 100	0.03 bis 0.01 Jahr^{-1}	mittlere Ereignisse
>100 bis 300 Jahre	WKP 100 bis 300	0.01 bis 0.003 Jahr^{-1}	seltene Ereignisse
>300 bis 1'000 Jahre	WKP 300 bis 1'000	0.003 bis 0.001 Jahr^{-1} bzw. seltener als 0.003 Jahr^{-1}	Extremereignisse, sehr seltene Ereignisse

Die Szenarien sind jeweils an der oberen Bereichsgrenze angesiedelt. Meist wird nicht untersucht bzw. dokumentiert, bei welcher Wiederkehrperiode sich Szenarien zwischen 30 und 100 Jahren dem Szenario 100 Jahre Wiederkehrperiode annähern: Ob dies schon bald nach Überschreiten der Wiederkehrperiode 30 ist oder erst kurz vor dem Erreichen der Wiederkehrperiode 100. Hinweis: Werden bei der Gefahrenbeurteilung Sprünge festgestellt, so ist es für die späteren Anwender hilfreich, wenn diese in den Unterlagen dokumentiert sind.

Über die Standard-Gefahrenbeurteilungen hinaus werden teilweise weitere Szenarien mit spezifischen Jährlichkeiten erarbeitet. Für Verkehrswege oder Notfallplanungen sind zum Beispiel häufigere Ereignisse wie 5 oder 10 Jahre nützlich. Oder es werden (nachträglich) Szenarien zwischen den Bereichsgrenzen erstellt, beispielsweise wenn Sprünge in dem Gefährdungsverlauf grosse Auswirkungen auf die Risikoabschätzung und die Massnahmenplanung haben können.

Zusätzliche Herausforderung: Klimawandel

Die Angabe von Jährlichkeiten bzw. Wiederkehrperioden bedingt den Blick in die Vergangenheit, im besten Fall auf langjährige Messreihen, die eine statistische Auswertung erlauben.

Auch die besten Daten aus der Vergangenheit sind grundsätzlich nur bedingt geeignet für einen Blick in die Zukunft (siehe auch Kapitel 4.6 und 5.2).

Angesichts des Klimawandels stellt sich dieses Problem in erhöhtem Ausmass. Der Klimawandel hat Einfluss auf Starkniederschlag, Schnee, Mobilisation, Abfluss, usw. Er beeinflusst häufige sowie seltene Ereignisse und kann auch zu neuen Gefährdungs-ausprägungen führen. Siehe auch FAN-Forum 2020 (FAN 2020).

Noch gibt es in der Schweiz keine gefestigte Praxis bezüglich Berücksichtigung des Klimawandels in den Gefahrenkarten. Mit dem Auftraggeber ist zu klären, wie Hinweise zu Auswirkungen des Klimawandels in die Gefahrenbeurteilung einfliessen sollen. Ziel ist, mit der Gefahrenbeurteilung Grundlagen für die Planung von robusten Massnahmen bereit zu stellen. Hinweise auf Sprünge, Prozessveränderungen, usw. sind dabei hilfreich.

KOHS (KOHS 2007) hat bezüglich Hochwasserschutz unter anderem Folgendes festgestellt:

- «Von den Experten wird erwartet, dass künftig vermehrt Hochwasser auftreten und die Extremwerte zunehmen werden.»
- «Bei der Beurteilung bestehender und der Planung neuer Massnahmen ist deren Verhalten im Überlastfall zu prüfen. Neue Projekte sind, falls noch nicht erfolgt, gemäss Überlastfall zu testen.»
- «Die Dimensionierungsgrössen (Abflussmenge, Wasserfracht, Geschiebe) sind vorausschauend im oberen Entscheidungsbereich festzulegen.»

Gerade der letzte Punkt lässt sich sinngemäss auch auf die Gefahrenbeurteilung für Gefahrenkarten anwenden.

Der Bund hat 2018 die neuen Klimaszenarien (CH2018) herausgegeben und es sind verschiedene Folgeprojekte in Arbeit, zum Beispiel Hydro-CH2018.

Schweizweit typische Werte der möglichen Veränderungen um das Jahr 2060 gegenüber dem Referenzzeitraum 1980 – 2010 sind:

- Sommerniederschlag: -25 % bis +10 %
- Stärkster jährlicher Eintages-Niederschlag: Winter: +10 % / Sommer: +10 %
- 100-jährliches Eintages-Niederschlagsereignis: Winter: +10 % / Sommer: +20 %
- Anstieg Nullgradgrenze im Winter: 400 m bis 650 m

Die Daten zu CH2018 für Stationen, Regionen, usw. sowie hydrologische Grundlagen zum Klimawandel Hydro-CH2018 (NCCS, 2021) findet man beim NCCS, dem Netzwerk des Bundes für Klimadienstleistungen (www.nccs.admin.ch). Dort sind ebenfalls viele (Mess-)Daten zu finden.

Werden bei der Massnahmenplanung Szenarien mit höher Wiederkehrperiode berücksichtigt, als man es normalerweise machen würde, können die Änderungen durch den Klimawandel zum Teil berücksichtigt werden. Für den Einbezug des Klimawandels bei der Gefahrenbeurteilung und bei Risikoanalysen müssen Änderungen der Gefährdungen (Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität, andere Prozessabläufe oder -kombinationen), anhand der Klimaszenarien geschätzt werden.

Die Entscheidung, ob und welche Klimaszenarien als Grundlage für die Wirkungsanalyse gewählt werden, muss mit dem Auftraggeber abgestimmt, gut begründet und dokumentiert werden.

4.8 Festlegung der Szenarien - Szenariensitzung

Die **Festlegung der Szenarien** ist ein wichtiger Schritt im ganzen Ablauf der Gefahrenbeurteilung. Anlässlich der Szenariensitzung werden den Auftraggebern und zuständigen Gemeindebehörden die Ergebnisse der Szenarienbildung mit all den Begründungen (aus Analyse früherer Ereignisse, Erhebungen im Gelände, Statistiken, Modellierungen) vorgelegt.

Es gilt, das Einverständnis und eine Genehmigung der Szenarien durch Auftraggeber und Gemeindebehörde zu erreichen, bevor überhaupt über die möglichen Auswirkungen im Wirkungsgebiet (Wirkungsanalyse) gesprochen wird.

4.9 Gefahrenbeurteilung im Wirkungsgebiet

4.9.1 Wirkungsanalyse (Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten pro Prozessquelle)

Im Wirkungsgebiet (bei Lawinen, Sturzprozessen und Hangmuren in der Regel Auslaufgebiet, bei Wassergefahren Überschwemmungs-, Übersarungs-, Übermurungsgebiet, bei grösseren Rutschungen das Rutschgebiet selber) werden basierend auf den Szenarien und der Analyse von Schlüssel- und Schwachstellen die möglichen betroffenen Prozessflächen bestimmt. Dabei werden die Resultate der Modellierungen soweit sinnvoll und möglich im Gelände nachvollzogen.

Das heisst, in der Regel bilden gutachtliche Beurteilungen im Gelände **und** numerische Modellierungen die Grundlagen für die Abgrenzung des Wirkungsgebiets. Bestehen zwischen den Methoden Widersprüche ist nach klaren, dokumentierten Argumenten ein Entscheid zu fällen.

Karten mit einer detaillierten Darstellung der Terrainverhältnisse (Reliefschattierung, Höhenkurven) bilden eine gute Grundlage.

Die Ergebnisse der Modellierungen sowie die Angaben und Aufzeichnungen von früheren Ereignissen sind vor Ort nachzuvollziehen und kritisch zu prüfen.

Ebenso müssen Schutzbauten im Wirkungsgebiet (Dämme, Rückhaltebecken etc.) gemäss PROTECT geprüft werden (Fussnote in Kapitel 4.7.2). Ausserdem ist die mögliche Wirkung von anderen Bauten zu prüfen: Gebäude, Mauern usw. können weiter unten liegende Objekte schützen, wirken aber oft auch negativ, indem sie zum Beispiel Wassermassen in neue Gebiete leiten („St. Florian Prinzip“).

Gespräche mit Anwohnern können wichtige Zusatzinformationen liefern. Sie können auch zur Vertrauensbildung in der Gemeinde beitragen und das Verständnis für die Aussagen der Gefahrenkarte fördern.

Grund- und Teilszenarien im Wirkungsgebiet

Während das Grundszenarium zum Beispiel eine 300-jährliche Lawine oder zum Beispiel ein HQ_{100} beschreibt, beschreiben die Teilszenarien mögliche Abläufe und Ausprägungen, die vom Grundszenarium ausgehen.

So beschreibt das **Grundszenario** zum Beispiel die bei Hochwasser in einem Einzugsgebiet entstehende Hochwasserganglinie (Spitzenabfluss, Volumen) sowie die mobilisierte Feststoff- und Schwemmholzmenge. Die **Teilszenarien** beschreiben mögliche Abläufe und Ausprägungen des Grundszenarios mit Blick auf die Verhältnisse im Wirkungsgebiet und das Verhalten von Schutzmassnahmen (BAFU 2017).

Der Bruch eines Längsdamms oder die Verklausung einer Brücke können beispielsweise gemäss Abbildung 13 bei einem Grundszenario HQx zu Teilszenarien „Wasseraustritt mit Überschwemmung der Teilgebiete B / C“ führen.

Nebst der Wahrscheinlichkeit *p* des Grundszenarios (beschrieben mittels der Jährlichkeit des Hochwassers) wird in einer solchen Situation die Wahrscheinlichkeit des Dammbruchs bzw. der Verklausung berücksichtigt. Letztere werden durch einen Wert zwischen 0 und 1 beschrieben.

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Gebiete B oder C durch Überflutung betroffen sind, entspricht einer Kombination der Wahrscheinlichkeiten des Grundszenarios und der Teilszenarien (BAFU 2017).

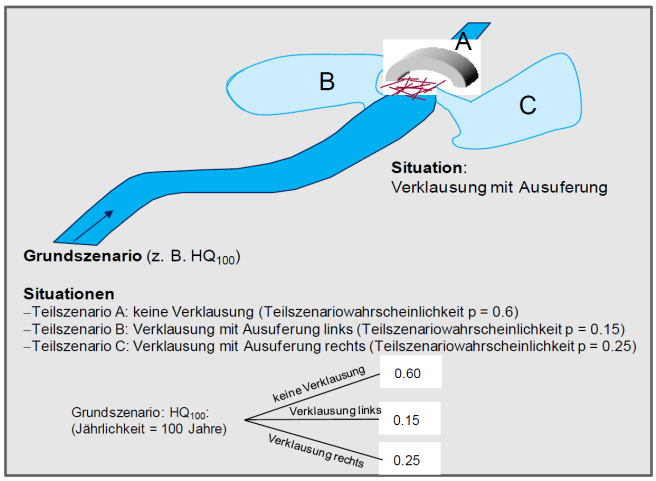


Abbildung 13 Teilszenarien und ihre Wahrscheinlichkeiten an einem Beispiel für den Teilprozess Überschwemmung. Quelle: BAFU 2017

Man muss ganz klar unterscheiden zwischen der Methodik bei der Gefahrenbeurteilung und einer Risikobeurteilung. Die Betrachtung kombinierter Wahrscheinlichkeiten von Grund- und Teilszenarien ist primär für Risikobeurteilungen wichtig[3]. Bei der **Gefahrenkartierung** werden die durch **Teilszenarien** betroffenen Flächen **dem Grundszenario zugeordnet** (Vereinigungsmenge) (BAFU 2017) und deshalb wird bei der Bezeichnung der Gefahrengebiete in der Regel die **Umhüllung** all dieser Teilszenarien als **massgeblich** erachtet.

Auf den festgelegten Wirkungsflächen werden schliesslich die Intensitäten bestimmt, die in Intensitätskarten dargestellt werden (nachfolgendes Kapitel).

4.9.2 Intensitätskarten

Pro Prozess zeigen die Intensitätskarten die Intensitätsstufen der betroffenen Flächen pro Wahrscheinlichkeitsklasse. Die Intensitätsstufen sind gemäss den Kriterien in Abbildung 14 definiert. Abbildung 15 zeigt Intensitätskarten einer einzigen Prozessquelle. In Abbildung 16 sind die sich überlagernden Wirkungsräume von verschiedenen Prozessquellen dargestellt. Hier ist bei der anschliessenden Umsetzung in die Gefahrenkarte jeweils die höchste Intensität massgebend.

[3] Für die Risikobeurteilung ist die Auftretenswahrscheinlichkeit im Raum massgebend - welche oft jedoch nicht bekannt ist. Wahrscheinlichkeitsbäume und Teilszenarien sind wichtige Instrumente, um die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit zu ermitteln. Zudem ist zu berücksichtigen, dass ein bestimmter Ort im Raum von verschiedenen Prozessquellen betroffen sein kann. Teilweise heben sich diese Effekte auf.

Prozessart	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
	normalerweise hellgrün	normalerweise grün	normalerweise dunkelgrün
Überschwemmung v Fliessgeschwindigkeit h Wassertiefe	0 m < h ≤ 0.5 m oder 0m²/s < v · h ≤ 0.5 m²/s	0.5 m < h ≤ 2 m oder 0.5 m²/s < v · h ≤ 2 m²/s	h > 2 m oder v · h > 2 m²/s
Übermurung v Fliessgeschwindigkeit h Ablagerungshöhe	--	0m < h ≤ 1m und/oder 0m/s < v ≤ 1m/s	h > 1m und v > 1 m/s
Ufererosion d mittlere Mächtigkeit der Abtragung	0 m < d ≤ 0.5 m	0.5 m < d ≤ 2 m	d > 2 m
permanente Rutschungen v Gleitgeschwindigkeit	0 cm/j < v ≤ 2 cm/j	2 cm/j < v ≤ 10 cm/j	v > 10 cm/j
spontane Rutschungen M Anrissmächtigkeit h Ablagerungshöhe	0 m < M ≤ 0.5 m	0.5 m < M ≤ 2 m oder 0 m < h ≤ 1 m	M > 2 m oder h > 1 m
Hangmuren M Anrissmächtigkeit h Ablagerungshöhe	0 m < M ≤ 0.5 m	0.5 m < M ≤ 2 m oder 0 m < h ≤ 1 m	M > 2 m oder h > 1 m
Sturz E Energie des Sturzkörpers	0 kJ < E ≤ 30 kJ	30 kJ < E ≤ 300 kJ	E > 300 kJ
Lawinen p Lawinendruck	0 kN/m² < p ≤ 3 kN/m²	3 kN/m² < p ≤ 30 kN/m²	p > 30 kN/m²

Abbildung 14 Intensitätseinteilung gemäss Datenmodell. Quelle: BAFU 2017

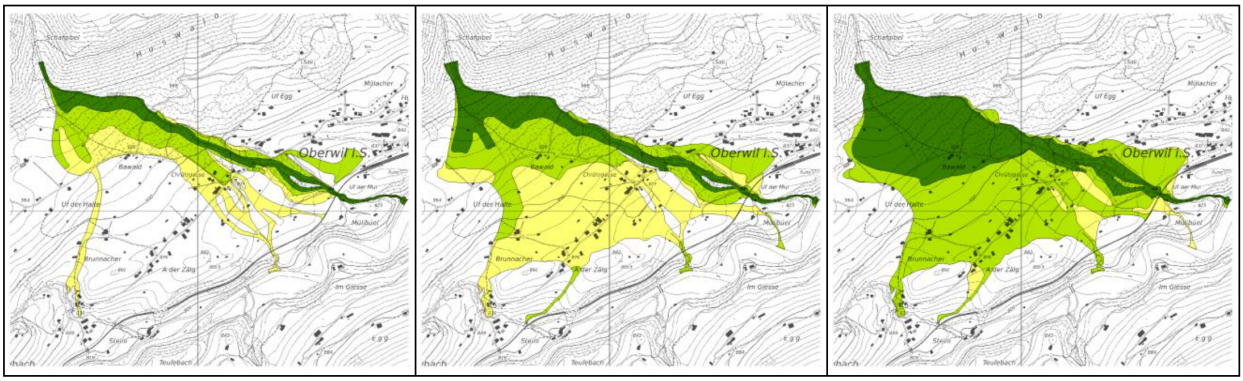
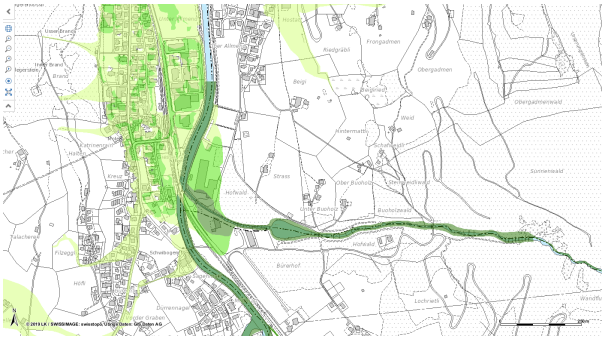
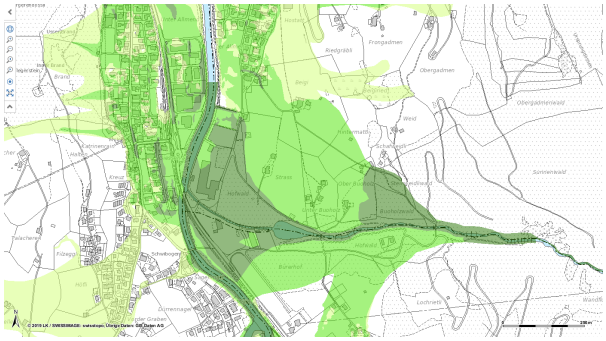


Abbildung 15 Beispiel für Intensitätskarten einer Prozessquelle (Wildbach)
T = 30 Jahre bzw. P = 3.3 % pro Jahr (Bild links)
T = 100 Jahre bzw. P = 1 % pro Jahr (Bild Mitte)
T = 300 Jahre bzw. P = 0.3 % pro Jahr (Bild rechts)
T = 1'000 Jahre bzw. P = 0.01 % pro Jahr (fehlt)
Quelle: Hunziker Gefahrenmanagement

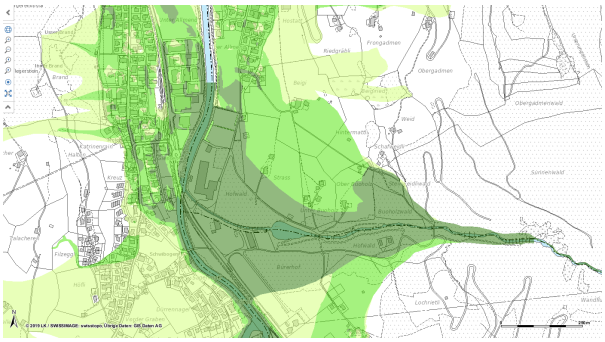
HQ30



HQ100



HQ300



HQ1’000 (Extremereignis)

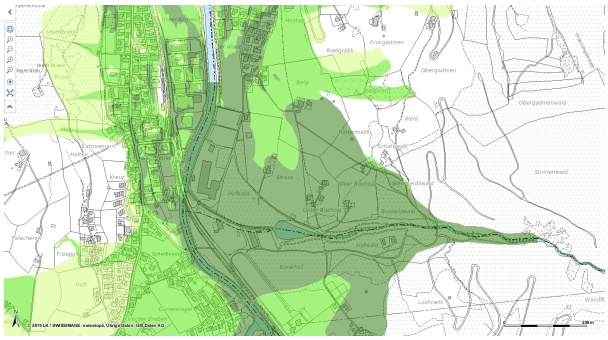


Abbildung 16 Beispiel für Intensitätskarten Wasser mit Überlagerung mehrerer Prozessquellen
T = 30 Jahre bzw. P = 3.3 % pro Jahr (Bild oben links)
T = 100 Jahre bzw. P = 1 % pro Jahr (Bild oben rechts)
T = 300 Jahre bzw. P = 0.3 % pro Jahr (Bild unten links)
T = 1'000 Jahre bzw. P = 0.01 % pro Jahr (Bild unten rechts)
Quelle: Kanton Nidwalden

4.9.3 Gefahrenkarten

Die Gefahrenkarte gibt mit den Farben rot, blau, gelb und gelb-weiss gestreift u.a. die raumplanerische Bedeutung der Gefahren wieder (vgl. Abbildung 17). In «weissen Gebieten» ist nach derzeitigem Kenntnisstand mit keiner oder nur einer vernachlässigbaren Gefährdung zu rechnen.

Verschiedene Ereignisse haben gezeigt, dass auch in gelben und gelb-weiss-gestreiften Gebieten hohe Schäden auftreten können. Eine risikobasierte Raumplanung (PLANAT 2015b) trägt diesen Erkenntnissen Rechnung indem bei Baubewilligungen auch Auflagen in den gelben und gelb-weissen Gefahrengebieten zu prüfen sind. Somit kommt der Unterteilung der Farben in Bezug auf die Bau- und Zonenreglemente eine geringere Bedeutung zu als früher.

Gefahrenzone	Zonenausscheidung	Bau- und Zonenreglement	Weitere Massnahmen
Verbotszone (erhebliche Gefährdung, rot)	– Keine Ausscheidung neuer Bauzonen; – Rückzonung bzw. Auszonung nicht überbauter Bauzonen.	– Keine Errichtung oder Erweiterung von Bauten und Anlagen; – Erlass der notwendigen Nutzungsbeschränkungen bei bestehenden Bauten; – Umbauten und Zweckänderungen nur mit Auflagen zur Risikoverminderung; – Wiederaufbau zerstörter Bauten nur in Ausnahmefällen und nur mit Auflagen.	– Rasche Information der betroffenen Grundeigentümerinnen und Grundbesitzer über die bestehende Gefährdung und die notwendigen Massnahmen; – Bei Bedarf Anmerkung von Nutzungseinschränkungen im Grundbuch; – Rasche Planung und Umsetzung der notwendigen technischen und organisatorischen Schutzmassnahmen.
Gebotszone (mittlere Gefährdung, blau)	– Ausscheidung neuer Bauzonen nur mit Auflagen und nach Prüfung von Alternativen und Vornahme einer Interessenabwägung.	– Keine Erstellung von sensiblen Objekten; – Baubewilligung mit Auflagen; – Erlass der notwendigen Nutzungsbeschränkungen bei bestehenden Bauten; – Festlegen von Anforderungen an die räumliche Anordnung, Nutzung und Gestaltung, evtl. auch Erschliessung von Bauten und Anlagen; – Detaillierte Vorschriften müssen je nach Gefahrenart und Intensität unterschiedlichen Schutzmassnahmen Rechnung tragen.	
Hinweiszone (geringe Gefährdung gelb/Restgefährdung, gelb/weiss)	– Vermeiden von Zonen, in denen Anlagen mit hohem Schadenpotenzial erstellt werden können; – Hinweis auf die Gefahrensituation.	– Empfehlungen für bestehende Bauten; – Erwägen von Auflagen bei sensiblen Nutzungen oder grösseren Überbauungen nach Risiko.	– Information der betroffenen Grundeigentümerinnen und -eigentümer über die bestehende Gefährdung; – Beratung für mögliche Schadensverhütungsmassnahmen in Zusammenarbeit mit den Versicherungen; – spezielle technische und organisatorische Massnahmen für sensible Objekte mit Auflagen der Versicherung.

Abbildung 17 Raumplanerische Bedeutung der Gefahrenstufen. Quelle: ARE, BWG, BUWAL 2005

Die Farben nach Gefahrenbereich ergeben sich aus dem Zusammenhang von Intensität und Wiederkehrperiode / Eintretenswahrscheinlichkeit. Die Zuordnung der Farben ist aus dem in Abbildung 18 dargestellten Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm (nach BWW, BRP, BUWAL 1997) ersichtlich.

Die Diagonalen in den Feldern 2, 4 und 6 waren anfänglich als Möglichkeit für begründetes Ermessen gedacht, im Sinne von «je wahrscheinlicher und je intensiver der betrachtete Prozess, desto eher wird die im Feld oben links aufscheinende Farbe, d.h. die höhere Gefahrenstufe zugeordnet». Dieser Ermessensspielraum wurde in der Folge je nach Prozess und je nach Kanton zunehmend reguliert. Das BAFU gibt die Diagramme aus für Wassergefahren (BWW, BRP, BUWAL 1997) und für Massenbewegungen (BAFU 2016b) vor.

Abbildung 19 zeigt schematisch den Schritt von den Intensitätskarten zu den Gefahrenkarten.

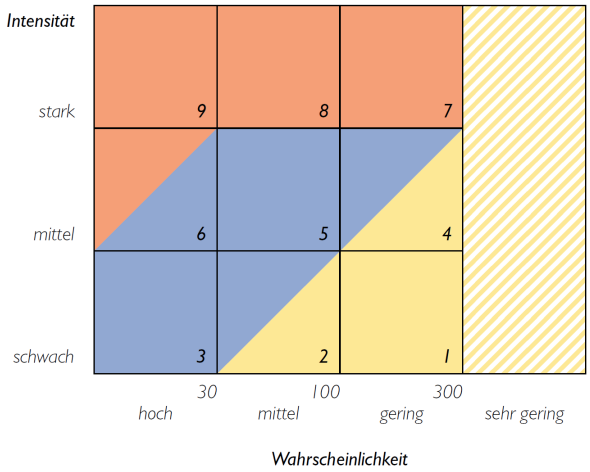


Abbildung 18 Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm.
Quelle: nach BWW, BRP, BUWAL 1997

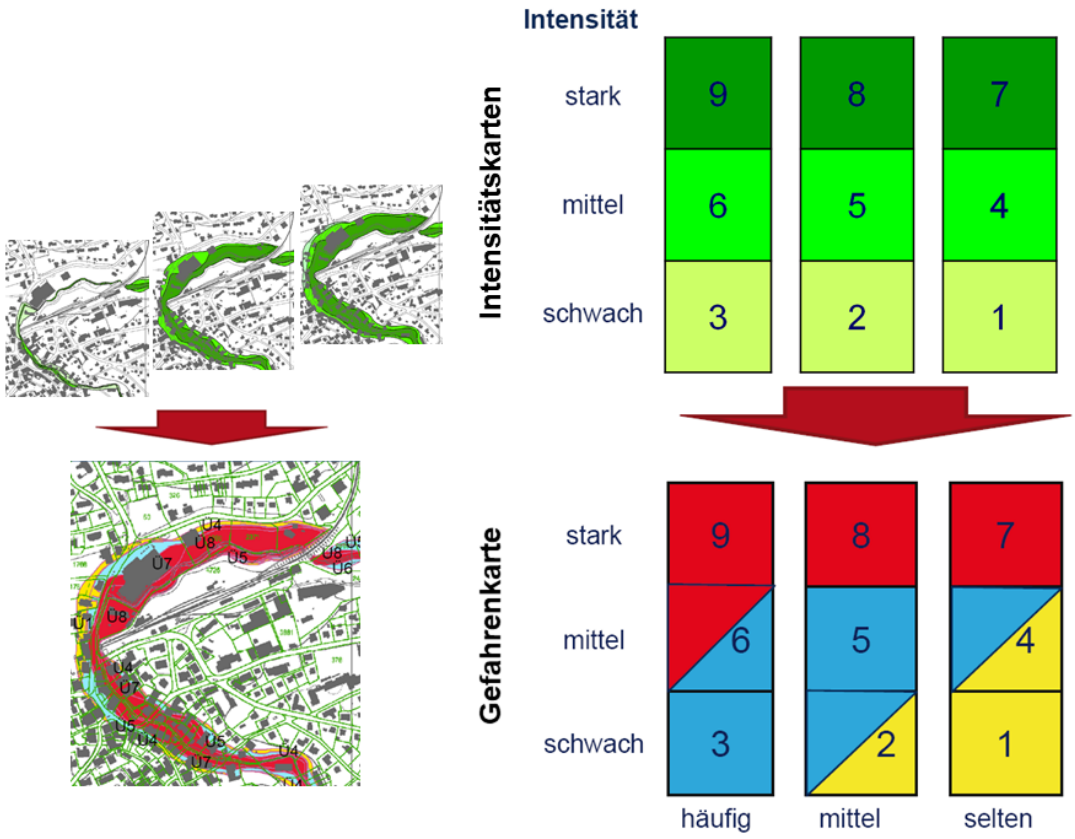


Abbildung 19 Ableitung Gefahrenkarten aus Intensitätskarten.
Quelle: Hans Kienholz. Ausführlichere Darstellung wird am Kurstag abgegeben (inkl. gelb-weiss-gestreifte Restgefährdung)

4.9.4 Von der Einzelgefahrenkarte zur synoptischen Gefahrenkarte

Wie in den vorangehenden Kapiteln beschrieben werden die Intensitätskarten pro Prozessquelle erstellt, zu Intensitätskarten pro Prozess überlagert und schliesslich über den «Filter» des I-W-Diagramms zur Gefahrenkarte des einzelnen Hauptprozesses (zum Beispiel Wassergefahrenkarte, Lawinengefahrenkarte) umgeformt.

In den meisten Kantonen werden die Gefahrengebiete der einzelnen Hauptprozesse für Übersichten zu synoptischen Gefahrengebieten (und damit zu synoptischen Gefahrenkarten) überlagert, wobei für einen bestimmten Punkt im Raum die jeweils höchste Gefahrenstufe aus allen Hauptprozessen dargestellt wird.

Mit Buchstabenindizes werden die in den Flächen wirksamen Gefahrenprozesse (Teilprozesse) bezeichnet.

4.10 Massnahmenvorschläge

Die Erarbeitung von Massnahmen gegen Naturgefahrenprozesse ist **nicht** Teil der Gefahrenbeurteilung.

Zur Unterstützung der Akzeptanz der Gefahrenkarte kann auf die möglichen Massnahmenkategorien verwiesen werden. Eine Risikobetrachtung und ganzheitliche Massnahmenplanung hilft die optimale Massnahmenkombination zu erkennen. Dies ist aber nicht Teil der Gefahrenbeurteilung, sondern der nächste Schritt nach der Erstbeurteilung oder Nachführung.

Die **Massnahmenkategorien** sind:

- Unterhalt (zum Beispiel Ufergehölze pflegen oder Geschiebesammler bewirtschaften)
- Raumplanung (zum Beispiel Ausscheidung von Freihalteräumen, Vorgaben zu Objektschutz)
- Notfallplanung (zum Beispiel Einsatzplanung mit lokalen Feuerwehren)
- bauliche Massnahmen (zum Beispiel Rückhaltemassnahmen)
- Objektschutz (Verstärkung)
- biologische Massnahmen (zum Beispiel Schutzwald)

Ohne gesamtheitliche Risikobetrachtung und Massnahmenplanung ist auf das Auflisten von einzelnen Massnahmen zu verzichten. Erkennt der Gutachter bei Schwachstellen die Möglichkeit zur Behebung, so kann er dies bei der Beschreibung der Schwachstelle ergänzen.

5 Qualitätsmanagement bei der Gefahrenbeurteilung

Gefahrenbeurteilungen sind keine standardisierten Produkte und können nicht normiert überprüft werden wie Industrieerzeugnisse oder Bauwerke. Erst das Eintreten eines Ereignisses lässt eine Überprüfung zu. Gefahrenbeurteilungen sind Abschätzungen, die auf Erfahrung, intensiver Beurteilung des Geländes (Topographie, Geologie, Vegetation, Nutzung, etc.), lokaler Historie, Modellen und Szenarien beruhen.

Das Qualitätsmanagement des einzelnen Projektes muss in allen Etappen spielen:

- **Ausschreibungsverfahren** durch Auftraggeber
- **Ausführung des Projektes** durch Auftragnehmer und Begleitung der Auftraggeber
- **Überprüfung und Inkraftsetzung der Projektergebnisse** in der Regel durch die kantonalen Fachstellen
- **Umsetzung der Projektergebnisse** durch die zuständigen Behörden und Verwaltungszweige (u.a. Raumplanung)

Siehe dazu auch: Herzog 2000a, Herzog 2000b, Kienholz 2002

5.1 Qualitätsmanagement durch die Auftragnehmer

Der Auftragnehmer ist für die Qualität seiner Arbeit verantwortlich. Es geht darum eine Gefahrenbeurteilung

1. fachlich richtig und
2. nachvollziehbar vorzunehmen.

In der Praxis muss die Beurteilung ausserdem mit angemessenem Zeitaufwand (d.h. möglichst wirtschaftlich) erfolgen. Daraus ergeben sich hohe Anforderungen an die fachliche und organisatorische Kompetenz des Auftragnehmers und dessen Projektbearbeitenden.

5.1.1 Fachlich richtig

Grösstmögliche fachliche Richtigkeit wird durch ein Vorgehen nach dem **"Stand der Fachkunde"** erreicht. Dieser Begriff ersetzt im Kontext des Umganges mit Naturgefahren den Begriff "Regeln der Baukunst" aus dem Bauwesen. Es handelt sich um Sachregeln, denen die Rechtsordnung Geltung und damit eine erhöhte Wirksamkeit verleiht. Der Begriff hat damit eine juristische Tragweite. Konkret sind dies die aktuellen und anerkannten Methoden und Verfahren, wie sie zum Beispiel von Bundesstellen oder Fachverbänden wie dem Schweizerischen Ingenier und Architektenverein SIA empfohlen werden (Herzog 2000a).

Eine Gefahrenbeurteilung entsprechend dem "Stand der Fachkunde" erfordert, dass die verschiedenen Gefahrenprozesse nicht nur je einzeln analysiert und beurteilt werden, sondern auch die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Prozesse untersucht wird.

Ein wichtiges Mittel dazu ist die Feststellung und Untersuchung aller wesentlichen Aspekte, die zur Gefahr beitragen. Dies setzt systematisches Vorgehen, aber auch Phantasie (im guten Sinne) und Kreativität des Bearbeiters voraus.

5.1.2 Nachvollziehbar

Das Vorgehen bei der Gefahrenbeurteilung muss transparent, überprüfbar und nachvollziehbar sein. Nicht zuletzt, weil fachliche Richtigkeit nur beschränkt feststellbar ist, kommt einer hohen Transparenz und guten Nachvollziehbarkeit des Vorgehens grosse Bedeutung zu.

Das Vorgehen, die eingesetzten Verfahren und Methoden, die Interpretation der erhobenen Daten lassen sich dadurch besser kontrollieren und überprüfen.

Gute Nachvollziehbarkeit des Verfahrens hilft den Bearbeitern bei der Selbstkontrolle und verbessert die Argumentationsbasis bei der Umsetzung.

Bei Gefahrenbeurteilungen sind deshalb in jedem Falle folgende Grundregeln zu beachten:

- Umfassende Dokumentation (Karten, Bericht, siehe Kapitel 6)
- klare Methodenwahl und -kombination und deren Offenlegung;
- klar umrissene Entscheidungskriterien bei der Bewertung;
- Deklaration der Aussagen (zum Beispiel mit Angabe der **Evidenz** unter Verwendung von Begriffen wie «erwiesen», «vermutet», «potenziell»).

5.1.3 Kompetenz der Bearbeiter

Eine Gefahrenbeurteilung ist das Produkt iterativer Analysen komplexer Prozesse und erfolgt meist im Team, oft in Arbeitsgemeinschaften. Die Erarbeitung einer Gefahrenbeurteilung ist deshalb sehr anspruchsvoll, fachlich wie auch organisatorisch. Der einzelne Bearbeiter, die einzelne Bearbeiterin muss bereit und fähig sein, ständig dazuzulernen, in formellen Aus- und Weiterbildungen, aber auch «on the job». Ein wichtiges Lernumfeld bildet der Austausch mit Berufskollegen, mit lokalen Gewährsleuten und interessierten Laien. Dabei geht es nicht nur um die Weitergabe und den Empfang von Informationen, sondern auch um das Wahrnehmen anderer Betrachtungsweisen und anderer Sprache (siehe dazu auch Kapitel 7). Konstruktiv-kritisches Hinterfragen und Abgleichen steigert die Qualität. So sind einmal getroffene Vereinbarungen (zu Zeit- und Budgetrahmen, Vorgehen, Dokumentation, etc.) mit dem Auftraggeber wie auch innerhalb der Arbeitsgemeinschaft zwar grundsätzlich einzuhalten aber in begründeten Fällen auch zur Diskussion zu stellen.

5.2 Umgang mit Unsicherheiten und Unschärfen

Bei der Beurteilung von Gefahrenprozessen wird versucht, Prozesse in der Natur zu beschreiben. Es soll für definierte Bereiche von Eintretenswahrscheinlichkeiten abgeschätzt werden, wo die Prozesse mit welcher Intensität auftreten. Dieser Umstand bringt es mit sich, dass bei dieser Tätigkeit mit Unsicherheiten und Unschärfen umgegangen werden muss.

Die Unsicherheiten können einerseits die Datengrundlagen (Vollständigkeit sowie Unsicherheit der Messwerte) und Statistik (Wahl der statistischen Methode sowie Unsicherheit bezüglich der Schätzung) betreffen und andererseits die Methoden und Annahmen zur Beschreibung von Prozessen. Der Umstand, dass bei Gefahrenbeurteilungen statistische Auswertungen der Daten aus der Vergangenheit dazu verwendet werden, Prozesse in der Zukunft zu beurteilen, bringt eine weitere Unsicherheit mit sich.

Auch bezüglich sehr seltener und grosser Ereignisse ergeben sich Unsicherheiten. Prozessverkettungen (zum Beispiel Hangrutschungen mit Effekt auf Gewässer) und Änderungen der natürlichen Umwelt (zum Beispiel Klimawandel) können erhebliche Auswirkungen auf die Gefahrenbeurteilungen haben. Der Leitsatz "Undenkbares denken" soll dabei stets beachtet werden.

Die **Unsicherheiten** haben entsprechende **Unschärfen in der Beurteilung** zur Folge. Sie führen zu Ermessensspielräumen, die für alle beteiligten Akteure eine grosse Herausforderung darstellen und die Kommunikation und Umsetzung der Ergebnisse erschweren. (siehe dazu auch BAFU 2008a, S. 390 ff.)

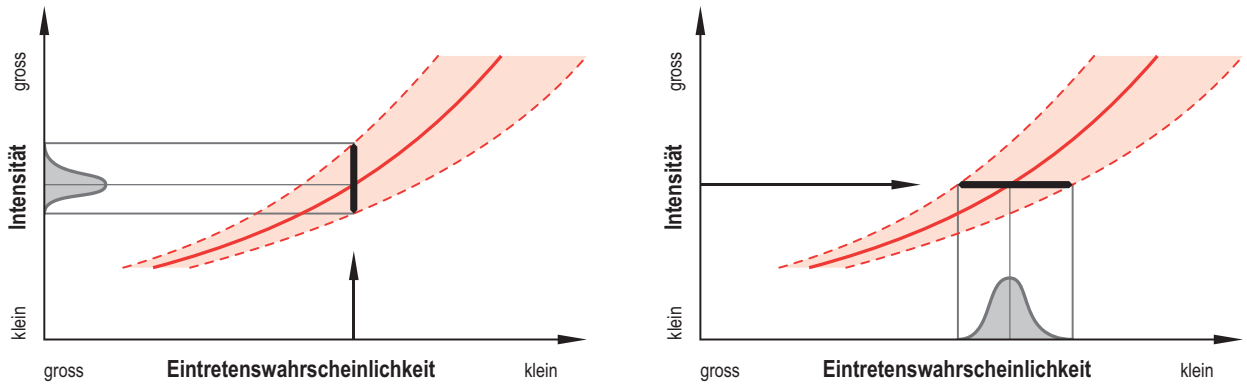


Abbildung 20 Bandbreite der Intensität bei vorgegebener Eintretenswahrscheinlichkeit (links) und Bandbreite der Wahrscheinlichkeit bei vorgegebener Intensität (rechts). Beziehung zwischen der Eintretenswahrscheinlichkeit und der Intensität eines Prozesses mit bester Schätzung (ausgezogene Linie) und zugehörigen Konfidenzintervallen, bzw. empirisch geschätzten Bandbreiten (gestrichelte Linien). Quelle: BAFU 2008a

Es ist somit wichtig, dass die Unsicherheiten bei der Gefahrbeurteilung - wo möglich - reduziert (zum Beispiel Wahl der statistischen Methode), bewusst einbezogen, klar kommuniziert und nachvollziehbar dokumentiert werden.

Die wichtigsten Fragen, um die Unsicherheiten bei der Gefahrenbeurteilung von Naturgefahrenprozessen zu beurteilen, sind:

- Wurden die relevanten Prozessabläufe, Prozessketten und Prozessübergänge erkannt?
- Sind die Szenarien (vgl. Kapitel 4.7) richtig gewählt?
- Sind alle Faktoren berücksichtigt, welche die gewählten Szenarien beeinflussen können?
- Liegen die Eingangsgrössen für die Modellierungen in genügender Qualität vor?
- Wurden die relevanten Prozessabläufe, Prozessketten und Prozessübergänge berücksichtigt?
- Liegen grössere Unsicherheiten vor?
- Sind Unsicherheiten, Resultate von allfälligen Sensitivitätsanalysen und die Gründe der Entscheidungsfindung nachvollziehbar dokumentiert?

Neben all den oben erwähnten Aspekten sind für die Beurteilung verschiedener Gefahren auch extremwert-statistische Auswertungen wichtig. Weil diese Verfahren jeweils bei verschiedenen Prozessen Anwendung finden können, werden sie hier im Basismodul und nicht in den Prozessmodulen wiederholt behandelt. Im Anhang 10.5 werden die wichtigsten extremwert-statistischen Grundlagen für die Gefahrenbeurteilung veranschaulicht.

5.3 Besondere Herausforderungen bei der Revision bestehender Gefahrenkarten

Die Überprüfung bestehender Gefahrenbeurteilungen ist oft gleich aufwendig oder gar aufwendiger als eine Erstbeurteilung: Neben dem Nachvollzug der früheren, Jahre zurückliegenden, mehr oder weniger ausführlich dokumentierten Beurteilung muss auch wieder die Beurteilung der aktuellen Situation (seitherige Veränderungen im Gelände, Fortschritte in der Methodik) erfolgen. Dabei spielt es unter Umständen keine grosse Rolle, ob die Zweitbeurteilung durch das gleiche oder ein anderes Büro erfolgt. Der relativ grosse Aufwand ergibt sich ausserdem daraus, dass den Behörden und Auftraggebern jede Änderung

gegenüber der bestehenden Gefahrenkarte (vor allem Verschärfungen) nachvollziehbar begründet werden müssen. Trotz dem erhöhten Aufwand ist der Auftraggeber wohl selten bereit, für eine Gefahrenkartenrevision mehr zu bezahlen als für die Erstbeurteilung.

Bei räumlichen Teilrevisionen (nur Teile der Gemeinde) kann die Homogenität der Qualität «leiden»: Hier kann die Beurteilung der zu revidierenden Gefahrengebiete mit neueren, evtl. besseren Methoden erfolgen. Bei prozessmässigen Teilrevisionen (zum Beispiel «nur» Rutschungsprozesse), die jedoch für das ganze von der Gefahrenkarte erfasste Gebiet einer Gemeinde durchgeführt werden, stellt sich dieses Problem dagegen nicht.

6 Produkte der Gefahrenbeurteilung

6.1 Allgemeines

«In den Vollzugshilfen des Bundes wird der rechtliche Begriff „Gefahrenkarte“ im Sinne der Datenmodellierung inhaltlich dahingehend festgelegt, dass darunter sämtliche bei der Gefahrenkartierung anfallenden Produkte zu verstehen sind.» (BAFU 2017)

Die Produkte einer Gefahrenbeurteilung lassen sich drei Gruppen zuordnen:

- Kartenwerke
- Datensätze
- Bericht

Umfang und Detaillierungsgrad der Produkte sind sinnvollerweise auf den Massstab (siehe Kapitel 4.1) der Beurteilung abgestimmt.

In jedem Fall sollen die Produkte:

- das Resultat der Gefahrenbeurteilung aufzeigen
- das Vorgehen nachvollziehbar dokumentieren

«Mit den heutigen technischen Möglichkeiten steht aber nicht mehr nur die Karte im Vordergrund. Vielmehr wird die Gefahrensituation durch Datenobjekte beschrieben, aus denen dann in automatisierten Prozessen gemäss einem Darstellungsmodell Karten hergestellt werden ...» (BAFU 2017)

6.2 Qualitätssicherung der Dossiers

Der Adressatenkreis von Gefahrenbeurteilungen geht in der Regel weit über die eigentliche Auftraggeberin hinaus. Die Produkte einer Gefahrenbeurteilung bilden die Grundlage für zahlreiche weitere Arbeiten wie Risikoanalysen und -bewertungen oder Massnahmenplanungen und -dimensionierungen. Für die Akzeptanz wie auch die Brauchbarkeit einer Gefahrenbeurteilung für weitere Arbeiten ist die Qualität der Dossiers von entscheidender Bedeutung. Die Produkte einer Gefahrenbeurteilung sind deshalb vor der Abgabe sorgfältig zu prüfen. Wichtige Kriterien der Dossierqualität sind:

- Vollständigkeit (Übereinstimmung mit Pflichtenheft und Offerte)
- Konsistenz (Inhaltsverzeichnis <-> Inhalt, Datensätze <-> Kartenwerke <-> Texte)
- Verständlichkeit, Lesbarkeit (Texte und die darin integrierten Abbildungen und Tabellen, Kartenwerke), siehe auch Kapitel 7
- Übersichtlichkeit (Dossieraufbau)
- Nachvollziehbarkeit (Dokumentation der Grundlagen, Berechnungen und Annahmen)
- Weiterverwendbarkeit der Daten (Beschreibung der Daten, einfache, langlebige Datenformate)

6.3 Kartenwerke

Kartenwerke in Papierform und/oder als pdf sind zentrale Bestandteile einer Gefahrenbeurteilung. Sie machen die Gefahrenbeurteilung für ein breites Publikum sichtbar. In der Regel bestimmt die Auftraggeberin, welche Karten in welcher Form zu erstellen sind. Typischerweise sind nicht nur die kartographierten Grundlagen (bspw. von Ereignisspuren oder

Schwachstellen) und die finalen Gefahrenkarten abzugeben, sondern auch Karten einzelner Zwischenschritte. Für die Qualität von Karten in Papierform und/oder als pdf entscheidend sind:

- dem Detaillierungsgrad des Inhalts angepasster Massstab (vgl. Kapitel 4.1)
- übersichtlicher, über das gesamte Dossier möglichst einheitlicher Plankopf (minimaler Inhalt: Auftragsbezeichnung, Titel der Karte, Datum, Massstab und Plangrösse, Ersteller)
- vollständige, lesbare Legende
- Angabe von Referenzsystem (mindestens Nordpfeil) und Massstab

Sehr wichtig ist weiter die Übereinstimmung gleicher Karteninhalte in verschiedenen Darstellungsformen. Papierdrucke, pdf und Darstelllungen in Webdiensten (Web Features Services WFS) müssen widerspruchsfrei sein, untereinander wie auch zu den zugrundeliegenden Geodaten (siehe Abschnitt 6.4). Es ist deshalb ratsam, das Abfüllen der WFS und die Erstellung der Kartenwerke in Papierform und als pdf erst nach Finalisierung der Geodaten in Angriff zu nehmen.

6.4 Daten

Gefahrenbeurteilungen basieren auf vielen verschiedenen Datensätzen und generieren zahlreiche neue. Sofern nicht anders vereinbart, sind sämtliche verwendeten und neu generierten Datensätze integraler Bestandteil eines Gefahrenbeurteilungsauftrags und sind der Auftraggeberin bei Auftragsabschluss in aufbereiteter Form abzugeben. Die Datenaufbereitung erfolgt so, dass die Abgabedaten folgende Zwecke erfüllen können:

- Darstellung der Gefahrengebiete und anderer Resultate der Gefahrenbeurteilung in öffentlichen GIS-Portalen
- Reproduktion der in Papierform abgegebenen Produkte
- (Spätere) Nachvollziehbarkeit / Nachbildbarkeit der Gefahrenbeurteilung
- Ergänzung / Nachführung der Gefahrenbeurteilung

Typischerweise sind bei einer Gefahrenbeurteilung folgende Daten abzugeben:

- sämtliche in Papierform abgegebenen Produkte als pdf
- Geodaten der kartierten Flächen (zum Beispiel Gefahrengebiete, Intensitätsflächen, Kennwerte wie Fliesstiefen …), Linien (bspw. Gefahrenquellen, Schutzmassnahmen, …) und Punkte (zum Beispiel Schwachstellen, Ereignisspuren, …)
- Scripts automatisierter Datenbearbeitungen und Berechnungen
- bereinigtes, für Modellierungen verwendetes Geländemodell
- Querprofile der untersuchten Gerinne, hydraulische Längenprofile der 1D Modellierungen
- Spezifizierung der verwendeten Modellierungsprogramme und Eingangsparameter

Bei vielen Gefahrenbeurteilungen stellt die (öffentliche) Auftraggeberin genaue Anforderungen bzgl. Topologie, Struktur und Inhalt der abzugebenden Geodaten. Die Vorgabe (und Überprüfung) dieser Anforderungen dient der reibungslosen Integration der Geodaten in öffentliche GIS-Portale (vgl. geodienste.ch) und verwaltungsinterne Datenbanken. Seit 2013 stellt der Bund ein «Datenmodell Gefahrenkartierung» (BAFU 2017, Version 1.2) zur Verfügung, welches in enger Zusammenarbeit mit den Kantonen erarbeitet wurde und periodisch überarbeitet wird. Als minimal verpflichtender Inhalt definiert das Modell:

- Erhebungsstand (Erhebungsgebiet)
- Gefahrengebiete

- Synoptische Intensitäten

Fakultative, aber insbesondere bei Überarbeitungen nach Möglichkeit zu erstellende Inhalte sind: Karten der Kennwerte (bspw. Fliesstiefenkarten), Intensitätskarten nach Prozessquellen, synoptische Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarten.

Für den Auftragnehmer empfiehlt sich, Daten ohne Löschungspflicht während mindestens 10 Jahre aufzubewahren. Wieweit der Auftragnehmer die Daten für andere Arbeiten verwenden darf, ist im Einzelfall zu klären und mit Vorteil schriftlich – bspw. im Vertrag – festzuhalten.

Auch nach Abschluss eines Projektes können Nachfragen zum Projekt kommen, zum Beispiel zu Hintergrundinformation in Bezug auf eine bestimmte Parzelle (Gutachten Naturgefahren für Baubewilligungsprozess). Es ist zu empfehlen, dass die Ablage des Projektes dem Rechnung trägt und die geeignete Zugänglichkeit der Informationen sichergestellt ist.

6.5 Bericht

Der Bericht ist ein integraler Bestandteil der Gefahrenbeurteilung und erläutert:

- die verwendeten Grundlagen
- das methodische Vorgehen
- die begründeten, getroffenen Annahmen
- die definierten Szenarien und Wirkungsräume
- die Resultate

der Gefahrenbeurteilung.

Bei der Abfassung des Berichts gilt es, sich in die Lage der Benutzer zu versetzen. Zum Beispiel interessieren sich Grundeigentümer und Gemeindebehörden u.a. für die Farben in der Gefahrenkarte. Falls sie an bestimmten Orten nicht einverstanden sind oder Fragen haben, suchen sie nach der Begründung. Sie können die Ersteller der Gefahrenkarte nicht immer direkt befragen. Das bedeutet: Für jede Fläche im Wirkungsgebiet bzw. für jede Prozessquelle sollten sie die Begründung im Bericht finden! Für die Darstellung der objektspezifisch relevanten Information eignen sich erfahrungsgemäss übersichtliche Tabellen oder Faktenblätter.

Häufig wird der Bericht zweigeteilt, in einen knappen, allgemein verständlich formulierten beschreibendenTextteil (ggf. ergänzt mit einer Zusammenfassung) und einen vorwiegend tabellarischen Teil (zum Beispiel Faktenblätter).

Bei Gefahrenbeurteilungen über grössere Gebiete (mehrere Gemeinden) hat sich eine zusätzliche Aufteilung des Berichts etabliert. Neben einem für das gesamte Untersuchungsgebiet geltenden Methodikteil stehen bei diesen Gefahrenbeurteilungen teilgebiets- (gemeinde-) spezifische Resultateteile zur Verfügung.

6.6 Erstbeurteilungen und Nachführung

Die so genannten Erstbeurteilungen von Gefahrenkarten sind nahezu abgeschlossen. Neubeurteilungen von Gefahrenprozessen und Nachführungen von Gefahrenkarten können durch folgende Umstände notwendig werden:

- Naturgefahrenereignis (punktuelle Nachführung): Neue Erkenntnisse über örtliches Auftreten, Intensität und Wiederkehrperiode der Prozesse
- neue methodische Erkenntnisse (zum Beispiel neue Berechnungsmodelle)
- Realisierung eines Schutzbautenprojekts (punktuelle Nachführung)

- Veränderungen bei der Siedlungsentwicklung (neue Siedlungen, neue Verkehrswege) → flächige Nachführung
- Periodische Nachführungen (zum Beispiel Revision der Nutzungsplanung)

7 Kommunikation

7.1 Einbezug der Akteure und Wissensträger

Der Einbezug der Gemeindebehörden in die Erarbeitung sollte so früh wie möglich stattfinden. Diese können auch weitere Wissensträger wie Personen mit guten Gebiets- oder Ereigniskenntnissen (Feuerwehrvertreter Förster, Schwellenmeister, Naturgefahrenberater usw.) nennen. Der Einbezug des Wissens dieser Personen unterstützt die Gefahrenbeurteilung (Vervollständigung vergangener Ereignisse, Veränderungen im Gelände usw.). Gleichzeitig kann es das Vertrauen in die Gefahrenbeurteilung sowie deren Akzeptanz stärken.

7.2 Kommunikation der Resultate

Die Information bzw. der frühzeitige Einbezug von Akteuren (Entscheidungs-, Risiko- oder Wissensträgern, Eigentümern, Betroffenen usw.) im integralen Risikomanagement beginnt oft mit einer Information zu den Gefahrengrundlagen. Der Detaillierungsgrad und die Erklärung muss auf die Bedürfnisse der jeweiligen Akteure angepasst werden.

Die PLANAT hat Hilfsmittel zum Thema Risikodialog erarbeitet (PLANAT 2015c). Es gibt zum Beispiel ein Glossar (PLANAT 2015c) für die Übersetzung von Fachbegriffen oder eine Erläuterung der Gefahrenstufen. Viele Begriffe, welche in der Fachsprache standardisiert sind, werden von Laien nicht oder anders verstanden oder verwendet, zum Beispiel:

Schadenpotenzial: In der Fachsprache wird es teilweise für die Gesamtwert eines möglicherweise betroffenen Schutzgutes verwendet. Laien (und auch Versicherungen) verstehen meist den potenziellen Schaden darunter, welcher selten 100 % des Wertes ist.

Risiko & Gefahr: Für Laien sind die Begriffe austauschbar: Das Risiko einer Lawine ist gross. Die Gefahr eines Schadens ist klein.

Verklausung: Laien verstehen den Begriff oft nicht und trauen sich auch nicht zu fragen. Wir sprechen dann besser von verstopfen oder «vermachen».

Hangmure: Wir sprechen besser von «Erdlaui», «Härldloui»

Wir müssen gut hinhören und gegebenenfalls nachfragen, was gemeint ist und uns auch vergewissern ob wir so verstanden wurden, wie wir es gemeint haben.

In Informationen über die Gefährdung oder im Dialog mit Akteuren werden statistische Grössen (siehe Kapitel 10.4, im Anhang) verwendet, zum Beispiel steht die Wiederkehrperiode (WKP) X für durchschnittlich eine Überschreitung in X Jahren bei sehr langen Zeitreihen. Die Wiederkehrperiode ist über die jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit definiert (WKP = 1/ jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeit).

Für Laien sind die Wiederkehrperioden der Szenarien schwer verständlich. Ein 300-jährliches Szenario wird als extrem selten eingeschätzt. Die Übersetzung in Eintretenswahrscheinlichkeiten in bestimmten Zeiträumen hilft Laien bei der Einordnung:

Häufigkeit (Wiederkehrperiode)		Eintretenswahrscheinlichkeit	
in Worten	in Jahren	in Worten	in 50 Jahren
häufig	1 bis 30	hoch	82 bis 100 %
mittel	> 30 bis 100	mittel	40 bis 82 %
selten	> 100 bis 300	gering	15 bis 40 %
sehr selten	> 300 bis 1’000	sehr gering	5 bis 15 %

Abbildung 21 Begriffe zu Häufigkeit, Wiederkehrperiode und Eintretenswahrscheinlichkeit. Quelle: angepasst nach Kienholz

Die Häufigkeit gibt an, in welchem Zeitraum mit einem Naturereignis von bestimmtem Ausmass gerechnet werden muss. Sie wird auch als Eintretenswahrscheinlichkeit dargestellt. Die Häufigkeit wird dabei in Stufen von «häufig» bis «sehr selten», die Eintretenswahrscheinlichkeit von «hoch» bis «sehr gering» eingeteilt. Die Eintretenswahrscheinlichkeit zeigt, dass auch bei einer relativ seltenen Häufigkeit (300 Jahre) die Gefährdung nicht vernachlässigbar ist: Hat ein Ereignis eine Häufigkeit von 300 Jahren, so besteht eine Wahrscheinlichkeit von 15 %, dass dieses in einer Periode von 50 Jahren eintritt. Dies entspricht in etwa der Wahrscheinlichkeit, beim einmaligen Wurf eine 6 zu würfeln! Bei Ereignissen mit einer Häufigkeit von 100 Jahren ist die Wahrscheinlichkeit fast so gross wie wenn man eine Münze wirft (rund 40 %).

8 Auftrags- und Vergabewesen der Gefahrenbeurteilung: rechtliche Rahmenbedingungen

8.1 Gefahrenbeurteilungen sind Dienstleistungen

Gefahrenbeurteilungen sind Dienstleistungen, die Bearbeitung erfolgt in einem Auftragsverhältnis (qualifiziert als einfacher Auftrag, vgl. OR/ZGB Art. 394 ff oder als Werkvertrag, vgl. OR/ZGB Art 363 ff). Es empfiehlt sich, das Auftragsverhältnis in einem schriftlichen Vertrag, basierend auf einer schriftlichen Offerte und einem Pflichtenheft zu regeln. Das Pflichtenheft einer Gefahrenbeurteilung wird in der Regel von der Auftraggeberin erstellt und bezeichnet typischerweise:

- den zu beurteilenden Perimeter,
- die zu untersuchenden Prozesse und Teilprozesse,
- methodische Vorgaben bei der Beurteilung,
- zur Verfügung stehende Ressourcen seitens Auftraggeberin (Personen, Grundlagen, Daten)
- die zu erstellenden Produkte (Karten, Daten, Dokumentation) und
- ggf. Vorgaben zu Terminen und Vergütung.

In der Offerte legt der Auftragnehmer dar, wie er die Vorgaben des Pflichtenhefts umsetzen will. Zentrale Bestandteile einer Offerte für eine Gefahrenbeurteilung sind:

- Auftragsanalyse (Vorgaben Auftraggeberin / Behörden, Charakteristik des Perimeters)
- Vorgehenskonzept (konkret, basierend auf Auftragsanalyse und Erfahrung Auftragnehmer)
- Projektorganisation (Schlüsselpersonen, Qualitätssicherung, Schnittstellen zu Auftraggeberin und Dritten)
- Terminplanung ab Auftragsvergabe (Meilensteine, Inanspruchnahme von Auftraggeberin und Dritten)
- Kosten meist als Pauschalpreis oder in Einheitspreisen (je Arbeitsstunde bestimmter Qualifikation) mit Kostendach
- Referenzen

Bei Vergabeverfahren der öffentlichen Hand mit mehreren Anbietern empfiehlt es sich, die Offerte so zu verfassen, dass die Erfüllung der Auswahlkriterien (vgl. Abschnitt 8.2) einfach zu erfassen ist.

«Nebst Basisvorgaben haben die Ersteller selbstverständlich noch die speziellen Pflichtenhefte der Auftraggeberin zu erfüllen. Zudem haben sie als Fachpersonen für derartige Fragen ihr Fachwissen und den neusten Stand des Wissens in diesen Fachbereichen einzubringen. Im Vertrag und im Pflichtenheft sind diese verschiedenen Pflichten und Vorgaben zu verankern. Ein wichtiger Teil der Sorgfaltspflicht (und deren Nachweis) ist die geeignete Dokumentation.» (PLANAT 2004)

(Anmerkung der Autoren: Basisvorgaben sind Pflichtenhefte, Empfehlungen, Vollzugshilfen, welche heute den gleichen Stellenwert haben)

8.2 Gefahrenbeurteilungen für die öffentliche Hand

Bei Gefahrenbeurteilungen ist die Auftraggeberin sehr häufig die öffentliche Hand. Aufträge der öffentlichen Hand unterliegen dem öffentlichen Beschaffungsrecht. Auf Bundesebene regelt das BöB das öffentliche Beschaffungswesen.

Für die Ausführungsbestimmungen der Kantone und Gemeinden bildet die Interkantonale Vereinbarung über das öffentliche Beschaffungswesen IVÖB (INÖB 1994) eine verbindliche Rahmenordnung.

Die Ziele des öffentlichen Beschaffungswesens sind:

- Nachhaltiger Einsatz öffentlicher Mittel
- Verhinderung der Korruption

Um diese Ziele zu erreichen gelten im öffentlichen Beschaffungswesen folgende Grundsätze:

- Transparente Verfahrensregeln
- Gleichbehandlung aller Anbieter, Beachtung von Ausstandsregeln
- Wettbewerb unter Anbietern
- Verhandlungsverbot ausser bei freihändiger Vergabe
- vertrauliche Behandlung von Anbieterinformationen
- Einhalten gesetzlicher Bestimmungen insbesondere bzgl. Arbeitsrecht und Gleichstellung

Das öffentliche Beschaffungswesen in der Schweiz kennt vier verschiedene Vergabeverfahren, für welche die IVöB folgende Schwellenwerte (INöB 2019) für Dienstleistungen festlegt (geschätzter Auftragswert der Dienstleistung exkl. MWST):

- freihändige Vergabe: unter CHF 150'000.-
- Einladungsverfahren: unter CHF 250'000.-
- selektives Verfahren: ab CHF 250'000.-
- offenes Verfahren: ab CHF 250'000.-

Für Verfahren mit mehreren Anbietern sind die Auswahlkriterien zwingender Bestandteil der Ausschreibungsunterlagen. Bei den Auswahlkriterien wird zwischen Eignungs- und Zuschlagskriterien unterschieden. Eignungskriterien (bspw. minimale fachliche Qualifikation des Anbieters) sind Ausschlusskriterien, die entweder erfüllt oder nicht erfüllt werden. Anbieter, welche ein Eignungskriterium nicht erfüllen, werden vom Verfahren ausgeschlossen. Unter den verbleibenden Angeboten wird mittels der Zuschlagskriterien das wirtschaftlich günstigste Angebot ermittelt, das folglich den Zuschlag erhält. Die Zuschlagkriterien umfassen Preis und Qualität des Angebots. Bei Vergaben für Gefahrenbeurteilungen wird mit den Zuschlagskriterien – neben dem Preis – typischerweise die Qualität von Auftragsanalyse und Vorgehenskonzept, sowie die Qualifikation und Erfahrung der Schlüsselpersonen in der Gefahrenbeurteilung bewertet. Dabei kommt der Gewichtung der verschiedenen Zuschlagskriterien eine grosse Bedeutung zu.

Die KBOB gibt im Anhang 1 zu ihrem «Leitfaden zur Beschaffung von Planerleistungen» als Richtwert für die Gewichtung des Preiskriteriums bei einfachen bis durchschnittlich schwierigen Beratungsmandaten 20 % bis 40 % an (bei schwierigen Beratungsmandaten 20 % bis 30 %) und entsprechend für die Gewichtung der Summe aller Qualitätskriterien den Richtwert von 60 % bis 80 %, bzw. 70 % bis 80% bei schwierigen Beratungsmandaten an (KBOB 2021).

Bund und Kantone stimmen ihre Rechtsgrundlagen im Beschaffungsrecht soweit möglich parallel und inhaltlich aufeinander ab. Mehr und mehr Kantone ratifizieren die revidierte Interkantonale Vereinbarung über das öffentliche Beschaffungswesen (INöB 2019). *Bund und Kantone stimmen ihre Rechtsgrundlagen im Beschaffungsrecht soweit möglich parallel und inhaltlich aufeinander ab. Mehr und mehr Kantone ratifizieren die revidierte Interkantonale Vereinbarung über das öffentliche Beschaffungswesen (IVöB 2019).*

Im öffentlichen Beschaffungswesen sind zahlreiche weitere formale Vorgaben einzuhalten, bspw. zu Terminen, Publikation und Dokumentation von Vergabeverfahren. Die Einhaltung dieser Vorgaben ist wichtig; die zentralen Entscheide eines Verfahrens sind anfechtbar. Es ist ratsam, bei jedem öffentlichen Vergabeverfahren die Unterstützung von verwaltungsinternen Spezialisten des Vergaberechts in Anspruch zu nehmen.

9 Literatur

AGN 2017: D. Bollinger, U. Gruner, H. R. Keusen, M. Liniger. Qualitätsanforderungen an Zweitmeinungen im Naturgefahrenbereich. Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren AGN, 13 S.

ARE, BWG, BUWAL 2005: Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren. Bundesamt für Raumentwicklung, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 50 S.

ARE 2022: Umgang mit dem Klimawandel im kantonalen Richtplan - Arbeitshilfe und Ergänzung des Leitfadens Richtplanung. Bundesamt für Raumentwicklung. 20 S.

BAFU 2008a: Bezzola G.R., Hegg C. (Ed.). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825: 429 S.

BAFU 2008b: Hepperle E. Schutzauftrag und Subventionierung bei Naturgefahren. Rechtsgutachten. Umwelt-Wissen Nr. 0821. Bundesamt für Umwelt, Bern. 121 S.

BAFU 2011: Hepperle E. Rechtliche Verankerung des integralen Risikomanagements beim Schutz vor Naturgefahren. Rechtsgutachten. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1117: 125 S.

BAFU 2016a: Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz. Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 12.4271 Darbellay vom 14.12.2012. Bundesamt für Umwelt, Bern. 120 S.

BAFU 2016b: Schutz vor Massenbewegungsgefahren. Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren. Bundesamt für Umwelt, Bern. Reihe Umwelt-Vollzug Nr. 1608, 98 S.

BAFU 2017: Ruf, W. Datenmodell Gefahrenkartierung, Identifikator 166.1. Geobasisdaten des Umweltrechts. Bundesamt für Umwelt, Bern. www.bafu.admin.ch/geodatenmodelle

BAFU 2018: Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020–2024. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde an Gesuchsteller. Bundesamt für Umwelt, Bern. Reihe Umwelt-Vollzug. UV-1817-D, 294 S.

BAFU 2020a: Bericht zum Stand der Umsetzung des Integralen Risikomanagements von Naturgefahren. Kurzversion des Berichts an den Bundesrat. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Info. UI-2027-D, 23 S.

BAFU 2020b: Minimale Standards - Kantonale Risikoübersichten für gravitative Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BFF und EISLF 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Forstwesen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung

BWG 2001: Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitung 2001. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Biel. 72 S.

BWW, BUWAL 1995: Empfehlungen – Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene. Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Reihe Naturgefahren. Bern. 60 S.

BWW, BRP, BUWAL 1997: Petrascheck A., Loat R. Empfehlungen 1997: Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. Reihe Naturgefahren. 32 S.

CH2018: Schweizer Klimaszenarien CH2018, National Centre for Climate Services NCCS, www.nccs.admin.ch

DIN 2011: Risikomanagement – Grundsätze und Leitlinien. E DIN ISO 31000:2011-01 (D) Deutsches Institut für Normierung e.V.

FAN 2015: Beurteilung von Schutzmassnahmen in der Gefahrenbeurteilung. FAN-Herbstkurs 2015. Fachleute Naturgefahren Schweiz.

FAN 2018: Huser M.-T., Spiess H.R. Referat: (Rechts)Gefahr erkannt, Gefahr gebannt. anlässlich der Herbstveranstaltung 2018. Fachleute Naturgefahren Schweiz

FAN 2020: FAN-Agenda 1/2020- FAN-Forum 2020 Umgang mit Klimaszenarien. Fachleute Naturgefahren Schweiz

Herzog 2000a: Herzog, B. Die Beurteilung von Wassergefahren aus Sicht der neuen Qualitätsempfehlungen. Wasser-Energie-Luft, 9-10:281-285, SWV Baden

Herzog 2000b: Herzog B., Keusen H., Rageth Th., Lateltin O., Zobrist R. Empfehlung zur Qualitätssicherung bei der Beurteilung von Naturgefahren im Sinne der Wald- und Wasserbaugesetzgebung. Plattform Naturgefahren PLANAT. PLANAT-Reihe 2/2000

Hollenstein 1997: Hollenstein K. Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich.

IPCC 2016: Klimaänderung 2013/2014: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Deutsche Übersetzungen durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern

KBOB 2021: Leitfaden zur Beschaffung von Planerleistungen. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB.

Kienholz 2002: Kienholz, H., Herzog, B., Bischoff, A., Willi, H.-P. Fragen der Qualitätssicherung bei der Gefahrenbeurteilung. In: Bündnerwald 1/ 02: S. 57- 67

Kienholz 2005: Kienholz, Hans. Analyse und Bewertung alpiner Naturgefahren - eine Daueraufgabe im Rahmen des integralen Risikomanagements. Geographica Helvetica, Jg. 60, Heft 1.

Kienholz 2020: Kienholz, Hans. Gefahrenkarte in der Schweiz – Entwicklung und Umsetzung. FAN Agenda 2/2020, S. 33 – 44. Fachleute Naturgefahren Schweiz

Kleinn, J., D. Aller, and M. Oplatka 2022: Characteristics of Risk. In Hurricane Risk in a Changing Climate. In Vol. 1. J.M. Collins. and J. Done, Eds., Springer. (in print).

KOHS 2007: Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. Ein Standortpapier der KOHS. Wasser Energie Luft - 99. Jahrgang, 2007, Heft 1:55-57, CH-5401 Baden

NCCS, 2021: Hydrologische Grundlagen zum Klimawandel, National Centre for Climate Services

PLANAT 2004: Rechtliche Aspekte im Zusammenhang mit der Gefahrenkarte, Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern

PLANAT 2007: Jährliche Aufwendungen für den Schutz vor Naturgefahren in der Schweiz. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern

PLANAT 2008: PROTECT Wirkung von Schutzmassnahmen. PLANAT-Projekt A3. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern: 289 S.

PLANAT 2015a: Sicherheitsniveau für Naturgefahren - Materialien. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern

PLANAT 2015b: Risikobasierte Raumplanung. Synthesebericht zu zwei Testplanungen auf Stufe kommunaler Nutzungsplanung. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Raumentwicklung.

PLANAT 2015c: Risikodialog Naturgefahren. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. www.planat.ch/risikodialog

PLANAT 2018: Umgang mit Risiken aus Naturgefahren, Strategie 2018. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern

ISO 2018: SN ISO 31000 Risikomanagement – Leitlinien. Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur

VKG 2021: Schadenstatistik VKG, Datenquelle Interkantonaler Rückversicherungsverband IRV, Bern

WSL 2019: Andres N., Badoux A. Unwetterschäden in der Schweiz 2018. Wasser Energie Luft - 111. Jahrgang, 2019, Heft 1

WSL 2017: Andres N., Badoux A., Techel F., Hegg, C. Todesfälle durch Naturgefahrenprozesse in der Schweiz von 1946 bis 2015. Wasser Energie Luft - 109. Jahrgang, 2017, Heft 2

WSL Unwetterschadendatenbank

Gesetze und interkantonale Vereinbarungen

BöB: Schweizerische Eidgenossenschaft. Bundesgesetz über das öffentliche Beschaffungswesen / BöB /172.056.1 vom 16. Dezember 1994 (Stand am 1. Januar 2021)

BV: Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (101) vom 18. April 1999, Stand am 23. September 2018

HWSG: Vernehmlassung Hochwasserschutzgesetz (inkl. Erläuterndem Bericht), Stand am 14. April 2021

OR/ZGB: Bundesgesetz betreffend die Ergänzung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches (SR220, Fünfter Teil: Obligationenrecht) vom 30. März 1911, Stand am 1. Januar 2016

RPG: Bundesgesetzes über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG, 700) vom 22. Juni 1979, Stand am 1. Januar 2019

StGB: Schweizerisches Strafgesetzbuch vom 21. Dezember 1937, Stand am 1. März 2019

WBG: Bundesgesetz über den Wasserbau (Wasserbaugesetz / WBG / SR 721.100) vom 21. Juni 1991, Stand am 1. Januar 2011

WBV: Verordnung über den Wasserbau (Wasserbauverordnung / WBV / SR 721.100.1) vom 02.11.1994

WaG: Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz / WaG) vom 4. Oktober 1991, Stand am 1. Januar 2017 (921.0)

WaV: Verordnung über den Wald (Waldverordnung, WaV / SR 921.01) vom 30.11.1992, Stand am 1. Januar 2018

INöB 1994: Interkantonales Organ für das öffentliche Beschaffungswesen. Interkantonale Vereinbarung über das öffentliche Beschaffungswesen (IVöB) vom 25. November 1994/15. März 2001

INöB 2019: Interkantonales Organ für das öffentliche Beschaffungswesen. Interkantonale Vereinbarung über das öffentliche Beschaffungswesen (IVöB) (Stand der Ratifizierung durch Kantone: www.bpuk.ch)

10 Anhänge

10.1 Anhang: Historische Entwicklung

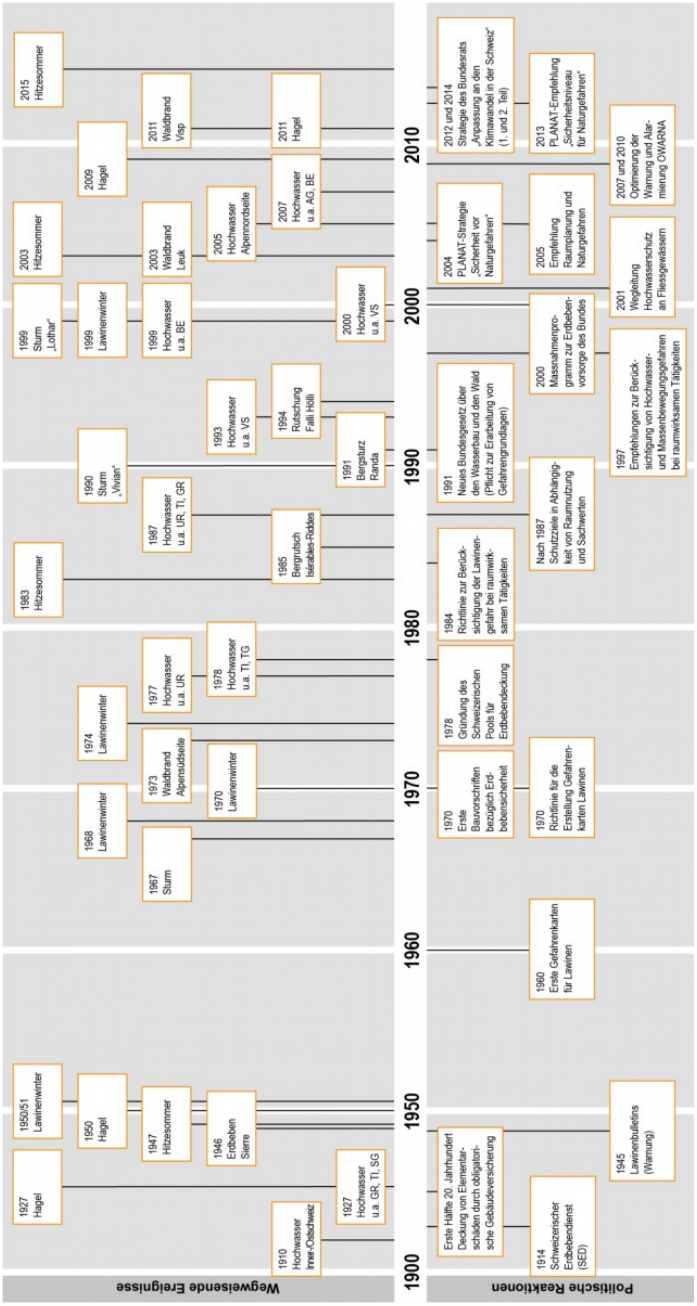


Abbildung 22 Wegweisende Naturgefahrenereignisse und die darauffolgenden politischen Reaktionen in den letzten 115 Jahren. Die Strategie Umgang mit Risiken aus Naturgefahren, PLANAT (PLANAT 2018) und der Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 12.4271 Darbellay vom 14.12.2012 (BAFU 2016a) Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz sowie das Reporting (BAFU 2020a) fehlen in der Übersicht.
Quelle: BAFU 2016

Die Entwicklung der Gefahrenkartenerstellung in der Schweiz in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wird in einem Artikel der FAN Agenda 2020/2 beschrieben (Kienholz 2020).

10.2 Anhang: Schäden durch Naturgefahren

Personenschäden aufgrund von Naturgefahren sinken tendenziell. Sachschäden und deren indirekte Folgen steigen tendenziell.

10.2.1 Todesfälle

Im Vergleich zu anderen Gefährdungen (zum Beispiel Strassenverkehr) ist die Zahl der Todesopfer durch Naturgefahren gering. Im Jahresmittel (1946 bis 2015) sind dies 14.6 Todesopfer. In dieser Zahl enthalten sind Todesfälle infolge von Hochwasser, Rutschungen, Murgängen, Sturzprozessen, Wind-stürmen, Blitzschlägen, Lawinen und weiteren (seltenen) Prozessen (zum Beispiel Erdbeben und Eislawinen). Berücksichtigt wurden alle Todesopfer durch Naturgefahren, die sich nicht bewusst oder absichtlich einer offensichtlichen Gefahr ausgesetzt haben. Die meisten Personen starben infolge von Lawinen (37 %), gefolgt von Blitzschlägen (16 %) und Hochwasser (12 %). Über die letzten 70 Jahre ist ein deutlicher Rückgang der jährlichen Todesopfer ersichtlich, v. a. aufgrund des Rückgangs von Todesfällen bei Lawinen und Blitzschlägen. Die meisten Todesfälle ereigneten sich im alpinen Raum (WSL 2017).

10.2.2 Sachschäden

Sachschäden sind Schäden an Gebäuden und Mobiliar/Fahrhabe.

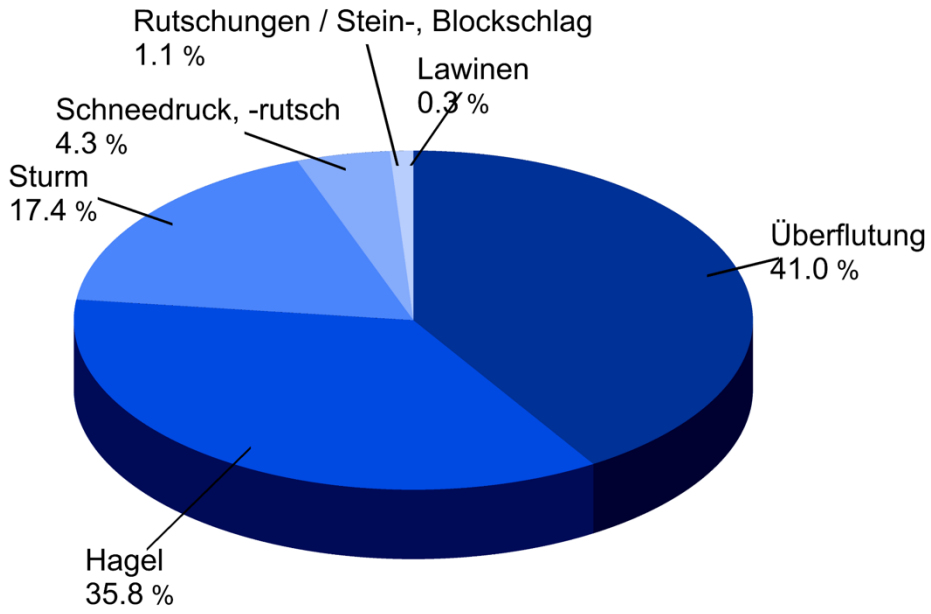


Abbildung 23 Durchschnittlicher Anteil der einzelnen Naturgefahren an der Gebäudeschadenhöhe der 18 Kantonalen Gebäudeversicherungen aus den Jahren 2000–2019. Unter Hochwasser sind Schäden durch Gewässerausuferung und Oberflächenabfluss summiert. Quelle: Schadenstatistik VKG (Datenquelle: Interkantonaler Rückversicherungsverband IRV)

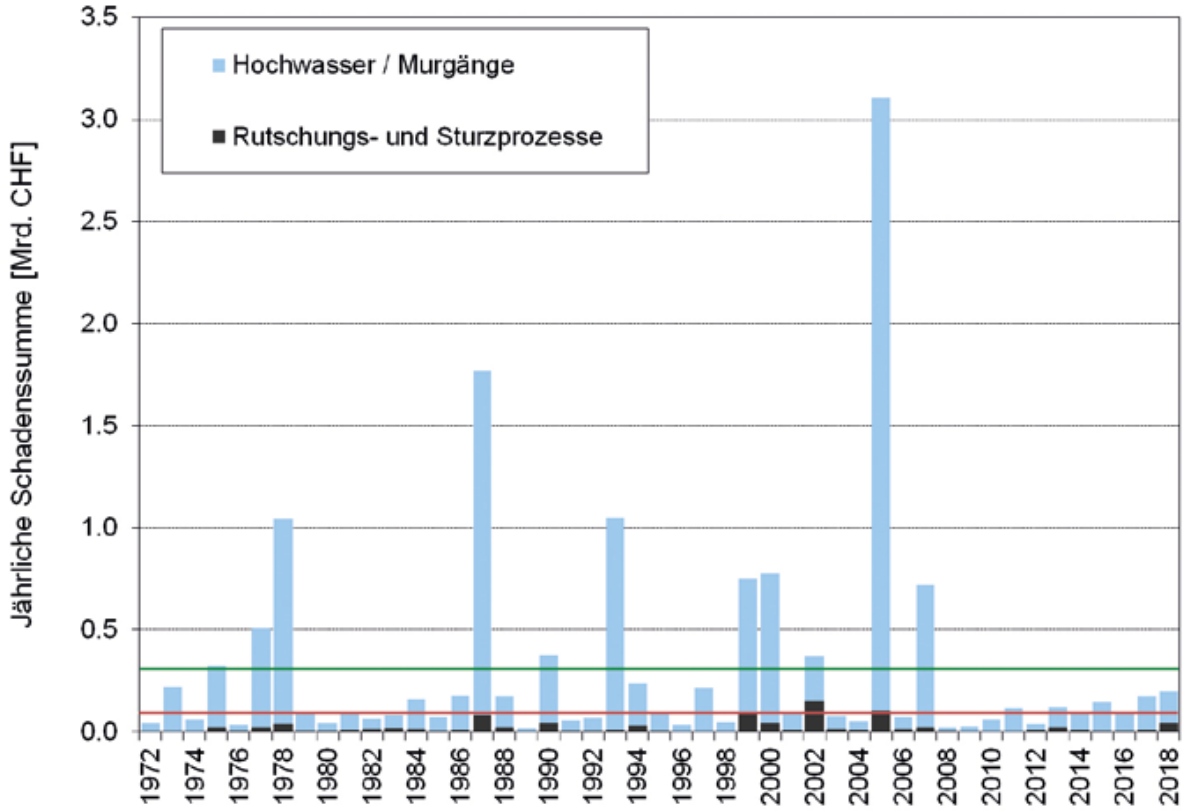


Abbildung 24 Unwetterschäden in der Schweiz (Rutschungen, Murgänge, Hochwasser und Sturzereignisse). Jährliche Schadenssummen der verschiedenen Prozesse für die Periode 1972–2018 (teuerungsbereinigt, Basis 2017). Arithmetisches Mittel (grün, 307 Mio. CHF) und Median (rot, 93 Mio. CHF) sind mit horizontalen Linien gekennzeichnet. Quelle: WSL 2019

10.2.3 Betriebsunterbruch, etc.

Es gibt keine schweizweiten Zahlen zu Schäden durch Betriebsunterbruch sowie Folgeschäden durch Naturgefahren. Wie hoch diese Schäden sind, hängt von vielen Faktoren ab. Schätzungen auf Basis von Betriebsunterbruchversicherungen und Einzelfällen gehen von einem Mehrfachen des Sachschadens aus.

Schäden an Kulturgütern, kritischen Infrastrukturen, Umweltschäden usw. sind ebenfalls nicht systematisch erfasst.

10.3 Anhang: Anforderungen für Subventionierung durch den Bund

Neben den Gefahrengrundlagen sind auch Schutzprojekte subventionsberechtigt. Bei beiden sind Standards bezüglich der Gefährdungsgrundlagen einzuhalten. Fachspezifische Erläuterungen zur Programmvereinbarung im Bereich Schutzbauten und Gefahrengrundlagen, Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020 –2024 (BAFU 2018):

«Gefahrengrundlagen (Gefahrenkarten, Gefahrenhinweiskarten, Gefahren- bzw. Ereignis- und Schutzbautenkataster, vgl. Abbildung 25) sowie Risikogrundlagen bilden eine unabdingbare Voraussetzung für das integrale Risikomanagement. Die Subventionierung erfolgt wie beim Grundangebot mittels Globalbeitrag. Die einzelnen Vorhaben müssen vom Bund nicht vorgängig genehmigt werden. In der Programmvereinbarung werden die Zielsetzung bzw. die geplanten Vorhaben, die Rahmenbedingungen (anzuwendendes Bundesrecht, Regelung der Zusammenarbeit etc.) sowie die einzuhaltenden Anforderungen (siehe Anhang A7 der Programmvereinbarungen) und Standards (Richtlinien etc.) definiert.»

Anforderungen betreffend	Kriterien	Bemerkungen
Ereigniskataster («StorMe»)	Daten historischer Ereignisse	• Prozess, Zeitpunkt, Wirkungsraum und Schadenausmass von Ereignissen • Sicherstellung der laufenden Nachführung im Ereigniskataster («StorMe») • Räumliche Darstellung der betroffenen Flächen mit Verweis auf Sachdaten
Schutzbautenkataster	Daten bestehender Schutzbauten	• Art, Bautyp, Dimension, Baujahr, Ort, Kosten, Zustand, Funktionstüchtigkeit usw. von Schutzbauten • Sicherstellung der laufenden Nachführung im Schutzbautenkataster (in Ausarbeitung) • Räumliche Darstellung der Schutzbauten mit Verweis auf Sachdaten
Gefahrenhinweiskarte (M1 gemäss Kapitel 4.1)	Übersicht über die Gefährdung	• Grobe Übersicht über die Gefährdungssituation durch die verschiedenen Prozesse im Massstab 1 : 10 000 bis 1 : 50 000 • Basiert meist auf Modellbetrachtungen • Keine Angaben zur Gefahrenstufe (Wahrscheinlichkeit und Intensität)
Gefahrenkarte (M2 gemäss Kapitel 4.1)	**Detaillierte Darstellung der Gefährdung**	• **Lokalisierung der Gefahrengebiete im Massstab 1 : 1000 bis 1 : 10 000, getrennt nach Gefahrenprozessen** • **Grundlage sind Intensitätskarten (i.d.R. Jährlichkeiten < 30, 30–100, 100–300 sowie Extremereignis > 300)** • **Dokumentation der Beobachtungen, Überlegungen, Annahmen und Szenarien in einem technischen Bericht** • **Periodische Revision**
Weitere Gefahrengrundlagen	Gefährdung durch Oberflächenabfluss/Grundwasser Kanalisationsrückstau	Zusätzliche Beurteilungsgrundlagen für Objektschutzmassnahmen
	Risikogrundlagen	Gefahren- und Schadenpotenzial (Objektkategorien, Einheitspreise), Schutzziele, Schutzdefizite, Handlungsbedarf, Prioritäten
	Massnahmenkonzepte	Einzugsgebietsplanung, Hochwasserschutzkonzept, Korridorplanung (Infrastrukturen), Notfallplanungen
	Historische Dokumentationen	Als Projektgrundlage, Ereignis ist im «StorMe» erfasst (Rückerfassung) Qualitäts- und Inhaltsanforderungen sind projektweise in Absprache mit dem BAFU festzulegen, da Standardisierung kaum möglich.
Berichterstattung	Stand der Gefahrenkartierung	«ShowMe»
Notfallplanung und Ereignisbewältigung auf lokaler/regionaler Stufe	Notfallplanung	Vorsorgliche Interventionsplanung gemäss Handbuch Interventionsplanung des BAFU: Für jeden relevanten Prozess besteht eine detaillierte Interventionsplanung basiernd auf den aktuellen Gefahrengrundlagen. Die Interventionsplanung ist Teil der Notfallplanung der betroffenen Gemeinde/Region. Sie beinhaltet unter anderem spezifische Ablaufschemata mit Interventionskriterien, Interventionskarten, ausformulierte Aufträge und entsprechende Ressourcenübersichten.
	Grundlagen für lokale Naturgefahrenberater der zivilen Führungsorgane	Anpassung der Grundlagen an kantonale Gegebenheiten Bercihterstattung über die Umsetzung der Massnahemn zur Sicherstellung der Fachberatung der zivilen Führungsorgane

Abbildung 25 Gefahrengrundlagen - Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich 2020-2024. Quelle: BAFU 2018

10.4 Anhang: Wahrscheinlichkeiten

Autoren: Dörte Aller, Aller Risk Management; Jan Kleinn, Kleinn Risk Management

Die Kommunikation von Wiederkehrperioden (wie zum Beispiel 30-, 100-, 300- und 1'000-jährlich) und deren Intensitäten stellt eine Herausforderung dar. Es entsteht schnell der Eindruck, dass solche Ereignisse zu selten auftreten, als dass man sich darum kümmern müsste.

Betrachtet man jedoch die Wahrscheinlichkeit für solche Ereignisse bezogen auf den Betrachtungshorizont, für den man eine Entscheidung fällt, so ändert sich dieser Eindruck. Bezogen auf die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes (ca. 50 Jahre) oder einer Infrastruktur (ca. 80 Jahre), ist die Wahrscheinlichkeit für solche Ereignisse erstaunlich hoch (Abbildung 26).

WKP	50 Jahre	80 Jahre
30	82 %	93 %
100	40 %	55 %
300	15 %	23 %
1'000	5 %	8 %

Abbildung 26 Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten (oder Überschreiten) eines Ereignisses (oder mehrerer Ereignisse) bezogen auf die Lebensdauer von 50 bzw. 80 Jahre für verschiedenen Wiederkehrperioden.

Die Wahrscheinlichkeit, in 50 Jahren ein 300-jährliches Ereignis zu erleben ist mit ca. 15 % fast so hoch, wie die Wahrscheinlichkeit, eine bestimmte Augenzahl zu würfeln (ca. 17 %). Im Erdbebeningenieurwesen dimensioniert man auf eine Wahrscheinlichkeit von 10 % in 50 Jahren, was einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren pro Jahr entspricht.

In Abbildung 27 sind für verschiedene Wiederkehrperioden und Lebensdauern die Wahrscheinlichkeiten aufgetragen. Die Formel für die Wahrscheinlichkeit (P) in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode (WKP) und Lebensdauer (L) lautet:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{WKP}\right)^{L}$$

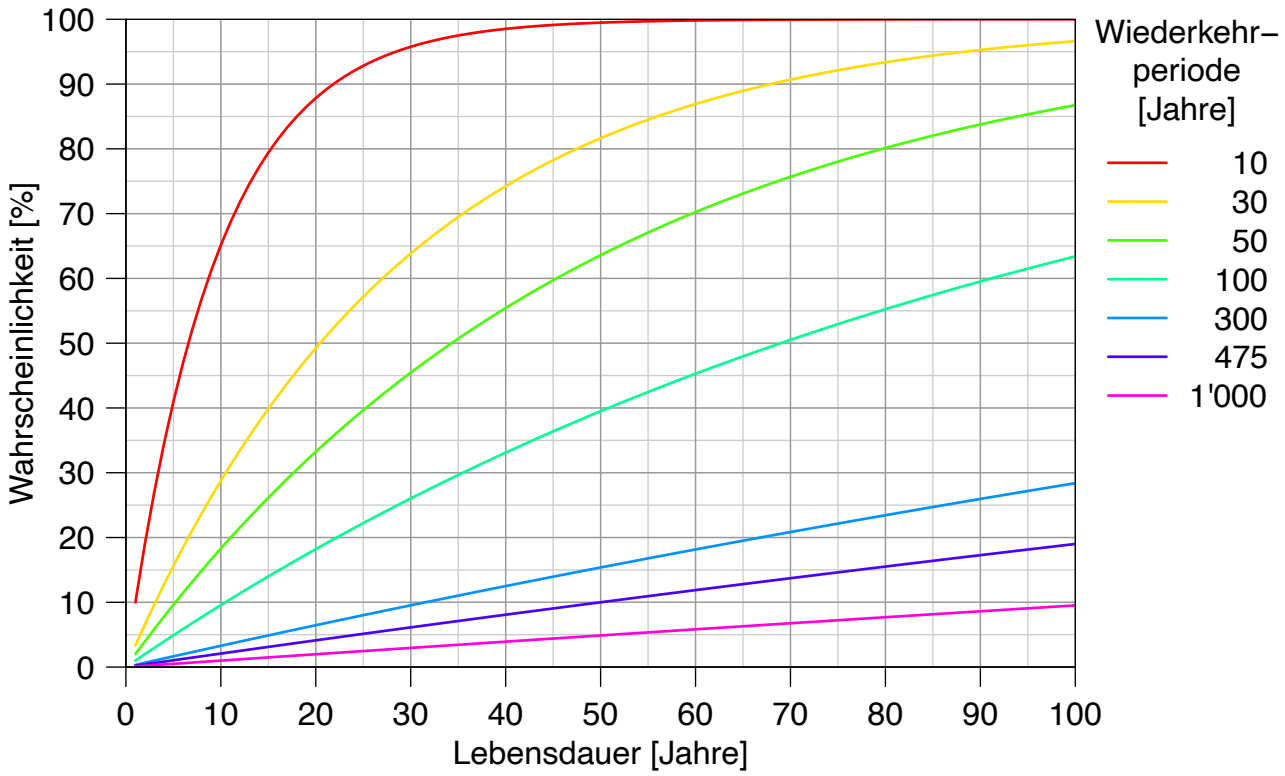


Abbildung 27 Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode (Farbkodierung) und der Lebensdauer bzw. des Betrachtungszeitraumes. Grafik: J. Kleinn

10.5 Anhang: Extremwertstatistik

Autor: Jan Kleinn, Kleinn Risk Management

10.5.1 Einleitung

In vielen Bereichen der Gefahrenbeurteilung wird die Intensität von Ereignissen geschätzt, die in der Grössenordnung der Länge der Zeitreihe oder seltener sind. Hier werden die Methoden der Extremwertstatistik anhand eines Beispiels von Abfluss-Daten des BAFU für die Sihl bei Sihlhölzli (in der Stadt Zürich) erläutert. Es wird aufgezeigt, wie mit diesen Methoden ein Bezug zwischen Intensitäten und Wiederkehrperioden hergestellt werden kann.

Dieser Anhang ersetzt keine Statistik-Weiterbildung. Er dient der Sensibilisierung und zeigt auf, wie stark Ergebnisse von der Wahl der Verteilung abhängig sein können.

Dafür verwenden wir Monatsmaxima des Abflusses an der Station Sihlhölzli, die zusätzlich zu den Tagesmittelwerten seit 1925 verfügbar sind.

Alle hier dargestellten Analysen und Grafiken wurden mit dem Open-Source Statistik-Tool R (R Core Team) und einigen Zusatzpaketen von R erstellt. R ist als Open-Source Software frei verfügbar und wird aktiv weiterentwickelt. Mit RStudio (http://www.rstudio.com) steht für R zudem eine leistungsfähige Entwicklungsumgebung frei zur Verfügung. Für R gibt es unzählige Zusatzpakete (Packages), die weitere Funktionalität bieten.

Die hier gewählten Packages zur Anpassung von Verteilungen sind «fitdistrplus» (Delignette-Muller und Dutang, 2015) und «extRemes» (Gilleland und Katz, 2016). Beide werden aktiv weiterentwickelt und bieten umfangreiche Dokumentation.

Die hier vorgestellten Analysen wären auch mit anderen Analysetools wie Matlab oder Python möglich.

10.5.2 Zeitreihe analysieren

Zuerst gilt es zu überprüfen, ob die Monatsmaxima wirklich die absoluten Maxima darstellen und nicht Maxima der Tagesmittelwerte. Dies konnte einerseits anhand der seit 1974 verfügbaren Tagesmaxima und andererseits über die Monatsmaxima der Tagesmittelwerte bestätigt werden. Die Monatsmaxima können somit als Maximalwerte des Abflusses verwendet werden.

Das BAFU liefert zu den Monatsmaxima den Zeitpunkt des Auftretens. Daraus ergibt sich, dass einige Monatsmaxima zeitlich sehr nahe aneinander liegen. Hier sollte genauer überprüft werden, welche Monatsmaxima zum gleichen Hochwasserereignis gehören und welche zu unterschiedlichen. Der Einfachheit halber treffen wir hier die Annahme, dass zwei Monatsmaxima mit 5 Tagen und weniger zeitlicher Differenz zum gleichen Ereignis gehören. Wir verwenden hier jeweils nur das Maximum der beiden zeitlich nahe beieinander liegenden Monatsmaxima für die weitere Analyse.

Als erstes gilt es, die Daten zu prüfen und allfällige Trends oder Änderungen zu identifizieren (Abbildung 28). Diese Problematik und weitere Einflüsse auf die Datenreihe sind in BAFU 2008 (BAFU, Kapitel 2) aufgeführt. Im Fall der Sihl ist dies die Inbetriebnahme des Sihlsees 1937. Für die weiteren Analysen werden wir nur Daten ab 1938 verwenden. Diese Begrenzung entspricht jener des BAFU (www.hydrodaten.admin.ch). Bei der Betrachtung der Zeitreihe könnte man auch argumentieren, die Wirkung des Sihlsees sei erst ab den frühen 1940er-Jahren in den Daten ersichtlich. Solche Änderungen gilt es vorab zu klären.

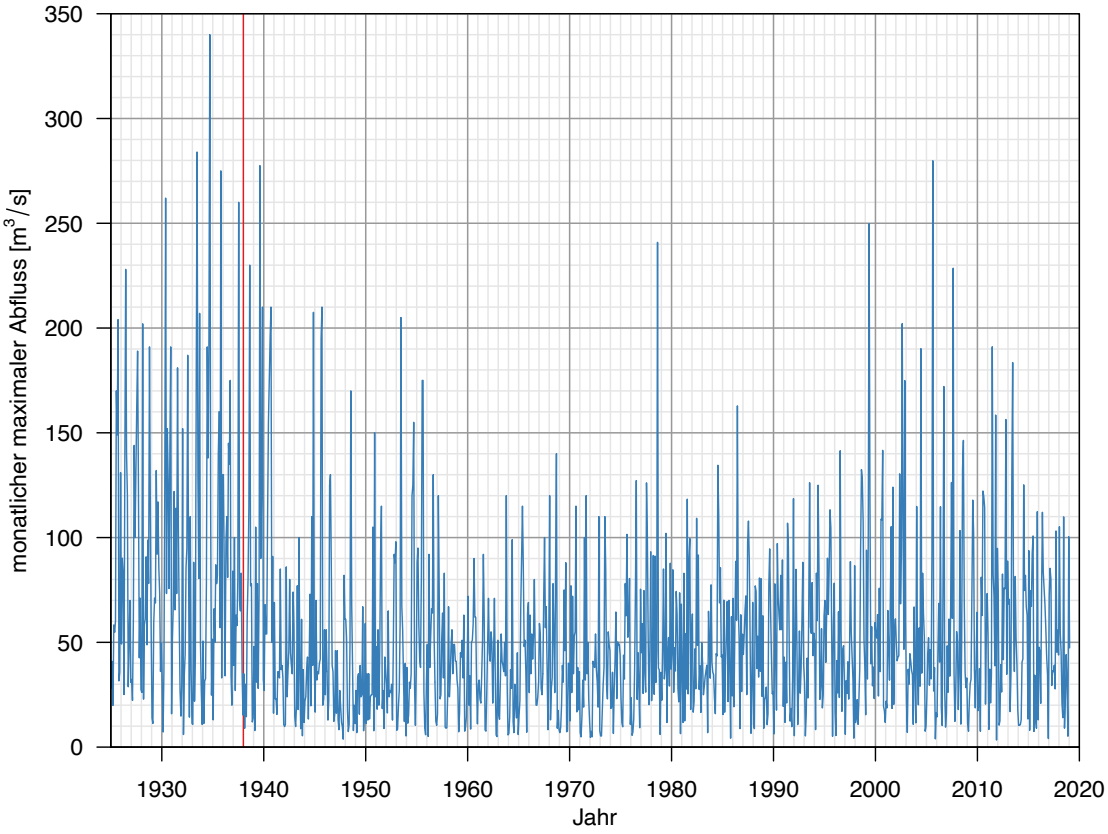


Abbildung 28 Zeitreihe der Monatsmaxima der Abflüsse der Sihl an der Station Sihlhölzli in Zürich von 1925 bis 2018. Der rote Strich bezeichnet Anfang 1938, die Inbetriebnahme des Sihlsees. Grafik: J. Kleinn

10.5.3 Empirische Wiederkehrperioden

Die Wiederkehrperioden der bisherigen Jahresmaxima (WKP) werden mit der Länge der Zeitreihe (N_J) und dem absteigenden Rang der Daten (R) berechnet:

$$WKP_i = \frac{N_J + 1}{R_i}$$

Die entsprechende Darstellung, das sogenannte Gumbel-Diagramm, sieht man in Abbildung 29. Die Wiederkehrperiode stellt das inverse der jährlichen Überschreitenswahrscheinlichkeit dar. Die jährliche Wahrscheinlichkeit ein Ereignis der Intensität des 100-jährlichen Ereignisses zu bekommen (oder stärker) beträgt 1 % (1/100).

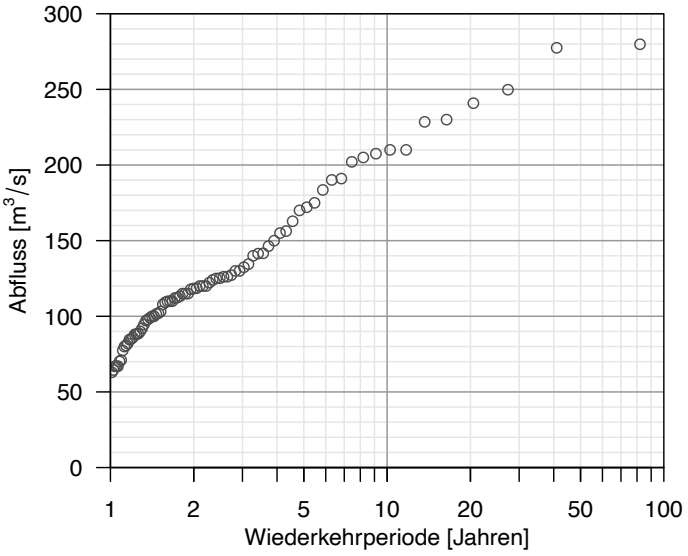


Abbildung 29 Gumbel-Diagramm mit empirischen Wiederkehrperioden der Jahresmaxima des Abflusses an der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich für die Jahre 1938-2018. Grafik: J. Kleinn

10.5.4 Lognormal-Verteilung

Eine häufig in der Hydrologie verwendete Verteilung für extreme Abflüsse ist die Lognormal-Verteilung. Diese kann ganz einfach mit dem R-Package “fitdistrplus” geschätzt werden und es kann grafisch überprüft werden, ob die Anpassung zu den Daten passt. Eine übliche Darstellung zur Überprüfung der Anpassungsgüte bei jeder Art von Verteilung ist der sogenannte Q-Q Plot (Abbildung 30). Hier werden die Quantile der Daten (empirische Quantile) jenen der angepassten Verteilung (theoretische Quantile) gegenübergestellt. Die empirischen und die geschätzten Quantile sollten im Q-Q Plot möglichst nahe an der Diagonale liegen und keine deutlichen Muster (S-Kurve, konkav oder konvex) aufweisen. Ansonsten stimmt die gewählte Verteilung nicht mit den Daten überein und kann nicht verwendet werden

In diesem Beispiel ist die Anpassung zwar nicht perfekt, sie scheint aber akzeptabel zu sein. Die Lognormalverteilung kommt somit als mögliche Verteilung in Frage.

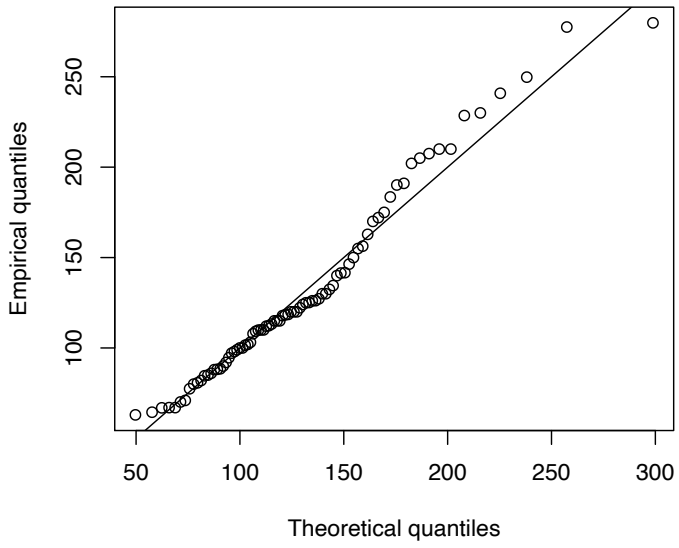


Abbildung 30 Q-Q Plot für die angepasste Lognormalverteilung. Grafik: J. Kleinn

Neben dem Q-Q Plot gibt es noch weitere Möglichkeiten, die Güte der Anpassung grafisch und numerisch zu erfassen, auf die wir hier nicht weiter eingehen. Damit lassen sich verschiedene Anpassungen (zum Beispiel von unterschiedlichen Verteilungen) miteinander vergleichen.

Um den Unsicherheitsbereich um die angepasste Verteilung herum lassen sich Konfidenzintervalle (auch Vertrauensintervalle genannt) der Parameter und somit der Verteilung schätzen. Das 95 %-Konfidenzintervall der Anpassung einer Lognormalverteilung an die Daten ist in Abbildung 31 dargestellt. Mit 95 % Wahrscheinlichkeit wird die echte Lognormalverteilung basierend auf den Daten in diesem Bereich liegen.

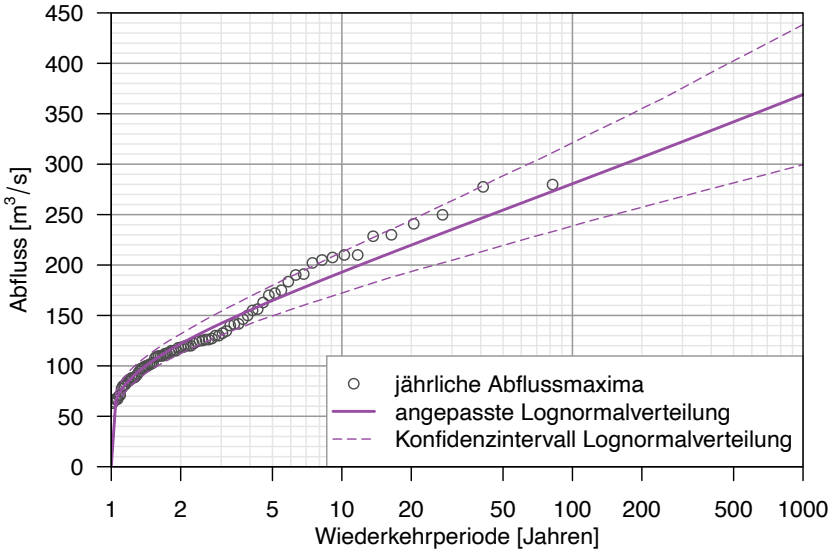


Abbildung 31 Jahresmaxima des Abflusses der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich 1938-2018 mit angepasster Lognormalverteilung und deren 95 % Konfidenzintervall. Grafik: J. Kleinn

10.5.5 Extremwert-Statistik – Einleitung

Für die Analyse von Extremereignissen wurde im 20. Jahrhundert die Extremwertstatistik entwickelt. Bekannte Verteilungen aus der Extremwert-Statistik sind die Gumbel-, Fréchet- und Weibull-Verteilungen. Sie stellen Spezialfälle der Extremwertverteilung dar. Die Extremwertverteilung (und nur diese!) ist sogenannt max-stabil, d.h. Maxima jeglicher Verteilungen nähern sich dieser Extremwertverteilung an. Weitere Grundlagen dazu findet man in Coles (2001).

Die Extremwertverteilung hat drei Parameter: den Lageparameter (location, μ), den Skalenparameter (scale, σ) und den Formparameter (shape, ξ). Gumbel-, Fréchet- und Weibull-Verteilung unterscheiden sich im Formparameter, die in Abbildung 32 dargestellt sind.

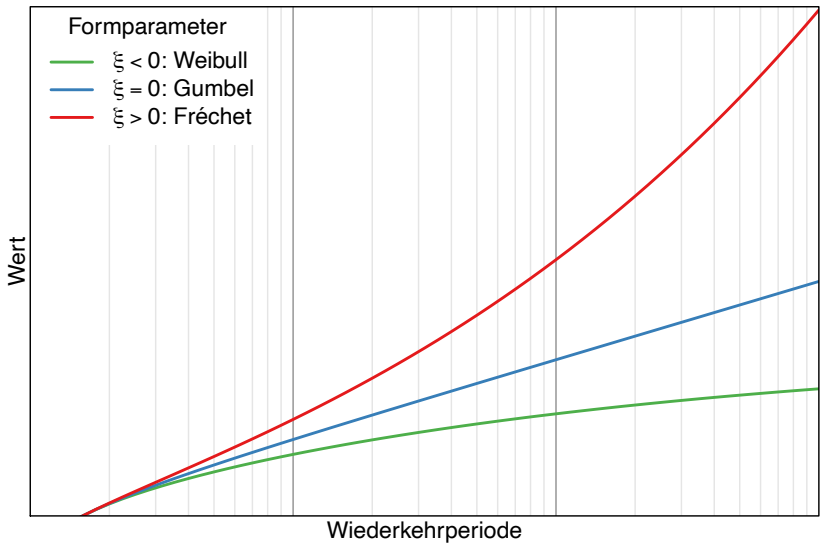


Abbildung 32 Illustration von Weibull-, Gumbel- und Fréchet-Verteilung als Sonderfälle der Extremwertverteilung mit unterschiedlichen Formparametern. Grafik: J. Kleinn

Im Allgemeinen werden zwei Ansätze in der Extremwert-Statistik unterschieden, die wir hier behandeln: der Block Maximum Approach und Peak-over-Threshold Approach. Für unendlich lange Zeitreihen führen beide Ansätze zum gleichen Ergebnis.

10.5.6 Extremwert-Statistik – Block Maximum Approach

Beim Block Maximum Approach werden die Maxima einer bestimmten Zeitperiode betrachtet, wie zum Beispiel jährliche Maxima. Somit fliessen in die Anpassung der Extremwertverteilung nur die Jahresmaxima ein. Diese Methode eignet sich gut, wenn in der Regel pro Jahr (oder anders gewählter Zeitperiode) nur ein Maximum zu erwarten ist. Bei Abflüssen ist dies bei einen ausgeprägten Jahresgang häufig der Fall. Der Beobachtungszeitraum sollte jeweils derart gewählt werden, dass die Maxima nicht an der Grenze von einer Periode zur nächsten zu stehen kommen. Daher wird zum Beispiel das hydrologische Jahr in der Schweiz von Oktober bis September definiert. Diese Methode eignet sich bei kontinuierlichen Messungen des Prozesses. Kann es im jeweiligen Beobachtungszeitraum mehrere oder gar keine Ereignisse geben, eignet sich die Peak over Threshold Methode besser (siehe Kapitel 10.5.7).

Für den Block Maximum Approach eignet sich die generalisierte Extremwertverteilung, Generalized Extreme Value distribution (GEV). Zur Schätzung der Parameter der GEV gibt verschiedene Methoden. Die beiden geläufigsten sind Maximum Likelihood Estimation und L-Moments. Beide Methoden sind in gängigen R-Paketen für die Extremwertstatistik, wie zum Beispiel «extRemes» implementiert. Die Ergebnisse der beiden Methoden unterscheiden sich leicht, wie in Abbildung 33 zu sehen ist.

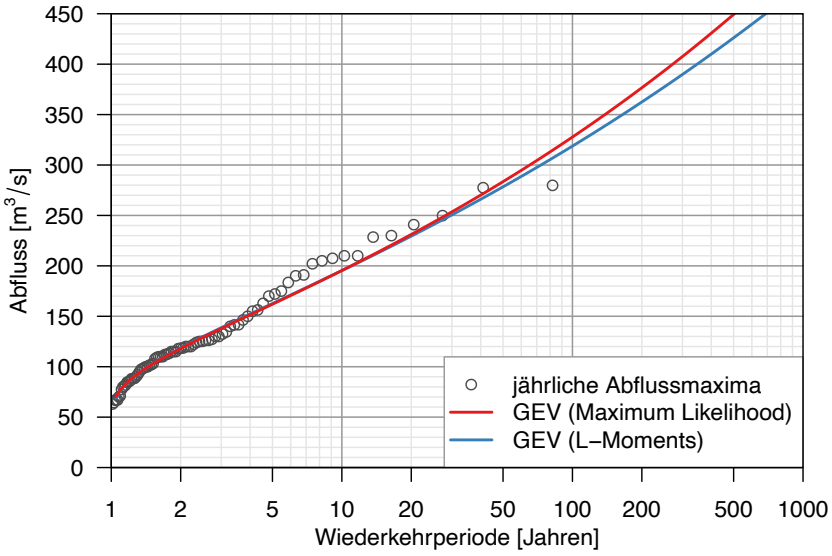


Abbildung 33 Jahresmaxima des Abflusses der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich 1938-2018 mit angepasster GEV, sowohl mit Maximum Likelihood als auch mit L-Moments. Grafik: J. Kleinn

Auch bei diesen Anpassungen empfiehlt sich ein Blick auf den Q-Q Plot , der einen Hinweis auf die Güte der Anpassung gibt, ähnlich wie bei der Lognormalverteilung. Diese sind in Abbildung 34 und Abbildung 35 dargestellt. Der Punkt mit maximaler Intensität weicht etwas stärker von der Diagonalen ab als die restlichen Werte. Insgesamt ist die Güte der Anpassung der beiden Methoden jedoch sehr ähnlich und insgesamt recht gut. Welche der beiden Anpassungen nun gewählt werden soll lässt sich anhand der Q-Q Plots allein nicht entscheiden. Zu einem gewissen Grad ist dies auch eine Entscheidung, die mit dem Auftraggeber geklärt werden sollte.

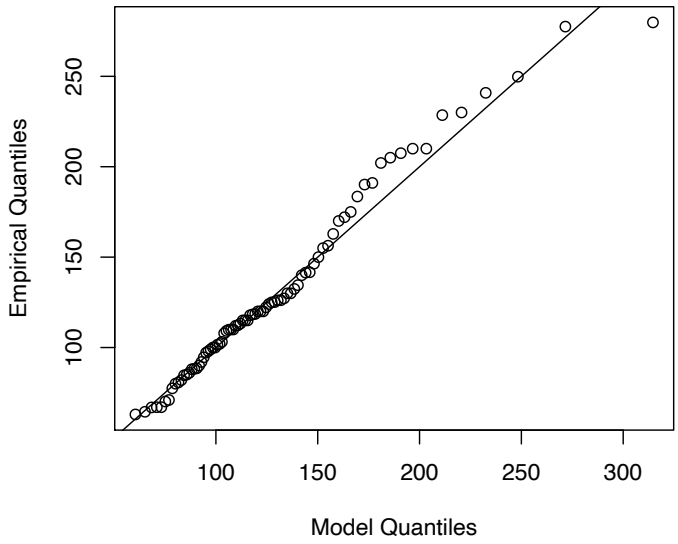


Abbildung 34 Q-Q Plot für die mit Maximum Likelihood angepasste GEV. Grafik: J. Kleinn

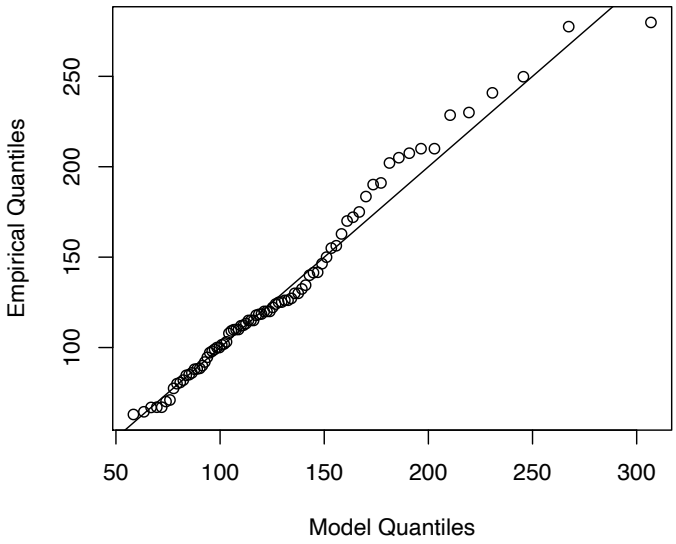


Abbildung 35 Q-Q Plot für die mit L-Moments angepasste GEV. Grafik: J. Kleinn

Die geschätzten Parameter können einfach in der Software ausgegeben werden. Die Anpassungen an die GEV ergeben einen Formparameter von 0.15 (Maximum Likelihood) und 0.12 (L-Moments). Somit haben wir einen positiven Formparameter und es handelt sich um eine Fréchet-Verteilung (siehe auch Abbildung 32). Wird eine Gumbel-Verteilung an die Daten dieses Beispiels angepasst und somit der Formparameter auf Null gesetzt, so sieht die angepasste Verteilung deutlich anders aus als jede der beiden GEV-Schätzungen (Abbildung 36). Die Anpassungsgüte der Gumbel-Verteilung ist in diesem Beispiel deutlich geringer als jene der GEV, da im Q-Q Plot eine stärkere Abweichung von der Diagonalen ersichtlich ist (Abbildung 37).

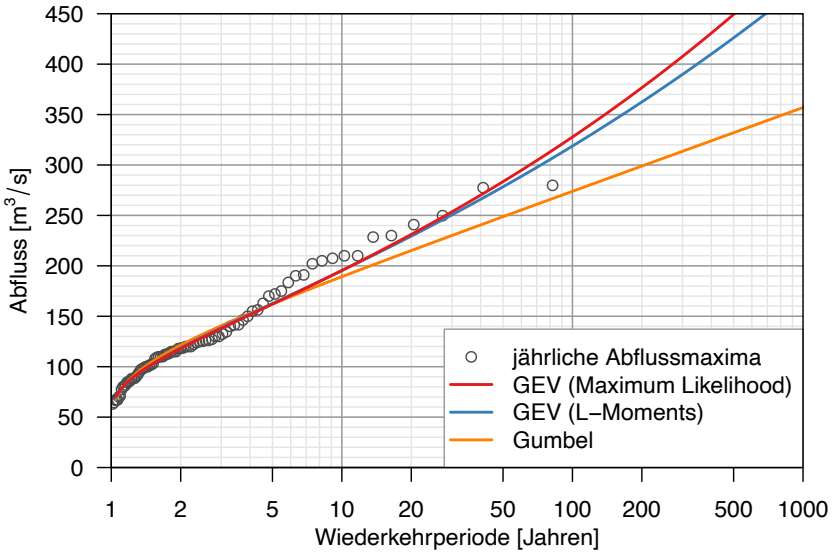


Abbildung 36 Jahresmaxima des Abflusses der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich 1938-2018 mit angepasster GEV und Gumbel-Verteilung. Grafik: J. Kleinn

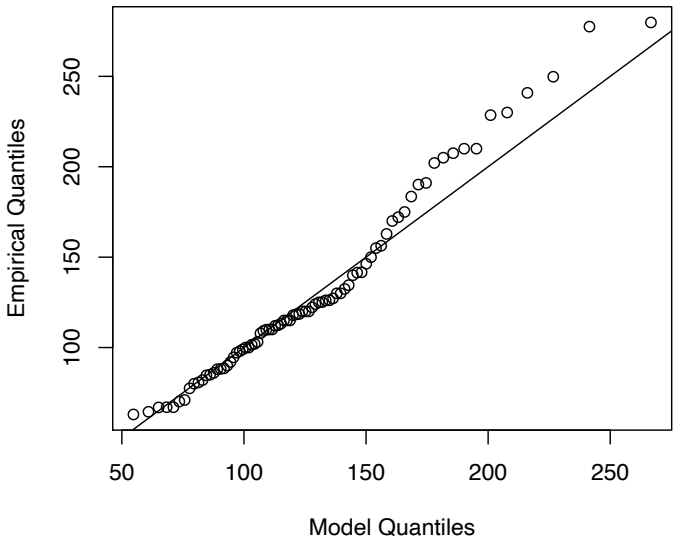


Abbildung 37 Q-Q Plot für die angepasste Gumbel-Verteilung. Grafik: J. Kleinn

Auch zur GEV können Konfidenzintervalle berechnet werden, um den möglichen Bereich von Anpassungen darzustellen (Abbildung 38). Hier ist zu beachten, dass es für die GEV verschiedenen Methoden der Berechnung von Konfidenzintervallen gibt. Die rechentechnisch einfachste Methode ergibt symmetrische Konfidenzintervalle, d.h. die Distanz zwischen der unteren Grenze des Konfidenzintervalls und der besten Schätzung ist gleich wie zwischen der oberen Grenze des Konfidenzintervalls und der besten Schätzung. Diese Methode steht nur für die Schätzung mit Maximum Likelihood zur Verfügung und ergibt bei der Interpretation der Ergebnisse Probleme: so kann im Beispiel in Abbildung 38 aus dem symmetrischen Konfidenzintervall die Wiederkehrperiode von 200 m^3/s als 7 bis 30 Jahre oder mehr als 800 Jahre gelesen werden und bei 250 m^3/s hat das Konfidenzintervall keine obere Grenze. Hingegen sind asymmetrische Konfidenzintervalle immer asymptotisch, d.h. es gibt einen eindeutigen Bereich an Wiederkehrperioden für jede Intensität.

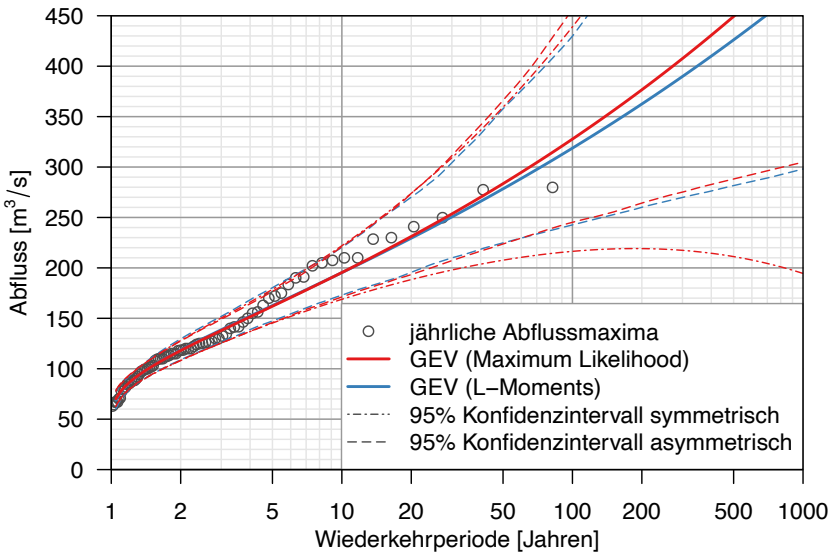


Abbildung 38 Jahresmaxima des Abflusses der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich 1938-2018 mit angepasster GEV und deren 95 % Konfidenzintervallen. Grafik: J. Kleinn

10.5.7 Extremwert-Statistik – Peak-over-Threshold Methode

Bei der Peak-over-Threshold Methode (POT) werden nur die Daten verwendet, die einen Grenzwert überschreiten. Diese Methode eignet sich besonders bei Prozessen, bei denen es pro Jahr mehrere oder gar keine Ereignisse geben kann. Dies kann zum Beispiel bei Starkregenereignissen oder dadurch ausgelösten Hochwassern der Fall sein. Als Ereignis gilt hier somit die Überschreitung eines Grenzwertes.

Die Verteilung für die POT ist die generalisierte Pareto-Verteilung (Generalized Pareto Distribution, GPD). Sie hat, wie die GEV, drei Parameter: neben dem zu wählenden Grenzwert noch den Skalenparameter (scale, σ) und den Formparameter (shape, ξ). Skalen- und Formparameter der GPD sind verwandt mit jenen der GEV allerdings nicht identisch.

Wir verwenden hier zur Anschauung die monatlichen Maxima der Abflussdaten der Sihl.

Die erste Herausforderung beim Anpassen der GPD ist die Auswahl des Grenzwertes, über dem die Daten für die Anpassung verwendet werden sollen. Einerseits möchte man so viele Daten wie möglich verwenden, andererseits sollte sich das Ergebnis bei extremeren Grenzwerten nicht (oder nur marginal) ändern. Dazu wird die GPD für eine Bandbreite an Grenzwerten angepasst und die geschätzten Parameter (Form- und modifizierter Skalen-Parameter) in Abhängigkeit des Grenzwertes betrachtet. Für diese Analyse gibt es in gängigen Werkzeugen zur Extremwertstatistik, wie in einigen R-Packages, eine vordefinierte Funktion. In Abbildung 39 ist die entsprechende Grafik aus dem Package «extRemes» dargestellt. In der Darstellung wählt man nun einen Grenzwert derart, dass die beste Schätzung des Parameters innerhalb sämtlicher Konfidenzintervalle der Schätzungen mit höheren Grenzwerten liegt. In dieser Grafik wählt man jenen Kreis, von dem eine horizontale Linie nach rechts sämtliche Konfidenzintervalle (vertikale Linien) kreuzt. Dies ist in Abbildung 39 mit horizontalen blauen Linien dargestellt. In diesem Beispiel liegt der ausgewählte Grenzwert bei 120 m^3/s.

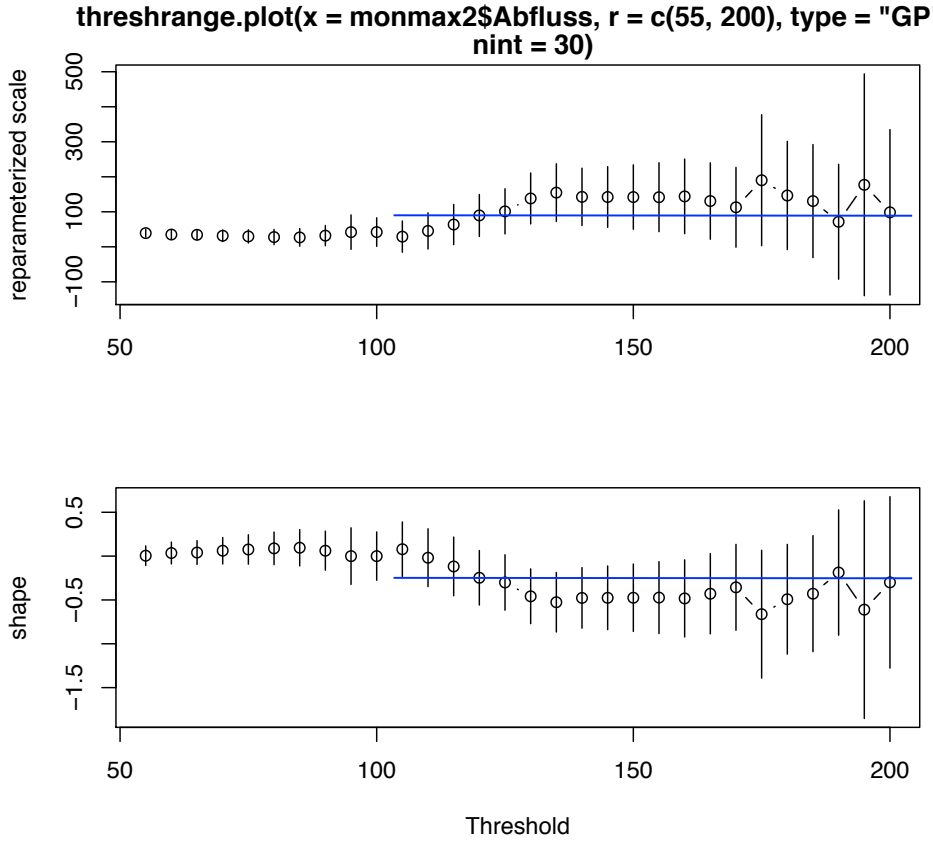


Abbildung 39 Formparameter (unten) und modifizierter Skalenparameter (oben) für die Anpassung der GPD bei unterschiedlichen Grenzwerten zur Auswahl des Grenzwertes. Grafik: J. Kleinn

Wie bei der GEV gibt es auch bei der GPD die Möglichkeit, über Maximum Likelihood Estimator (MLE) oder L-Moments die Parameter zu schätzen. Ferner kann auch für die GPD-Anpassung der Q-Q Plot verwendet werden, um die Güte der Anpassung zu überprüfen (Abbildung 40 und Abbildung 41). Die Güte der Anpassung der beiden Methoden ist in diesem Beispiel sehr ähnlich und in beiden Fällen akzeptabel. Allerdings liefern die beiden Methoden in diesem Beispiel deutlich unterschiedliche Ergebnisse, wie in Abbildung 42 zu sehen ist. Der 100-jährliche Abfluss ist entweder 275 m^3/s oder 310 m^3/s, der 300-jährliche 295 m^3/s oder 355 m^3/s. Die Entscheidung, welche der beiden Methoden gewählt wird, sollte mit dem Auftraggeber abgestimmt und gut dokumentiert werden.

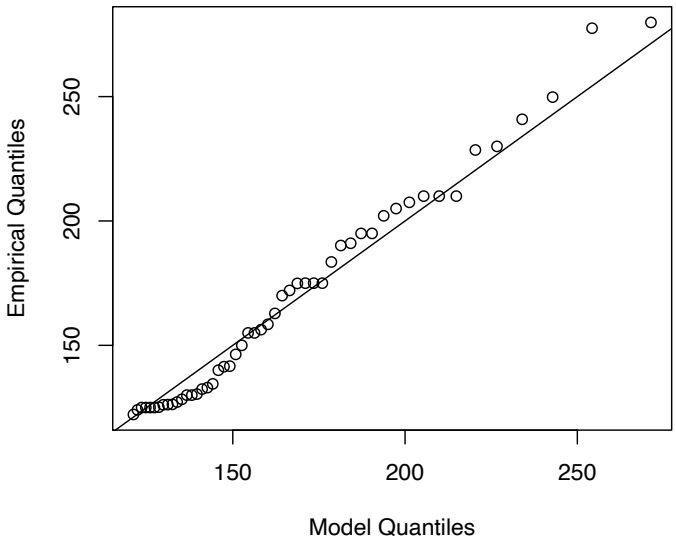


Abbildung 40 Q-Q Plot für die mit Maximum Likelihood angepasste GPD. Grafik: J. Kleinn

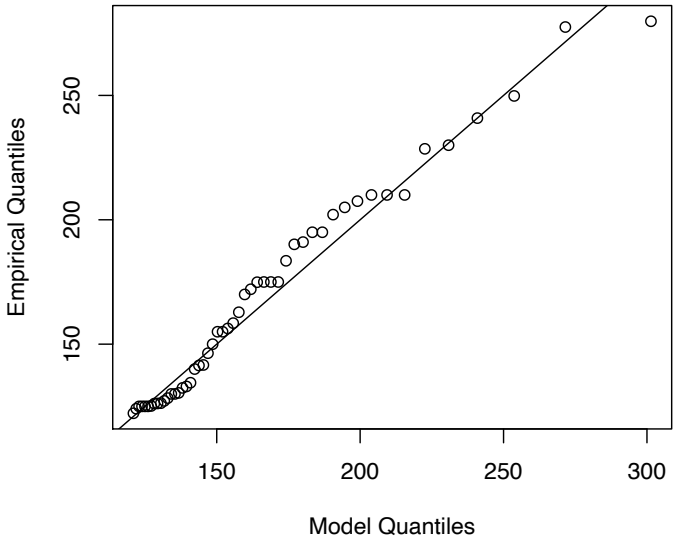


Abbildung 41 Q-Q Plot für die mit L-Moments angepasste GPD. Grafik: J. Kleinn

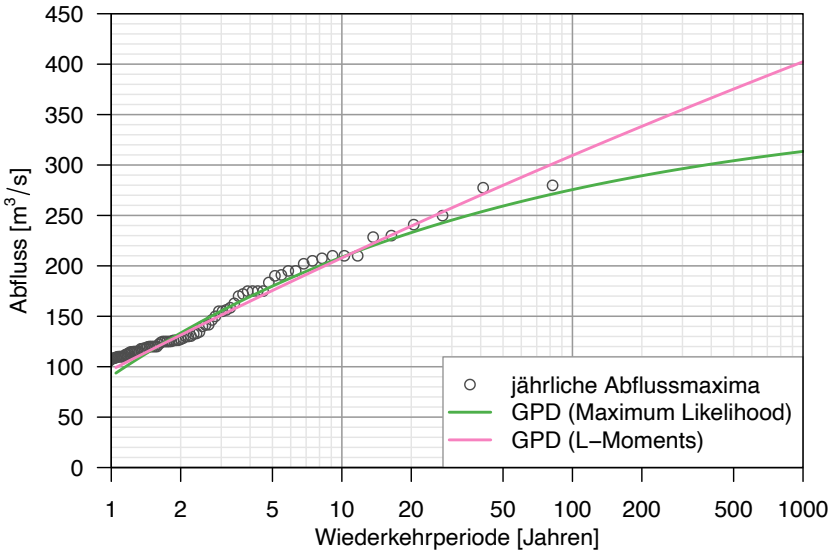


Abbildung 42 Maxima des Abflusses der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich 1938-2018 mit angepasster GPD, sowohl mit Maximum Likelihood als auch mit L-Moments. Grafik: J. Kleinn

Bei der Berechnung der Konfidenzintervalle der GPD (Abbildung 43) sollten asymmetrische Konfidenzintervalle verwendet werden. Die Gründe hierfür sind die gleichen, wie bei der GEV (siehe Kapitel 10.5.6).

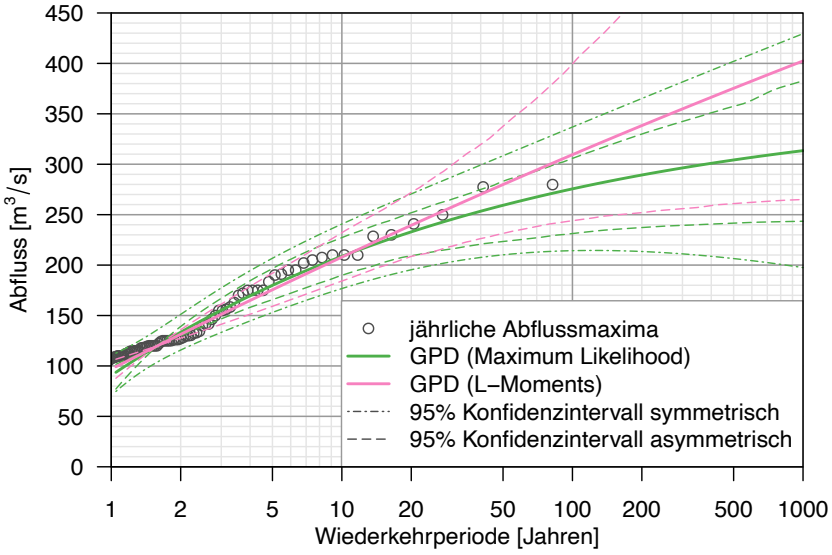


Abbildung 43 Maxima des Abflusses der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich 1938-2018 mit angepasster GPD und deren 95 % Konfidenzintervallen. Grafik: J. Kleinn

10.5.8 Extremwert-Statistik – Beispiele aus der Praxis

Sowohl MeteoSchweiz als auch das BAFU verwenden Extremwertstatistik in der Analyse von Hochwasser und Starkniederschlag.

Die Hochwasserstatistik des BAFU verwendet eine GEV mit symmetrischen Konfidenzintervallen (Abbildung 44). Die Darstellung der Achsen unterscheidet sich in den Analysen des BAFU von der hier verwendeten rein logarithmischen Darstellung. Obwohl in diesem Beispiel ein Jahr zusätzlicher Daten vorhanden ist, sind die Abflüsse der angepassten GEV fast identisch. Dies weist darauf hin, dass das zusätzliche Jahr (2018) keinen extremen

Abfluss beinhaltet. Die Hochwasserstatistik ist für alle Stationen des BAFU unter (www.hydrodaten.admin.ch) verfügbar. Auf jeder Stations-Seite werden Hochwasser- und Niedrigwasserstatistiken sowie weitere Daten zu der jeweiligen Station angeboten.

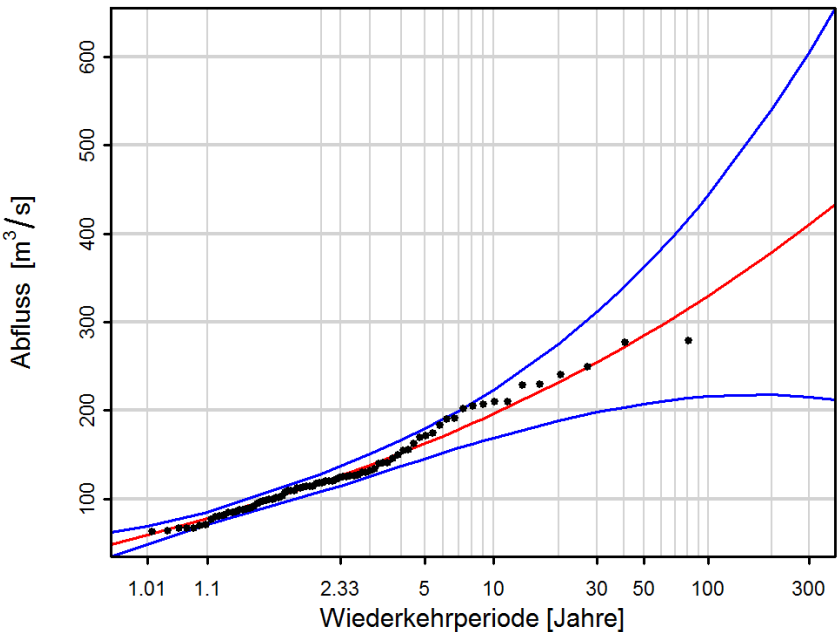


Abbildung 44 Statistik der Jahreshochwasser der Auswertungsperiode 1938-2017 (80 Jahre): Diagramm der Wiederkehrwerte (Abfluss) und ihrer Unsicherheit für eine gegebene Wiederkehrperiode.
Die rote Kurve ist die beste Schätzung. Die blauen Kurven zeigen das 95 %-Vertrauensintervall der Wiederkehrwerte.
Die Punkte sind Beobachtungen, denen empirische Wiederkehrperioden zugeordnet werden. Diese hängen nur von der Grösse der Stichprobe ab. Quelle: https://www.hydrodaten.admin.ch/lhg/sdi/hq_studien/hq_statistics/2176hq.pdf

Die MeteoSchweiz bietet umfangreiche Information zu Starkniederschlägen auf ihrer speziell dafür eingerichteten Webseite an: http://www.klima-extreme.ch (Abbildung 45). Dort kann man auswählen, ob man Analysen über die Standardperiode 1966 bis 2015 oder über den jeweils längsten Beobachtungszeitraum der Station betrachten möchte. Für die Stationen stehen Analysen bereit, die von den verfügbaren Daten abhängen. Im besten Fall sind Extremwertanalysen von 10-Minuten- bis 5-Tages-Niederschlag vorhanden. Die Extremwertanalysen beruhen auf der GEV mit asymmetrischen Konfidenzintervallen. Es lassen sich auf der Webseite diverse Ergebnisse einsehen und Daten herunterladen, wie zum Beispiel Intensitäten bei verschiedenen Wiederkehrperioden, Information über die höchsten gemessenen Intensitäten und über die Güte der Extremwertanalyse.

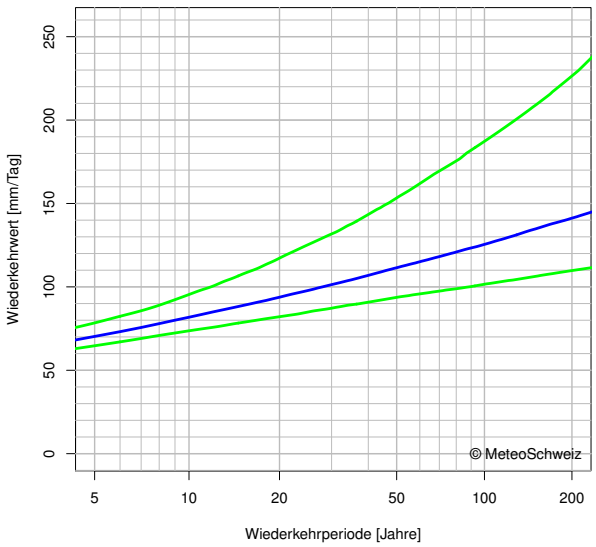


Abbildung 45 Diagramm der Wiederkehrwerte und ihrer Unsicherheiten (Ordinate) für eine gegebene Wiederkehrperiode (Abszisse).
Die blaue Kurve ist die beste Schätzung. Die grünen Kurven sind das 95 %-Vertrauensintervall der Wiederkehrwerte.
Quelle: MeteoSchweiz

Weitere Information über die von BAFU und MeteoSchweiz verwendeten Methoden findet man in Baumgartner et al. (2013), dem Leitfaden Stationsbericht Hochwasserstatistik (BAFU 2017) und Fukutome et al. (2018).

10.5.9 Extremwert-Statistik – Fazit

Wenn man die verschiedenen in diesem Dokument vorgestellten Verteilungen, bzw. deren Anpassung an die Abflussdaten der Sihl in Sihlhölzli, auf einer Grafik darstellt (Abbildung 46) sieht man, wie gross der Einfluss der Wahl der Verteilungsfunktion auf die Bestimmung von Intensitäten bei vorgegebenen Wiederkehrperioden ist. Je grösser die Wiederkehrperiode, desto grösser werden die Unterschiede zwischen den Verteilungen und Methoden. Dies illustriert, wie wichtig die Wahl der Verteilung ist, abgestimmt auf die vorhandenen Daten und dahinterliegenden Prozesse. Die Wahl der Verteilung und der Anpassungsmethode sollten gut dokumentiert und begründet sein und Unsicherheiten, sowohl aus der Wahl der Verteilung als auch über die Konfidenzintervalle, sollten klar kommuniziert werden.

Wenn man die Gumbel-Verteilung verwenden möchte, muss man sicher sein, dass der Formparameter Null und somit Gumbel eine passende Verteilung für die Daten ist. Diese Unsicherheit lässt sich vermeiden, indem man die GEV und damit auch den Formparameter schätzt.

Bei der Wahl der Verteilung und der Anpassungsmethode gibt es leider keine einzig richtige Verteilung und Methode. Heutige Werkzeuge (wie zum Beispiel R) erlauben es, verschiedene Verteilungen und Anpassungsmethoden zu testen, um die geeignetste für die jeweilige Situation auswählen zu können.

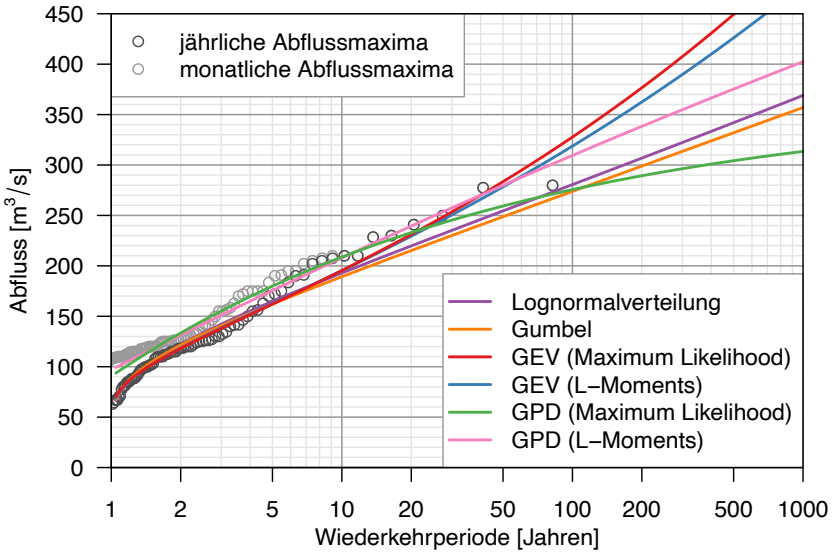


Abbildung 46 Monats- und Jahres-Maxima des Abflusses der Sihl bei Sihlhölzli in Zürich 1938-2018 mit verschiedenen angepassten Verteilungen. Grafik: J. Kleinn

Eine oft geäusserte Kritik an Statistiken von Extremereignissen ist, dass sich bei jedem Ereignis die Statistik ändert. Wenn zum Beispiel zu einer Zeitreihe von 80 Jahren noch ein sehr seltenes Ereignis hinzukommt, wird sich die Statistik der neuen Zeitreihe (von 81 Jahren) ändern. In der Regel sollte die neue Anpassung innerhalb des Konfidenzintervalls der bisherigen Anpassung zu liegen kommen. Allgemein kann man sagen, dass eine längere Zeitreihe zu einer robusteren Statistik führt.

10.5.10 Extremwert-Statistik – Literatur

BAFU: Hochwasserstatistik. Bundesamt für Umwelt
https://www.hydrodaten.admin.ch/ > Abflüsse und Wasserstände > Station auswählen > Hochwasserstatistik

BAFU 2017: Stationsbericht Hochwasserstatistik - Leitfaden. Bundesamt für Umwelt

Baumgartner E., Boldi M.-O., Kann C. und Schick, S. (2013). Hochwasserstatistik am BAFU – Diskussion eines neuen Methodensets. «Wasser Energie Luft», 105. Jahrgang, Heft 2.

Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values, Springer Series in Statistics.

Delignette-Muller M. L., Dutang C. (2015). Fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions. Journal of Statistical Software, 64(4). DOI: 10.18637/jss.v064.i04

Fukutome S., Schindler A., Capobianco A. (2018). MeteoSwiss extreme value analyses: User manual and documentation, Technical Report MeteoSwiss, 255, 3rd Edition, 80 pp.

Gilleland, E. and R. W. Katz (2016). extRemes 2.0: An Extreme Value Analysis Package in R. Journal of Statistical Software, 72(8), 1-39. DOI: 10.18637/jss.v072.i08
und https://ral.ucar.edu/staff/ericg/extRemes/

MeteoSchweiz: http://www.klima-extreme.ch > Standardperiode oder längste Zeitperiode > Station auswählen > Periode der Niederschlagssumme auswählen

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (https://www.R-project.org)

10.6 Anhang: Verantwortung und Haftung von Experten und Behörden – zivil und strafrechtliche Fragen

10.6.1 Haftung Behörden

«Die Erfüllung der Pflicht der Behörden, Naturgefahrenpläne in die Raumplanung zu integrieren, setzt voraus, dass die Behörden überhaupt über das mögliche Bestehen von Gefährdungen ins Bild gesetzt werden. Hierzu dienen heute neben der Erfahrung insbesondere die Gefahrenkarten. Weil sich aber die räumlichen und die klimatischen Bedingungen ändern, können diese Grundlagen veralten. Sie müssen periodisch erneuert werden.

Denkbare Haftungsfälle sind nach Nüssle auf Situationen beschränkt, in denen Land entgegen den naturwissenschaftlich unzweideutigen und bekannten Ergebnissen in die Bauzone eingeteilt wurde bzw. nicht als Gefahrenzone ausgeschieden wurde und dadurch eine spätere Baubewilligung ermöglicht wurde

Dasselbe gilt, wenn sich, zum Beispiel aufgrund eines aktuellen Ereignisses, wegen neuer Erkenntnisse oder wegen der eingetretenen (vielfach durch private verursachten) räumlichen Entwicklung zeigen sollte, dass die bisherigen Expertenmeinungen und/oder Gefahrenkarten revidiert werden müssen. Auch die Naturgefahrenplanung ist eine sogenannt «rollende Planung», die periodisch überprüft und bei erheblichen Veränderungen revidiert werden muss, ohne dass man deswegen die Behörden für die notwendig werdenden Anpassungen verantwortlich machen könnte.» (BAFU 2008a, Kapitel 3.7.2)

10.6.2 Zivilrechtliche Haftung für Expertisen, Gutachten

«Bei Expertisen und Gutachten gilt es zu unterscheiden zwischen Sachverhaltsaufnahmen, Bemessungen und Berechnungen und Prognosen zu künftigen Ereignissen. Einmal abgesehen von dem Umstand, dass die Qualifikation des Gutachtervertrags als Werkvertrag oder Auftrag strittig ist, kann mit einiger Sicherheit Folgendes gesagt werden:

- Insoweit als der Gutachter Sachverhaltsfeststellungen trifft und Berechnungen anstellt, sind diese unter Beachtung der einschlägigen Normen und nach dem aktuellen Stand der Technik sorgfältig vorzunehmen. Dafür haftet der Gutachter grundsätzlich aus Werkvertrag, auch für Mangelfolgeschäden.
- Dort, wo der Gutachter sich zur Wahrscheinlichkeit, zur Art und zum Umfang möglicher künftiger Ereignisse äussert und – gestützt auf diese Annahmen – Empfehlungen für Schutzmassnahmen gibt, haftet er für gehörige Sorgfalt aus dem Auftrag. Also dafür, dass seine Beurteilung objektiv dem entspricht, was von Fachleuten für Naturgefahren normalerweise erwartet werden darf. Dazu gehört auch, dass er sämtliche Beurteilungsunterlagen (Gefahrenkarte, frühere Ereignisse (Häufigkeit) und Überlieferungen, geologische Kenntnisse, Messergebnisse etc.) für die Beurteilung von Eintretenswahrscheinlichkeit, Gefährdungsperimeter und Schadenpotential kennt und in sein Gutachten einfliessen lässt.» (FAN 2018)

10.6.3 Strafrechtliche Verantwortung des Experten

«Theoretisch kann ein Experte gestützt auf Art. 11 Abs. 2 Strafgesetzbuch (StGB, Garantenstellung) i.V.m. Art. 117 StGB (fahrlässige Tötung) verantwortlich werden. Dies, wenn er durch Untätigkeit die Gefährdung oder Verletzung geschützter Rechtsgüter (Leib und Leben) nicht verhindert, obwohl es ihm nach den Umständen möglich gewesen wäre. Es müsste dem Experten allerdings derselbe Vorwurf gemacht werden können, wie wenn er die Tat durch aktives Tun begangen hätte. Die Verurteilung eines Experten gestützt auf diesen Tatbestand ist nicht bekannt, da ihm gegenüber seinen Auftraggebern (Gemeinden, Kantone) kein direktes

Weisungsrecht zusteht. Normalerweise muss er Empfehlungen für Sofortmassnahmen und bauliche Schutzmassnahmen abgeben. Diese müssen auf sorgfältigen Erhebungen basieren und grundsätzlich den worst case aufzeigen. Da aber jeder Prognose Annahmen und Wahrscheinlichkeiten zugrunde liegen, besteht zum Vorneherein keine Eintretensgarantie. Zudem entscheiden über deren Umsetzung die zuständigen Stellen der öffentlichen Hand.» (FAN 2018)

10.6.4 Anforderung Zweitgutachen

Was muss eine Zweitmeinung enthalten? Wie soll sie aufgebaut sein? Mit Fokus auf den Naturgefahrenbereich versucht die AGN (Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren) darauf Antworten zu geben und Qualitätsanforderungen an solche Zweitmeinungen festzulegen.

Siehe hierzu AGN 2017.