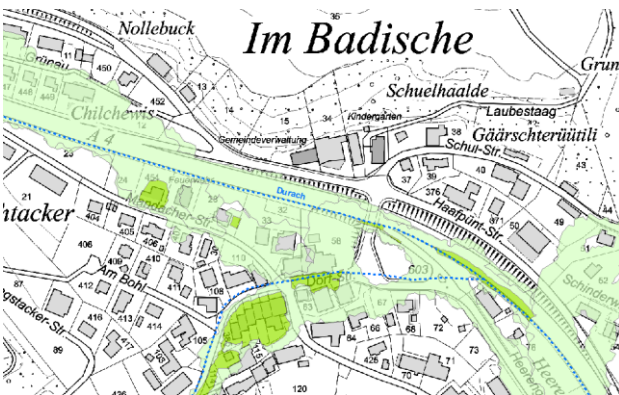
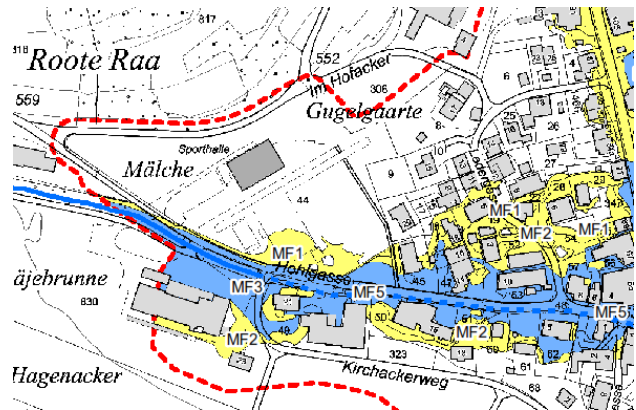


Gefahrenkarte Schaffhausen

Nachführung 2017

Technischer Bericht Methodik



31. Juli 2017

Impressum

Auftraggeber



KANTON SCHAFFHAUSEN
Tiefbauamt, Abteilung Gewässer

Schweizersbildstrasse 69
CH-8200 Schaffhausen
Tel.: 052 / 632 73 22
email: tba.gewaesser@ktsh.ch
homepage: www.gewaesser.sh.ch

Auftragnehmer



Niederer + Pozzi Umwelt AG
Burgerrietstrasse 13, Postfach 365
CH-8730 Uznach
Tel.: 055 / 285 91 80
email: admin@nipo.ch
homepage: www.nipo.ch



EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
CH-8702 Zollikon
Tel.: 044 / 395 11 11
email: info@ebp.ch
homepage: www.ebp.ch

Dr. von Moos AG
Geotechnisches Büro



Beratende Geologen und Ingenieure
8037 Zürich / 5401 Baden / 8214 Gächlingen

www.geovm.ch

Dr. von Moos AG
Dorfstrasse 40
CH-8214 Gächlingen
Tel.: 052 / 681 43 27
email: graf@geovm.ch
homepage: www.geovm.ch

Leitung

Jürg Schulthess
Jürg Sturzenegger

Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen
Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen

Arbeitsgruppe Naturgefahren

Michael Götz
Andreas Rickenbach
Lena Heinzer
Susanne Gatti
Jürg Schulthess

Forstamt
Gebäudeversicherung
Landwirtschaftsamt
Planungs- und Naturschutzamt
Tiefbauamt

Amt für Geoinformation

Felix Berger
Romedì Filli

Berichtsverfasser

Thomas Marti
Sonja Stocker
Hans Rudolf Graf

Niederer + Pozzi Umwelt AG
EBP Schweiz AG
Dr. von Moos AG

Sachbearbeitung:

Jasmin Meier
Richard Angst
Rao Fu
Katharina Dubach

Niederer + Pozzi Umwelt AG
EBP Schweiz AG
EBP Schweiz AG
Dr. von Moos AG

Qualitätssicherung:

Andrea Pozzi
Jürg Elsener
Stephan Frank

Niederer + Pozzi Umwelt AG
EBP Schweiz AG
Dr. von Moos AG

Verzeichnis der Versionen und Änderungen

Version	Datum	Status/Änderungen
1.0	21.02.2017	Bereinigungen für Vernehmlassung
1.1	31.07.2017	Definitive Abgabe

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
1.1	Aufgabenstellung	4
1.1.1	Auftrag	4
1.1.2	Zielsetzung	4
1.1.3	Endprodukte	4
2.	Perimeter und Grundlagen	5
2.1	Perimeter	5
2.1.1	Festlegung des Gefahrenkartenperimeters	5
2.1.2	Gefahrenkartenperimeter und Gefährdungsflächen	5
2.2	Grundlagen	6
2.2.1	Erstellung Gefahrenkarten sowie bisherige Nachführungen	6
2.2.2	Allgemeine Grundlagen	6
2.2.3	Gemeindespezifische Grundlagen	6
2.2.4	Neues Geländemodell 2013	7
2.2.5	Fliesstiefenkarte HQ ₁₀₀	7
2.2.6	Berechnungen Hochrhein	7
2.2.7	Massenbewegungsgefahren entlang von Kantonsstrassen	8
3.	Prozesse und Jährlichkeit der Szenarien	9
3.1	Prozesse	9
3.2	Jährlichkeiten bzw. Eintretenswahrscheinlichkeiten der Szenarien	10
4.	Vorgehen	11
4.1	Vorgehen Nachführung Prozess Hochwasser	11
4.2	Vorgehen Nachführung Prozesse Rutsch und Sturz	11
4.3	Vorgehen Nachführung Geodaten	12
5.	Organisation und Mitwirkung	13
5.1	Mitwirkung Arbeitsgruppe Naturgefahren	13
5.2	Mitwirkung Gemeinden	13
5.3	Amt für Geoinformation	13
6.	Wirkungsanalyse	14
6.1	Prozess Hochwasser	14
6.1.1	Hydrologie	14
6.1.2	Hydraulik	15
6.1.3	Holztrieb	16
6.1.4	Geschiebetransport	17
6.1.5	Ufererosion	17
6.1.6	Schwachstellenanalyse und Szenariendefinition	17
6.1.7	Wirkungsanalyse	18
6.2	Prozess Rutsch	19
6.2.1	Vorbemerkungen	19

6.2.2	Permanente Rutschungen	19
6.2.3	Spontane Rutschungen	20
6.2.4	Hangmuren	20
6.3	Prozess Sturz.....	21
6.3.1	Vorbemerkungen	21
6.3.2	Steinschlag/Blockschlag.....	21
6.3.3	Methodik für die 3D-Modellierung	21
7.	Digitale Daten.....	24

1. EINLEITUNG

Ausgangslage

Mit den Bundesgesetzen zum Wasserbau vom 21. Juni 1991 (WBG, SR 721.100) und zum Wald vom 4. Oktober 1991 (WaG, SR 921.0) wurden die Kantone verpflichtet, Gefahrenkarten zu erstellen und diese bei raumwirksamen Tätigkeiten zu berücksichtigen. Damit wurde der im Raumplanungsgesetz (RPG, SR 700) formulierte Auftrag zur Ausscheidung von gefährdeten Gebieten weiter konkretisiert (Art. 6 RPG). Nach Art. 27 der Verordnung über den Wasserbau (WBV, SR 721.100.1) haben die Kantone die Pflicht, die Gefahrenkarten periodisch nachzuführen. Die Gefahrenkarten sind eine Voraussetzung für Bundesbeiträge an den Wasserbau (Art. 1 und 3 WBV).

In den Jahren 2007 bis 2011 wurde durch die ARGE Gefahrenkarte Schaffhausen (Naturkonzept AG, Niederer + Pozzi Umwelt AG, IPG Keller AG) eine flächendeckende Gefahrenkarte in den Bauzonen für den Kanton Schaffhausen erarbeitet, welche rechtskräftig und nach der Überführung in die kommunale Zonen- und Nutzungsplanung grundeigentümergebunden ist.

Seit der Ersterstellung der Gefahrenkarte wurden verschiedenste Projekte im Kanton Schaffhausen ausgeführt, welche einen Einfluss auf die Gefährdungssituation haben:

- Projekte zur Reduktion von Gefährdungen (Hochwasserschutzprojekte, Renaturierungen, Hangsicherungen, Steinschlagnetze, etc.)
- Objektschutzmassnahmen an einzelnen Gebäuden
- Bauliche Veränderungen, welche die Gefährdungsflächen beeinflussen

Die meisten Projekte wurden mit den dazugehörigen Auswirkungen auf die Gefährdungen in die Gefahrenkarte überführt (punktuelle Nachführungen mit separater Dokumentation, rechtskräftig). Bauliche Veränderungen wurden jedoch grösstenteils nicht in der erstellten Gefahrenkarte nachgeführt.

Weiter stehen verschiedene neue Grundlagen zur Verfügung, welche zusätzliche Erkenntnisse zur Gefahrensituation liefern. Die Wichtigsten sind folgend aufgelistet:

- Neue Geländevermessungen aus dem Jahre 2013 (vgl. Kap. 2.2.4)
- Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀ (vgl. Kap. 2.2.5)
- Untersuchungen Massenbewegungen entlang von Kantonsstrassen (vgl. Kap. 2.2.7)
- Verschiedenste Naturereignisse seit der Ersterstellung

Aufgrund dieser zusätzlichen, neuen Grundlagen hat das Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen entschieden, eine Gesamtnachführung der Naturgefahrenkarte Schaffhausen vorzunehmen.

1.1 Aufgabenstellung

1.1.1 Auftrag

Der Kanton Schaffhausen, vertreten durch das Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen (TBA), beauftragte die ARGE Gefahrenkarte Schaffhausen (Niederer + Pozzi Umwelt AG, Ernst Basler + Partner AG, Dr. von Moos AG) mit der gesamthaften Nachführung der Gefahrenkarte. Die Nachführung der Gefahrenkarte erfolgt für alle Gemeinden, aufgeteilt auf zwei Teilgebiete Ost und West.

1.1.2 Zielsetzung

Die Nachführung der Gefahrenkarte hat zum Ziel, die Gefährdungen durch Naturgefahren (Prozesse Hochwasser, Rutsch und Sturz) basierend auf den aktuellsten Grundlagen und Erkenntnissen zu aktualisieren.

Mit der nachgeführten Gefahrenkarte soll eine einheitliche und aktuelle Planungsgrundlage für den Kanton sowie für die von Gefährdungen durch Naturgefahren betroffenen Gemeinden bereitgestellt werden. Dabei sind einerseits bauliche Veränderungen zu berücksichtigen, welche die Gefährdungssituation verändert haben. Andererseits haben sich methodische Grundsätze und technische Möglichkeiten in der Gefahrenbeurteilung weiterentwickelt, welche eine präzisere Darstellung erlauben. Schutzprojekte, welche in der erstellten Gefahrenkarte noch nicht abgebildet sind, werden - soweit bekannt - in der Nachführung berücksichtigt.

Im Rahmen der Nachführung sind die GIS-Daten des aktuellen INTERLIS-Datenmodells „Gefahrenkarte Kanton Schaffhausen“ (Version 1.3) in das aktualisierte Datenmodell des Kantons (Version 2.1) zu überführen. Dieses Modell wurde mit dem minimalen Datenmodell des Bundes abgeglichen, wobei verschiedenste Layer angepasst wurden. Nicht mehr benötigte Daten wurden entfernt. Neu wurden u.a. die Fließgeschwindigkeiten erfasst (siehe Kap. 7).

1.1.3 Endprodukte

Die nachgeführte Gefahrenkarte besteht aus den folgenden Produkten:

- Berichte
 - Technischer Bericht Methodik (vorliegender Bericht)
 - Leitfaden „Umsetzung der Gefahrenkarte Hochwasser und Massenbewegungen“
 - Kurzbericht Ergebnisse (für jede Gemeinde separat)
- Karten im Massstab 1:5'000, für jede Gemeinde
 - Intensitätskarten HQ₃₀, HQ₁₀₀, HQ₃₀₀ und EHQ
 - Gefahrenkarte
 - Schwachstellen und Schutzdefizitkarte
- GIS-Daten im INTERLIS-Datenmodell Version 2.1 (vgl. Kapitel 7)

2. PERIMETER UND GRUNDLAGEN

2.1 Perimeter

2.1.1 Festlegung des Gefahrenkartenperimeters

Im Gefahrenkartenperimeter werden die Gefährdungsflächen der im Rahmen der Gefahrenkartierung untersuchten Gefahrenprozesse aufgezeigt. Im Wesentlichen entspricht der Gefahrenkartenperimeter demjenigen der Ersterstellung; für die Nachführung wurde er jedoch aufgrund der neu vorhandenen Grundlagen aktualisiert. Gemäss den Entscheiden durch die Arbeitsgruppe Naturgefahren vom 27. Juni 2016 wurde folgendes Vorgehen für die Ausscheidung des Perimeters festgelegt:

- 1) Der Gefahrenkartenperimeter umfasst alle Bauzonen gemäss dem Entwurf des neuen Nutzungsplanes (Stand 18. März 2016). Die Bauzonen wurden mit einem Puffer von 10 Meter erweitert und Löcher innerhalb der Bauzonen aufgefüllt.
- 2) Flächen aus dem Kataster der belasteten Standorte (KbS, Stand April 2016) wurden mit einem Puffer von 10 Meter erweitert und in den Perimeter aufgenommen. Gemäss der Vorgabe des TBA und des Interkantonalen Labors SH (IKL) vom 07. April 2016 wurden nur Standorte mit Altlastenstatus 2, 4 und 5 in den Perimeter übernommen.
- 3) Kantonsstrassen und Bahngeleise wurden mit einer einheitlichen Breite von 20 Meter dem Perimeter hinzugefügt.
- 4) Sonderrisiken ausserhalb des eigentlichen Gefahrenkartenperimeters wurden dem Perimeter als kreisförmige Flächen (Durchmesser 20 Meter) hinzugefügt.
- 5) Bei modellierten Überflutungsflächen, welche über den eigentlichen Perimeter hinausgehen, wurde der Perimeter fallweise –wo dies die Nachvollziehbarkeit der Überflutung erleichtert oder wo die Kenntnis der Überflutungsfläche aus anderen Gründen wichtig ist – erweitert.
- 6) Neu wurden kleinere Löcher, zum Beispiel zwischen Bauzonen und Strassen, in den Perimeter aufgenommen.

Der nach dem oben beschriebenen Vorgehen ausgeschiedene Perimeter wurde im Verlauf der Bearbeitung überprüft und nötigenfalls, in Absprache mit dem TBA, angepasst.

Der definitive Gefahrenkartenperimeter umfasst eine Gesamtfläche von rund 4'150 ha.

2.1.2 Gefahrenkartenperimeter und Gefährdungsflächen

Die Ausscheidung der Gefährdungsflächen für den Prozesstyp Hochwasser erfolgte nur innerhalb des festgelegten Gefahrenkartenperimeters. Gefährdungsflächen ausserhalb dieses Perimeters wurden nicht dargestellt. Es wurde jedoch eine Erweiterung des Perimeters vorgenommen, wenn dies für die Nachvollziehbarkeit der Überflutungsflächen notwendig war.

Die Ausscheidung der Gefährdungsflächen für die Prozesstypen Rutsch und Sturz wurde inner- und ausserhalb des Gefahrenkartenperimeters vorgenommen. Es wurden dabei jedoch nur Gefährdungsflächen ausgeschieden, welche zu einer Gefährdung innerhalb eines Perimeters führen (z.B. ein Rutschgebiet ausserhalb des Perimeters, welches zu einer Gefährdung im darunterliegenden Siedlungsgebiet führen kann).

2.2 Grundlagen

2.2.1 Ersterstellung Gefahrenkarten sowie bisherige Nachführungen

In den Jahren 2007 bis 2011 wurde durch die ARGE Gefahrenkarte Schaffhausen (ARGE Gefahrenkarte Schaffhausen: Naturkonzept AG, Niederer + Pozzi Umwelt AG, IPG Keller AG) eine flächendeckende Gefahrenkarte für den Kanton Schaffhausen erarbeitet. Die Erarbeitung der Gefahrenkarte erfolgte in folgenden vier Teilgebieten:

- **Gefahrenkarte Kanton Schaffhausen: Teilgebiet 1 (2007)**
Bargen, Büttenhardt, Lohn, Merishausen, Neuhausen am Rheinfall, Schaffhausen (inkl. Ortsteil Hemmental), Stetten
- Gefahrenkarte Kanton Schaffhausen: Teilgebiet 2 (2008)
Schleitheim, Beggingen, Rüdlingen, Buchberg
- **Gefahrenkarte Kanton Schaffhausen: Teilgebiet 3 (2010)**
Beringen (inkl. Ortsteil Guntmadingen), Gächlingen, Hallau, Löhningen, Neunkirch, Oberhallau, Siblingen, Trasadingen, Wilchingen (inkl. Ortsteil Osterfingen)
- **Gefahrenkarte Kanton Schaffhausen: Teilgebiet 4 (2011)**
Buch, Dörflingen, Hemishofen, Ramsen, Stein am Rhein, Thayngen (inkl. Ortsteile Altdorf, Barzheim, Bibern, Hofen, Opfertshofen)
- **Punktuelle Nachführungen**
Es wurden zahlreiche punktuelle Nachführungen der erstellten Gefahrenkarte vorgenommen.

2.2.2 Allgemeine Grundlagen

Folgende allgemeine Grundlagen wurden für die Bearbeitung verwendet:

- Aktuelle Geodaten (LV95): DTM (Grid 0.5 m), AV-Daten, Zonenpläne, Übersichtspläne, Orthofotos
- Gefahrenkarte Hochrhein im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg, Deutschland, Basler & Hofmann und Niederer + Pozzi Umwelt AG, August 2016
- Massnahmenplanung Hochwasserschutz und Risikoübersicht im Kanton Schaffhausen, Ernst Basler + Partner AG (3 Teilberichte), 2010 – 2012
- Fliesstiefenkarten im Kanton Schaffhausen, Ernst Basler + Partner AG, 2013 – 2015
- Massenbewegungsgefahren entlang von Kantonstrassen Schaffhausen, Dr. von Moos AG, 2012
- Datenmodell Kt. SH: Naturgefahrenkarte in INTERLIS 1 beschrieben, Version 2.1
- Merkblatt für den Umgang mit temporären, mobilen Massnahmen, Arbeitsgruppe Naturgefahren, 1. Dezember 2016
- Detailhydraulik Hochrhein, Ergänzungen bei Schaffhausen, Basler & Hofmann AG, 2016

2.2.3 Gemeindespezifische Grundlagen

Gemeindespezifische Grundlagen für die Bearbeitung sind in den jeweiligen Gemeindeberichten aufgelistet.

2.2.4 Neues Geländemodell 2013

Die erstellte Gefahrenkarte basierte auf dem Geländemodell von 2002 (DTM-AV 2002). Im März/April 2013 fand ein Bildflug statt, auf dessen Grundlage ein neues DTM-AV erstellt wurde (DTM-AV 2013). Tabelle 1 fasst die Kennwerte dieser beiden Geländemodelle zusammen.

Tabelle 1: Kennwerte der beiden DTM-AV

	Auflösung	Höhenabweichung
DTM-AV 2002	1 m	50 cm (überbautes Gebiet) 20 cm (offenes Gelände) Die relative Genauigkeit zwischen benachbarten Höhenpunkten ist deutlich höher.
DTM-AV 2013	0.5 m	15 cm Die relative Genauigkeit zwischen benachbarten Höhenpunkten ist deutlich höher.

Die Neumodellierungen von Überflutungsflächen im Rahmen der vorliegenden Nachführung basieren auf der Grundlage des DTM-AV 2013, welches eine deutlich bessere Genauigkeit aufweist als das DTM-AV 2002. Diese erhöhte Genauigkeit ermöglicht eine exaktere Festlegung der Fließwege für den Prozessstyp Hochwasser.

Für die Prozesse Rutsch und Sturz wurden keine neuen DTM-basierten Modellierungen ausgeführt. Die Gefährdungsflächen, welche im Rahmen der Gefahrenkartierung für die Kantonsstrassen modelliert wurden, basierten auf dem DTM-AV 2002.

2.2.5 Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀

Die Gefahrenkarte weist für diejenigen Überflutungsflächen Fliesstiefen aus, wo eine gutachterliche Beurteilung im Feld nicht möglich ist (flache Topografie und/oder unübersichtliche Situation aufgrund dichter Bebauung). In diesen Gebieten wurden die Gefährdungsflächen mittels einer 2-dimensionalen Überflutungsmodellierung bestimmt (Software: TELEMAT). Grundlage für die Modellierungen war das DTM-AV 2002.

Im Projekt „Fliesstiefenkarten im Kanton Schaffhausen“, 2013 bis 2015, wurden für sämtliche im Untersuchungsperimeter der Gefahrenkarte vorkommenden Schwachstellen die Überflutungsflächen für das Szenario HQ₁₀₀ modelliert (Software: FloodArea). Grundlage für die Modellierungen war das DTM-AV 2013. Als Endprodukt liegt für jede Gemeinde eine Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀ vor, welche nebst den Überflutungsflächen auch die Fließrichtungen und Fließgeschwindigkeiten (abgestuft in drei Kategorien) ausweist.

2.2.6 Berechnungen Hochrhein

Für den gesamten Hochrhein zwischen Stein am Rhein und Basel-Stadt wurde im Rahmen des Auftrags "Hydraulische Berechnungen Hochrhein" von Basler & Hofmann AG und Niederer + Pozzi Umwelt AG ein 1D Staukurvenmodell erstellt (definitiver Stand August 2016). In Gebieten mit relevanten Sekundärströmungen kam ein gekoppeltes 1D/2D-Modell zur Anwendung. Für den Kanton Schaffhausen war dies ausschliesslich bei der Innenkurve Rüdlingen der Fall. In diesem Gebiet wurden sowohl Fliesstiefen, wie auch das Produkt aus Fliesstiefen und Fließgeschwindigkeiten ausgewiesen. In allen übrigen Abschnitten wurden die Fliesstiefen aus der Differenz zwischen den Wasserspiegeln aus dem 1D-Modell und dem digitalen Terrainmodell erstellt. Die verwendeten Daten des Geländes auf der Schweizer Seite des Rheins stammen von helikoptergetriebenen Laserscandaten aus dem Jahr 2011.

Im Folgeauftrag "Detailhydraulik Hochrhein, Ergänzungen bei Schaffhausen" (Basler & Hofmann AG, Oktober 2016) wurde die 1D-Berechnung im Bereich Rheinfall bis Büsingen anhand neuer Vermessungen und Kraftwerksangaben überarbeitet. Die resultierenden Wasserspiegellagen und Energielinien liegen als Längsprofile vor.

Für das Kraftwerk Schaffhausen wurden in Absprache mit dem Kanton und SH POWER folgende Szenarien definiert:

- HQ₃₀: Alle Wehrfelder sowie beide Maschinen in Betrieb
- HQ₁₀₀: Alle Wehrfelder sowie beide Maschinen in Betrieb
- HQ₃₀₀: Alle Wehrfelder in Betrieb, eine Maschinen ausser Betrieb
- EHQ: Ein Wehrfeld ausser Betrieb, beide Maschinen ausser Betrieb

Der Ausfall eines Wehrfeldes ist äusserst unwahrscheinlich, da das Schwemmholaufkommen für den Abschnitt des Rheins bis zur Thurmündung mässig ist. Bei einem Schadenfall besteht, wie auch im Revisionsfall, die Möglichkeit das Wehr mechanisch zu öffnen. Beim Hochwasser vom 24. Mai 1999 wurde ein Maximalabfluss von rund 1'230 m³/s erreicht, wobei das Stauziel von 390.80 m ü.M. beim Pegel Schifflande jederzeit eingehalten wurde. Während des Hochwassers, welches bezüglich der Abflussspitze einem Extremhochwasser entspricht (1240 m³/s), waren beide Maschinen sowie alle Wehrfelder in Betrieb. Im Bereich der Konzessionsstrecke kam es nicht zu Ausuferungen.

Ein Ausfall einer Maschine aufgrund eines Schadensfall oder einer Revision ist im Vergleich zum Ausfall eines Wehrfeldes wahrscheinlicher. Es kam in den letzten Jahren mehrmals vor, dass eine Maschine ausser Betrieb war. Der Wasserspiegelunterschied zwischen den Szenarien mit einer oder beiden Maschinen in Betrieb ist jedoch gering. So kommt es bei einem HQ₃₀₀ bei dem Ausfall einer Maschine zu einem Wasserspiegelanstieg von rund 5 cm im Bereich oberhalb des Wehrs. Für die häufigeren Szenarien (HQ₃₀, HQ₁₀₀) ist davon auszugehen, dass ein Ausfall einer Maschine keinen Einfluss auf die Wasserspiegellagen oberhalb des Wehrs hat, da das Stauziel weiterhin eingehalten wird.

Für das Extremhochwasser wurde ein strengeres Szenario verwendet, welches der Konzession des Kraftwerkes für das EHQ entspricht (Art. 11, Abs. 1b). Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Wehrfeld (n-1) sowie beide Maschinen ausser Betrieb sind.

Für die Gefahrenkarte Schaffhausen wurden in den Gemeinden Buchberg und Rüdlingen die Fliesstiefen aus der gekoppelten 1D/2D-Modellierung vom August 2016 übernommen. In allen übrigen Gemeinden wurden die Fliesstiefen aus der neueren 1D-Modellierung vom Oktober 2016 und dem Geländemodell 2013 generiert (DTM-AV 2013).

Die aus den Fliesstiefen erstellten Intensitäts- und Gefahrenkarten stellen ausschliesslich die statische Intensität dar (d.h. die Fliessgeschwindigkeiten wurden nicht berücksichtigt). Da ausserhalb des Gerinnes kaum Fliessgeschwindigkeiten > 1.0 m/s auftreten, dürften sich aus dieser Vereinfachung keine relevanten Fehler ergeben. Diese Annahme wird gestützt durch die Auswertung des Gebietes Rüdlingen, in welchem in weniger als 3‰ der Überflutungsflächen des EHQ die dynamische Intensität relevant ist.

2.2.7 Massenbewegungsgefahren entlang von Kantonsstrassen

Im Auftrag des kantonalen Tiefbauamtes wurden im Jahr 2012 alle Kantonsstrassen bezüglich ihrer Gefährdung durch Massenbewegungen mit analoger Methodik wie für die Ersterstellung der Gefahrenkarte untersucht. Zusätzlich wurden für durch Steinschlag gefährdete Bereiche eine Steinschlag-Modellierung (Software: Rockyfor3D) durchgeführt. Grundlage für die Modellierungen war das DTM-AV 2002. Als Endprodukt wurden digitale Gefahrenkarten für die einzelnen Strassenabschnitte erstellt.

3. PROZESSE UND JÄHRLICHKEIT DER SZENARIEN

3.1 Prozesse

Die folgenden Prozesse werden im Rahmen der Gefahrenkartierung beurteilt und nachgeführt:

- Prozesstyp Hochwasser:
 - Überflutungen durch Wasseraustritte aus allen offenen und eingedolten Gewässern, welche zu einer Gefährdung innerhalb des Gefahrenkartenperimeters führen. Als Grundlage dient der Ereigniskataster der Fliessgewässer des Kantons Schaffhausen.
- Prozesstypen Rutsch und Sturz:
 - Rutschgefahren (permanente und spontane Rutschungen, Hangmuren)
 - Sturzgefahren (Stein- und Blockschlag)

Folgende Prozesse wurden von der erstellten Gefahrenkarte übernommen:

- Prozesstyp Hochwasser:
 - Ufer- und Sohlenerosion entlang der Gerinne
 - Übersandung, d.h., Kies-, Geröll- und Holzablagerung im Überflutungsgebiet
- Prozesstypen Rutsch und Sturz:
 - alle Prozesse übernommen

Folgende Prozesse werden im Rahmen der Gefahrenkartierung nicht beurteilt:

- Prozesstyp Hochwasser:
 - Überflutungen durch hohen Grundwasserstand
 - Oberflächenabfluss, hervorgerufen durch Starkniederschläge (d.h., Überflutungen, welche nicht durch einen Wasseraustritt aus einem Gerinne hervorgerufen werden)
 - Überflutungen infolge Kapazitätsengpässen in der Kanalisation (Kanäle, welche nicht als öffentliche Gewässer gelten)
 - Dammbbruchszenarien für Rückhaltebauwerke
- Prozesstypen Rutsch und Sturz:
 - keine

3.2 Jährlichkeiten bzw. Eintretenswahrscheinlichkeiten der Szenarien

Die Jährlichkeit von Hochwasserereignissen bezeichnet die durchschnittliche Wiederkehrperiode, mit der ein Ereignis einer bestimmten Grösse erwartet wird. Sie ergibt sich aus der Hydrologie, d.h., aus den erwarteten Abflussspitzen und Abflussganglinien (vgl. Kap. 6.1.1).

Mit der Auswertung von vergangenen Ereignissen kann die Einstufung der Jährlichkeiten plausibilisiert werden. Im Einklang mit den Bundesempfehlungen wurden sämtliche Prozesse für vier Jährlichkeiten ermitteln und dargestellt:

- HQ₃₀, häufiges Ereignis, Jährlichkeit 1 - 30 Jahre:
Ein Szenario von mindestens dieser Grösse tritt statistisch alle 30 Jahre auf.
- HQ₁₀₀, hundertjährliches Ereignis, Jährlichkeit 30-100 Jahre:
Ein Szenario von mindestens dieser Grösse tritt statistisch alle 100 Jahre auf.
- HQ₃₀₀, seltenes Ereignis, Jährlichkeit 100-300 Jahre:
Ein Szenario von mindestens dieser Grösse tritt statistisch alle 300 Jahre auf.
- EHQ, Extremereignisse, Jährlichkeit > 300 Jahre:
„Restrisiko“

Massenbewegungsgefahren weisen keine Wiederkehrperiode auf („was unten ist, ist unten“), sondern eine Eintretenswahrscheinlichkeit (hoch, mittel, gering). Die Eintretenswahrscheinlichkeit wird aufgrund von Feldbeobachtungen und – falls vorhanden – aufgrund von Bewegungsmessungen sowie geotechnischen Untersuchungen eingeschätzt.

Permanente Rutschungen weisen eine Eintretenswahrscheinlichkeit von 100% auf, denn der Prozess ist bereits eingetreten. Spontane Rutschungen sind abhängig von den Untergrundverhältnissen (Hangneigung, Lithologie, geotechnische Eigenschaften, Durchlässigkeit, etc.). Sturzprozesse werden anhand einer Gefügeanalyse, einer Abschätzung der Schuttproduktion sowie einer Beobachtung und Wertung von stummen Zeugen (z.B. vorhandene Sturzblöcke) eingeschätzt.

4. VORGEHEN

Das Vorgehen für die Nachführung der Gefahrenkarte ist im Pflichtenheft (vgl. Anhang 1) festgehalten. Die Ergebnisse der Nachführung werden in den Dokumenten der nachgeführten Gefahrenkarte festgehalten (Karten, Berichte, Geodaten; vgl. Kap. 1.1.3). Im Folgenden sind die Arbeitsschritte im Rahmen der Nachführung zusammengefasst.

4.1 Vorgehen Nachführung Prozess Hochwasser

Für den Prozess Hochwasser wurden die Angaben zur Hydrologie (vgl. Kap. 6.1.1), zu den Schwachstellen (vgl. Kap. 6.1.2 - 6.1.5) sowie zu den Szenarien (vgl. Kap. 6.1.6) grundsätzlich aus der erstellten Gefahrenkarte übernommen. Bei besonders neuralgischen Punkten wurden die Schwachstellen überprüft und wo nötig die Szenarien angepasst. Diese Anpassungen erfolgten immer in Absprache mit dem TBA.

In einem ersten Schritt der Bearbeitung wurden die bestehenden Intensitätskarten HQ₁₀₀ mit den Resultaten der Fliesstiefenkarten im Kanton Schaffhausen, 2013 bis 2015 verglichen. Die Differenzen wurden im Rahmen der Nachführung für alle Gefährdungsflächen der Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀ ausgewertet und im Feld beurteilt. Gleichzeitig konnten während den Feldbegehungen, welche für alle beim HQ₁₀₀ gefährdeten Perimeter durchgeführt wurden, die erstellte Gefahrenkarte hinsichtlich ihrer Aktualität überprüft werden. Die Erkenntnisse aus den Feldbegehungen wurden ausgewertet, dokumentiert und mit zusätzlichen Unterlagen verglichen und ergänzt. Anhand der Resultate dieser Beurteilung wurde für die Nachführung der einzelnen Gefahrenquellen das weitere Vorgehen festgelegt:

- Perimeter, in welchen die Beurteilung zeigte, dass grössere, neue Flieswege vorhanden sind oder Flieswege komplett entfallen, wurden grundsätzlich neu modelliert.
- Perimeter, in welchen die Beurteilung zeigte, dass es hauptsächlich Unterschiede in den Randbereichen der Gefährdungsflächen oder sehr lokale, zusätzliche Flieswege gibt, wurden gutachterlich angepasst.
- In Perimetern ohne neue Erkenntnisse und mit einer guten Übereinstimmung zwischen erstellter Gefahrenkarte und der Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀ wurden die bisherigen Gefährdungsflächen belassen.

Gefahrenquellen, welche erst ab einem HQ₃₀₀ einen Austritt aufweisen, konnten nicht mit der Fliesstiefenkarte HQ₁₀₀ verglichen werden. Die Gefährdungsflächen wurden mithilfe des neuen Geländemodells überprüft und allfällige neue Grundlagen eingearbeitet.

Das Vorgehen für die Nachführung wurde im Rahmen der Gesamtprojektleitungssitzungen 2 (16. Februar 2016, Teil Ost) und 3 (25. Mai 2016, Teil West) mit dem TBA besprochen und für die einzelnen Gefahrenquellen festgelegt.

4.2 Vorgehen Nachführung Prozesse Rutsch und Sturz

In einem ersten Schritt wurden die Prozessflächen, welche anlässlich der Bearbeitung von Massenbewegungsgefahren entlang der Kantonstrassen (Dr. von Moos AG, 2012) ausgedehnt wurden, in den Datensatz der erstellten Gefahrenkarte übernommen.

Die Massenbewegungsgefahren wurden nicht flächendeckend überprüft. Eine Überprüfung erfolgte nur, wenn Hinweise auf eine Änderung der Rahmenbedingungen bei bekannten Prozessflächen vorlagen (Schutzmassnahmen umgesetzt, waldbauliche Massnahmen ausgeführt etc.), bzw. bei seit der letzten Bearbeitung neu eingetretenen Ereignissen. Hinweise auf Veränderungen und neue Ereignisse wurde mittels einer gezielten Befragung der kantonalen Fachstellen (Tiefbauamt, Forstamt, Planungs- und Naturschutzamt) sowie der Gemeinden anlässlich der individuellen Sitzungen gesammelt.

Im nächsten Schritt wurden die so erkannten Flächen begangen und die Gefahrensituation gemäss dem Vorgehen für die erstellte Gefahrenkarte aufgenommen, gutachterlich beurteilt und dokumentiert (Datenblatt Massenbewegungen). Basierend auf den neuen Kenntnissen wurden die bestehenden Intensitätskarten ergänzt bzw. angepasst.

2016 wurde vom Bundesamt für Umwelt eine neue Vollzugshilfe betreffend den Schutz vor Massenbewegungsgefahren veröffentlicht. Darin ist ein gegenüber der Ersterstellung neues Vorgehen festgelegt, wie die Intensität von spontanen Rutschungen zu bestimmen ist. Die betreffenden Gefahrenflächen im Kanton Schaffhausen wurden gemäss diesem Vorgehen überarbeitet und entsprechend in die Gefahrenkarte übernommen.

4.3 Vorgehen Nachführung Geodaten

Im Rahmen der Nachführung der Gefahrenkarte Schaffhausen waren alle Inhalte der Gefahrenkarte Schaffhausen aufzuarbeiten und in das neue Interlis-Datenmodell „Gefahrenkarte Kanton Schaffhausen“ (Version 2.1) zu überführen. Das neue Datenmodell wurde mit dem minimalen Datenmodell des Bundes abgestimmt. Folgend sind die wichtigsten Änderungen aufgelistet:

- Aktualisierung der Objektklasse „Erhebungsgebiet“ (ehemals „Perimeter_Gefahrenkarte“) gemäss den Vorgaben des minimalen Geodatenmodells des BAFU. In der Objektklasse „Erhebungsgebiet“ ist neu ersichtlich wie der aktuelle Beurteilungsstand der einzelnen Prozessstypen ist.
- Nachführung der Objektklasse „Schadenspotential_Sonderrisiken“ aufgrund der Rückmeldungen der Gemeinden sowie der Fachstellen des Kantons. Die Liste der zu erfassenden Sonderobjekte wurde neu von der Arbeitsgruppe Naturgefahren festgelegt. Die Kriterienliste für Sonderobjekte sowie die aktualisierte Liste der Sonderobjekte ist im Anhang der Gemeindeberichte ersichtlich.
- Neu werden in den Intensitätskarten und den Prozessgefahrenkarten (Wasser, Rutsch und Sturz) die Bestimmungsmethoden angegeben. Unterschieden wird zwischen den Kategorien: Modelliert, gutachterlich und weitere.
- Neu können kombinierte Szenarien, welche durch mehrere Gefahrenquellen ausgelöst werden, im Datenmodell erfasst werden. Folgende kombinierten Szenarien wurden beurteilt:
 - Merishausen: Chörblitobelbach + Chlingelenbächli
 - Stein am Rhein: Mülibach + Fortebach
 - Schaffhausen Hemmental: Hemmentalerbach + Langackerbach

Die GIS-Daten wurden anschliessend nach einem einheitlichen Vorgehen für die Abgabe bereinigt. Folgende Grundsätze für die Datenbearbeitung wurden durch die Arbeitsgruppe Naturgefahren (27.06.2016) festgelegt:

- Der Rand der Polygone zeigt keine Artefakte aus der Datenstruktur der Modellierung. Die Daten müssen so generalisiert werden, dass keine Rechteckformen von Rasterzellen oder Dreieckformen aus triangulierten Netzen erkennbar sind.
- Kleinflächen, welche aufgrund von lokalen Senken (z.B. Garageneinfahrten) entstehen, werden in der Intensitäts-, Fliesstiefen- und Gefahrenkarte belassen. Bei gutachterlichen Beurteilungen werden diese Senken nicht flächendeckend nachgeführt. Gebiete mit einer offensichtlich höheren Gefährdung werden auch in den gutachterlich beurteilten Gebieten abgebildet (Bestimmung anhand von DTM).
- Kleinflächen, welche nicht aufgrund von lokalen Senken entstehen, z.B. Randbereiche bei der numerischen Modellierung, werden nach den Vorgaben des Datenmodells bereinigt, damit kein Verlust von nützlichen Informationen entsteht.

Objektklassen für das Labeling (Kennzeichnung) sowie die Objektklassen Schutzdefizit (Wasser, Rutsch und Sturz) wurden gemäss den Vorgaben des neuen INTERLIS-Datenmodells entfernt. Die Objektklassen „Schadenspotenziale“ werden zukünftig durch den Kanton automatisch aus den aktuellen Nutzungsplänen erzeugt. Das entsprechende Vorgehen wurde durch das Amt für Geoinformation, in Zusammenarbeit mit der ARGE Gefahrenkarte Schaffhausen, erarbeitet. Das Labeling der Karten für die Abgabe sowie im Online-GIS erfolgt neu automatisch, wobei die Definition der Darstellung in Zusammenarbeit mit dem TBA erfolgte.

5. ORGANISATION UND MITWIRKUNG

Die Gesamtprojektleitung des Projektes lag beim Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen, Abteilung Gewässer. Die ARGE Gefahrenkarte Schaffhausen als Auftragsnehmerin setzt sich aus den Ingenieurbüros Niederer + Pozzi Umwelt AG, Ernst Basler + Partner AG sowie Dr. von Moos AG zusammen. Die Federführung und auftragsseitige Projektleitung lag beim Büro Niederer + Pozzi Umwelt AG.

Im Rahmen der Nachführung wurden verschiedene Sitzungen mit den Gemeinden, verschiedenen Fachstellen des Kantons sowie der Gebäudeversicherung Schaffhausen durchgeführt. Die Aufgaben, Kompetenzen sowie Möglichkeiten zur Mitwirkung dieser Stellen sind folgend beschrieben.

5.1 Mitwirkung Arbeitsgruppe Naturgefahren

Die Arbeitsgruppe Naturgefahren hatte bereits bei der Ersterstellung der Gefahrenkarte eine bestimmende Rolle in der Bearbeitung. So war sie das oberste Entscheidungsgremium bei Fragen bezüglich Umsetzung, fachlichen Entscheiden und verabschiedete wichtige Zwischenergebnisse. Weiter wurde durch die Arbeitsgruppe Naturgefahren die Koordination innerhalb der verschiedenen Fachstellen des Kantons Schaffhausen sichergestellt. Zuletzt stellte die Arbeitsgruppe Naturgefahren den Antrag z.H. des Regierungsrats zur Festsetzung der nachgeführten Gefahrenkarte. Die Vertreter der Arbeitsgruppe Naturgefahren sind im Impressum ersichtlich.

5.2 Mitwirkung Gemeinden

Die Gemeinden wurden in verschiedenen Projektphasen informiert und miteinbezogen. Die Gemeinden hatten während des gesamten Bearbeitungszeitraums die Möglichkeit, sich in den Nachführungsprozess einzubringen. Folgend sind die wichtigsten Meilensteine der Zusammenarbeit aufgelistet.

- **Gemeindesitzung 1**
Ziel der ersten Gemeindesitzung war es, die Gemeinden über das Projekt zu informieren und den Kontakt zwischen Auftragnehmer und den Verantwortlichen bei den Gemeinden herzustellen. Die einzelnen Gefahrenquellen der Gefahrenkarte vor Nachführung wurden besprochen und Informationen der Gemeinden bzgl. baulichen Entwicklungen, neu realisierten Wasserbauprojekten, Geländeanpassungen sowie weitere Hinweise (neue Grundlagen, Erfahrungen aus Ereignissen, etc.) gesammelt.
- **Gemeindesitzung 2**
Im Rahmen einer zweiten Sitzung wurden die Ergebnisse (insbesondere Gefährdungsflächen) präsentiert und Rückmeldungen oder weitere Hinweise der Gemeinden entgegen genommen.
- **Vernehmlassung**
Die Gemeinden hatten von März bis April 2017 Zeit, die nachgeführten Gefahrenkarten zu studieren und eine Stellungnahme an den Kanton abzugeben.

5.3 Amt für Geoinformation

In Zusammenarbeit mit dem Amt für Geoinformation des Kantons Schaffhausen wurde das Datenmodell der Gefahrenkarte überarbeitet. Die endgültigen Änderungen am Datenmodell wurden an den Sitzungen vom 8. Juli und 27. August 2015, in Absprache mit dem TBA, festgelegt. Ziel der Überarbeitung war, nicht benötigte oder unklare Attribute des Datenmodells anzupassen oder zu entfernen sowie die Kompatibilität des Modells mit dem minimalen Datenmodell des Bundes sicherzustellen.

6. WIRKUNGSANALYSE

An dieser Stelle wird die Methodik der Ereignis- und Wirkungsanalyse erläutert. Die entsprechenden Ergebnisse sind im „Kurzbericht Ergebnisse“ für jede Gemeinde separat zusammengestellt.

6.1 Prozess Hochwasser

6.1.1 Hydrologie

Die Abflussspitzen für die verschiedenen Jährlichkeiten (HQ₃₀, HQ₁₀₀, HQ₃₀₀, EHQ) wurden grundsätzlich aus der erstellten Gefahrenkarte inkl. Korrigendum Hydrologie für das Teilgebiet 1 übernommen. Die folgenden Unterkapitel erläutern die Methodik zur Bestimmung der Hydrologie, welche bei der Erstellung der Gefahrenkarte angewandt wurde. Weitere Informationen zur Methodik, Trendlinien für die einzelnen Teilgebiete sowie die Resultate der verschiedenen Schätzmethode für die einzelnen Gefahrenquellen finden sich in den technischen Berichten und Anhängen der erstellten Gefahrenkarten sowie im Korrigendum Hydrologie Teilgebiet 1.

Vorgehen

Die hydrologische Abschätzung von Abflussspitzen ist mit statistischen Unsicherheiten verbunden. Dies gilt in erster Linie für diejenigen Einzugsgebiete, in denen keine direkten Abflussmessungen zur Verfügung stehen, aber auch für Gewässer mit einer Pegelmessstation, da die vorhandenen Messreihen meistens über einen eher kurzen Zeitraum reichen.

Um der statistischen Unschärfe möglichst gut begegnen zu können, wurde die Hochwasserabschätzung mit Hilfe aller zur Verfügung stehenden Methoden durchgeführt, in einer Grafik zusammengetragen und daraus plausible Werte für die Abflussspitzen ermittelt. Dabei wurde für Einzugsgebiete grösser als 1.5 km² eine vertiefte Vorgehensweise gewählt, während für Kleinstzeugsgebiete (< 1.5 km²) ein vereinfachtes Vorgehen angewendet wurde. Separat behandelt wurden die grösseren Gewässer.

Einzugsgebiete > 1.5 km²

Für Einzugsgebiete > 1.5 km² wurden die folgenden Methoden angewandt:

- Hochwasserabschätzung mit mehreren empirischen Verfahren unter Zuhilfenahme des Programms HQx-meso-CH und eigener Excel-Entwicklungen (Kölla, GIUB96, Kürsteiner, Müller-Zeller, Momenteverfahren, BaD7).
- Zusammenstellung von Abflusswerten aus bestehenden Studien und Projekten (Gefahrenhinweiskarte, hydrologische Studien, Vor-/Bauprojekte, GEP etc.)
- Synoptische Darstellung aller Hochwasserwerte als Punktwolke in einer Abfluss-Jährlichkeits-Grafik und optische Einpassung einer möglichst gut passenden statistischen Verteilungsfunktion (log-Gumbel) in die Punktwolke. Die Abflussspitzen HQ₃₀, HQ₁₀₀, HQ₃₀₀ ergeben sich für jeden Gewässerstandort aus dieser individuellen Verteilungsfunktion.
- Die Abflussspitze EHQ ist entweder das EHQ aus der Gefahrenhinweiskarte oder Faktor m_{EHQ} multipliziert mit dem HQ₁₀₀ (vgl. Abbildung 1)

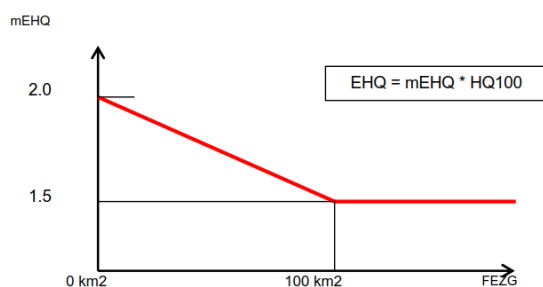


Abbildung 1: Formel für Bestimmung des Extremhochwassers

Kleinsteinzugsgebiete <1.5 km²

Für Einzugsgebiete <1.5 km² wurden die Hochwasserabflüsse aus gebietsspezifischen Trendlinien, basierend auf den Abschätzungen für die grösseren Einzugsgebiete, abgeleitet.

Auswertung Pegelmessstationen (Frequenzanalysen)

Für einige grössere Gewässer mit Abflussmessstationen wurden Pegelmessungen ausgewertet. Für folgende Abflussmessstationen wurde bei der Erarbeitung der jeweiligen Teilgebiete eine Frequenzanalyse durchgeführt.

- Wutach Messperiode 1923 bis 2006
- Seegraben Messperiode 1990 bis 2008
- Klingengraben Messperiode 1990 bis 2008
- Halbbach (Hallau) Messperiode 1994 bis 2008
- Biber (Buch-Ramsen) Messperiode 1987 bis 2009
Ergänzt mit alter Station Biber, Wilen (1972 – 1983)

Bei den folgenden Abflussmessstationen konnte aufgrund der zu kurzen Messreihen keine Frequenzanalyse durchgeführt werden (Angaben über Messperioden aus Erläuterungsberichten den verschiedenen Teilgebieten):

- Durach Messungen von 10 Jahren (1988-1997)
- Fulach Messungen von 9 Jahren
- Schleitheimerbach Messungen seit 2002
- Fochtelgraben Messungen seit 2008
- Grebengraben Messungen seit 2008
- Landgraben Messungen seit 2008
- Seltenbach Messungen seit 2008
- Biber (Thayngen) Messungen seit 2008

Die Pegel des Rheins wurden nicht ausgewertet, da die Hochwasserabflüsse und Gefährdungsflächen direkt aus der Gefahrenkarte Hochrhein übernommen werden konnten (vgl. Kapitel 2.2.6).

Zusammenstellung der Abflussspitzen

Eine Zusammenstellung aller aktuell gültigen Hochwasserspitzen befindet sich im Anhang der Gemeindeberichte.

6.1.2 Hydraulik

Die Hydraulik, d.h., die Kapazitätsberechnung für punktuelle Schwachstellen sowie bei grösseren Gewässern für ganze Flussabschnitte, wurde grundsätzlich aus der erstellten Gefahrenkarte übernommen.

Die Geometrien der Querprofile wurden aus den Unterlagen im Brückenkataster, aus Projektunterlagen sowie im Rahmen von Felderhebungen ermittelt. Die einzelnen Schwachstellen wurden während den Feldbegehungen kontrolliert.

Sämtliche Schwachstellen wurden stationär hydraulisch berechnet, wobei je nach dem lokalen hydraulischen Charakter des Gerinnes zwei unterschiedliche Methoden angewandt wurden:

- Punktuelle hydraulische Berechnungen am Einzelprofil mittels Normalabfluss- oder Durchlassberechnung: in steileren und eher kleineren Gewässern und überall dort, wo ein Stau einfluss des flussabwärts liegenden Gerinnes wenig relevant ist.
- Eindimensionale stationäre Staukurvenberechnung mit dem Programm HEC-RAS (1D-Modell): an Flüssen, grösseren Bächen und flachen Gewässerabschnitten, an denen der Stau einfluss des flussabwärts liegenden Gerinnes von Bedeutung ist. Folgende Gewässer wurden mittels 1D-Modell untersucht.

- Biber (Gemeinde Buch)
- Schleitheimerbach
- Halbbach (Modellierung nicht durchgehend)

Neben dem oben beschriebenen Standardvorgehen handelt es sich bei den folgenden grösseren Gewässern bzgl. Wasserspiegelberechnung um Spezialfälle:

- An der Wutach in der Gemeinde Schleithelm lagen aus Projekten bereits berechnete Hochwasserspiegellagen vor. Diese konnten teilweise direkt verwendet und teilweise mittels Inter- und Extrapolation auf die für die Gefahrenkarte massgebenden Szenarien umgerechnet werden.
- An der Wutach in Hallau waren keine Querprofile vorhanden. Die bordvolle Abflusskapazität wurde aus den Beobachtungen und der Nachrechnung des Ereignisses vom Februar 1990 abgeleitet.

Hydraulische Querschnitte und Parameter

Die punktuelle Berechnung ermittelt die Abflusskapazität jeweils in einem der folgenden Querprofiltypen:

- Offenes Trapezprofil (mit Rechteckprofil als Spezialfall des Trapezprofils)
- Durchlass oder Brücke mit trapez- oder rechteckförmigem Querschnitt
- Durchlass oder Brücke mit Bogenprofil (Gewölbe)
- Eindolung oder Durchlass mit kreisförmigem Rohr

Die Berechnung mit dem 1D-Modell HEC-RAS kann unregelmässige Profilformen, welche z.B. von der GPS-Vermessung stammen, berechnen. Dies gilt nicht nur für die Profile des Bachbettes, sondern auch für die Unterkanten von Brücken und Durchlässen.

Das Sohlgefälle wurde in der Regel aus dem digitalen Höhenmodell oder mit einem Neigungsmesser im Feld bestimmt oder, falls vorhanden, aus alten Plänen herausgelesen. Die Gerinnerauhigkeiten wurden im Feld gutachterlich aufgrund von Erfahrungswerten bestimmt.

Berechnung und Ergebnisse

Die Berechnung der Abflusskapazität erfolgte für alle vier Basisszenarien HQ_{30} , HQ_{100} , HQ_{300} und EHQ .

Die Ergebnisse der punktuellen Hydraulik wurden für alle in den Bachprotokollen verwendeten Schwachstellen überprüft und wo nötig angepasst.

6.1.3 Holztrieb

Die Verklauung eines Gewässerquerschnitts mit Geschwemmsel, Schwemmholz und/oder Geschiebe führt zu einer Reduktion der Querschnittsfläche und somit zu einer deutlichen Abnahme der Abflusskapazität. Sie kann somit Auslöser für einen Wasseraustritt sein, auch wenn der Gerinnequerschnitt eigentlich eine genügende Abflusskapazität aufweist. Im Extremfall, v.a. bei Eindolungen mit kleinem Rohrdurchmesser, kann der gesamte Querschnitt verstopft werden (Vollverklauung; Ausmass der Kapazitätsreduktion 100%), wodurch der ganze Abfluss über die Ufer tritt.

Schwemmholz ist im Kanton Schaffhausen bei vielen Einläufen ein grosses Problem, da diese oftmals sehr klein sind und vorgeschaltete bauliche Massnahmen (z.B. Schwemmholzrechen) häufig nicht auf einen grösseren Schwemmholzanfall ausgerichtet sind. Oftmals ist auch der Unterhalt der Bauwerke ungenügend.

Die Annahmen bzgl. Schwemmholz und Verklauungen wurden grundsätzlich aus der erstellten Gefahrenkarte inkl. der in Zwischenzeit durchgeführten lokalen Nachführungen übernommen. Die Verklauungen von Brücken und Durchlässen, welche zu einer Verringerung der Abflusskapazität führen, wurden gutachterlich abgeschätzt, wobei folgende Punkte qualitativ berücksichtigt wurden:

- Die vorhandene Ufervegetation, eine unterspülte und erodierte Uferbestockung, Asthauen und Holzdepots in Bachnähe u. Ä. erhöhen das Schwemmholzpotential und somit die Verklausungswahrscheinlichkeit.
- Die Beschaffenheit der Brücke / des Durchlasses sowie das vorhandene Freibord bezüglich Brückenunterkante beeinflussen die Verklausungswahrscheinlichkeit.
- Das Vorhandensein eines Rechens sowie die Wirkungsweise desselben beeinflussen die Verklausungswahrscheinlichkeit¹.

Die angenommene Kapazitätsreduktion durch Verklausung für die einzelnen Schwachstellen ist in den jeweiligen Bachprotokollen und in der Tabelle „Zusammenfassung Hydraulik“ ersichtlich (vgl. Anhang der Gemeindeberichte).

6.1.4 Geschiebetransport

Die Annahmen zum Geschiebetransport wurden aus den erstellten Gefahrenkarten übernommen. Es wurden keine neuen Untersuchungen bezüglich Geschiebetrieb vorgenommen. Informationen zur Bestimmung des vorhandenen Geschiebetriebs sowie die Resultate der empirischen Berechnungen finden sich in den Unterlagen der erstellten Gefahrenkarten.

6.1.5 Ufererosion

Strömendes Wasser kann sowohl seitlich als auch in die Tiefe erodieren. Bei grossen Hochwassern verlagern Gewässer ihr Bett. Erosion ist abhängig vom Uferbewuchs, von den Materialeigenschaften des Ufers sowie von der Konstruktionsart allfälliger Schutzbauten. Besonders dort, wo keine befestigten Uferböschungen vorliegen, ist Ufererosion möglich.

Annahmen zur Ufererosion wurden aus den erstellten Gefahrenkarten übernommen. Es wurden keine neuen Untersuchungen bezüglich Ufererosion vorgenommen. Informationen zu Gewässerabschnitten mit Ufererosion finden sich in den Unterlagen der erstellten Gefahrenkarten.

6.1.6 Schwachstellenanalyse und Szenariendefinition

Die Schwachstellen wurden im Wesentlichen durch die Gegenüberstellung der Abflusskapazität mit den zu erwartenden Abflussspitzen ermittelt. Dabei spielt bei Durchlässen die Gefahr von Verklausung durch Schwemmholz eine massgebliche Rolle. Schwachstellen befinden sich also vorwiegend bei Durchlässen sowie in offenen Gerinneabschnitten im Bereich von Engpässen.

Grundsätzlich wurden die Szenarien für die einzelnen Schwachstellen aus der erstellten Gefahrenkarte übernommen. Fallweise – bei Hinweisen der Gemeinden, Beobachtungen im Feld oder auf der Basis von neuen Grundlagen – wurden die Annahmen für die Schwachstellenanalyse und Szenariendefinition überprüft und falls notwendig angepasst.

Für sämtliche Schwachstellen wurden jeweils für die Jährlichkeiten 1-30 (HQ₃₀), 30-100 (HQ₁₀₀), 100-300 (HQ₃₀₀) und das EHQ Szenarien ermittelt. Bei einigen Schwachstellen wurde aufgrund von grösseren Wasseraustritten, welche weiter unten nicht ins Gerinne zurückfliessen, eine Dämpfung der Hochwasserganglinie angenommen. Dies ist jeweils in den Bachprotokollen vermerkt. Das Resultat der so ermittelten Wasseraustritte wird in den Intensitätskarten abgebildet (Wirkungsbereiche).

¹ Zweckmässig dimensionierte Rechen verringern das Verklausungsrisiko, da sie das Schwemmholz vor dem Einlauf in die Eindolung zurückhalten. Hingegen bewirken Rechen mit zu geringem Stababstand und/oder zu kleiner Querschnittsfläche im Gegenteil eine Verschärfung des Verklausungsrisikos, da sie bereits bei kleinen Mengen feinen Geschwemmsels verstopfen. Damit sind sie oft sogar kritischer als der Durchlass selbst.

Die Schwachstellen und die entsprechenden Szenarien sind in den jeweiligen Bachprotokollen detailliert beschrieben (vgl. Anhang der Gemeindeberichte).

Im Rahmen der Szenariendefinition wurden menschliche Eingriffe im Ereignisfall wie z.B. das Räumen von Holzrechen nicht berücksichtigt, da diese nicht garantiert werden können.

Die Wirkung von mobilen Massnahmen wurde generell nicht berücksichtigt, da sie im Ereignisfall versagen können. Versagensgründe sind z.B.:

- Sehr grosses Ereignis mit Wassermengen, welche den Zugang zum Gewässer oder zur Schwachstelle verhindern
- Zeitpunkt der Hochwasserspitze in der Nacht (Überraschungseffekt)
- Ausfall von zuständigem Personal oder von technischen Geräten
- Mehrere Schwachstellen gleichzeitig und demzufolge mangelnde Verfügbarkeit von Personal

Die Wirkung von mobilen Massnahmen wird in der Gefahrenkartierung nur dann berücksichtigt, wenn die folgenden Grundsätze 1 oder 2 (gemäss Merkblatt der Arbeitsgruppe Naturgefahren, 1. Dez. 2015) erfüllt sind:

Grundsatz 1:

Bis zu einem HQ₁₀₀ muss der Schutz generell mit permanenten, baulichen Massnahmen sichergestellt werden. Temporäre, mobile Massnahmen können für einen zusätzlichen Schutz gegen ein HQ₃₀₀ unter folgenden Bedingungen eingesetzt werden:

- a) Die Vorwarnzeit ist ausreichend (Vorwarnzeit > Reaktionszeit).
- b) Für den Einsatzfall gibt es klar geregelte Verantwortlichkeiten mit entsprechender Stellvertretung (24 Std., 365 Tage).
- c) Es gibt ein Alarmdispositiv und Notfallkonzept, welches regelmässig (mind. 1 Mal pro Jahr) beübt wird.
- d) Die zum Einsatz gelangenden temporären, mobilen Massnahmen müssen unabhängig von der Feuerwehr sein und dürfen nicht aus deren Materialbeständen stammen. Die temporären, mobilen Massnahmen sind Bestandteil der jeweiligen Hochwasserschutzmassnahme und müssen jederzeit direkt vor Ort sein.

Grundsatz 2, gilt für den Rhein vom Bodensee bis zur Thurmündung:

- Im Bereich von Hochwassergefahrenflächen des Rheins können temporäre, mobile Massnahmen unter Berücksichtigung von b) und c) auch für den „normalen“ Schutz bis zu einem HQ₁₀₀ eingesetzt werden.
- Entsprechende temporäre, mobile Massnahmen müssen nicht direkt vor Ort sein. Sie dürfen aus den Materialbeständen der Feuerwehr sein, müssen jedoch für diesen spezifischen Einsatz reserviert sein.

6.1.7 Wirkungsanalyse

Die Wirkungsanalyse der erstellten Gefahrenkarte, d.h., die Fliesswege resp. Überflutungsflächen inkl. Fliesstiefen und -geschwindigkeiten, wurde gemäss dem in Kap. 4 beschriebenen Vorgehen überprüft und wo nötig angepasst. Die Anpassungen der Überflutungsflächen erfolgte entweder gutachterlich oder mit Hilfe von 2D-Modellierungen (Software: FloodArea oder TELEMAT).

Im Rahmen der Erstellung der Gefahrenkarte wurde die Wirkungsanalyse, d.h., die Ermittlung der Überflutungsflächen, folgendermassen vorgenommen:

- Für steilere Fliessgewässer erfolgte die Wirkungsanalyse nach der Feldmethode (gutachterliche Beurteilung im Gelände). Für die definierten Szenarien wurden, ausgehend von den Schwachstellen, die Fliesstiefen und -geschwindigkeiten sowie die Überflutungsflächen im Wirkungsgebiet bestimmt.
- In flacheren Abschnitten, wo nur kleinräumig Siedlungsgebiet oder Verkehrswege von Überflutungen betroffen waren, kam ebenfalls die Beurteilung im Gelände zum Einsatz, wobei die Beurteilung mittels einer vorgängigen Grobabschätzung der Überflutungsflä-

chen durch einen Verschnitt der Wasserspiegellagen mit dem umgebenden Terrain unterstützt wurde.

- Im Bereich flacher Abschnitte mit grossflächig betroffenem Siedlungsgebiet wurden die Flieswege und Überflutungsflächen mit Hilfe einer 2D-Modellierung (Software: TELEMAC) ermittelt.

Die gewählte Methodik für die einzelnen Gefahrenquellen ist in den Bachprotokollen vermerkt.

Wo aus Ereignisanalysen Informationen über die Ausdehnung der Überflutungen vorhanden waren, wurden die ermittelten Überflutungsflächen durch einen Vergleich plausibilisiert.

Bei der Wirkungsanalyse wurde der Einstau von unterirdischen Geschossen nicht untersucht. Eingestaute Tiefgaragen und andere Untergeschosse sind auf der Intensitäts- und Gefahrenkarte nicht dargestellt.

2D-Modellierungen mit der Software TELEMAC

Diese Software TELEMAC gehört zu den weltweit führenden Programmen auf dem Gebiet der zweidimensionalen hydraulischen Modellierung. Sie wird zur Simulation verschiedenster hydraulischer Problemstellungen mit zweidimensionalem Strömungscharakter eingesetzt.

Das Programm rechnet auf einem unregelmässigen Finite-Elemente-Netz von Dreiecken, welches für die Nachbildung einer beliebigen Topografie besonders geeignet ist. Sämtliche überflutungsbestimmenden Geländestrukturen wie Gräben und Kanäle, Brücken, Trottoirs und Durchlässe sowie Gebäude können im Modell berücksichtigt werden. Bei der erstellten Gefahrenkarte wurde das DTM-AV 2002 verwendet.

Als Berechnungsergebnis ergibt sich für jeden Geländepunkt und für jedes Szenario die Überflutungstiefe und -geschwindigkeit. Durch numerische Auswertung können die Überflutungsintensitäten erstellt werden.

2D-Modellierungen mit der Software FloodArea

Die Software FloodArea ist auch für die Berechnung von Überflutungsflächen in steilem Gelände geeignet. Die Software berechnet für jeden Zeitschritt die Ausbreitung der Überflutungsfläche, inkl. Fliesstiefe und -geschwindigkeit. Die 2D-Modellierungen mit FloodArea basieren auf dem DTM-AV 2013 und den extrudierten Gebäudegrundrissen aus der amtlichen Vermessung. Das Modell besteht aus 1 m x 1 m-Rasterzellen. Die Rauheiten wurden aus den Bodennutzungsklassen der amtlichen Vermessung abgeleitet.

Als Berechnungsergebnis ergibt sich für jede Rasterzelle und für jedes Szenario die Überflutungstiefe und -geschwindigkeit. Durch numerische Auswertung können die Überflutungsintensitäten erstellt werden.

6.2 Prozess Rutsch

6.2.1 Vorbemerkungen

Massgebend für die Bestimmung der Intensität einer Rutschung ist u.a. ihre Bewegungsgeschwindigkeit (0-2 cm/Jahr = schwach; 2-10 cm/Jahr = mittel; >10cm/Jahr = stark). Für keine der festgestellten Rutschungen liegen heute Messungen der Bewegungsgeschwindigkeit vor. Die Angabe der Intensität (als Ausdruck der mittleren jährlichen Bewegungsgeschwindigkeit) beruht daher auf rein gutachterlichen Beurteilungen und ist als vorläufige Annahme zu betrachten, welche gegebenenfalls mittels spezifischer Überwachungseinrichtungen zu verifizieren ist.

6.2.2 Permanente Rutschungen

Definition

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete, gleitende Bewegungen von Hangteilen aus Fest- und/oder Lockergestein. Die Bewegung erfolgt entweder entlang von mehr oder weniger deutlich ausgebildeten, bestehenden Gleitflächen oder längs bestehender Zonen verstärkter Scherdeformation. Permanente Rutschungen bewegen sich über lange Zeiträume (im Mittel) gleichmässig. Es handelt sich dabei überwiegend um Translationsrutschungen. Der Übergang zum „Hangkriechen“ ist fließend. Bei grossem Wasseranfall können auch Hangmuren auftreten.

Ausprägung im Untersuchungsgebiet

Die in der Gefahrenkarte als permanente Rutschungen eingestufteten Massenbewegungen zeichnen sich durch eine flächenmässig relativ grosse Ausdehnung und eine unruhige Oberflächenmorphologie aus, welche auf zahlreiche kleine Rutschungsereignisse (Rutschungswulste, Anrissmulden) zurückgeht. Die Rutschungsmasse bewegt sich dabei nicht als Ganzes gleichmässig hangabwärts, sondern die Bewegung findet vielmehr episodisch in Form von kleineren Ereignissen innerhalb der Masse statt, welche aber, über die Zeit betrachtet, die ganze Masse mehr oder weniger gleichmässig erfassen. Dabei ist eine Lokalisierung von zukünftigen Ereignissen in der Regel nicht möglich, denn die zur fraglichen Zeit gerade aktiven Wasserwegsamkeiten innerhalb der Rutschungsmasse (welche von der Oberfläche aus nicht erkennbar sind) entscheiden über Lage und Grösse der jeweiligen Ereignisse. Die meisten der als permanente Massenbewegungen eingestufteten Rutschungen sind flachgründig.

Vielfach sind die permanenten Rutschungen Teile tiefgründiger grosser Rutschungsmassen, die heute keine aktiven Verformungen mehr zeigen. Die alten Rutschungsanrisse sind im Gelände deutlich erkennbar, der Fuss der tiefgründigen Rutschungen weniger deutlich. Innerhalb der durch die alten Rutschungsbewegungen aufgelockerten Bereiche besteht ein erhöhtes Potential für sekundäre flachgründige Rutschungen. Aus diesem Grund wurden entsprechende Gebiete mit einem Restrisiko für Rutschungen ausgewiesen. Die definitionsbedingt zugewiesenen starken Intensitäten sind als vorläufig anzusehen, ebenso die daraus resultierenden Schutzdefizite.

6.2.3 Spontane Rutschungen

Definition

Spontane Rutschungen verlaufen relativ schnell und oft ohne Vorwarnung. Sie entstehen bei einem schlagartigen Verlust der Scherfestigkeit an der Gleitfläche. Es können Translations- oder Rotationsrutschungen unterschiedlicher Gründigkeit auftreten. Davon betroffen sind relativ steile Hänge und Hangabschnitte, z.B. Frontbereiche von ausgedehnten Rutschungsmassen. Bei grossem Wasseranfall ist auch ein Übergang zu Hangmuren möglich.

Ausprägung im Untersuchungsgebiet

Spontane Rutschungen wurden im Untersuchungsgebiet anhand von vergangenen Ereignissen (Ereigniskataster), der Disposition des betreffenden Gebietes für zukünftige Ereignisse, der vermuteten Mächtigkeit von mobilisierbaren Massen sowie der zu erwartenden Ablagerungshöhe ausgeschieden.

6.2.4 Hangmuren

Definition

Relativ rasch abfliessendes Gemisch aus Wasser und Lockergestein (oft nur der Boden und die Vegetationsbedeckung).

Ausprägung im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet sind keine Hangmuren dokumentiert. Es sind auch nur wenige Areale vorhanden, welche auf Grund der Hangneigung ($>30^\circ$) und dem Aufbau des Untergrundes eine Disposition zu Hangmuren aufweisen. Allerdings können solche innerhalb von permanenten Rutschungen und auch bei spontanen Rutschungen entstehen, wobei v.a. der lokale Wasseranfall zu einem gewissen Zeitpunkt darüber entscheidet, ob sich eine Rutschung oder eine Hangmure bildet.

6.3 Prozess Sturz

6.3.1 Vorbemerkungen

Für die Einstufung der möglichen Intensität von Sturzvorgängen im Untersuchungsgebiet der Ersterstellung der Gefahrenkarte (Teilgebiete 1 bis 4) wurden gemäss seinerzeitigem Auftrag keine Modellierungen ausgeführt. Die Angabe der Intensität der betreffenden Gefährdungsflächen beruht daher auf Schätzungen anhand von stummen Zeugen und den topographischen Verhältnissen (wahrscheinlicher Sturzmechanismus: Rollen, Springen, Fallen). Für grössere Sturzgebiete entlang der Kantonsstrassen (Dr. von Moos AG, 2012) wurden hingegen 3D-Modellierungen ausgeführt. Die Methodik wird im Kapitel 6.3.3 erläutert.

6.3.2 Steinschlag/Blockschlag

Definition

Abstürzen, Rollen, Springen von Gesteinsbruchstücken. Bis zu einem Durchmesser der Bruchstücke von maximal 50 cm wird von Steinschlag gesprochen, bei Durchmessern über 50 cm von Blockschlag. Der Übergang ist fließend.

Ausprägung im Untersuchungsgebiet

Prozessquellen für Stein- und Blockschlag stellen im Untersuchungsgebiet vor allem die freiliegenden Felswände bei Felsböschungen, natürlichen Felsköpfen sowie alten Steinbrüchen dar. Steinschläge können auch durch umstürzende Bäume oder Wildtritt in steileren Waldhängen ausgelöst werden, sobald sich in der Verwitterungsdecke oder anderen Deckschichten Steine befinden. Vereinzelt Steinschlagereignisse im Untersuchungsgebiet beruhen wahrscheinlich auf diesem Mechanismus. Die Eintretenswahrscheinlichkeit solcher Ereignisse steht in Abhängigkeit zur Häufigkeit von Steinen in den Deckschichten.

6.3.3 Methodik für die 3D-Modellierung

Karte der Phänomene

Die Karte der Phänomene stellt Feldbeobachtungen dar, welche für die Gefahrenbeurteilung relevant sind. Für den Prozess Sturz wurden die Liefergebiete (Felsaufschlüsse) kartiert und anhand des ausgebildeten Trennflächengefüges bezüglich der potenziellen Ausbruchsvolumina eingeschätzt. Zudem wurden die abgelagerten Sturzkörper („stumme Zeugen“) kartiert und beschrieben. Die Karte der Phänomene bildet eine wichtige Grundlage für die Abgrenzung der Prozessflächen und für die Szenarienbildung.

Kinematische Analyse und Auslösemechanismen

Die kinematische Analyse basiert auf der Auswertung der gemessenen Orientierungen von Klüften und Schichtflächen. Zur Interpretation wurden Diagramme erstellt, die den Grosskreis der betrachteten Böschung zusammen mit den Polpunkten der eingemessenen Trennflächen zeigen. Entsprechend der Böschungsrichtung wurden Bereiche auf dieser sogenannten Lagenkugelprojektion konstruiert, für die Felsinstabilitäten auftreten können, wenn Klüfte oder Schichtflächen mit der entsprechenden Orientierung in den Felsaufschlüssen vorhanden sind. Dargestellt wird nur die Orientierung der allgemeinen, ebenen Böschungsrichtung wie z.B. künstliche Strassenböschungen und Steinbruchwände; für freistehende Felstürme müssen mehrere Analysen durchgeführt werden.

Rutschen: Rutschen tritt auf, wenn Trennflächen weniger steil als der Hang einfallen, steiler als die Reibung auf der Fläche sind und in der Einfallrichtung $\pm 20^\circ$ vom Einfallen der Böschung abweichen.

Kippen: Kippen (toppling) tritt auf, wenn die Flächen steil in den Hang einfallen und in der Einfallrichtung $\pm 10^\circ$ vom Einfallen der Böschung abweichen. Bei der Kartierung fallen potentielle kippende Bereiche durch einen stark geklüfteten Fussbereich auf, durch dessen fortschreitende Entfestigung das darüber liegende Felspaket instabil wird.

Die im Untersuchungsgebiet vorliegenden natürlichen Felsbänder und Felsköpfe sind unregelmässig, und durch verschiedene Verwitterungsprozesse entstehen Felsstrukturen, welche Stein- und Blockschlag begünstigen (z.B. isolierte Felstürme oder blockig zerlegte Felskopfbereiche). Die herausgewitterten Blöcke im Bereich der Felsköpfe sind besonders durch Frost-/Tauereignisse mobilisierbar. Da die blockig zerlegten Bereiche teils mit Bäumen bewachsen sind, ist deren Mobilisation auch durch Wurzelsprengdruck und infolge Windwurf möglich.

Szenarienbildung

Die Szenarienbildung basiert auf der Kartierung der Felsaufschlüsse und der stummen Zeugen der bisherigen Sturzprozesse. Der bestehende Ereigniskataster Massenbewegungen liefert dafür keine Grundlagen, weil keine Volumina von Sturzkörpern oder einzelne Ereignisdaten dokumentiert sind. Entsprechend den wechselnden geologischen Verhältnissen in den jeweiligen Abschnitten des Untersuchungsgebietes variieren die gewählten Szenarien.

Steinschlagsimulation

Die Ermittlung des Schadenpotentials durch den Prozess „Sturz“ für die einzelnen Szenarien erfolgte mittels 3D Sturzmodellierungen (Steinschlagsimulation). Die Steinschlagsimulationen wurden mit der Software Rockyfor3D ausgeführt. Das Programm berechnet die Sturzbahnen (Trajektorien) einzelner Steine/Blöcke dreidimensional als parabolischer freier Fall sowie Kontakt und Abprall von der Hangoberfläche; bei Einbezug des Waldes werden Baumanpralle simuliert. Rollen wird als Abfolge kurzer Sprünge modelliert, das Gleiten von Steinen/Blöcken ist nicht im Modell einbezogen.

Eingabedaten in die Modellierung sind Rasterdaten, die das Gelände, die Anrissgebiete, die Blockgrösse und -geometrie sowie die Beschaffenheit des Untergrundes im Transit- und Ablagerungsbereich umfassen. Der Abprall vom Hang wird durch die Parameter Bodentyp und Oberflächenrauigkeit (Mittlere Hindernishöhen) bestimmt. Die eingegebenen Parameter zur Untergrundbeschaffenheit werden probabilistisch einbezogen, d.h., die Unsicherheiten bezüglich der Untergrundbeschaffenheit werden direkt im Modell berücksichtigt.

Ausgabedaten von Rockyfor3D sind ebenfalls Rasterdaten, die Informationen über die Intensität, die Anzahl passierender und abgelagerter Sturzkörper und die Sprunghöhe oberhalb der Zelle enthalten. Für die Interpretation verwendet wurden jeweils die Werte, welche von 95% der Steine/Blöcke nicht überschritten wurden.

Pro Eintretenswahrscheinlichkeit (hoch, mittel, gering) wurde eine Steinschlagmodellierung mit 50 Sturzkörpern pro Zelle Liefergebiet (1m²) durchgeführt. Die Parameter Bodentyp und Oberflächenrauigkeit wurden bei den Kartierungen geschätzt und im Modell anhand der kartierten Sturzblöcke kalibriert. Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die potentiellen Liefergebiete wurden anhand der Kartierung und der Analyse der Hangneigungen (Böschungswinkel >75°) identifiziert.

In der durchgeführten Modellierung wurde keine Waldwirkung berücksichtigt, da die Transitgebiete im Wald vergleichsweise kurz sind und entsprechende Waldparameter mit grösserer Unsicherheit hätten abgeschätzt werden müssen (fehlende Waldbestandsdaten).

Tabelle 2: Parameter für 3D Steinschlagmodellierung entlang von Kantonsstrassen

Gelände-Typ	Bodentyp	Mittlere Hindernishöhe 70% [m]	Mittlere Hindernishöhe 20% [m]	Mittlere Hindernishöhe 10% [m]	Gesteinsdichte [kg/m ³]	Blockform
Felswände	6- anstehendes Gestein	0	0	0.1	2700	rechteckig
Fels unter wenig Waldboden	5- anstehendes Gestein unter wenig Bedeckung	0	0	0.05	-	-
Waldboden (bedeckter Hangschutt)	3- mittlerer kompakter Boden mit kleinen Gesteinstteilen	0	0.1	0.2	-	-
Forstweg	3- Forststrasse	0	0	0 – 0.03	-	-
Strasse	7- Asphaltstrasse	0	0	0	-	-
Talfüllung / Wiese	1- feines Bodenmaterial >1m mächtig	0	0	0	-	-

Schutzbauten

Vorhandene Schutzbauten (Auffangdämme, Schutzzäune, Netzabdeckungen) wurden wie folgt berücksichtigt:

Die Auffangdämme und -gräben gehen über das digitale Geländemodell in die Gefahrenanalyse ein, soweit sie im Geländemodell abgebildet sind. Tendenziell wird ihre Wirkung durch die Steinschlagsimulation unterschätzt. Die meisten Schutzzäune sind nicht typengeprüft und wurden deshalb nicht in die Gefahrenbeurteilung einbezogen. Nicht einbezogen wurde auch die Wirkung von Strassenleitplanken. Die Netzabdeckungen wurden berücksichtigt (auch wenn ihre Wirksamkeit einen laufenden Unterhalt bedingt), indem die entsprechenden Anrisszonen nicht in die Steinschlagsimulation einbezogen wurden.

Intensitätskarten

Die Intensitätskarten basieren auf den Ergebnissen der Steinschlagsimulation und bei kleineren Aufschlüssen auf Abschätzung der Sturzenergie aus Blockgrösse und Böschungshöhe.

Bei der Auswertung der Steinschlagsimulation wurden die berechneten Intensitätsverteilungen vereinfacht und zum Teil grössere zusammenhängende Bereiche gebildet. In den Fällen, in denen die Steine und Blöcke gemäss Steinschlagsimulation die Kantonsstrasse nicht erreichen, wurde der Prozessraum in der Intensitätskarte nicht ausgewiesen.

In der Intensitätskarte sind nur die Prozessräume eingetragen, die einer Anrisszone zugeordnet werden können. Steinschlag aus dem in den Böschungen aufgeschlossenen Hangschutt wurde nicht berücksichtigt.

7. DIGITALE DATEN

Sämtliche räumlichen Daten wurden in digitaler Form gemäss Interlis Datenmodell des Kantons Schaffhausen (Version 2.1) abgegeben. Die Daten wurden gemäss den Vorgaben der Arbeitsgruppe Naturgefahren bereinigt (Kleinflächen, Generalisierung).

Der Datensatz beinhaltet folgende Datenebenen:

- Perimeter:
 - Perimeter Gefahrenkarte
 - Perimeter Modellierung
- Gefahrenquellen:
 - Gefahrenquellen Wasser
 - Gefahrenquellen Rutsch
 - Gefahrenquellen Sturz
- Intensitätskarten für die Jährlichkeiten 30, 100, 300, EHQ für alle Gefahrenquelle:
 - Intensitätskarten Wasser
 - Intensitätskarten Rutschung
 - Intensitätskarten Sturz
- Fliesstiefe skaliert für die Jährlichkeiten 30, 100, 300, EHQ (nur für ausgewählte Gewässer)
- Fliessgeschwindigkeit skaliert für die Jährlichkeiten 30, 100, 300, EHQ (nur für ausgewählte Gewässer)
- Gefahrenkarte (pro Gefahrenquelle)
 - Gefahrenkarte Wasser
 - Gefahrenkarte Rutsch
 - Gefahrenkarte Sturz
- Synoptische Gefahrenkarte
- Sonderobjekte
- Schutzdefizite Sonderobjekte

Die Schutzdefizitkarten werden durch das Amt für Geoinformation automatisch erstellt.

Uznach, 31.07.2017



Niederer + Pozzi Umwelt AG
Thomas Marti



EBP Schweiz AG
Sonja Stocker



Dr. von Moos AG
Hans Rudolf Graf