

**Gemeinde: Vitznau**

# Gefahrenkarte Vitznau

## Technischer Bericht / Anhänge

Grundlagen © GIS Kanton Luzern

<b>Projektleitung:</b>	<b>Trägerschaft:</b>
Verkehr und Infrastruktur vif Abt. Naturgefahren Arsenalstrasse 43 6010 Kriens	Einwohnergemeinde Vitznau 6354 Vitznau

<b>Projektbearbeitung:</b>
 <p><b>KELLER+LORENZ AG</b></p> <p>Geotechnik Hydrogeologie Geologie Naturgefahren Altlasten</p> <p>Tribschenstrasse 61 6005 Luzern 041 310 51 02 buero@keller-lorenz.ch</p> <p><i>beffa tognacca gmbh</i></p>

<b>Bericht Nr.:</b>	<b>Datum:</b>	<b>Geprüft:</b>	<b>Ergänzt:</b>
09 4710	27.03.2012	CB/BK	
File: Technischer_Bericht_final			

*Inhaltsverzeichnis*

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Projektübersicht</b> .....	<b>2</b>
2.1	Vorgehen und Aufgabenkatalog .....	2
2.2	Projektorganisation.....	3
2.3	Untersuchungsperimeter .....	4
<b>3</b>	<b>Beschrieb des Untersuchungsgebiets</b> .....	<b>6</b>
3.1	Geomorphologie.....	6
3.2	Hydrologie .....	7
3.3	Geologie.....	9
3.3.1	Einleitung.....	9
3.3.2	Helvetikum.....	9
3.3.3	Molasse .....	10
3.3.4	Lockergesteine .....	11
3.4	Relevante Naturgefahrenprozesse .....	12
3.4.1	Wasserprozesse.....	12
3.4.2	Rutschungsprozesse .....	13
3.4.3	Sturzprozesse.....	14
3.5	Vegetation .....	18
3.6	Oberflächengewässer.....	18
3.7	Bestehende Schutzmassnahmen .....	19
<b>4</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>21</b>
4.1	Verwendete Literatur .....	21
4.2	Projektspezifische Grundlagen .....	24
4.3	Methoden der Gefahrenerkennung.....	24
4.3.1	Generelles .....	24
4.3.2	Ereigniskataster und Personenbefragungen .....	24
4.3.3	Karte der Phänomene.....	26
4.4	Methoden der Gefahrenbeurteilung .....	26
4.4.1	Szenarien .....	26
4.4.2	Intensitätskarten und Gefahrenkarte.....	27
<b>5</b>	<b>Gefahrenerkennung und -beurteilung</b> .....	<b>32</b>
5.1	Vorgehen.....	32
5.2	Feldbeobachtungen.....	32
5.2.1	Lättitobel.....	32

---

5.2.2	Chalibach .....	33
5.2.3	Altdorfbach .....	34
5.2.4	Mülibach .....	34
5.2.5	Plattebach .....	35
5.2.6	Widibach.....	35
5.2.7	Stuckibach.....	35
5.2.8	Speuzibach.....	36
5.2.9	Wilen / Hinter Lützelau.....	36
5.2.10	Oberschwande .....	36
5.2.11	Ober Nas .....	36
5.3	Szenarien Feststoffpotenzial.....	37
5.4	Szenarien Rutschungsprozesse .....	37
5.5	Szenarien Sturzprozesse.....	40
5.6	Szenarien Wasserprozesse .....	41
5.6.1	Hochwasserabflussmengen.....	41
5.6.2	Überschwemmung.....	44
5.6.3	Übermürung .....	46
5.6.4	Seehochwasser .....	49
5.6.5	Zusammenfassung .....	49
<b>6</b>	<b>Plausibilisierung der Gefahrenhinweiskarten .....</b>	<b>51</b>
6.1	Einleitung.....	51
6.2	Wasserprozesse.....	51
6.3	Rutschungen .....	51
6.4	Sturzprozesse .....	52
6.5	Lawinenprozesse.....	52
<b>7</b>	<b>Schutzziele und Schutzdefizitanalyse.....</b>	<b>53</b>
7.1	Vorgehen.....	53
7.2	Resultate .....	53
7.2.1	Schutzdefizite Sturzprozesse.....	53
7.2.2	Schutzdefizite Rutschungsprozesse .....	53
7.2.3	Schutzdefizite Hochwasserprozesse .....	54
<b>8</b>	<b>Massnahmenvorschläge / -Planung.....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>Gültigkeit der Gefahrenkarte .....</b>	<b>58</b>

**Anhang**

- Anhang 1 Ereigniskataster.
- Anhang 2 Schutzbautenkataster.
- Anhang 3 Szenarien Rutschungsprozesse.
- Anhang 4 Szenarien Sturzprozesse.
- Anhang 5 Genereller Beschrieb Szenarien Wasserprozesse / Feststoffpotenziale.
- Anhang 6 Szenarienblätter Wasserprozesse / Feststoffpotenziale. Tabellen.
- Anhang 7 Situation Bemessungspunkte / potenzielle Einzugsgebiete für Feststoffe, Blatt Nord 1 : 10'000.
- Anhang 8 Situation Bemessungspunkte / potenzielle Einzugsgebiete für Feststoffe, Blatt Süd 1 : 10'000.
- Anhang 9 Massnahmenvorschläge Rutschungs-, Sturz und Wasserprozesse.

**Beilagen**

- Beilage 1 EIDGEN. FORSCHUNGSANSTALT WSL (2011): Obergutachten. Chalibach Vitznau, Kanton Luzern: Bericht zur Festlegung der möglichen Geschiebefrachten bei Wildbachereignissen. – Gutachten i.A. Kanton Luzern, Verkehr und Infrastruktur (vif), Abt. Naturgefahren, dat. 20.10.2011.
- Beilage 2 KELLER + LORENZ AG / BEFFA TOGNACCA GMBH (2011): Überarbeitung Gefahrenkarte Vitznau. Kurzugutachten Szenarien Altdorfbach. - Kurzugutachten vom 03.10.2011.
- Beilage 3 KELLER + LORENZ AG / BEFFA TOGNACCA GMBH (2011): Überarbeitung Gefahrenkarte Vitznau. Grundlagen Chalibach. – Kurzugutachten vom 06.10.2011.
- Beilage 4 NDR CONSULTING GMBH (2011): Murgangbeurteilung Vitznau. Geschiebeaufkommen Altdorfbach. - Gutachten vom September 2011.

## **Planbeilagen**

### *Karte der Phänomene*

01 / 09 4710 Karte der Phänomene 1 : 5'000.

### *Gefahrenkarten*

02 / 09 4710 Gefahrenkarte Wasserprozesse, 1 : 5'000.

03 / 09 4710 Gefahrenkarte Rutschungsprozesse, 1 : 5'000.

04 / 09 4710 Gefahrenkarte Sturzprozesse, 1 : 5'000.

05 / 09 4710 Synoptische Gefahrenkarte mit Gefahrenhinweiskarte, 1 : 5'000.

### *Intensitätskarten*

06 / 09 4710 Wasserprozesse, Wiederkehrperiode 0 – 30 J., 1 : 5'000.

07 / 09 4710 Wasserprozesse, Wiederkehrperiode 30 – 100 J., 1 : 5'000.

08 / 09 4710 Wasserprozesse, Wiederkehrperiode 100 – 300 J., 1 : 5'000.

09 / 09 4710 Rutschungsprozesse, Wiederkehrperiode 0 – 30 J., 1 : 5'000.

10 / 09 4710 Rutschungsprozesse, Wiederkehrperiode 30 – 100 J., 1 : 5'000.

11 / 09 4710 Rutschungsprozesse, Wiederkehrperiode 100 – 300 J., 1 : 5'000.

12 / 09 4710 Sturzprozesse, Wiederkehrperiode 0 – 30 J., 1 : 5'000.

13 / 09 4710 Sturzprozesse, Wiederkehrperiode 30 – 100 J., 1 : 5'000.

14 / 09 4710 Sturzprozesse, Wiederkehrperiode 100 – 300 J., 1 : 5'000.

### *Schutzdefizitkarte*

15 / 09 4710 Schutzdefizitkarte, 1 : 5'000.

## 1 EINLEITUNG

Die Gefahrenkarte Vitznau (ARGE GEOTEST AG, FORSTINGENIEURBÜRO BERWERT-LOPES 2004) wurde im Jahr 2004 fertiggestellt sowie im Juni 2007 ergänzt und revidiert, wobei die teils neuen Erkenntnisse aus den verheerenden Starkniederschlägen von Ende August 2005 mit zahlreichen Rutschereignissen und Gerinnemuren nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Zudem wurde bei der damaligen Gefahrenbeurteilung allfälligen Prozessen und Quellgebieten ausserhalb des Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe teilweise nicht gebührende Beachtung geschenkt. Sowohl historische als auch aktuelle Ereignisse (z.B. Plattebach Kap. 5.2.5) zeigen, dass solche weit ausserhalb des Siedlungsgebiets entstehende und bis ins Siedlungsgebiet reichende Naturgefahrenprozesse typisch für das Gemeindegebiet von Vitznau sind und diese folglich für die Gefahrenkartenbearbeitung zwingend zu berücksichtigen sind. Weiter finden sich in der aktuellen Gefahrenkarte Gefahrenstufen ausserhalb des eigentlichen Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe. Basierend auf diesen neuen Erkenntnissen wurde entschieden, die bestehende Gefahrenkarte zu überarbeiten.

Der Prozess Lawinen ist für die Gebiete innerhalb des Gefahrenkarten-Perimeters nicht relevant und wird folglich auftragsgemäss nicht behandelt. Für die zusammen mit der zu bearbeitenden synoptischen Gefahrenkarte dargestellte, plausibilisierte Gefahrenhinweiskarte werden daher für Lawinenprozesse die Gefahrenhinweise der Erstbearbeiter ungeprüft übernommen.



**Abb. 1** Übersicht des Gemeindegebiets von Vitznau vom Bürgenstock aus gesehen.

## 2 PROJEKTÜBERSICHT

### 2.1 VORGEHEN UND AUFGABENKATALOG

Die erste Phase war der Verifikation der bestehenden Gefahrenkarten Rutschungen, Sturz- und Wasserprozesse gewidmet, wobei es diejenigen Prozesse und Quellgebiete zu identifizieren galt, bei denen Unzulänglichkeiten oder Abweichungen offensichtlich oder zu erwarten waren. In einer zweiten Phase wurden dann diejenigen Prozesse und Prozessräume überarbeitet, bei denen signifikante Änderungen in der Gefahrenbeurteilung und damit auch in der Gefahrenkarte zu erwarten waren.

Der Überarbeitung wurde der Perimeter der Erstbearbeitung mit hoher Bearbeitungstiefe zu Grund gelegt, da dieser bereits dem aktuellen Stand entsprechend das ganze Siedlungs- und Bauerwartungsgebiet umfasst. Dieser Perimeter wurde dem Auftrag des kantonalen Strasseninspektorats KSI folgend um zwei Teilflächen entlang der Kantonsstrasse K2b ergänzt (vgl. Kapitel 2.3).

Zur Verifikation und zur Überarbeitung (Rutschungen) der Gefahrenkarten sind Befragungen von mit Naturgefahren im Gemeindegebiet vertrauten Personen, Archivarbeiten (insbesondere Archiv Keller + Lorenz AG, historische Literatur) und Feldbegehungen durchgeführt worden. Danach erfolgte eine Ergänzung der Ereigniskataster, insbesondere unter Einbezug der jüngsten, von der Firma Keller + Lorenz AG bereits erfassten Ereignisse im 2005 und 2007 sowie des Chalibachs 2009.

Die neuen Erkenntnisse wurden zusammen mit den Grundlagen der Erstbearbeitung in der Karte der Phänomene dargestellt.

Die Gefahrenbeurteilung des Plattebachs erfolgte im Rahmen des „Integralen Schutzprojekts Plattebach“ und ist in die überarbeitete Gefahrenkarte integriert.

Im Verlaufe der Bearbeitung wurde deutlich, dass den Wasserprozessen – insbesondere den Übersarungen und Murgängen – der zahlreichen Bäche auf dem Gemeindegebiet eine übergeordnete, von den Erstbearbeitern 2004/2007 teils stark unterschätzte Bedeutung zukommt.

Um die neuen, teilweise kritischen Erkenntnisse verifizieren und überprüfen zu können, hat der Kanton dem Bearbeitungsteam Keller+Lorenz AG / beffa tognacca gmbh für die Wasserprozesse eine externe Beraterin in der Person von Frau Gaby Hunziker (Hunziker Gefahrenmanagement, Kerzers) beigelegt, die überdies die Arrondierung der Wasserprozesse vorgenommen hat.

Für den sehr komplexen Chalibach schliesslich wurde zur Sicherstellung der Resultate durch die Eidgen. Forschungsanstalt WSL ein Obergutachten erstellt (EIDGEN. FORSCHUNGSANSTALT WSL 2011), das den von der Keller + Lorenz AG / beffa tognacca neu erarbeiteten Erkenntnissen und Folgerungen weitgehendst zustimmte.

Basierend auf den gewonnenen Kenntnissen aus den Befragungen, dem Studium vorhandener Unterlagen sowie den Feldbegehungen und der Expertenmeinungen wurden für

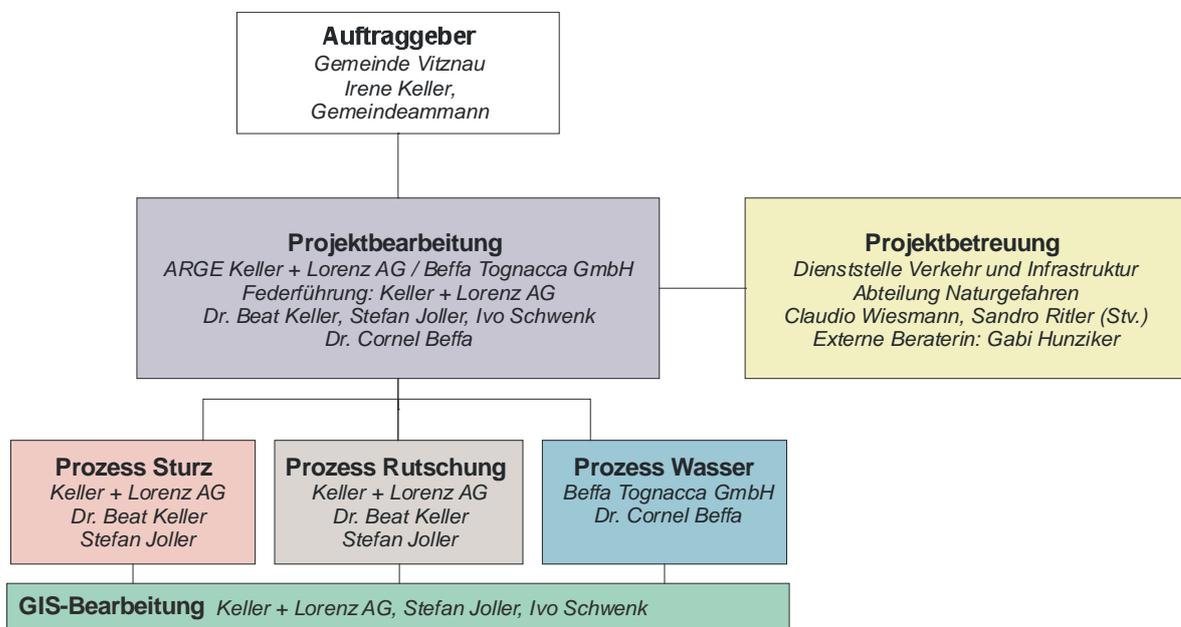
die Prozesse Rutschungen, Sturz und Wasser (inkl. Szenarien bezüglich des Feststoffeintrages in die einzelnen Bäche) entsprechende Szenarien erarbeitet, die an gemeinsamen Sitzungen mit Vertretern der Gemeinde und der Abteilung Naturgefahren der Dienststelle vif präsentiert und verifiziert wurden.

Aus den bereinigten Gefahrenkarten der drei Hauptprozessen Rutschung, Sturz und Wasser wurde die synoptische Gefahrenkarte für die Gemeinde Vitznau generiert. Einhergehend mit diesem Bearbeitungsschritt wurde auch die bestehende Gefahrenhinweiskarte überprüft und in die synoptische Gefahrenkarte integriert.

In einem nächsten Schritte wurde aus den bereinigten Intensitätskarten eine angepasste Schutzdefizitkarte erstellt. Die Ergebnisse der Neubearbeitung der Gefahrenkarte sind im vorliegenden Erläuterungsbericht zur Gefahrenkarte niedergeschrieben, der auch Massnahmenvorschläge zu neu erkannten Schutzdefiziten auf dem Gemeindegebiet beinhaltet.

## 2.2 PROJEKTORGANISATION

Auftraggeber der Überarbeitung der Gefahrenkarte ist die Gemeinde Vitznau. Die Projektbetreuung obliegt beim Kanton Luzern, Dienststelle Verkehr und Infrastruktur vif, Abteilung Naturgefahren. Als externe Beraterin des vif zeichnet Frau Gaby Hunziker (Hunziker Gefahrenmanagement, Kerzers). Die Überarbeitung der Gefahrenkarte Vitznau oblag den Firmen Beffa Tognacca GmbH und Keller + Lorenz AG (Federführung).



**Abb. 2** Organigramm zur Überarbeitung der Gefahrenkarte Vitznau.

### 2.3 UNTERSUCHUNGSPERIMETER

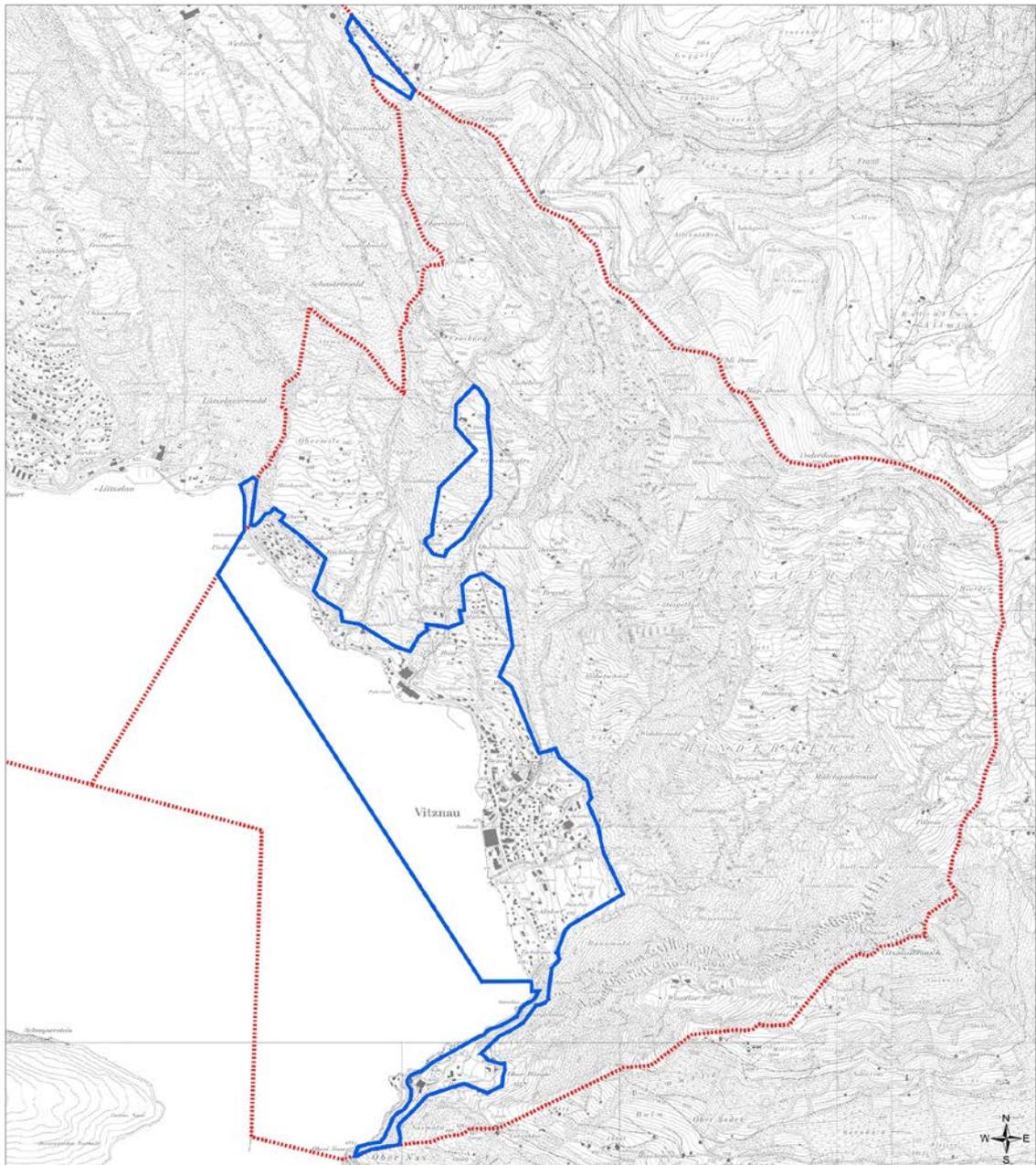
Gemäss kantonaler Vorgaben (Kanton Luzern, Dienststelle Landwirtschaft und Wald la-wa, 2008) hat eine Gefahrenkarte mindestens das Siedlungsgebiet (Bauzonen, Bauerwartungsgebiet) sowie Objekte, die einen besonderen Schutz vor Naturgefahren erfordern, zu umfassen.

Der Untersuchungsperimeter (Abb. 3) für die Überarbeitung der Gefahrenkarte Vitznau richtet sich nach dem Perimeter der Erstbearbeitung und umfasst das Hauptsiedlungsgebiet entlang des Vierwaldstättersees zwischen Unterwilen im NW und Altdorf-Tschuepis im SE. Weiter werden darin auch die höher gelegenen Siedlungsgebiete Mittlerschwande, Teufibalm und Rigi First sowie das im SE gelegene Gebiet Bürgle beurteilt.

Ergänzt wird dieser Untersuchungsperimeter durch die vorab hinsichtlich Sturzprozesse exponierte Kantonsstrasse K2b in den Abschnitten Hinter Lützelau – Laussegg sowie Tschuepis – Ober Nas (Kantonsgrenze LU/SZ).

Auch im Gebiet Hinter Lützelau /Sparren reichen Sturz- und Rutschprozesse mit Quellgebieten in den bergseitigen Felswänden und Steilböschungen bis auf die talseits verlaufende Kantonsstrasse K2b, die hier bis auf das Gemeindegebiet Weggis reicht. Daher wurde der Untersuchungsperimeter in diesem Abschnitt über die Gemeindegrenze von Vitznau hinaus ausgedehnt. Für diesen Bereich wurde für den Prozess Sturz die Daten der bestehenden Gefahrenkarte Weggis (INGENIEURE BART AG ET AL. 2008) übernommen, die hier auf früheren Beurteilungen der Firma R. MENGIS + H.G. LORENZ AG (1993B) basiert. Die Beurteilung des in diesem Gebiet ebenfalls wirksamen Prozesses Rutschung erfolgte durch die Keller + Lorenz AG.

Ausserhalb dieses engeren Untersuchungsgebiets für die Gefahrenkarte wurde die bestehende Gefahrenhinweiskarte verifiziert und ergänzt. Weiter mussten zahlreiche Quellgebiete von Prozessen ausserhalb des Gefahrenkartenperimeters analysiert und beurteilt werden, deren potenzielle Wirkungsräume bis ins Siedlungsgebiet reichen, woher der schlussendlich bearbeitete und untersuchte Perimeter faktisch einen Grossteil des Gemeindegebiets umfasste.

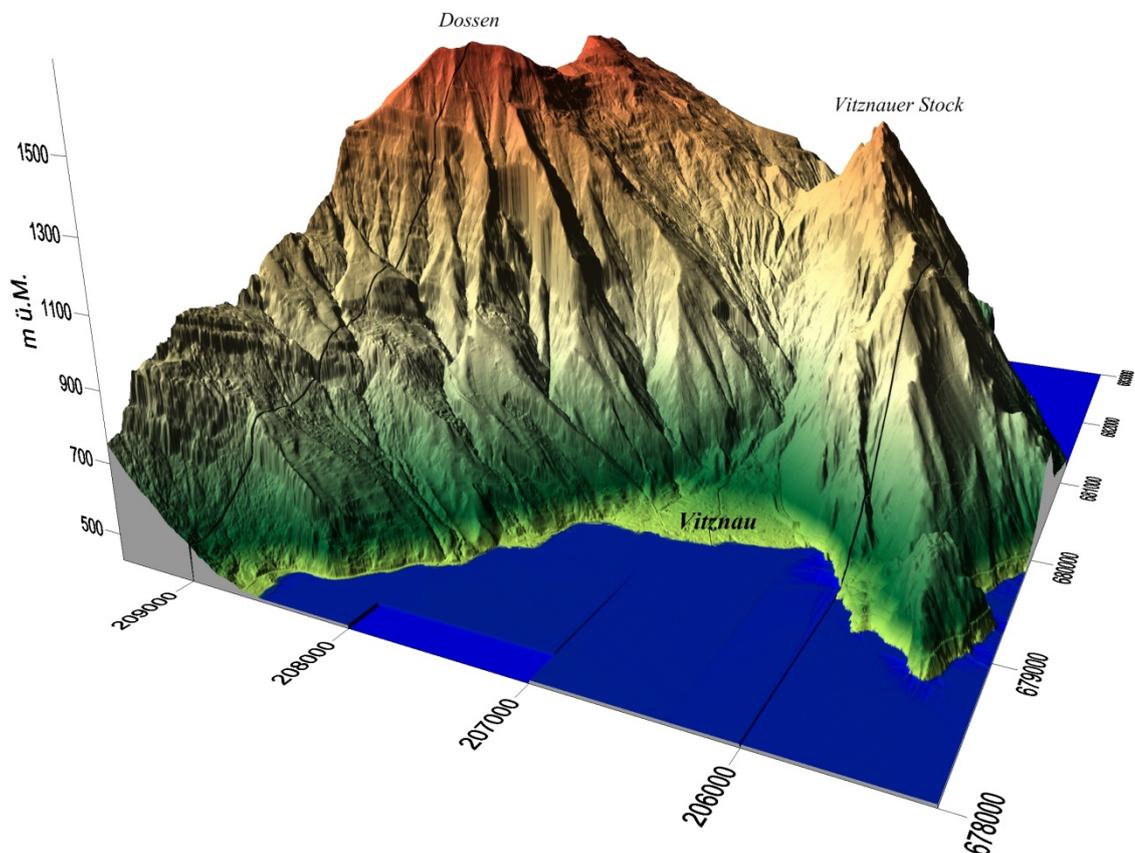


**Abb. 3** Kartografische Darstellung des Perimeters der Gefahrenkarte (blau) als Teilgebiet des Gemeindegebiets (rot). Der eigentliche Untersuchungsperimeter aber umfasste im Wesentlichen auch die Quellgebiete der im Siedlungsraum potenziell wirksamen Prozesse und somit weite Teile des Gemeindegebiets (Kartengrundlage GIS Kanton Luzern 2011).

### 3 BESCHRIEB DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS

#### 3.1 GEOMORPHOLOGIE

Das Gemeindegebiet von Vitznau erstreckt sich über die mehrheitlich steilen, durch Felsbänder durchsetzten, in etwa SW-exponierten Abhänge von Rigi Dossen und die ebenso steilen W- bis NW-exponierten Abhänge und Felswände des Vitznauer Stocks (Abb. 4). Die Geländeneigungen in diesen Gebieten betragen generell  $> 20^\circ$ , meist sogar  $> 30^\circ$ . Zwischen diesen beiden markanten Erhebungen findet sich das Fälmisegg, welches als ausgeprägte Geländeeinsattelung einen Übergang nach Gersau bildet.



**Abb. 4** Das zweifach überhöhte Terrainmodell (Auswertung Keller + Lorenz AG) veranschaulicht die sehr spezielle topografische Lage von Vitznau - umgeben von Steilhängen, die trichterartig zum Siedlungsgebiet hin abfallen. Aus dieser Darstellung wird auch deutlich, dass die Quellen der im Siedlungsraum potenziell wirksamen Naturgefahrenprozesse häufig weit ausserhalb des Siedlungsraums gelegen sind.

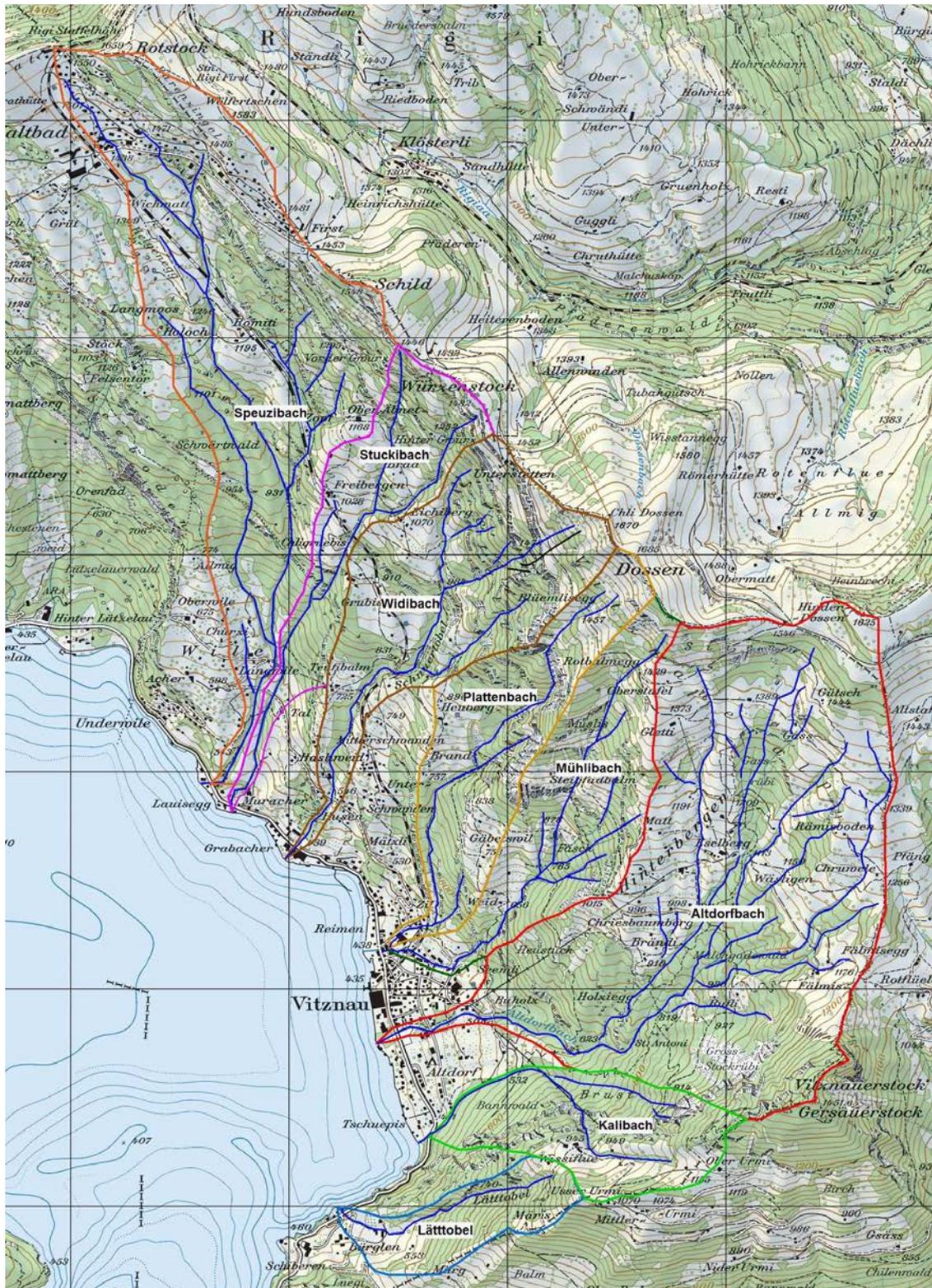
Das Hauptsiedlungsgebiet erstreckt sich über ein maximal ca. 500 m breites, generell weniger als 20° steiles Band entlang des Seeufers am Fusse obengenannter Abhänge. Schon BUXTORF ET AL. (1916) bemerkten, dass der Untergrund der wenig geneigten Siedlungsgebiete „im Wesentlichen von den Schuttmassen der vom Rigi und Vitznauer-Stock niedergegangenen, meist von Murgängen begleiteten Bergschlipfe und –stürze gebildet“ wird.

Diese Prognose wird durch neue Untersuchungen an Bohrungen und Baugrubenaufschlüssen bestätigt: Diese zeigen, dass es sich beim Schwemmkegel, auf dem das Dorf situiert ist, um einen fluviatil (durch die Bäche) überprägten Murgang-Fächer handelt, der sich seit der Eiszeit zur Hauptsache durch zahlreiche Murgänge aufgebaut hat.

### 3.2 HYDROLOGIE

Die Hydrologie der Bäche wurde hinsichtlich Abflussbildung bei Hochwasser untersucht (vgl. Abb. 5). Die Grösse der Einzugsgebiete liegt zwischen 0.25 km<sup>2</sup> (Lättitobel resp. Bürglebach) und 2.6 km<sup>2</sup> (Altdorfbach). Es handelt sich somit um vergleichsweise kurze und steile Gewässer mit kleinen Einzugsgebieten, welche die höchsten Abflussspitzen i.d.R. nach sommerlichen Schauerniederschlägen erreichen. Das Gewässernetz ist entsprechend relativ dicht: Die beitragende Einzugsgebietsfläche beträgt 60% bis 80% der Gesamtfläche.

Gemäss Bodeneignungskarte werden die Böden von Kalibach und Lättitobel zum Typ Rendzina (flachgründige Böden auf karbonathaltigem Gestein) zugeordnet. Bei den übrigen Einzugsgebieten handelt es sich vor allem um Regosole (Böden auf jungem und kalkarmem Lockgestein). Die Böden sind allgemein flachgründig und weisen ein geringes bis sehr geringes Wasserspeichervermögen auf mit normaler Wasserdurchlässigkeit. Unsere Beobachtungen im Raum Rigi zeigen, dass die Böden hier aber örtlich tonreich und entsprechend gering durchlässig sein können.



**Abb. 5** Übersicht über die untersuchten Einzugsgebiete der Wildbäche (Grundlage LK 1:25'000) in Vitznau.

### 3.3 GEOLOGIE

#### 3.3.1 Einleitung

Das Dorf Vitznau liegt im Bereich der wichtigsten tektonischen Hauptüberschiebung am Nordrand des Alpengebirges, wurden doch hier die älteren alpinen Decken - das Helvetikum - von Süden her auf die jüngere Molasse-Decke der Rigi aufgeschoben. Der südlich von Vitznau gelegene Vitznauer Stock und seine östliche Fortsetzung, die Hochflue, werden der Helvetischen Randkette zugeschrieben, die sich über Bürgenstock und Pilatus nach Westen fortsetzt. Die Rigi selbst gehört zur aufgeschobenen Subalpinen Molasse und bildet eine eigene Decke.

#### 3.3.2 Helvetikum

Die Nordwestabdachung des Vitznauer Stocks mit seinen stark zergliederten, steil abfallenden Felswänden bildet den äussersten Rand der Helvetischen Decken.

Angesichts der gewaltigen gebirgsbildenden Kräfte erstaunt es nicht, wenn die Gesteine entlang dieser bedeutsamen tektonischen Bewegungsfläche mechanisch stark deformiert und durch eine Vielzahl von Brüchen, Klüften und Spalten zerlegt sind.

Der Vitznauer Stock selbst ist aus zwei übereinander geschobenen, tafelförmigen Hauptschuppen (sog. Teildecken) aufgebaut, die selbst wieder aus kleineren Schuppen und Schollen mit zahlreichen sekundären Bruchsystemen bestehen. Die Schichten fallen unterschiedlich steil mit  $30^\circ \div 50^\circ$  generell gegen SW hin ein und streichen damit schräg zum Bergkamm des Vitznauer Stocks.

Im Süden der "Bäreflue" - im Bereich des "Lättobels" - liegt dann die Aufschiebungsfläche, die die zwei Teildecken begrenzt. Auch diese steil nach SE einfallende Überschiebung ist von flach einfallenden Auf- und Abschiebungen begleitet.

Die Helvetische Randkette am Vitznauer Stock umfasst eine recht vollständige Schichtreihe der Kreide und des Tertiärs. Innerhalb der Teildecken ist die Schichtserie normal liegend, das heisst die ältesten Gesteine liegen unten, die jüngsten oben.

Im Bereich "Bäreflue" – "Chalchtere" gehören die ältesten Gesteine im tiefsten Teil der Felswände der Betlis-Kalk Formation an, die unten aus dünn gebankten Mergelkalken und schieferigen Kalkmergeln (Spitzern-Schichten), oben aus dickbankigen Kalken besteht (eigentl. Betlis-Kalk, ca. 25 m mächtig). Darüber folgen die durch ihre regelmässige Feinbankung auffallenden Kieselkalke in einer Mächtigkeit von ca. 120 m, die ihrerseits von ca. 30 m dickbankigen Kalken der Kieselkalk-Echinodermenbreccie überlagert werden. Diese beiden Schichtglieder des Helvetischen Kieselkalkes bilden an der Nordwestabdachung des Vitznauer Stocks jeweils das untere, hell bräunlichgraue Felsenband. In dessen Dach liegen dann die im Gelände zurückwitternden und bewaldeten, ca. 75 m mächtigen Kalkmergel der Drusberg-Formation. Darüber folgt der ca. 120 m mächtige Schrat-

tenkalk, der das hellere und sehr steile obere der zwei Felsenbänder bildet. Auf dem Schrattenkalk liegen dann, ebenfalls zurückwitternd, die Gesteinsserien der Garschella-Formation ("Helvetischer Gault"), der Seewer Formation und des Tertiärs.

Der intensive Zerlegungsgrad des Felskörpers führte seit der Freilegung der Felswände nach dem Abschmelzen der eiszeitlichen Gletscher zu einem andauernden intensiven Steinschlag und häufigen Felsstürzen. Der Erosionsschutt bildet am Fusse der Nordwestabdachung des Vitznauer Stocks eine mächtige, 100 ÷ 200 m breite Sturzhalde. Südöstlich von "Tschuepis" werden die ENE-WSW verlaufenden Felswände von einer NE-SW gerichteten Störungszone mit steilstehenden Brüchen durchschnitten. Entlang dieser Störungszone ist der Gesteinsverband zusätzlich geschwächt, weshalb die Felswand in diesem Bereich stärker abgetragen ist und sich eine trichterförmige Steinschlagrinne ausbildete, die von bastionsartigen Felsvorsprüngen - einer davon ist der "Gafel Fels" - umgeben ist. Am Fusse dieser Steinschlagrinne - in der "Chalchtere" - baute sich in der Schutthalde ein morphologisch leicht hervortretender und gegen das ehemalige Strandbad hinunter verlaufender Sturz- oder Schuttkegel auf. Auf diesem akkumulierten über dem Felskern mehr als 35 m Felssturz- und Steinschlagschutt. Der Böschungswinkel der Schutthalde variiert je nach Lage zwischen 25° und 35°, derjenige des Schuttkegels ist mit ca. 35° ÷ 37° steiler.

Aufgrund der heutigen Bedeckung des Sturzkegels mit reichlich groben Steinen und Blöcken kann dieser als sog. **Felssturzkegel** klassiert werden, womit auch hier eine andauernde Felssturzaktivität an der Nordwestabdachung des Vitznauer Stocks angezeigt wird.

### 3.3.3 Molasse

Der geologische Untergrund im Gebiet der Rigi wird der sogenannten Subalpinen Molasse zugerechnet, die im Bereich von Vitznau aus den knapp 30 Millionen Jahre alten Ablagerungen der Unteren Süsswassermolasse besteht. Die Untere Süsswassermolasse im Gebiet der Rigi ist überwiegend aus massig gebankten Konglomeraten (Nagelfluh) aufgebaut. Diesen bis mehrere Dekameter mächtigen Nagelfluhbänken sind in unregelmässigen Abständen Sandsteine, Siltsteine und Mergel in geringeren Mächtigkeiten von bis einigen Metern zwischengeschaltet. Gesamthaft handelt es sich bei der vorliegenden Gesteinsvergesellschaftung um Ablagerungen des gewaltigen Rigi-Schuttfächers, der sich vor rund 30 Millionen Jahren am Nordfuss der damaligen Alpen aufbaute.

Durch die Alpenfaltung wurden die ursprünglich nahezu horizontal abgelagerten Gesteinsschichten von Süden her auf das Mittelland (Molasse-Becken) aufgeschoben, weshalb die Schichten heute mit knapp 20° gegen SSE hin einfallen.

Die mechanische Beanspruchung im Verlaufe dieser tektonischen Bewegungen führte aber auch zur Ausbildung eines ausgeprägten Bruch- und Kluftsystems, das das ganze Gebirge durchzieht. Besonders markant und intensiv ist die Klüftung in den harten, spröde de-

formierten Nagelfluhbänken, in denen bei grösseren Öffnungsweiten häufig auch eigentliche Spalten auftreten.

Die ungünstige Disposition des Rigi-Gebiets mit Neigung zu Schlipfstürzen (Typ Rossberg) wurde während der Eiszeiten angelegt, in dem die nach SSE geneigte Schichtung talseits verbreitet erosiv unterschritten worden ist: Durch Bewegungen auf den geneigten Schichtrennflächen (meist verwitterte Silt- und Schlammsteine) werden auch die ausgeprägten orthogonalen Kluft- und Spaltensysteme aktiviert, wodurch Felspakete unterschiedlichster Grösse destabilisiert und talwärts geleiten oder stürzen können (vgl. auch Kap. 3.4.3.2.2).

### 3.3.4 Lockergesteine

Die Südabhänge der Rigi sind verbreitet mit unterschiedlich verlehmttem Hangschutt bedeckt, bestehend aus unterschiedlich tonig-siltigen, oft scheinkohäsiven Sanden mit reichlich bis viel Kies, vielen Steinen und Blöcken – meist als Umlagerungsprodukte gravitativer Prozesse (Sturz, Rutsch). Örtlich finden sich Moränenablagerungen (bis auf eine Höhe von ca. 1200 m ü.M.) mit teils mehreren Kubikmeter grossen Findlingen („Geissberger“) und stellenweise vergesellschaftet mit randglazialen Kies-Sand-Ablagerungen. Die Mächtigkeit dieser Lockergesteinsbedeckung variiert mit den vorliegenden Geländeneigungen von zwischen wenigen Metern bis über einen Dekameter.

Der Hangfuss vom Vitznauer-Stock hin zur Wissiflue ist gesäumt von ausgedehnten Steinschlag-Sturzhalden aus siltigem Kies mit vielen und Steinen und Blöcken. Dazu gesellen sich verbreitet feinanteilreiche Zwischenschichten aus Murgang- und Schuttstromablagerungen. Die Neigungen dieser Sturzhalden liegen meist im Bereich der Winkel der inneren Reibung des Schutts, so dass dieses längerfristig entsprechend labil ist.

Das eigentliche Dorf Vitznau ist auf dem ausgedehnten Schwemmfächer des Altdorfbachs und seiner Nebenbäche gelegen. Genetisch ist dieser Schwemmfächer als Murgangfächer zu interpretieren (KELLER + LORENZ AG / BEFFA TOGNACCA GMBH 2011), d.h. der massgebliche Bildungsprozess sind Murgänge. An dessen Aufbau sind verschiedenartige Typen von Murgängen (fein- bis grobkörnige) beteiligt, die auf recht unterschiedliche Quellen, Transport- sowie Erosions- und Ablagerungsverhalten hinweisen.

Die Ablagerungen des Schwemmfächer bestehen zu einem grossen Teil aus geschichteten, siltigen bis stark siltigen Kies-Sand-Gemischen sowie stark siltigen Sanden mit variablen Kiesanteilen, die Geologen als Diamiktite<sup>1</sup> bezeichnen. Blocklagen zeugen von Schuttströmen oder grösseren Fels- oder Bergsturzereignissen. Kiesige Bachablagerungen treten untergeordnet und vermutlich eher randlich des Fächers auf.

---

<sup>1</sup> Diamiktit: Unsortiertes oder schlecht sortiertes Korngemisch Kies-Sand-Silt/Ton, meist als Kies in einer Schlammmatrix aus stark tonig/siltigem Sand. Diamiktite sind meist Schlamm-/Schuttstromablagerungen oder Moränen.

## 3.4 RELEVANTE NATURGEFAHRENPROZESSE

### 3.4.1 Wasserprozesse

*Modifiziert aus: Bundesämter für Raumplanung, Wasserwirtschaft sowie Umwelt, Wald und Landschaft (1997).*

**Überschwemmung:** Als Überschwemmung gilt der Austritt von Wasser aus einem natürlichen oder künstlichen Gerinnebett, bzw. eine Ausuferung stehender Gewässer. Mit dem Wasser können mehr oder weniger Feststoffe mittransportiert und abgelagert werden. Mögliche Folgeprozesse sind: Verklausungen durch Schwemmholz und Geschiebe an Bauwerken oder im Bereich von natürlichen Engstellen, Versagen von Hochwasserschutzbauten (z.B. Bruch von Leitwerken / Schutzdämmen).

**Übersarung:** Bezeichnet die Ablagerung von Schutt und Geröll, welche vom Wasser verfrachtet wurden. Dieser Vorgang wird nicht als eigene Gefahrenart aufgeführt, da er immer mit einer dynamischen Überschwemmung verbunden ist.

**Ufererosion:** Wird an den Gerinneufeln der Böschungsfuss erodiert, kommt es zu einem Abgleiten der Böschungen. Diese häufig durch Tiefenerosion der Gerinnesohle ausgelösten Rutschungen können weit ausgreifen.

**Verlagerung des Flussbetts:** Bäche und Flüsse können bei extremen Hochwasser ihr Bett verlassen und sich ein neues Gerinne schaffen. Bei alpinen Flüssen ist damit oft ein Regimewechsel verbunden, von einem sinusförmigen Einzelgerinne hin zu einem verzweigten Gerinne (braided river). Gemäss Regimebetrachtungen (MILLAR 1999) hängt dies primär ab vom Gefälle des Gerinnes, der Korngrösse des Sohlenmaterials, dem Reibungswinkel der Ufersedimente und dem Abfluss. Während Gefälle und Korngrössen i.d.R. gegeben sind, wird die Stabilität der Ufer durch Verbauungen erhöht. Ein Gerinne, das im natürlichen Zustand zum Verzweigen tendiert, wird so am Regimewechsel gehindert. Bei einem Versagen der Verbauungen, beispielsweise während Hochwasser, kann wieder der "natürliche" niedrigere Reibungswinkel massgebend werden, was bei ausreichendem Abfluss einen Regimewechsel einleitet.

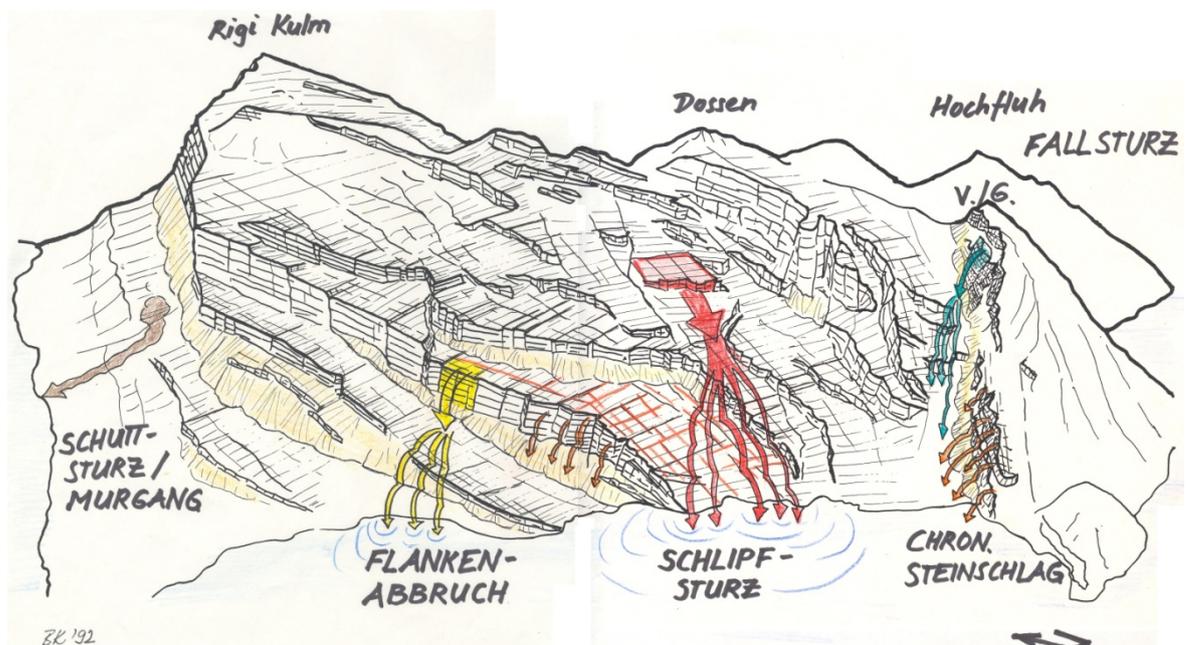
**Übermürung:** Als Murgang werden Gemische aus Feststoffen und Wasser bezeichnet. Der Volumenanteil der Feststoffe beträgt 30% bis 70%. Murgänge können in steilen Wildbächen mit über 15% Längsgefälle auftreten. Mögliche Entstehungsarten sind progressive Erosion oder seitliche Feststoffeinträge (Rutschungen), welche sich Verflüssigen. Der Abfluss von Murgängen erfolgt meist schubweise und kann ein Vielfaches der normalen Hochwasserabflüsse erreichen. Ein Murgang verlässt bei Gefällsknicken häufig das übliche Gerinne und breitet sich aus, so auch auf dem Murgangfächer des Dorfgebiets. Die Ablagerungen von Murgängen werden als Übermürung bezeichnet.

### 3.4.2 Rutschungsprozesse

**Permanente Rutschung:** „Rutschung, die sich über lange Zeiträume gleichmässig hangabwärts bewegen. Die Bewegungen erfolgen entweder längs mehr oder weniger deutlich ausgebildeter, bestehender Gleitflächen oder längs Zonen verstärkter Scherdeformation (ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE UND NATURGEFAHREN AGN 2004).“

**Spontanrutschung:** Tendenziell flachgründige Rutschung (Tiefe der Gleitfläche max. 2 m), die bei ausserordentlichen Niederschlagsereignissen spontan losbricht. Die Prozessdauer und das umgelagerte Feststoffvolumen sind – im Gegensatz zu Permanententrutschungen - beschränkt. Es sind Übergangsformen zur *Kriechbewegung* (langsame Verformung des Rutschkörpers in sich selbst ohne eigentliche Gleitfläche) möglich. Bei entsprechendem Wasseranfall kann sich ein Rutschkörper – als eine Übergangsform zur Hangmure – teilweise verflüssigen unter Ablagerung eines Schuttkegels im Auslaufbereich. Bei blockreichen Rutschungen ist aus herausgelösten Blöcken des Stirnbereichs in ausreichend steilem Gelände ab und zu auch Steinschlag (meist rollend oder hüpfend) möglich.

**Hangmure:** Bei sehr hoher Wassersättigung, z.B. bei anhaltenden Niederschlägen, kann sich aus einer Rutschung durch Liquefaktion (=Verflüssigung) eine Hangmure entwickeln. Eine der Liquefaktion vorausgehende Rutschbewegung kann u.U. nur minimale Beträge von wenigen cm aufweisen. Dies bedeutet in den meisten Fällen, dass die End-Intensität bereits im Anrissbereich erreicht wird.



**Abb. 6** Übersicht der massgebenden Sturz- und Rutschungsprozesse im Gebiet der Rigi (KELLER 1992, unpubliziert).

### 3.4.3 Sturzprozesse

#### 3.4.3.1 Erläuterung

Die Klassifikation der Sturzprozesse erfolgt nach der Grösse der Sturzkomponenten, dem Prozessvolumen und den Prozessgeschwindigkeiten. Für die Bearbeitung der Gefahrenkarte finden die offiziellen Definitionen (siehe BUNDESÄMTER FÜR RAUMPLANUNG, WASSERWIRTSCHAFT SOWIE UMWELT, WALD UND Landschaft 1997) Anwendung.

Als Mass der Intensität wird die Sturzenergie [kJ oder kNm] verwendet. Deren Abschätzung erfolgte für die vorliegenden einfachen Fälle aufgrund der Blockgrösse (Masse) und der Translationsgeschwindigkeit bzw. Fallhöhe (Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen, 1999).

Relevant für das Gemeindegebiet ist weiter der Prozess **Schlipfsturz**, bei dem es sich um eine Kombination von primärer Rutschung mit bergsturzartigen Phänomenen handelt. Nach anfänglich langsamer Gleit- und Rutschphase fährt die mobilisierte und sich allmählich zerlegende Masse aus Felsen und Lockergesteinen als lawinenartiger Trümmerstrom mit gewaltiger Energie talwärts. Ein bekanntes Schlipfsturz-Ereignis ist der Goldauer Bergsturz. Quellgebiet dieses Ereignisses war der Rossberg, der eine vergleichbare Disposition wie die Rigi-Südabdachung aufweist: Geneigte Schichtflächen, gut entwickeltes orthogonales Kluftsystem, Wechsellagerung geklüfteter, wasserdurchlässiger Schichten (Nagelfluh, Sandstein) einerseits sowie grundwasserstauender, entfestigter Zwischenschichten (Silt- und Schlammsteine) andererseits, glazial-erosive Schichtunterschnidungen. Auslöser solcher Ereignisse, die sich üblicherweise über längere Zeiträume durch zunehmende Spalten- und Rissbildung ankündigen, sind aussergewöhnliche hydrogeologische Zustände (intensive, langanhaltende Niederschläge, Schneeschmelze, etc.).

Klassifikation nach Grösse bzw. Volumen und Geschwindigkeit der Komponenten	
Steinschlag	$\varnothing < 50 \text{ cm}$
Blockschlag	$\varnothing > 50 \text{ cm}$
Felssturz	
Volumen	100 – 100 000 m <sup>3</sup>
Geschwindigkeit	10 – 40 m/s
Bergsturz	
Volumen	> 1 Mio. m <sup>3</sup>
Geschwindigkeit	> 40 m/s

**Tab. 1** Definition des Prozesses Sturz (aus Bundesämter für Raumplanung, Wasserwirtschaft sowie Umwelt, Wald und Landschaft 1997).

### 3.4.3.2 Ursachen der Steinschlag- und Felssturzgefährdung

#### 3.4.3.2.1 Helvetikum

Die Ursachen für die erhöhte Gefährdung durch Felsbewegungen mit stürzender Talfahrt aus der Nordwestabdachung des Vitznauer Stocks können einerseits auf spezielle geologisch-geomorphologische Bedingungen, andererseits auf lokalklimatische Besonderheiten zurückgeführt werden:

##### *Geologische Faktoren*

- Wechselweiser **Schichtaufbau** aus erosionsbeständigen Kalken (Helvetischer Kieselkalk und Schrattenkalk-Formation) und leichter erodierbaren Mergeln (Vitznau-Mergel, Drusberg-Formation, Orbitolina-Schichten), die teilweise eine bankige Wechsellagerung bilden (jüngere Drusberg-Formation).
- Infolge des nur leicht bergwärtigen Einfallens der Schichten werden die widerstandsfähigen Schichten herausmodelliert, was zu einer **Hangtreppe mit nahezu senkrechten Wandpartien** (Kalke) **und Steilhangpartien** (Mergel) führt. Überdies verursachen die in der Gesteinsabfolge insgesamt dominierenden erosionsbeständigen Kalke wegen ihrer grossen Mächtigkeiten eine starke **Hangversteilung**.
- Die starke tektonische Beanspruchung führte zur Anlage teilweise engständiger **Kluftsysteme mit hohen Zerlegungsgraden** (mittlerer Kluftabstand) überwiegend zwischen 0.2 ÷ 0.6 m. Im verwitterten Aufschluss liegen häufig Zerlegungsgrade zwischen 0.03 ÷ 0.1 m vor.
- Entsprechend dem tektonischen Spannungsfeld haben sich zwei prinzipielle **Bruchsysteme** ausgebildet: Ein erstes, nahezu senkrecht stehendes verläuft ungefähr NNE-SSW, also als Querbrüche mehr oder weniger senkrecht zu den Felswänden der Nordwestabdachung. Das beste Beispiel ist der zurückspringende Schrund des Gafel. Ein zweites, ebenfalls sehr steil einfallendes Kluftsystem streicht von WSW nach ENE und somit nahezu parallel zu den Felswänden.
- Da die Helvetische Randkette während später Phasen der Alpenfaltung unter (tektonisch) spröden Bedingungen deformiert wurde, sind die **Klüfte und Spalten meist offen** und haben teilweise eine Füllung aus Lockergesteinen.
- Vorab im Schrattenkalk, aber auch in den oberen Drusberg-Formation sorgen verkars-tete Kluft- und Spaltensysteme für **gute Wasserwegsamkeiten**. Der Karstwasseranfall ist episodischer Natur, d.h. er springt nur bei aussergewöhnlichen Niederschlägen an und kann zu einer unerwünschten, erheblichen Wasserzufuhr in labile Lockergesteine führen.

### *Lokalklimatische Faktoren*

- Der Vitznauer Stock mit seinem Steilaufschwung stellt sich - als südöstlicher Anhang des Rigi Massivs - den in der Regel von NW über den See herangeführten feuchten Luftmassen als erstes bedeutendes Hindernis in den Weg. Aus diesem Grund reiht sich das Gebiet Rigi - Vitznauer Stock unter diejenigen Regionen des Alpennordrandes mit **häufigen und intensiven Starkniederschlägen**. Als Illustration diene die mit dem Vitznauer Stock vergleichbare Station Rigi Kaltbad mit 3- bis 4-jähriger Wiederkehrperiode von Starkniederschlägen > 85 mm/Tag.
- Im Winterhalbjahr liegt die Nordwestabdachung weitgehend im Schatten, weshalb hier bevorzugt und über längere Zeiträume **Frost-Tau-Zyklen** zerstörend auf die Gesteine wirken.
- Ebenfalls liegt die Nebelgrenze im Winterhalbjahr bei Schönwetterlagen häufig im Bereich der oberen Felswände (ca. 800 bis 1000 m ü.M.), so dass häufig **Schmelzwasser** von den sonnenbeschienenen Hängen der Alpreigion bis in die kühleren tieferen Bereiche der Felswände absickert, wo es gefriert.
- Im Extremfall setzt eine **Schneeschnmelze bei Föhn** täglich Wasser in der Grössenordnung des 30-jährlichen 1-Tages-Niederschlages frei (ca. 120 ÷ 140 mm).

Es ist *das Zusammenspiel all dieser Faktoren*, das an der Nordwestabdachung des Vitznauer Stocks zu andauernder und schnell fortschreitender, tiefgründiger Verwitterung und einer raschen Erosion mit hoher Intensität von Felsbewegungen mit stürzender Talfahrt führt.

#### 3.4.3.2.2 Molasse

Das Gebiet der Rigi ist gesamthaft bekannt wegen seinen recht *häufigen Felsbewegungen mit stürzender Talfahrt*. So sind mehrere Bergstürze (Typ Schlipfstürze, vgl. Kapitel 3.4.3) bekannt, die von periodischen Felsstürzen (Typ Flankenabbrüche) und regelmässigem Steinschlag begleitet werden.

Die Ursachen der Felsbewegungen mit stürzender Talfahrt sind in erster Linie geologischer Natur:

#### *Klüftung*

- Das System offener Klüfte und Spalten verläuft einerseits etwa NNW-SSE und somit annähernd parallel oder leicht schief zu den Felswänden. Ein zweites Kluft- und Spaltensystem ist etwa senkrecht zum ersten angeordnet, streicht etwa ESE-WNW und fällt steil gegen NNW hin ein. Die Kluftabstände in den Konglomeraten betragen häufig zwischen 1 m bis 5 m. Zu diesen beiden Hauptsystemen gesellen sich oberflächen-, respektive felswandparallele Verwitterungs- und Entlastungsklüfte. Gesamthaft umreissen die genannten Kluftsysteme mehr oder weniger *quaderige bis dickplattige Kluftkörper mit Kantenlängen von meist mehreren Metern*.

### *Erosionsnischen und -kehlen*

- Die am Aufbau des Felsuntergrundes beteiligten Gesteine besitzen sehr unterschiedliche Verwitterungsbeständigkeiten. Die wenig erosionsbeständigen Mergel, Schlamm- und Siltsteine wittern an der Oberfläche rasch zurück und bilden mit der Zeit *ausgeprägte Hohlkehlen*. Bei fortschreitender Gesteinsentfestigung und Rückwitterung verlieren die darüber liegenden Konglomerate ihr Fundament, werden zunehmend instabil und stürzen nach einer gewissen Zeit ab.
- Die Gesteinsentfestigung und Rückwitterung wird vor allem durch ein Zusammenspiel von Frostwirkung, Wasserzufuhr aus den Klüften und zunehmende Kantenpressungen durch die hangenden Nagelfluhbänke gefördert. Mitunter sind derartige Rückwitterungskehlen durch Gehängeschutt verdeckt.

### *Schichtfallen und Gleitschichten*

- Am Südabhang der Rigi fallen die Molassegesteine mit ca. 20° in Richtung SE ein. Da die Abhänge und Erosionsstufen oft steiler als 20° in Richtung des Sees abfallen, liegen weitverbreitet Schichtunterschneidungen vor.
- Die tonreicheren Zwischenschichten aus Mergeln und Schlammsteinen bilden bei genügender Durchnässung und Verlehmung der Tonminerale *gute Gleitschichten*, über denen Felspakete unterschiedlicher Grösse abrutschen können. Derartige Bewegungen werden durch das relativ steile Schichtfallen von knapp 20° sowie die zahlreichen Klüfte und Spalten gefördert.

Die stabilitätsvermindernden Zwischenschichten aus Mergeln und Schlammsteinen, meist begleitet von Sandsteinen, liegen im Untersuchungsgebiet jeweils am Fuss der einzelnen Felsbänder und bilden die bewachsenen Steilböschungen und abfallenden Terrassen. Zusammen mit den steilen Felsbändern führen sie zu einem **treppenartigen Geländeprofil**.

Selbstverständlich spielt auch das **Wasser** bei der Verwitterung und der Erosion eine grosse Rolle. Dieses wird als Porenwasser und lokal auch in grösseren Mengen als Kluftwasser zugeführt und begünstigt die Frostsprengung einerseits und die Verwitterung sowie Verlehmung der an Tonmineralen reichen Zwischenschichten andererseits. An verschiedenen Stellen konnten am Fusse von Spalten frische Schwemmkegel beobachtet werden, die auf eine Ausspülung des verwitterten Sediments durch Kluftwasser nach Starkniederschlägen schliessen lassen.

Die im Winter durch **Frostsprengung** geöffneten Klüfte werden im Frühling während der Wachstumsphase der Bäume durch die Wurzeln stabilisiert und so offengehalten. Besonders im Kronenbereich der Felswände wachsen die Bäume zunehmend in den Windwirkungsbereich, und die Kraftübertragung auf das Substrat bei der Wiegebewegung der Krone im Wind lockert den Gesteinsverband weiter auf und mündet längerfristig oftmals im Absturz des Baumes samt den umklammerten Gesteinsbrocken.

Demgegenüber bewirkt der **Baumbestand** über weite Bereiche aber auch eine *Hangstabilisierung* und bietet einen *guten Steinschlagschutz*.

### 3.5 VEGETATION

Im Bereich des generell schwach geneigten bis mässig steilen Hauptsiedlungsgebiets findet sich heute Wiesland – zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch verbreitet mit vielen Obstbäumen.

Die bis mässig steilen (bis ca. 25°, teils bis ca. 30°) Hangbereiche der SE- bis SW-exponierten Abhänge des Rigi Dossen werden flächig landwirtschaftlich genutzt. Die übrigen, generell steilen Gebiete der Abhänge des Rigi Dossen (ab ca. 25°) sind bewaldet. In sehr steilen Gebieten ist der Molassefels direkt anstehend und bildet Felswände mit Wandhöhen von über 100 m.

Die durchwegs steilen W- bis NW-exponierten Abhänge des Vitznauer-Stocks sind mit Ausnahme der Hochterrasse Wissflue sowie der markanten Felswände bewaldet. Der Wald weist hingegen infolge früherer, grosser Sturzereignisse zahlreiche Waldschneisen auf. Eine solche Waldschneise findet sich unterhalb des Silvesterlochs, die auf das gleichnamige Felssturzereignis von 1987 zurückzuführen ist. Ein weiteres solches Gebiet ist jenes der Stockrübi.

### 3.6 OBERFLÄCHENGEWÄSSER

Bei den Oberflächengewässern im Untersuchungsperimeter handelt es sich um Bäche mit Wildbachcharakter. Typisch ist die Abnahme des Längsgefälles von 30% und mehr im bergseitigen Einschnitt / Tobel auf Werte um 10% im talseitigen Kegelbereich. Die Abnahme des Gefälles entlang des Altdorf-, Platten- und Chalibach erfolgt kontinuierlich. Beim Mülibach und Widibach finden sich oberhalb des Kegelbereichs hohe Steilstufen (Wasserfälle) (Abb. 7).

In den Steilstrecken sind die Gerinne meist stark verblockt oder laufen abschnittsweise auch auf Fels (Plattebach, Altdorfbach). In den Sedimenten des Chalibachs fallen die murganganfälligen, schlecht abgestuften Kornverteilungen mit hohen Anteilen an Fein- (meist Silt) und Mittelkorn (Sand) auf.

Einzelne prozessrelevante Gerinneabschnitte des Altdorf- und des Chalibachs wurden im Detail analysiert (KELLER + LORENZ AG / BEFFA TOGNACCA GMBH 2011A,B, NDR CONSULTING GMBH 2011, Beilage 2, Beilage 3, Beilage 4).

Aufgrund der Längsgefälle (über 15%) sind die **Vitznauer Bäche potentiell murgangfähig**, was auch mit der Interpretation der Ablagerungen übereinstimmt (Kap. 3.3.4).

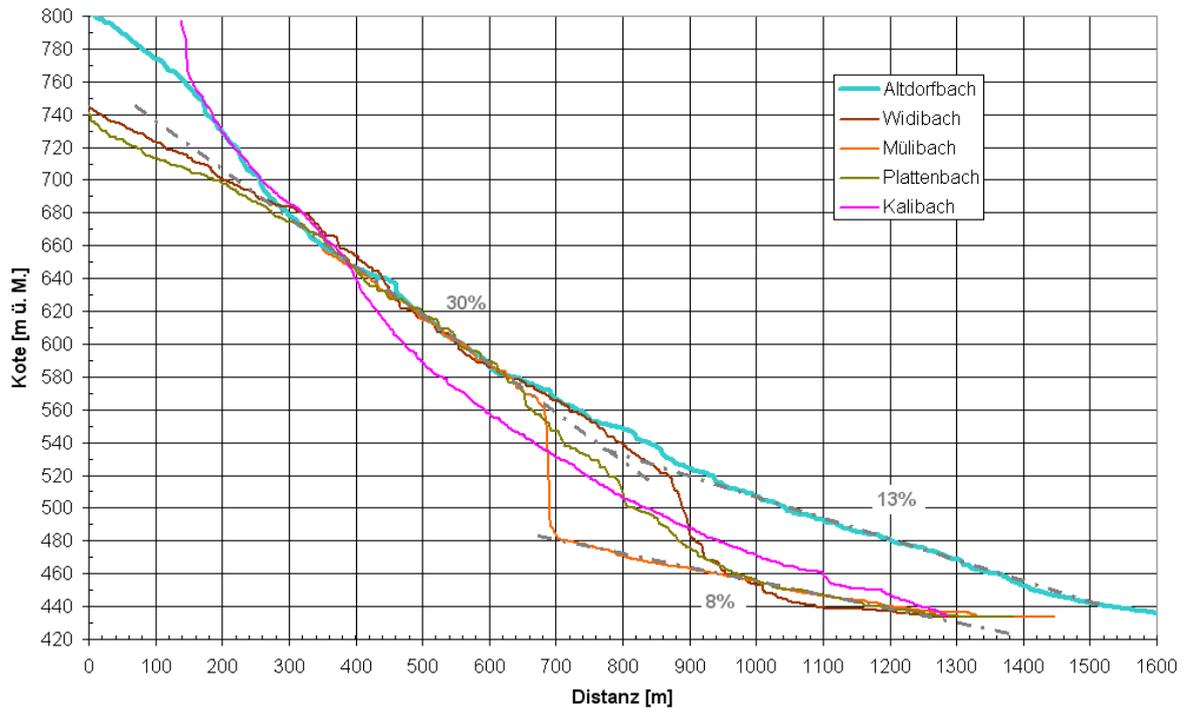


Abb. 7 Längsprofile der untersuchten Bäche (aus DTM-AV Daten).

### 3.7 BESTEHENDE SCHUTZMASSNAHMEN

Auf dem Gemeindegebiet von Vitznau finden sich entlang der Kantonsstrasse K2b zur Erhöhung der Verkehrssicherheit zahlreiche Schutzbauten gegen Naturgefahren (Prozesse Wasser, Rutschung und Sturz). Diese Bauwerke zum Schutz der Kantonsstrasse K2b wurden in den Jahren 2008 und 2009 durch die Firmen Keller + Lorenz AG und IUB Ingenieur-Unternehmung AG exakt kartiert, visuell beurteilt und in einer Datenbank des Strasseninspektorats des Kantons Luzern (vgl. KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE VERKEHR UND INFRASTRUKTUR 2010B) erfasst. Seither werden diese Schutzbauten durch die Firma Keller + Lorenz AG nach vorgegebenem Inspektionsintervall laufend neu visuell beurteilt und die Resultate der Inspektionen in oben genannter Datenbank festgehalten. Die übrigen Schutzbauten gegen Naturgefahren, die nicht im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit der Kantonsstrasse K2b stehen, wurden im Rahmen der Bearbeitung der Gefahrenkarte ebenfalls kartiert und vor Ort visuell beurteilt. Zugleich wurden Angaben über die empfohlenen Unterhaltsarbeiten und periodischen Überprüfungen gemacht. Der Schutzbautenkataster findet sich in Anhang 2. Anzuführen ist, dass die Schutzbauten im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit der Kantonsstrasse K2b zur Vermeidung von Doppelpurigkeiten im Schutzbautenkataster nur summarisch aufgelistet sind.

Für die Zustandsbeurteilungen der einzelnen Bauwerke wurden die Zustandsklassen gemäss dem Schweizerischen Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (2003) verwendet (vgl. Tab. 2):

Zustandsklasse	Massnahmen
(1) in gutem Zustand	Keine Massnahmen in der laufenden Erhaltungsperiode erforderlich.
(2) in annehmbarem Zustand	Instandsetzung in laufender Erhaltungsperiode nicht notwendig.
(3) in schadhaftem Zustand	Instandsetzung in laufender Erhaltungsperiode notwendig.
(4) in schlechtem Zustand	Rasche Instandsetzung oder Verstärkungen erforderlich.
(5) in alarmierendem Zustand	Sofortmassnahmen ergreifen.
(6) Zustand nicht überprüfbar	Gefährdung unwahrscheinlich. Gefährdung wahrscheinlich: Neubeurteilung während laufender Erhaltungsperiode.

**Tab. 2** Zustandsklassen von Schutzbauten. SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (2003).

## 4 GRUNDLAGEN

### 4.1 VERWENDETE LITERATUR

- ARBEITSGRUPPE GEOLOGIE UND NATURGEFAHREN AGN (2004). Gefahreinstufung Rutschungen i.w.S. Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren. Entwurf.
- ARGE GEOTEST AG, FORSTINGENIEURBÜRO BERWERT-LOPES (2004): Gefahrenkarte Vitznau.
- ARGE R. MENGIS + H.G. LORENZ AG, BÜRO FÜR HYDROGEOLOGIE DR. PETER P. ANGEHRN AG (1992). Geologisch-Geotechnischer Teilbericht 1 über die Lockermaterialbedeckung NE Teilbereich des "Bärenfluh" Tunnels.
- BEFFA, C. (1994): „Praktische Lösung der tiefengemittelten Flachwassergleichungen.“ - Mitteilung Nr. 133 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. ETH Zürich.
- BRANDSTETTER, L. (1910). Naturhistorische Literatur- u. Naturchronik 1910. In: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Luzern, VII. Heft, 1917.
- BUNDESAMT FÜR STRASSENBAU (1985). Schutz gegen Steinschlag. Forschungsarbeit 21/83 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS). Ingenieurbüro Heierli AG, Zürich. – Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement, Bundesamt für Strassenbau, 2. Auflage.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU (2008A). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1- Prozesse, Schäden und erste Einordnung.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU (2008B). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2- Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU (2010). StorMe, Ereigniskataster Naturgefahren.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1998). Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren.
- BUNDESÄMTER FÜR RAUMPLANUNG, WASSERWIRTSCHAFT SOWIE UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (1997). Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlungen. Bern.
- BUXTORF, A., BAUMBERGER, E., NIETHAMMER, G. & ARBENZ, P. (1916). Geologische Karte der Pilatus – Bürgenstock – Rigihochnfluhkette, Blatt III: Rigihochnfluhkette. - Schweizerische Geologische Kommission Spezialkarte No. 29a und Profiltafeln No. 29b, Massstab 1:25'000.
- GEBÄUDEVERSICHERUNGSANSTALT DES KANTONS ST. GALLEN (1999). Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren.
- GIS KANTON LUZERN (2010). Grundlagedaten Hangneigungskarte / digitales Geländemodell.
- FORSTER F., BAUMGARTNER W. (1999). Seltene Starkniederschläge: jüngere Stationsauswertungen im Vergleich mit den schweizerischen Starkniederschlagskarten. wasser energie luft, Heft 5/6.
- HANTKE, R. (2006). Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Blatt 1151 Rigi mit Nordteil von Blatt 1171 Beckenried. Herausgegeben vom Bundesamt für Wasser und Geologie.
- HEIM, A. (1882). Über Bergstürze. Neujahrsblatt der Naturforschenden Gesellschaft auf das Jahr 1882. Zürcher & Furrer, Zürich 1882.
- HOLINGER AG (1989). Sanierung Widibach, Vitznau. Technischer Bericht und Kostenvoranschlag, dat. 04.12.1989.
- HOLINGER AG, KELLER+LORENZ AG, BEFFA TOGNACCA GMBH (2011). Integrales Schutzkonzept Plattenbach, Vitznau.
- INGENIEURE BART AG, LOUIS INGENIEURGEOLOGIE GMBH, A + T MARTY AG (2008). Integrale Gefahrenkarte Weggis. Gefahrenkarte Sturz, 1 : 5'000.
- KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD LAWAL (2008). Richtlinien zur Erstellung digitaler Gefahrenkarten, Version 2.1.

- KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE VERKEHR UND INFRASTRUKTUR (2010A). Gefahrenhinweiskarte Vitznau. <http://www.geo.lu.ch/map/gefahrenhinweiskarte/> Zugriff 09.03.2011.
- KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE VERKEHR UND INFRASTRUKTUR (2010b). Logo, Teilmodul KUBA (Datenbank).
- KELLER + LORENZ AG (2008A). 07 4372.B3 Kantonsstrassen Luzern. Rutschung Acher, K2b Weggis-Vitznau. Rutschereignis 23.04.2008. Aktennotiz Nr. 1.
- KELLER + LORENZ AG (2008B). Schutzmassnahmen Unterwilen, Vitznau. Sicherungsmassnahmen vom Herbst 2007 und Frühling 2008. Schlussbericht.
- KELLER + LORENZ AG (2008C). 07 4372.B3 Kantonsstrassen Luzern. K2b Weggis-Vitznau. Steinschlagereignis 28.06.2008. Aktennotiz Nr. 2.
- KELLER + LORENZ AG (2009A). 09 4658 Naturgefahren Vitznau. Blockschlag Unterwilenstrasse Juni 2009. Aktennotiz Nr. 1.
- KELLER + LORENZ AG (2009B). 07 4372.B3 Kantonsstrassen Luzern. K2b Weggis-Vitznau. Steinschlagereignis 05.08.2009. Aktennotiz Nr. 3.
- KELLER + LORENZ AG (2009C). 09 4658 Naturgefahren Vitznau, Begehung vom 26. August 2009. Aktennotiz Nr. 1.
- KELLER + LORENZ AG (2009D). 07 4372.B10 Kantonsstrassen Luzern. K2b Weggis-Vitznau, Ober Nas. Steinschlagereignis 25.09.2009. Aktennotiz Nr. 1.
- KELLER + LORENZ AG (2009E). Chalibach Schutzmassnahmen Rutschung / Risiken Gerinnemuren, Vitznau. Aktennotiz Nr. 1.
- KELLER + LORENZ AG (2009F). Chalibach Schutzmassnahmen Rutschung / Risiken Gerinnemuren, Vitznau. Aktennotiz Nr. 2.
- KELLER + LORENZ AG (2009G). Chalibach Vitznau, Schutzmassnahmen Rutschung 2008/09. Geologisches Gutachten zu den Risiken potenzieller Gerinnemuren und Übersarungen.
- KELLER + LORENZ AG (2009H). Felsenweg Schild, Vitznau. Überwachung 2009. Aktennotiz Nr. 1.
- KELLER + LORENZ AG (2009I). Überwachungsaufträge Naturgefahren Kanton Luzern, 6354-9. Felsüberwachung Unterwilen, Vitznau. Überwachung 2009.
- KELLER + LORENZ AG (2009J). Überwachungsaufträge Naturgefahren Kanton Luzern, 6354-7. Überwachung Eichiberg, Vitznau. Überwachung 2009.
- KELLER + LORENZ AG (2009K). Kantonsstrassen Luzern. K2b Weggis-Vitznau. Lauisegg, Sofortmassnahmen Februar 2009, Aktennotiz Nr. 1, datiert 26.02.2009.
- KELLER + LORENZ AG (2010A). 09 4658 Naturgefahren Vitznau. Beurteilung Blockschlaggefahr Unterwilenstrasse 29. Aktennotiz Nr. 1.
- KELLER + LORENZ AG (2010B). 10 4811 SOMA Stollenegg/Plattebach, Vitznau, Überwachungskonzept.
- KELLER + LORENZ AG (2010C). 09 4710 Überarbeitung Gefahrenkarte Vitznau, Aktennotiz Nr. 2.
- KELLER, B. (1992). Übersicht Gefahrenprozesse in Vitznau. Handskizze, unpubl.
- KELLER, B. (2003). Einbezug von Waldwirkungen mittels Hangstabilitätsberechnungen mit LISA in der Gefahrenkartierung – ein Beispiel am Sonnenberg (LU). – Agenda forstl. Arbeitsgr. Naturgef. 1/2003, 14-22.
- KÖLLA, E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fliessgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Mitteilung Nr. 87. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich.
- KOPP, J. (1971). Geologie. In: Rigi, Königin der Berge (1971). Jubiläumsschrift zur Hundertjahrfeier der Vitznau-Rigi-Bahn, Hallwag AG, Bern.
- MEHER, R. (1874). Beschwerdeschrift der Wittve Pfyffer-Zimmermann, Pensionshalterin in Vitznau gegen die Rigibahnverwaltung Vitznau-Staffelhöhe. Luzern, Buchdruckerei von E. M. Härdi.
- MENGIS + LORENZ AG (2000). Felsüberwachung Gafel, Vitznau. Dokumentation Geologie und Statistik. Gutachten 97 3117 i.A. Kantonsforstamt Luzern.

- MENGIS + LORENZ AG (2002). 02 3696 Blocksturz Reservoir Ächerli, Unterwilenstrasse, Vitznau. Aktennotiz Nr. 1.
- MENGIS + LORENZ AG (2004A). Felssturz „Gafel“ vom 19.11.2003. Geologischer Schlussbericht, Sanierungsarbeiten Winter 2003 / 2004.
- MENGIS + LORENZ AG (2004B). Felsabbruch Felsenweg Schild (Rigi), Vitznau. Aktennotiz Nr. 1.
- MENGIS + LORENZ AG (2004C). Felsabbruch Felsenweg Schild (Rigi), Vitznau. Geologischer Schlussbericht.
- Mengis + Lorenz AG (2005a). 05 4076 Unwetterschäden 21./22. August 2005 in Vitznau. Datenblätter.
- MENGIS + LORENZ AG (2005B). 05 4076 Unwetterschäden 21./22. August 2005 in Vitznau. Aktennotiz Nr. 2, datiert 20.12.2005.
- MENGIS + LORENZ AG (2006A). 05 4046.A Überwachungskonzept Unterwilen, Gemeinde Vitznau. Vorstudie Schutzmassnahmen gemäss Vorgaben des BAFU.
- MENGIS + LORENZ AG (2006B). 06 4217 Steinschlaggefahr Plattenhus, Zihl.
- MENGIS + LORENZ AG (2006C). 05 4076 Unwetterschäden 21./22. August 2005 in Vitznau. Geologische Beurteilung. Problematik Verklausung Chalibach: Projekt Rüti / Maschinenweg.
- MENGIS + LORENZ AG (2006D). 05 4076 Unwetterschäden 21./22. August 2005 in Vitznau. Aktennotiz Nr. 4, datiert 20.10.2006.
- MENGIS + LORENZ AG (2008). 05 4046.B Schutzmassnahmen Unterwilen, Vitznau. Schlussbericht.
- MILLAR, R. G. (1999): Meandering-braiding transition. In: Lee & Wang (eds) River Sedimentation, Jayawardena. - Balkema Rotterdam. p. 239-245.
- R. MENGIS + H.G. LORENZ AG (1993a). Über die Gefährdung der Kantonsstrasse K2b (A2b) Vitznau – Gersau durch Steinschlag und Felsstürze aus der Nordwestabdachung des Vitznauer Stocks. – Informationsbroschüre i.A. Tiefbauamt des Kt. Luzern, 20 p.
- R. MENGIS + H.G. LORENZ AG (1995). Geologisches Gutachten über die Rutschung Hasliweid-Husenweid am Widibach, Gemeinde Vitznau.
- R. MENGIS + H.G. LORENZ AG, LUZERN (1993B). Geologisches Gutachten über die Felssturz- und Steinschlaggefährdung der Kantonsstrasse A2b, Weggis-Vitznau, im Gebiet Hinter Lützelau-Ächerli.
- ROMANG, H. (2008). Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
- SCHMIDT, R. (1987A). Felsabbrüche am Vitznauer-Stock. Geotechnisches Gutachten; definitive Stellungnahme. – Baudepartement des Kantons Luzern und Gemeinde Vitznau. – Baudepartement des Kantons Luzern und Gemeinde Vitznau, Gutachten Nr. 86 017.1 vom 30.06.1987.
- SCHMIDT, R. (1987B). Der Felsabbruch am Vitznauer-Stock vom 31.12.1986. – Jber. Zentral-schweiz. Technikum, 30 (1987/1988).
- SCHMIDT, R. (1988). Felsabbrüche Vitznauer-Stock. Sicherheitsvergleich Stacher-Z'Berg/Tschuoppis. – Baudepartement des Kantons Luzern und Gemeinde Vitznau, Gutachten Nr. 86 017.4 vom 14.03.1988.
- SCHUBIGER AG (2006). Ausbau Altdorfbach, Geschiebesammler und Holzfang. Technischer Bericht.
- SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE (2003). Erhaltungsmanagement (EM). Gesamtbewertung von Fahrbahnen, Kunstbauten und technischen Ausrüstungen: Substanz- und Gebrauchswerte.
- ZIMMERMANN, J. (1913). Vitznau am Fusse der Rigi. – Sammlung Schweiz. Monogr. Nr. 2 Vitznau.

## 4.2 PROJEKTSPEZIFISCHE GRUNDLAGEN

EIDGEN. FORSCHUNGSANSTALT WSL (2011): Obergutachten. Chalibach Vitznau, Kanton Luzern: Bericht zur Festlegung der möglichen Geschiebefrachten bei Wildbachereignissen. – Gutachten i.A. Kanton Luzern, Verkehr und Infrastruktur (vif), Abt. Naturgefahren, dat. 20.10.2011.

KELLER + LORENZ AG / BEFFA TOGNACCA GMBH (2011a): Überarbeitung Gefahrenkarte Vitznau. Kurzugutachten Szenarien Altdorfbach. – Kurzugutachten vom 03.10.2011.

KELLER + LORENZ AG / BEFFA TOGNACCA GMBH (2011b): Überarbeitung Gefahrenkarte Vitznau. Grundlagen Chalibach. – Kurzugutachten vom 06.10.2011.

NDR CONSULTING GMBH (2011): Murgangbeurteilung Vitznau. Geschiebeaufkommen Altdorfbach. - Gutachten vom September 2011.

## 4.3 METHODEN DER GEFAHRENERKENNUNG

### 4.3.1 Generelles

Der Ablauf der Überarbeitung der Gefahrenkarte (Abb. 8) folgte einem genau definierten Vorgehensablauf, beginnend mit der Erarbeitung der Grundlagen (Ereignisse [Anhang 1], Phänomene [Karte der Phänomene], geologisch-hydrogeologische, geomorphologische sowie hydrologische Grundlagen), gefolgt von der Analyse der verschiedenen Prozesse und der Schwachstellen der Systeme, aus denen als erstes Produkt die relevanten Szenarien (Anhang 3, Anhang 4, Anhang 5, Anhang 6) definiert wurden. Diese Szenarien wurden mit den Auftraggebern Gemeinde und Kanton diskutiert und bereinigt, bevor die Wirkungsanalyse (Wo wirken welche Prozesse ein?) vorgenommen wurde. Das Produkt der Wirkungsanalyse waren die Intensitätskarten, die an einer weiteren Entwurfssitzung präsentiert und kritisch gewürdigt wurden. Nach der Bereinigung erfolgte darauf basierend die Gefahrenbewertung und darauf aufbauend die Ausarbeitung der Gefahrenkarten. Die Produkte wurden schliesslich in einem letzten Schritt bei den Auftraggebern in die Vernehmlassung eingereicht und danach abschliessend bereinigt.

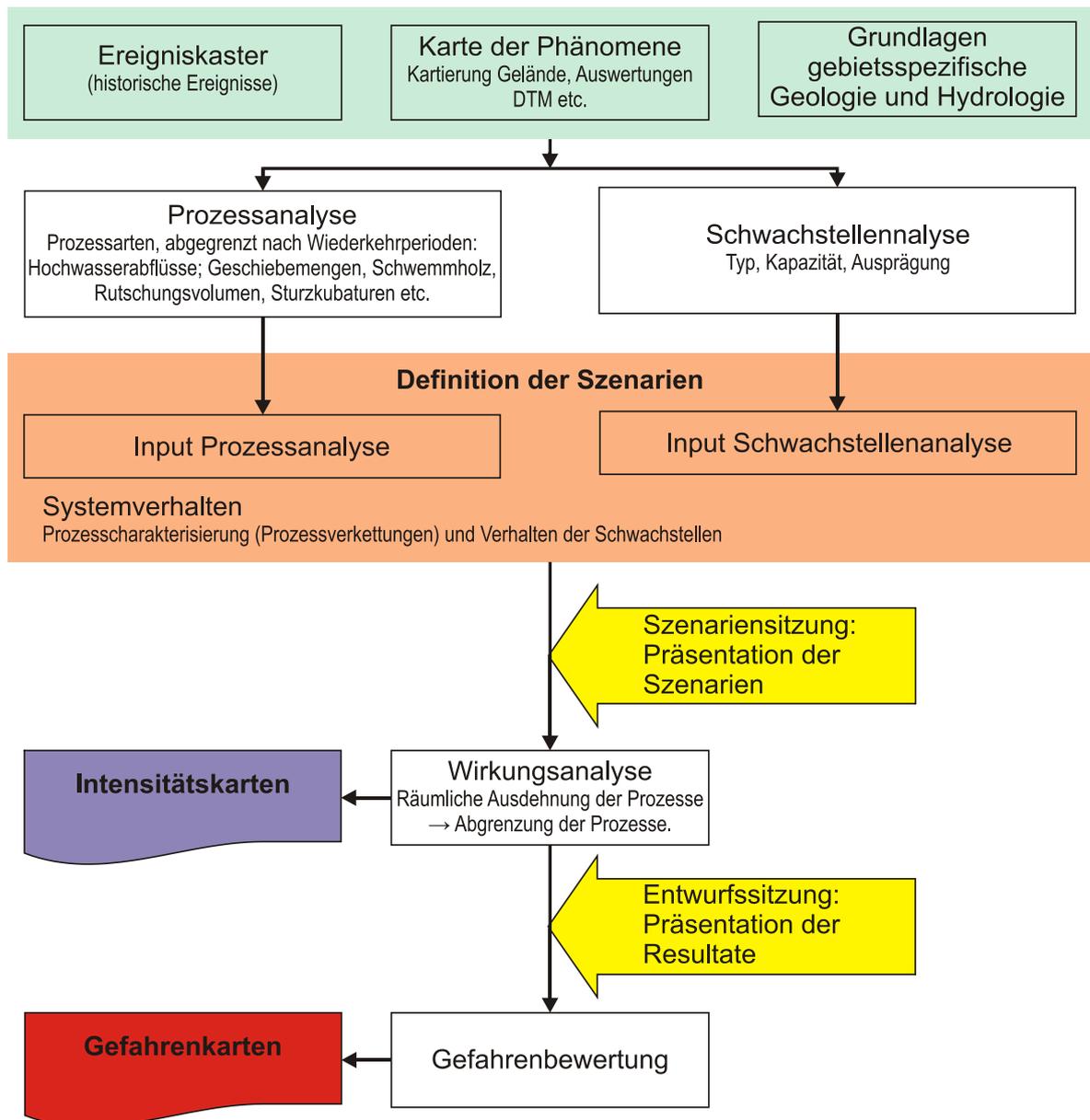
### 4.3.2 Ereigniskataster und Personenbefragungen

Naturereignisse aus der Vergangenheit – die mitunter bis in die Gegenwart andauern – stellen äusserst wertvolle Hinweise auf mögliche prozessrelevante Zonen dar. Sie geben auch wichtige Anhaltspunkte hinsichtlich der Intensitäten und der Häufigkeiten von relevanten Prozessen. Für eine abschliessende Beurteilung sind die Beobachtungsperioden jedoch oft zu kurz, und es müssen ergänzende Abklärungen durch Geländeanalysen, Berechnungen etc. durchgeführt werden.

Nebst den in Kap. 4.1 aufgelisteten Grundlagen stützen sich unsere Beurteilungen auf die Aussagen von Herr Franz Waser (Werkdienst Gemeinde Vitznau), wodurch zusätzliche Erkenntnisse beigebracht werden konnten. Weitere Angaben kamen von Anwohnern wöh-

rend der Feldarbeiten sowie aus der Schadendatenbank der WSL Birmensdorf (Zeitraum von 1972 bis 2010).

Eine Zusammenstellung der aktenkundigen Ereignisse mit Quellenangaben findet sich in Anhang 1 und ein zusammenfassender Beschrieb in Kap. 5.



**Abb. 8** Ablaufschema der Überarbeitung der Gefahrenkarte Vitznau (Grundlage vif Abt. Naturgefahren).

### 4.3.3 Karte der Phänomene

In der Karte der Phänomene werden die im Gelände festgestellten Anzeichen und Merkmale relevanter Prozesse unabhängig von der Gefahrenstufe dargestellt. Im vorliegenden Fall sind darin von Instabilitäten, Rutschungen oder Erosion betroffene Bereiche sowie Ablösegebiete von Stein- und Blockschlag enthalten. Weiter werden bereits vorhandene Schutzbauten gegen Naturgefahren (z.B. Geschiebesammler, Steinschlagschutznetze, etc., Anhang 2) in der Karte festgehalten. Ergänzend wurden die Erkenntnisse aus dem Ereigniskataster (Anhang 1) in die Karte integriert. Die damit erzielte, **synoptische Darstellung von Ereigniskataster und Resultaten der Geländeanalysen** bildet einen Grundpfeiler der Gefahrenbeurteilung.

## 4.4 METHODEN DER GEFAHRENBEURTEILUNG

### 4.4.1 Szenarien

Basierend auf den Erkenntnissen aus den Befragungen, Feldbegehungen, bekannten historischen Ereignissen (insbesondere Unwetter August 2005) sowie den geologisch-geomorphologischen Verhältnissen werden für jeden potentiellen Gefahrenraum für verschiedene Wahrscheinlichkeiten Szenarien definiert. Die Szenarien entsprechen den massgebenden Prozessen, anhand deren die Intensitätskarten erstellt werden. Für Rutschungsprozesse enthalten sie unter anderem Angaben über das Ausmass allfälliger Rutschungen, über die zu erwartenden Anrissmächtigkeiten, über das Potenzial zur Verflüssigung als Hangmure. Szenarien für Sturzprozesse enthalten unter anderem Angaben über die Grösse und Form der einzelnen Sturzkomponenten. Eine Auflistung der einzelnen Szenarien aufgegliedert nach Prozessarten findet sich in Anhang 3, Anhang 4, Anhang 5 und Anhang 6.

Die Hochwasserabflussmengen werden mit dem Laufzeitverfahren von KÖLLA (1986) abgeschätzt. Massgebende Eingabeparameter sind:

- Gerinnelänge.
- Bodenbeschaffenheit.
- Niederschlagsintensität.

Die Gerinnelänge ist ein Mass für die effektiv beitragende Einzugsgebietsfläche. Sie wurde auf Grund der Kartenunterlagen (LK 1:25'000) bestimmt. Gerinne mit Abständen kleiner als die doppelte mittlere Hanglänge (100 m) wurden anteilmässig berücksichtigt. Der Bodentyp beeinflusst das Speichervermögen des Einzugsgebiets. Er wurde auf Grund von Bodeneignungskarten abgeschätzt. Für die Festlegung der Niederschlagsintensität wird auf den hydrologischen Atlas zurückgegriffen. Das Verfahren KÖLLA (1986) liefert den Maximalabfluss für die Wiederkehrperioden von 2.33, 20 und 100 Jahren. Die Werte

für HQ10, HQ30, HQ300 und HQ1000 werden mittels logarithmischer Skala inter- bzw. extrapoliert.

Die Kapazität (Schluckvermögen) der Durchlässe und Eindolungen werden basierend auf den Grundlagen der bisherigen Gefahrenkarte übernommen. Viele Durchlässe weisen ein Gefälle über 2% auf und werden schiessend (überkritisch) angeströmt. Eine Normalabflussbetrachtung mit dem lokalen Gefälle führt in der Regel zu einer massiven Überschätzung des effektiven Schluckvermögens. Bei gegenüber dem offenen Gerinne reduziertem Querschnitt des Durchlass, resp. der Eindolung ist die Abflusskapazität durch die Einlaufgeometrie begrenzt (sog. inlet controlled). Dabei gilt entweder kritischer Abfluss (bei freiem Zufluss) oder schützenähnlicher Durchfluss (bei Einstau). Bei glatten Oberflächen im Durchlass erreicht der Abfluss erst nach einer Beschleunigungsstrecke den gleichförmigen Zustand.

Zur Berechnung der Überflutungsintensitäten (Fliesstiefen und Fliessgeschwindigkeiten) wird das zweidimensionale Abflussmodell FLUMEN eingesetzt. Das Programm basiert auf den tiefengemittelten Flachwassergleichungen (BEFFA 1994). Die bei hohen Geschwindigkeiten sehr bedeutenden Trägheitskräfte werden vollständig erfasst (wichtig v.a. bei Murgängen). Die Diskretisierung erfolgt mittels unstrukturierten Dreiecksnetzen (maximale Zellenfläche 4 m<sup>2</sup>). Als Grundlage standen die hoch auflösenden Rohdaten des DTM-AV (Flug 2002) zur Verfügung (Auflösung zirka 1 Punkt pro m<sup>2</sup>). Diese Daten wurden um bodennahe Nicht-Bodenpunkte bereinigt und mittels greedy-insertion ausgedünnt.

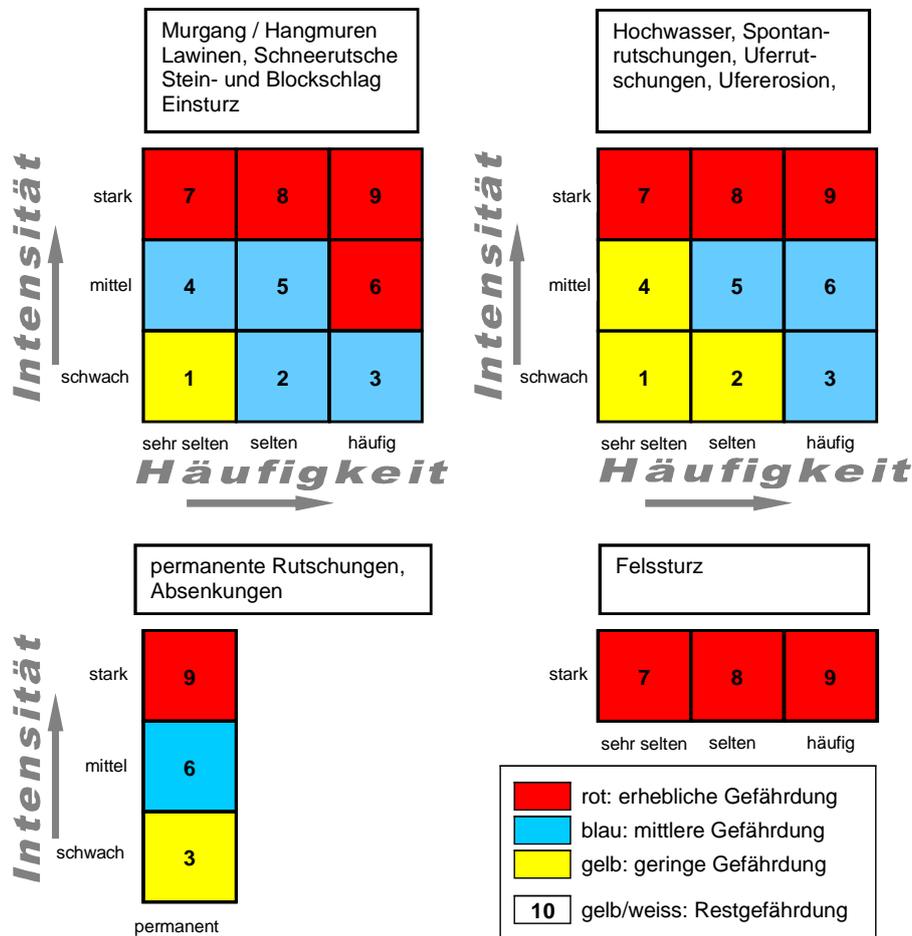
Die Berücksichtigung der Materialeigenschaften (Rheologie) der Murgänge wird ein sog. turbulenz-yield Ansatz verwendet. Die Reibungsverluste durch das Fliessen werden mit der Manning-Strickler-Reibungsformel beschrieben (Pseudo-Manning-Ansatz). Für das zähe Fliessen, resp. das Anhalten eines Murgangs im Hangbereich wird eine Grenzschubspannung (yield stress) angenommen. Um die variablen Materialeigenschaften von Murgängen abzudecken, wurde eine Vielzahl von Simulationen mit unterschiedlichen Parameterwerten (Reibungsbeiwert und Grenzschubspannung) ausgeführt. Für die Gefahrenbeurteilung wird gemäss Vorgaben des Kanton LU der jeweils maximale Wert als massgebend betrachtet (Umhüllende, keine räumliche Differenzierung).

#### 4.4.2 Intensitätskarten und Gefahrenkarte

Zur erleichterten Vergleichbarkeit der verschiedenen Naturgefahren (Sturzprozesse, Rutschungen, etc.) werden in den entsprechenden Richtlinien (BRP, BWW, BUWAL 1997) sog. **Gefahrenstufendiagramme** vorgeschlagen (Abb. 9). Als Kriterien zur Ermittlung der Gefahrenstufen wurden die Intensität und die Wahrscheinlichkeit eines Prozesses gewählt. Das Gefahrenstufendiagramm wird deshalb auch als *Intensitäts-Wahrscheinlichkeits-Diagramm* bezeichnet.

Zur Gefahrenbeurteilung eines Gebiets (Erhebung der Gefahrenstufen) werden basierend auf den Szenarien pro Prozess - z.B. Stein- / Blockschlag, Rutschung, Murgänge - grund-

sätzlich drei **Intensitätskarten** erstellt, d.h. je eine für die definierten Zeitperioden von 0-30 Jahren, 30-100 Jahren und 100-300 Jahren. Die **Gefahrenkarte** ergibt sich aus der Überlagerung der jeweiligen drei Intensitätskarten.



**Abb. 9** Intensitäts-Wahrscheinlichkeitsdiagramm (9-Felder-Diagramm) für die Prozesse Hangmuren, Stein- und Blockschlag, Spontanrutschungen, Ufererosion, Ufererosion, Hochwasser und Felssturz (aus KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD LAWA 2008).

**Intensität**

Für alle Gefahrenarten sind folgende Intensitätsstufen festgelegt (BUNDESÄMTER FÜR RAUMPLANUNG, WASSERWIRTSCHAFT SOWIE UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT 1997):

- **Starke Intensität:** Menschen und Tiere sind auch innerhalb von Gebäuden gefährdet; mit erheblichen Schäden an Gebäuden bis zu plötzlichen Gebäudezerstörungen ist zu rechnen.

- **Mittlere Intensität:** Menschen und Tiere sind ausserhalb von Gebäuden stark, innerhalb von Gebäuden jedoch kaum gefährdet; mit Schäden an Gebäuden ist zu rechnen.
- **Schwache Intensität:** Menschen und Tiere sind innerhalb und ausserhalb von Gebäuden kaum gefährdet; mit Sachschäden in Gebäuden (z.B. Kellerräumen) muss gerechnet werden.

Für jede Prozessart sind Kriterien definiert, die eine Zuteilung zur schwachen, mittleren oder zur starken Intensität erlauben (Tab. 3).

Prozess	schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
Stein- und Blockschlag	$E < 30 \text{ kNm}$	$30 \text{ kNm} < E < 300 \text{ kNm}$	$E > 300 \text{ kNm}$
Felssturz	kommt nicht vor	kommt nicht vor	$E > 300 \text{ kNm}$
Rutschung permanent, Absenkung	$v < \text{ca. } 2 \text{ cm/Jahr}$	$2 \text{ cm/Jahr} < v < 1 \text{ dm/Jahr}$	$v > 1 \text{ dm/Jahr}$ oder starke differentielle Bewegungen
Murgang und Hangmure	$h < 0.5 \text{ m}$ und $v < 1 \text{ m/s}$ und $V < 500 \text{ m}^3$	$h < 1 \text{ m}$ und $v < 1 \text{ m/s}$ und unabhängig von $V$	$h > 1 \text{ m}$ und $v > 1 \text{ m/s}$ und unabhängig von $V$
Rutschung spontan, Uferrutschung	$d < 0.5 \text{ m}$ und $l < 1 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < d < 2 \text{ m}$ oder $d < 0.5 \text{ m}$ und $l > 1 \text{ m}$	$d > 2 \text{ m}$
Hochwasser inkl. Übersarung	$h < 0.5 \text{ m}$ oder $v \cdot h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	$0.5 \text{ m} < h < 2 \text{ m}$ oder $0.5 < v \cdot h < 2 \text{ m}^2/\text{s}$	$h > 2 \text{ m}$ oder $v \cdot h > 2 \text{ m}^2/\text{s}$
Ufererosion	$d < 0.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < d < 2 \text{ m}$	$d > 2 \text{ m}$

- P = Druck  
 d = mittlere Mächtigkeit der Abtragung (gemessen senkrecht zur Böschungsoberfläche)  
 h = Fliess- respektive Ablagerungshöhe  
 l = Distanz der Rutschbewegung  
 v = Fliessgeschwindigkeit  
 V = Volumen  
 E = Energie

**Tab. 3** Definition der Prozessintensitäten (aus KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD LAWÄ 2008).

### Wahrscheinlichkeit

Die Begriffe Häufigkeit, Wiederkehrperiode und (Eintretens-) Wahrscheinlichkeit werden synonym verwendet, wobei Häufigkeit und Wiederkehrperiode nur für sich wiederholende Ereignisse (z.B. periodisches Hochwasserereignis) zutreffen. Für die meisten Ereignisse ist es sinnvoller, die Eintretenswahrscheinlichkeit innerhalb einer gegebenen Nutzungsdauer zu bewerten. Eintretenswahrscheinlichkeit und Wiederkehrperiode sind durch folgende Gleichung miteinander verknüpft:

$$p = 1 - (1 - 1/T)^n \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} p: \text{Eintretenswahrscheinlichkeit [-]} \\ T: \text{Wiederkehrperiode [Jahre]} \\ n: \text{Nutzungsperiode [Jahre]} \end{array}$$

Für die Gefahrenbeurteilung wird von einer *Nutzungsperiode von 50 Jahren* ausgegangen, und die Wiederkehrperiode wird unterteilt in Abschnitte von 0 bis 30 Jahre, 30 bis 100 Jahre und 100 bis 300 Jahre. Damit ergibt sich folgende Abhängigkeit:

Wahrscheinlichkeit		Wiederkehrperiode	
verbal	Eintretenswahrscheinlichkeit in 50 Jahren	Wiederkehrperiode in Jahren	verbal
hoch	100% bis 82%	0 bis 30	häufig
mittel	82% bis 40%	30 bis 100	selten
gering	40% bis 15%	100 bis 300	sehr selten

Vorab zur verbalen Beschreibung der Szenarien häufiger Prozesse wurden auch die Wiederkehrperioden gemäss BUNDESAMT FÜR STRASSENBAU (1985) verwendet:

Wiederkehrperiode	
Wiederkehrperiode in Monaten/Jahren	verbal
< 1 Mt.	intensiv
1 Mt. bis 1 J	regelmässig
1 bis 20 J	periodisch

### Restgefährdung

Ereignisse mit Wiederkehrperioden von mehr als 300 Jahren (sehr geringe Eintretenswahrscheinlichkeit) werden der Restgefährdung zugeordnet. Diese Gefahrenstufe wird dort verwendet, wo hohe Intensitäten möglich sind, ein hohes Schadenpotential vorhanden ist oder die Möglichkeit besteht, dass sich die Eintretenswahrscheinlichkeit gegenüber heute erheblich erhöhen könnte. Typische Restgefährdungen stellen für Vitznau die Bergstürze dar.

### *Arrondierung*

Die modellierten Intensitätskarten (Prozess Überschwemmung und Murgang) wurden im Feld plausibilisiert. (vgl. unten) und gemäss Vorgaben des Kt. Luzern arrondiert (Ausführende: Hunziker Gefahrenmanagement, Kerzers). Aus den arrondierten Intensitätskarten wurden die Gefahrenkarte erstellt (Ausführende: Hunziker Gefahrenmanagement, Kerzers).

## 5 GEFAHRENERKENNUNG UND -BEURTEILUNG

### 5.1 VORGEHEN

Für die Prozesse Wasser, Rutschungen und Sturz wurden je drei Intensitätskarten erstellt. Aus den Intensitätskarten wurden gemäss den vorgegebenen Richtlinien (BUWAL, 1998) die **Prozessgefahrenkarten für Rutschungs - und Sturzprozesse** entwickelt (zur Methodik vgl. Kap. 4.4.2).

Für die **Wasserprozesse** wurden die Intensitätswerte mittels numerischer Modellierung berechnet und gemäss den Richtlinien (BWW, BRP, BUWAL 1997) klassiert.

Künstliche Böschungen werden nicht berücksichtigt, da sie nicht zu den Naturgefahren gezählt werden, auch wenn die Auswirkungen teilweise gleichartig sind.

Weiter ist zu beachten, dass in stark bebauten Steilhängen (z.B. Unterwilenstrasse) sich zwischen den einzelnen Gebäuden kleine, jedoch oft sehr steile Gebiete mit zahlreichen **künstlichen Böschungen** und teilweise schlecht unterhaltenen **Hangverbauungen** (z.B. Stützmauern, etc.) befinden. Wegen der erheblichen anthropogenen Beeinflussung dieser Hänge durch die Bautätigkeit kann hier nicht mehr von Naturgefahren gesprochen werden, so dass diese bei der Überarbeitung der Gefahrenkarte entsprechend nicht berücksichtigt wurden. Allfällige Böschungsinstabilitäten und der Unterhalt bestehender Bauten liegen **im Verantwortungsbereich der Werkeigentümer**.

Für das Gemeindegebiet Vitznau sind zahlreiche ältere Naturgefahrenereignisse bekannt, die in Anhang 1 tabellarisch zusammengestellt sind.

Nachfolgend werden in Kap. 5.2 die relevanten Feldbeobachtungen und Interpretationen gebietsweise erläutert.

### 5.2 FELDBEOBACHTUNGEN

#### 5.2.1 Lättitobel

Der Lättitobelbach entspringt unmittelbar südlich der Liegenschaft Wissiflue (westlich des Vitznauer-Stocks gelegen) auf ca. 1050 m ü.M. Der Lättitobelbach, der sich entlang einer Überschiebungszone in die weicheren Tertiär-Gesteine einerodiert hat, weist ein kaum verzweigtes Rinnensystem auf und ist im oberen Bereich (ab ca. 600 m ü.M.) generell > 30° steil. Im obersten Bereich des Einzugsgebiets finden sich mehrere charakteristische Geländeeinwölbungen, die als stumme Zeugen alter Rutschprozesse zu deuten sind. Es ist anzunehmen, dass damals diese Rutschprozesse durch aussergewöhnliche hydrogeologische Zustände ausgelöst wurden und ins Gerinne des Lättitobelbachs rutschten. Wäh-

rend des Unwetters im August 2005 kam es zu einem Murgangereignis mit Übersarungen im Gebiet Bürgle.

### 5.2.2 Chalibach

Eine detaillierte Beschreibung der Situation des Chalibachs findet sich in KELLER + LORENZ AG (2009C, 2009E, 2009F, 2009G) sowie in Beilage 3.

Auf Grund der Auswertung des digitalen Terrainmodells sowie der jüngsten Historie mit dem Bergsturz von 1879 (Abbruch von ca. 1'000'000 m<sup>3</sup> aus Kieselkalk und Vitznau Mergel, mit anschliessender Schuttrutschung und Wildbachmurgang bis in den See) ist anzunehmen, dass der heutige Chalibach sehr jung sein muss. Gemäss ortskundigen Vitznauer (KELLER + LORENZ AG 2009E) war der Chalibach bis in die 1950er Jahre lediglich ein sog. „Holzreist“. Erst seit dieser Zeit hat sich der Chalibach sukzessive abgesenkt, vorab während Hochwasserereignissen unter Abfuhr grösserer Schuttfrachten. Auch das grossflächige Vorhandensein mobilisierbarer, labiler Schuttmassen im ganzen Einzugsgebiet - das dadurch lediglich als Transitgebiet zu betrachten ist – bestätigt einen noch jungen, instabilen Bachlauf. Bedeutsam für die Beurteilung des Prozesses Murgang sind die feinanteilreichen, murgangfähigen Lockergesteine, weitgehend entstanden aus den Verwitterungsprodukten des Bergsturzes 1879 mit vielen Mergelgesteinen (Vitznau Mergel - Formation).

In Folge der ausserordentlichen Niederschläge vom August 2005 ereignete sich im Gebiet des Chalibachs eine grossräumige Lockergesteins-Sackung innerhalb der Lockergesteinsbedeckung, die zur Bildung eines ca. 30 m langen Anrisses (ca. 680'312/206'594) führte. Das versackte Lockergesteinspaket besteht aus einem siltigen bis stark siltigen Sand mit viel Kies, Steinen und Blöcken und ist als knapp matrixgestützt zu bezeichnen. Solche Lockergesteine mit generell hohem Feinanteil sind besonders anfällig für Rutschungen und mit anschliessender Verflüssigung zu Gerinnemuren. Der Grund hierfür liegt in den ungünstigen geotechnischen Eigenschaften dieser Lockergesteine (niedrige Winkel der inneren Reibung, Scheinkohäsion und geringe Durchlässigkeit) sowie die rasche Wassersättigung eines aufgelockerten Gefüges mit Aufbau von erheblichen Porenwasserspannungen. Das versackte Lockergesteinspaket umfasst nach groben Schätzungen ein Volumen von ca. 10'000 bis 20'000 m<sup>3</sup> (ungefähre Länge: ca. 80 m, mittlere Breite: ca. 30 m, Lage der potentiellen Gleitfläche: ca. 5 bis 6 m ab OK Terrain). Durch weitere Rutschbewegung mit Auflösung des Gefüges ist von einem Auflockerungsfaktor von bis ca. 1.6 auszugehen, so dass sich daraus theoretisch ca. 15'000 bis 30'000 m<sup>3</sup> mobilisierbares Lockergestein ergäben.

Seit dem Winter 2008/09 war eine Reaktivierung der Lockergesteins-Sackung vom August 2005 zu beobachten, die zur Bildung neuer Anrisspalten führte (vgl. KELLER + LORENZ AG 2009C).

Der anschliessend an das Unwetter im August 2005 ausgeführte Bachverbau aus Baumstämmen (ca. 680'190/206'610) war vor allem linksseitig (auf der Seite der Sackung) erheblich beschädigt, v.a. die hier eingebauten Schwellen. Einige dieser Schwellen wurden durch die Kriechbewegungen talwärts geschoben, was durch den Abstand der ehemals unmittelbar bergseits an die Schwellen anschliessenden, eingerammten Rundeisen sowie frischen Rissen und Spalten belegt ist.

Im Herbst 2009 wurden nebst einer Wiederinstandstellung des Gerinnes und des Bachverbaus in der Rutschmasse selbst tiefgründige Drainagegräben realisiert und zwecks Entlastung ein Teil der Lockergesteins-Sackung mit einem Schreitbagger abgetragen. Seither haben sich die Kriechbewegungen stark reduziert und sind teilweise zum Stillstand gekommen.

### 5.2.3 Altdorfbach

Der Altdorfbach liegt teilweise im Gebiet der Ablagerung des Bergsturzes von 1879. In seinem Einzugsgebiet, das bis zur Krete bei Rigi Dossen reicht, weist der Altdorfbach ein weit verzweigtes System von Bachläufen auf. Im Gebiet Mälchgadewald durchfliesst er einen Geländeabschnitt mit zahlreichen rezenten Rutschungen. Vorab im Gebiet des Mälchgadenwalds finden sich entlang des Bachlaufs zahlreiche Erosionsblößen. Zudem weisen viele Bäume in diesem Gebiet Säbelwuchs auf und / oder sind schräggestellt, was generell auf Kriechbewegungen schliessen lässt.

Für den Chalibach und den Altdorfbach längerfristig kritisch zu werten ist der Umstand, dass im Gebiet Brustwald – Chänelbord die Möglichkeit besteht, dass durch rückschreitende Erosion das heutige Einzugsgebiet des Chalibachs durch den Altdorfbach angezapft wird, wodurch letzterem eine erheblich grössere Geschiebefracht zugeführt werden könnte.

### 5.2.4 Mülibach

Der Mülibach weist ein generell steiles Einzugsgebiet auf. Im Oberlauf, bergseits des Felsbands der Steigelfadbalm sind die das Gerinne umgebenden Hänge durchwegs steiler als 30°, so dass der Molassefels generell oberflächennah anstehend ist. Im August 2005 hat sich aber in den Steilhängen westlich von Gletti ein bogenförmiger, ca. 40 m langer Anriss mit einem Versatz von bis zu ca. 1 m gebildet. Im Gebiet Gäbetswil, Weid und Waldiswald liegen Geländesteilheiten von ca. 20 bis 40° vor. In diesen Gebieten finden sich auch Moränenablagerungen, aus denen Rutschereignisse bekannt sind. Für die Abschätzung des Feststoffpotenzials sind vorab die Gebiete unterhalb Steigelfad relevant.

### 5.2.5 Plattebach

Im Nachgang des Hochwassers vom August 2005 ereignete sich rechtsufrig des Plattebachs bei der Stollenegg eine mittelgründige Rutschung. Bis im September 2006, mit einem schneereichen Frühling und niederschlagsreichen August, griff diese Rutschung weiter hangwärts aus, und weiter bachaufwärts bildete sich eine weitere mittelgründige Teilrutschung aus.

Bei der Begehung am 09.07.2010 wurde im Gebiet Stollenegg im Waldboden ein ca. 20 m langer Anriss entdeckt. Wegen der noch straff gespannten, feinen Wurzeln über die Spalten und dem frischen, nicht ausgewaschenen Zustand der Spalten ist von aktiven, jungen Bewegungen auszugehen. Anlässlich der Begehung am 26.08.2009 war dieser Anriss noch nicht vorhanden. Bei einer erneuten Begehung des Gebietes Stollenegg durch den Gemeindeangestellten Franz Waser konnten am 19.07.2010 anschliessend an gewittrige Niederschläge weitere Anrisse mit Versatzhöhen von bis über 1 m ausfindig gemacht werden. Dieser rezente Riss befindet sich östlich der Anrissnische des Ereignisses von 1910 und auf etwa gleicher Meereshöhe.

### 5.2.6 Widibach

Der Widibach weist im Oberlauf ein weit verzweigtes System von Bachläufen auf, das bis zur Krete bei Rigi Dossen reicht. In den Gebieten Eichiberg, Heubergli und Schnuertobel durchfließt er Gebiete mit teils mächtigeren Moränenablagerungen und / oder Bergsturzablagerungen mit zahlreichen Grossblöcken (bis zu Einfamilienhaus grosse Blöcke). Im Schnurtobel biegt das Gerinne des Widibachs zudem stark um. Im August 2005 ereignete sich in Folge der Starkniederschläge im Gebiet Eichiberg eine mit Tiefendränagen stabilisierte Grossrutschung mit heute noch verbleibendem, relevantem Reaktivierungspotenzial.

### 5.2.7 Stuckibach

Der Stuckibach entspringt auf fast 1500 m ü.M. im Gebiet des Würzenstocks und entwässert dessen durchwegs sehr steile SW-Flanke. Im Gebiet Eichiberg durchfließt er ein Gebiet mit teils mächtigeren Moränenablagerungen. Unterhalb Chligruebis fließt der Stuckibach über eine Steilstufe. Im untersten Bachabschnitt verläuft das Gerinne des Stuckibachs innerhalb der Ablagerungen eines prähistorischen Schlipfsturzes. Bei trockener Witterung versickert ein Grossteil des Bachwassers im Bereich Binzifadwald – Langwile, so dass das Gerinne im untersten Gerinneabschnitt zeitweise trocken fällt.

Im Anschluss an das Unwetter im August 2005 wurden auf der Höhe des Hofs Tal Sperren im Gerinne des Stuckibachs eingebaut. Seither hat der Bach deutlich weniger Geschiebe bis in den Bereich des Durchlasses der Kantonsstrasse gebracht.

Während des Unwetters im August 2005 wurde das Gerinne des Stuckibachs auf der Höhe der Kantonsstrasse fortlaufend ausgebaggert. Insgesamt wurden gemäss mündlichen Angaben von Franz Waser (Werkdienst Gemeinde Vitznau) diese Arbeiten über einen Zeitraum von ca. 36 h mit Hilfe eines 8 t-Baggers ausgeführt. Schätzungsweise wurden total ca. 2000 m<sup>3</sup> Geröll ausgebaggert.

### 5.2.8 Speuzibach

Der Speuzibach weist im Oberlauf ein weit verzweigtes System von Bachläufen auf, das bis zur Krete bei Rigi Schild sowie Rigi Kaltbad reicht. Vorab im Gebiet Zopf unterhalb Rigi Schild sind im gerinnenahen Bereich Spontanrutschungen und Hangmuren bekannt. Unterhalb Chligruebis fallen beide Nebenarme des Speuzibachs über eine Steilstufe, bevor sie sich im Gebiet Langwile vereinigen. Ab hier bachabwärts verläuft der Speuzibach innerhalb der Ablagerungen eines prähistorischen Schlipfsturzes.

### 5.2.9 Wilen / Hinter Lützelau

Der sich über ca. 80 Hm erstreckende und bebaute Abhang im Bereich der Unterwilenstrasse ist generell über ca. 30° steil. Oben schliessen bis zu ca. 30 m hohe Felswände aus Nagelfluh an. Ab deren Oberkante bergwärts flacht das Gelände deutlich ab (mehrheitlich zwischen 10 und 20°), und es schliessen die landwirtschaftlich genutzten Wiesen von Wile mit zahlreichen Zeugen früherer Rutschungen an. Das gesamte Gebiet ist von den Ablagerungen eines prähistorischen Schlipfsturzes übergeprägt, dessen Abbrisskante bei der Felswand talwärts Chligruebis bei Chlammere zu suchen ist.

### 5.2.10 Oberschwande

Im Gebiet Oberschwande wurde vor einigen Jahren eine tiefe Felsspalte entdeckt. Da Schafe in diese Spalte gefallen sind und dabei getötet wurden, hat man diese Spalte verfüllt. Solche Spalten sind als mögliche Anriss- oder Ablöseflächen grosser Schlipfstürze anzusehen, die sich in prähistorischer Zeit an den Abhängen der Rigi wiederholt ereigneten (vgl. Kap. 0).

### 5.2.11 Ober Nas

Im Gebiet Ober Nas schliessen unmittelbar bergseits der Kantonsstrasse steile bis überhängende Felswände aus Schrottenkalk an. In diesen bis fast zu 90 m hohen Felswänden finden sich mehrere Kluftkörper und Felsschwarten fraglicher bis kritischer Stabilität, die mittels elektronischer Messgeber automatisch und mit Felssiegeln visuell überwacht werden.

### 5.3 SZENARIEN FESTSTOFFPOTENZIAL

Für das Feststoffpotenzial der Bäche sind Rutschungsprozesse im Einzugsgebiet sowie Sohlenerosion relevant. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass für Sohlenerosion ein bestimmter Abflussgrenzwert überschritten werden muss. Niederschlagsereignisse, die einen unter dem Grenzwert für Sohlenerosion liegenden Abfluss bedingen, führen generell zu Lockergesteinsakkumulationen im Gerinne. Folglich ist das Ausmass der Sohlenerosion primär abhängig von dem zwischen zwei Ereignissen mit relevanter Sohlenerosion verstreichenden Zeitraum potenzieller Akkumulationen (Transitbereiche mit „Zwischenlagerung“).

Die Abschätzung des Feststoffeintrages durch Rutschungen ins Gerinne basiert primär auf den Erkenntnissen früherer Ereignisse sowie der Auswertung des digitalen Geländemodells. Eine Zusammenstellung der Szenarien des Feststoffpotenzials für die einzelnen Bäche findet sich in Anhang 6.

### 5.4 SZENARIEN RUTSCHUNGSPROZESSE

Hinsichtlich der Szenarien Rutschungsprozesse für die Gemeinde Vitznau gilt es, die unterschiedlichen geomorphologischen Verhältnisse der einzelnen Prozessräume zu beachten. Das Hauptsiedlungsgebiet, abgedeckt durch den Perimeter mit hoher Bearbeitungstiefe, ist charakterisiert durch vorwiegend relativ flaches bis mässig steiles Gelände (Kap. 3.1). An diese Siedlungsräume schliessen meist steile bis sehr steile Gebiete an (Abb. 9).

Aufgrund der geomorphologischen Verhältnisse finden sich sowohl innerhalb des Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe als auch ausserhalb zahlreiche potenzielle Quellgebiete für Rutschungsprozesse. Die potenziellen Quell- bzw. Prozessgebiete innerhalb des Bearbeitungsperimeters sind in Anhang 3 beschrieben.

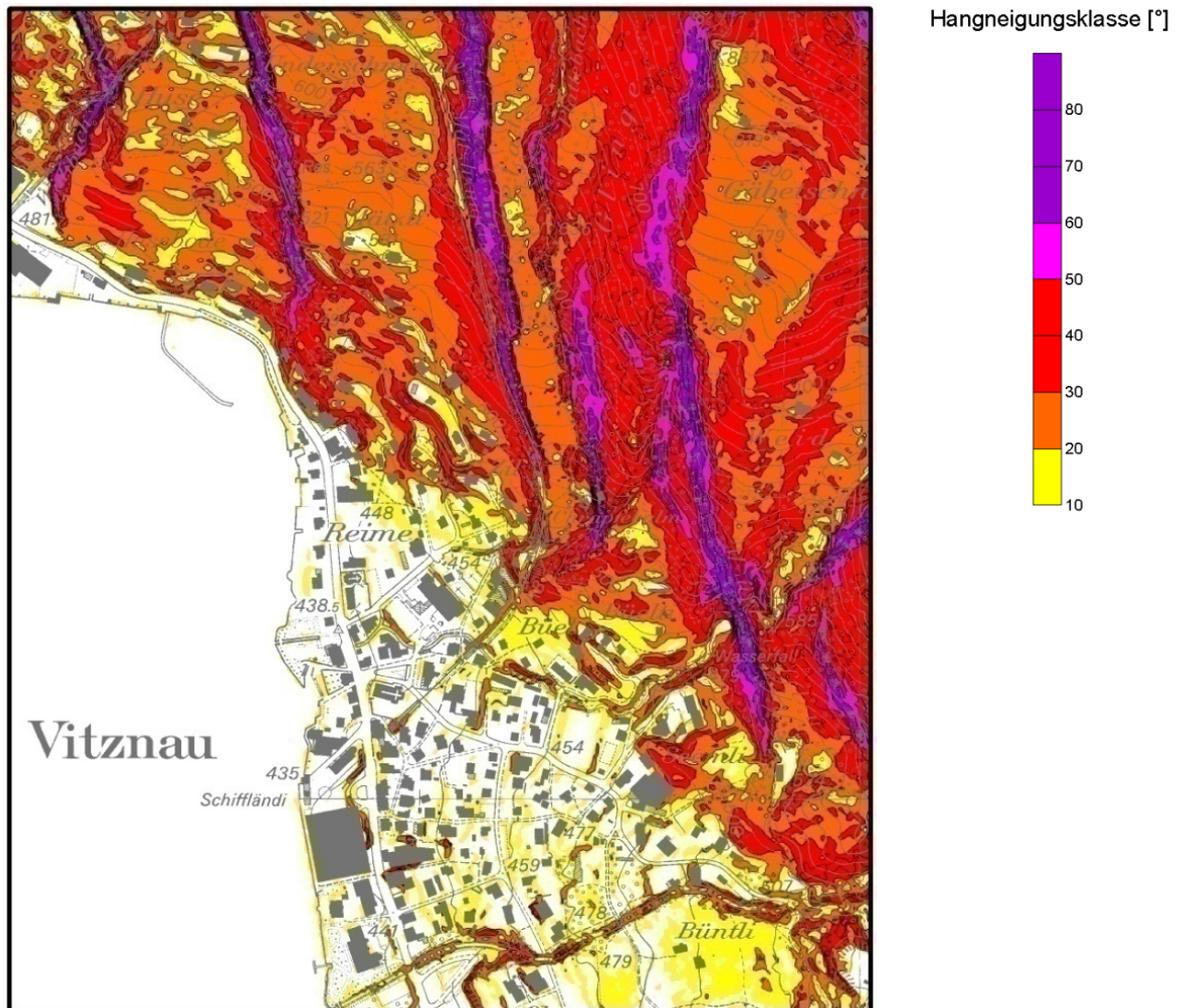
Für Rutschungsprozesse, deren **Quellgebiet ausserhalb des Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe** liegt, gibt es grundsätzlich drei verschiedene Fälle zu unterscheiden:

1. Das Quellgebiet des Rutschungsprozesses befindet sich ausserhalb des Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe. Das Transit- und/oder das Ablagerungsgebiet reichen in den Gefahrenkartenperimeter. Für diese Prozesse werden die entsprechenden Szenarien beschrieben (siehe Anhang 3), wobei Intensitätskarten nur für die sich innerhalb des Perimeters befindende Prozessbereiche erstellt werden. Ausserhalb wird die bestehende Gefahrenhinweiskarte verifiziert und bei Bedarf angepasst.
2. Das Quell-, Transit- und Ablagerungsgebiet des Rutschungsprozesses befinden sich ausserhalb des Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe. Zudem haben diese Rutschungsprozesse keine indirekte Wirkung auf andere, bis in den Perimeter mit hoher Bearbeitungstiefe reichende Naturgefahrenprozesse. Für diese Prozesse werden keine Szenarien beschrieben; sie finden jedoch Berücksichtigung bei der Verifikation der bestehenden Gefahrenhinweiskarte.

3. Das Quell-, Transit- und Ablagerungsgebiet des Rutschungsprozesses befindet sich ausserhalb des Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe. Diese Rutschungsprozesse haben jedoch eine relevante, indirekte Wirkung auf im Bearbeitungsperimeter ablaufende Naturgefahrenprozesse: Als Beispiele seien erwähnt die Grossrutschung Stoltenegg, die im Ereignisfall einen Murgang im Plattebach mit anschliessender Übersargung des Siedlungsgebietes verursachen kann, oder Rutschungen / Hangmuren aus den weitläufigen, labilen Schutthalden im Gebiet von Brust- und Bannwald. Diese Prozesse werden bei der Abschätzung des Feststoffpotenzials berücksichtigt (vgl. Anhang 6), jedoch kartographisch nur im Rahmen der Verifikation der bestehenden Gefahrenhinweiskarte festgehalten.

Als Basis für die Abschätzung der Szenarien für den Prozess Rutschungen dienen unter anderem die Feldbegehung sowie bekannte Ereignisse, die sich auf dem Gemeindegebiet von Vitznau ereignet hatten. Weiter wurde für das gesamte Gemeindegebiet ein hochauflösendes digitales Geländemodell erstellt und ausgewertet. Eine wichtige Grundlage bildet die daraus errechnete, detaillierte Hangneigungskarte (Abb. 9). Weiter werden bei der Bildung der Szenarien für die Rutschungsprozesse die aussagekräftigen Erkenntnisse aus dem Hochwasserereignis vom August 2005 (vgl. BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU 2008A, 2008B) berücksichtigt. Diese Analyse des BUNDESAMTS FÜR UMWELT BAFU (2008A, 2008B) hat folgende Erkenntnisse geliefert:

- Für flachgründige Spontanrutschungen ist die Hangneigung (Abb. 9) der zentrale Faktor. So zeigt die im Rahmen der Gefahrenkartenüberarbeitung ausgeführte Auswertung der knapp 20 Rutschungen und Hangmuren in Vitznau während des Unwetters im August 2005, dass sich diese Prozesse bevorzugt in Hanglagen zwischen ca. 20 und 40° mit maximalen Häufigkeiten um ca. 30° ereignen. Diese Werte decken sich auch mit der Analyse des BUNDESAMTS FÜR UMWELT BAFU (2008A, 2008B), welche schweizweit eine Häufung von flachgründigen Spontanrutschungen in ca. 20 bis 50° steilen Gelände feststellte (Median bei 29°).
- In bewaldeten Gebieten waren flachgründige Spontanrutschungen weniger zahlreich und bevorzugt an steileren Hängen (Median 34°). Diese Erkenntnis konnte ebenfalls im Zusammenhang mit der Analyse des Naturereignisses vom 6. / 7. Juni 2002 an der Nordabdachung des aus Molassefels bestehenden Sonnenberges bei Luzern gemacht werden, bei welchem es bevorzugt in Windwurfflächen des Sturms Lothars (Jahr 1999) kam (vgl. KELLER 2003).
- Während des Unwetters im August 2005 kam es bei vergleichbarer Niederschlagssumme in Flysch- und Molassegebieten zu mehr Rutschungsereignissen als in Gebieten mit anstehenden Kalkgesteinen (helvetische Randkette).



**Abb. 10** Verkleinerter Ausschnitt aus der für die vorliegende Gefahrenkarte errechneten Hangneigungskarten im Masstab 1 : 10'000 (Grundlagedaten © GIS Kanton Luzern). Aus der Karte wird deutlich, dass auch im Siedlungsgebiet ungünstig disponierte Hänge mit Neigungen > 20° vorhanden sind, die geomorphologisch als sog. Transitgebiete zu werten sind.

- Für die Auslösung flachgründiger Spontanrutschungen sind nebst der Vorsättigung die Niederschlagssumme pro Ereignis sowie die Niederschlagsintensität relevant. Die Auslösung mittel- bis tiefgründiger Rutschungen ist generell von der Gesamtniederschlagssumme pro Ereignis abhängig, wobei im Vergleich zu den flachgründigen Spontanrutschungen grössere Niederschlags-Schwellenwerte erforderlich sind. Der Einfluss der Niederschlagsintensität auf die Auslösung mittel- bis tiefgründiger Rutschungen ist untergeordnet. Hingegen sind für mittel- bis tiefgründige Rutschungen die Ausgangssättigung zu Beginn des Niederschlagsereignisses sowie allfällige Erosion im Fussbereich einer potenziellen Rutschung relevant – wie bei den Rutschungen Eichberg und Stollenegg. Beim Hochwasser 2005 wurde vor dem Ereignis bereits eine

bedeutende Vorsättigung von rund 150 mm Niederschlag und damit von 34% der Endniederschlagsmenge von total 472 mm erreicht (Beilage 3).

- Das Unwetter im August 2005 führte in Vitznau zu zahlreichen flach- bis tiefgründigen Spontanrutschungen, die ein Rutschvolumen von knapp 100 m<sup>3</sup> bis zu 80'000 m<sup>3</sup> (Eichiberg) aufwiesen.
- Wie obige Ausführungen zeigen, sind Rutschungsprozesse komplexe, von mehreren, teils schwer zu bestimmenden Faktoren abhängig. Folglich basieren die im Rahmen dieser Gefahrenkartenüberarbeitung definierten, mit entsprechender Unschärfe belasteten Szenarien für Rutschungsprozesse vorab auf einer Analyse der vorliegenden Geländebeziehungen. So werden alle nicht bewaldeten **Hanglagen steiler als 20°** als potentiell kritisch hinsichtlich der Gefährdung durch **Spontanrutschungen** beurteilt. In bewaldeten Gebieten mit **intaktem Baumbestand** erachten wir generell Hanglagen ab ca. **30°** als potentiell kritisch hinsichtlich von Spontanrutschungen. Für die Beurteilung der **Hangmuren** werden Hanglagen **ab 20°** als potentiell kritisch angesehen (AGN 2004), und zwar unabhängig von der Wiederkehrperiode des auslösenden Ereignisses. Weiter kann gesagt werden, dass die zu erwartenden Intensitäten und die Auslaufbereiche der Prozesse Spontanrutschungen und Hangmuren mit steigender Jährlichkeiten der auslösenden Ereignisse zunehmen. Die Abschätzung bezüglich der zu erwartenden Intensitäten allfälliger Spontanrutschungen oder Hangmuren berücksichtigt aber auch die verschiedenen Förderfaktoren vor Ort. Diese Faktoren sind die geologischen Verhältnisse (insbesondere Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Lockergesteinsbedeckung), die Geländeform, Hanggrösse, hydrologisch-hydrogeologische Verhältnisse (Einzugsgebiet, Kluft- und Karstwasserverhältnisse, künstliche Wasserzutritte oder -ansammlungen) sowie die Oberflächenbeschaffenheit und die Landnutzung.

Eine detaillierte Zusammenstellung der verschiedenen Szenarien für die hinsichtlich Rutschungsprozessen potentiell kritischen Gebiete findet sich in Anhang 3.

## 5.5 SZENARIEN STURZPROZESSE

Die Szenarien für Sturzprozesse (Anhang 4) basieren auf den Erkenntnissen früherer Ereignisse, den stummen Zeugen und den geologischen Verhältnissen mit im Bereich der Rigi und des Vitznauer-Stocks ausgeprägten, wirksamen Trennflächen (Kap. 3.4).

### *Prähistorische Schlipfstürze*

Aus dem für die Überarbeitung erstellten Geländemodell (Grundlagedaten GIS KANTON LUZERN 2010) sind zahlreiche Abrisskanten und Akkumulationsgebiete früherer Schlipfsturzereignisse ersichtlich. Die durch die Ablagerungen solcher Ereignisse betroffenen Gebiete unterscheiden sich aufgrund ihrer rauen Morphologie deutlich von den übrigen Gebieten, die eine glattere Morphologie aufweisen. Diese Interpretation des digitalen Geländemodells

demodells deckt sich mit den bereits früher gemachten Beobachtungen durch KOPP (1971), der über die Bergstürze und Rutschungen der Rigi folgendes festhielt: „*In prähistorischer und in historischer Zeit sind von den Righängen über fünfzig Bergstürze losgebrochen. Fast ein Drittel der Fläche der Rigi besteht aus Bergsturztrümmern.*“

Berücksichtigt man, dass sich diese Bergstürze alle seit dem Ende der letzten Eiszeit, also innerhalb von 13'000 Jahren, ereignet haben, ergibt sich für das Rigigebiet rund alle 250 Jahre ein Bergsturzereignis, wobei unmittelbar nach dem Abschmelzen der Gletscher tendenziell vermutlich eine Häufung war. Solche Bergstürze / Schlipfstürze kündigen sich als Grossereignisse üblicherweise über längere Zeiträume an. So haben sich z.B. vorausgehend an den verheerenden Schuttstrom vom Jahr 1795 in Weggis gemäss HEIM (1882) bereits einige Tage bis Wochen vor dem Ausbruch des Schuttstromes Risse im späteren Ausbruchsbereich gebildet.

Eine solche tiefe Spalte wurde vor einigen Jahren im Gebiet Oberschwande entdeckt. Da Schafe in diese Spalte gefallen sind und dabei getötet wurden, hat man diese Spalte verfüllt (Kap. 5.2.10).

Solche **Grossereignisse sind üblicherweise vorhersehbar, sofern die Anzeichen hierfür richtig erkannt und interpretiert werden.**

## 5.6 SZENARIEN WASSERPROZESSE

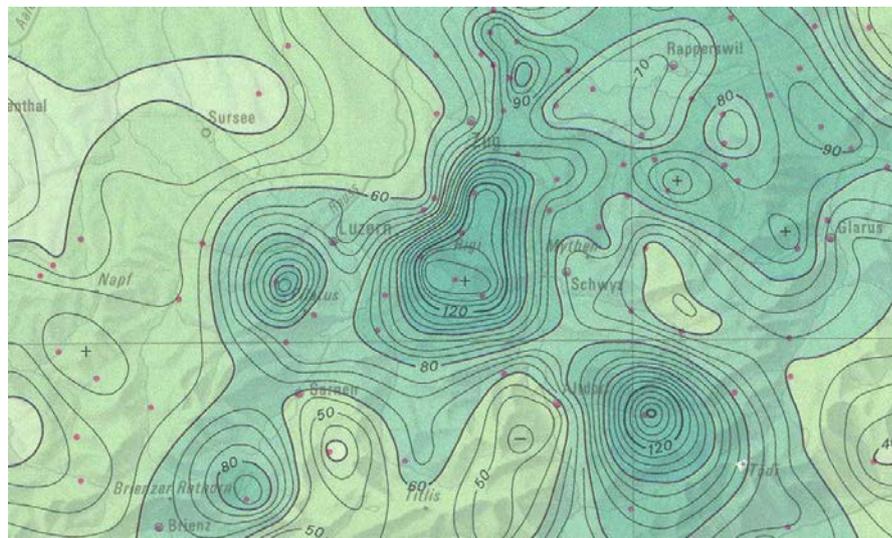
### 5.6.1 Hochwasserabflussmengen

Eine Abschätzung über die mutmasslichen Hochwasserabflüsse wurde mit dem Laufzeitverfahren nach KÖLLA 1986 durchgeführt. Das Verfahren berücksichtigt Gewässerlänge, Benetzungsvolumen und Niederschlagsintensität. Die relevanten Parameter zur Spitzenabflussberechnung sind in Tab. 4 aufgeführt.

	Blatt 2.4 <sup>1</sup>	Blatt 2.4 <sup>2</sup>
2.33jährlicher 1h Niederschlag [mm]	28	28
2.33jährlicher 24h Niederschlag [mm]	70	75
100jährlicher 1h Niederschlag [mm]	135	60
100jährlicher 24h Niederschlag [mm]	220	150
Extremalverteilung [1,2]	2	2

**Tab. 4** Parameter für die Berechnung der Hochwasserabflüsse nach KÖLLA 1986.

Die Angaben zu den 2.33 und 100jährigen Einstunden und 24-Stunden Niederschlägen wurden aus dem HADES Blatt 2.4<sup>1</sup> entnommen. Diese sind höher als die Werte des Blattes 2.4<sup>2</sup>, welche die Werte der Rigi weniger stark gewichten. Aufgrund von Auswertungen verschiedener Messtationen mit hoher zeitlicher Auflösung kommen FORSTER & BAUMGARTNER (1999) zum Schluss, dass beide Karten die Intensitäten von kurzen 100jährigen Niederschlägen tendenziell unterschätzen. Kurze Niederschlagsereignisse mit hohen Intensitäten sind in den letzten 20 Jahren gehäuft aufgetreten. Für den praktisch Tätigen Ingenieur empfehlen FORSTER & BAUMGARTNER (1999): „Das massgebende Niederschlags-Intensitätsdiagramm für den gesuchten Standort ist auf derjenigen Starkniederschlagskarte zu basieren, welche die grösseren Intensitäten liefert.“ Diesem Rat wollen wir folgen und erachten deshalb die Intensitätswerte von Blatt 2.4<sup>1</sup> als massgebend.



**Abb. 11** 100jähriger Stundenniederschlag (aus HADES Blatt 2.4<sup>1</sup>)

Die Gerinnelänge L und die Einzugsgebietsflächen EZG wurden aus der LK 1 : 25'000 (SwissMap 25) ermittelt. Die Angaben zum Bodentyp zur Ermittlung des erforderlichen Regenvolumens stammen aus der Bodeneignungskarte.

Gewässer	EZG [km <sup>2</sup> ]	L [km]	EZG beitragend [km <sup>2</sup> ] (% vom Total)	Bodentyp	Benetzungsvolumen	Niederschlagsdauer
Lättitobel	0.25	1.1	0.16 (64%)	C	39 mm	1.0 h
Chalibach	0.50	2.2	0.33 (66%)	C	39 mm	1.1 h
Altdorfbach	2.6	11.9	2.07 (80%)	B	32 mm	1.5 h
Plattebach	0.69	2.7	0.40 (58%)	B	32 mm	1.1 h
Widibach	1.02	4.3	0.66 (65%)	B	32 mm	1.2 h
Mülibach	0.72	3.3	0.48 (67%)	B	32 mm	1.2 h
Speuzibach	1.90	6.9	1.09 (57%)	B	32 mm	1.1 h
Stuckibach	0.65	2.8	0.41 (63%)	B	32 mm	1.1 h

**Tab. 5** Tabellarische Zusammenstellung der für die Abschätzung der 100jährigen Hochwasserabflussmengen verwendeten Parameter.

In Tab. 6 sind die Resultate des Laufzeitverfahrens zusammengestellt. Als Vergleich dient die empirische Hochwasserabflussformel von Kürsteiner:  $HHQ = C \cdot A^{2/3}$  mit  $C = 12$  (typischer Wert für steile Gebiete) und  $A =$  Einzugsgebietsfläche. Im Weiteren sind die Hochwasserabflüsse aus der bestehenden Gefahrenkarte aufgeführt (Spalten 7 resp. 8 in Tab. 6).

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Gewässer	HQ30 [m <sup>3</sup> /s]	HQ100 [m <sup>3</sup> /s]	HQ300 [m <sup>3</sup> /s]	EHQ [m <sup>3</sup> /s]	Kürsteiner [m <sup>3</sup> /s]	HAKESCH HQ100	GK 2004 HQ100	Abweichung
Lättitobel	3.8	7.1	10	13	5.4	6.0-8.3	8.0	-11%
Chalibach	7.0	13	19	25	7.6	4.0 - 13	8.0	+60%
Altdorfbach	32	57	79	104	23	18 - 70	45	+26%
Plattebach	9.0	16	23	30	9.4	7.0 - 26	14	+14%
Widibach	14	24	34	44	12	13 - 42	20	+20%
Mülibach	10	19	26	34	9.6	7 - 27	14	+35%
Speuzibach	20	36	50	66	18	20 - 42	40	-10%
Stuckibach	9.1	16	23	30	9.0	6 - 21	14	+14%

**Tab. 6** Ermittelte Hochwasserabflussmengen für verschiedene Wiederkehrperioden mit Laufzeitverfahren KÖLLA (2-5), nach KÜRSTEINER (6) und Vergleich mit den Werten der bisherigen Gefahrenkarte 2004 resp. 2007 (Lättitobel).

Vergleicht man die Werte für das HQ100 des Laufzeitverfahrens (Spalte 3) mit dem Wert der bisherigen Gefahrenkarte (Spalte 8) ergeben sich zum Teil grössere Unterschiede (Spalte 9). Die grösste Abweichung resultiert beim Chalibach (+60%). In der bisherigen Gefahrenkarte wird das Einzugsgebiet mit 0.34 km<sup>2</sup> angegeben. Bis zur Mündung in den Vierwaldstättersee beträgt die Fläche jedoch rund 0.50 km<sup>2</sup>. Es ist deshalb anzunehmen,

dass für den Chalibach nicht das gesamte Einzugsgebiet berücksichtigt wurde. Relativ gross sind auch die Abweichungen beim Mülibach (+35%) und beim Altdorfbach (+26%). Der Wert aus dem Laufzeitverfahren liegt jedoch durchaus innerhalb des mittels HAKESCH ermittelten Streuungsbereichs. Die übrigen Abweichungen liegen innerhalb einer Spanne von 20%.

Im Vergleich zur Formel von Kürsteiner liegen die Werte des Laufzeitverfahrens systematisch deutlich höher. Der Grund liegt darin, dass die im schweizerischen Vergleich sehr hohen Niederschlagsintensitäten im Raum Vitznau direkt in das Laufzeitverfahren eingehen und zu entsprechend grossen Abflüssen führen.

Für den Plattenbach wurden zusätzlich Simulationen mit einem Niederschlag-Abfluss-Modell (NAM) ausgeführt (vgl. HOLINGER ET AL. 2011). Im Vergleich zum Laufzeitverfahren ergeben sich um bis 25% höhere Abflussspitzen.

In Absprache mit dem Auftraggeber werden Speuzi- und Stuckibach nicht weiter beurteilt und die Ergebnisse der bisherigen Gefahrenkarte übernommen.

## 5.6.2 Überschwemmung

Die Kapazitäten der Gerinne für Reinwasserabfluss sind in der Gefahrenkarte 2004/2007 anhand von ausgewählten Querprofilen abgeschätzt und die Schwachstellen bestimmt worden. Im Rahmen der Überarbeitung wurden zusätzliche Analysen für den Müli- und den Plattenbach ausgeführt. Die im Rahmen des Integralen Schutzkonzepts für den Plattenbach (HOLINGER ET AL., 2011) erhobenen Querprofilaufnahmen wurden in das numerische Modell integriert.

### 5.6.2.1 Plattenbach

Die Gerinnekapazität ist für häufige und seltene Hochwasser ausreichend. Lokal begrenzte Ausuferungen aufgrund von Stosswellen (überkritischer Abfluss) mit geringer Intensität können nicht ausgeschlossen werden.

In der Steilstrecke oberhalb der Plattenbachbrücke (Höhe Plattenhaus) ist das Gerinne teilweise tief und auch schmal in den Fels eingeschnitten. Schwemmholz kann hier hängen bleiben und die Abflusskapazität des Gerinnes reduzieren. Dies gilt insbesondere auch für den Brückendurchlass selbst. Bei den Modellierungen werden diese Engstellen als verklaust angenommen (Sohlenlage im Modell entspricht der Brückenplatte resp. der Felslage oberhalb des Einschnittes).

Oberhalb des Siedlungsgebietes ist das Gerinne nicht verbaut. Der Damm der VRB quert das Gerinne des Plattenbaches. Bei einem Einstau infolge Verklausung des Durchlasses sowie dynamische Belastungen durch Murschübe kann ein Versagen des Dammes nicht ausgeschlossen werden. Für die Wirkungsanalyse wird angenommen, dass zumindest bei

einem seltenen Ereignis (Wiederkehrperiode 100 - 300 Jahre) ein Versagen des Dammes anzunehmen ist.

Unterhalb des Dammes des VRB ist der Plattenbach mittels Wildbachschale verbaut. Der Zustand der teilweise angejäherten Verbauungen kann als gut beurteilt werden. Aufgrund der im Hochwasserfall sehr hohen Strömungsbelastungen und der baulichen Gestaltung mittels Natursteinen ist ein lokales Versagen der Verbauung trotzdem nicht auszuschliessen. Ein solches Versagen, das grundsätzlich auf dem gesamten, offen geführten Abschnitt möglich ist, kann innert Minutenfrist zu einem wesentlichen Kollaps des Systems führen. Die Wiederkehrperiode für ein solches Versagen wird auf 100 bis 300 Jahre eingeschätzt.

#### 5.6.2.2 Mülibach

Die Sohle des Mülibachs ist entlang des Kegels deutlich abgeplästert. Der Ablagerungsbereich unterhalb des Wasserfalls wirkt bei starkem Geschiebeanfall aus dem Oberlauf als Dossierstrecke. Die zahlreichen Querwerke und der Zustand der Uferverbauungen weisen auf eine latente Erosion hin. Hinweise auf Auflandungen, beispielsweise Kiesbänke, sind nicht auszumachen.

Bereits bei häufigen Ereignissen können Wasseraustritten im Bereich des Schulhauses aufgrund der zu geringen Abflusskapazität und beim Durchlass Kantonsstrasse (nach dem Zusammenfluss mit dem Plattenbach) nicht ausgeschlossen werden. Die zahlreichen Gerinnekrümmungen, Profil- und Gefällswechsel im Bereich Schulhaus machen eine Abschätzung der Gerinnekapazität sehr schwierig. Die hydraulische Situation ist suboptimal.

Bei seltenen Ereignissen ist mit Wasseraustritten entlang weiterer Bachaustritte zu rechnen. Der Prozessraum ist von Überflutung mit schwacher Intensität betroffen. Bei sehr seltenen Ereignissen vergrössert sich der Prozessraum weiter, auch nördlich entlang der Kantonsstrasse<sup>2</sup>. Entlang des Rigibahntrasses kann Wasser durch den Tunnel bis in den Bahnhofsbereich gelangen.

#### 5.6.2.3 Übrige Bäche

Für die übrigen Bäche sei auf den technischen Bericht der Gefahrenkarte 2004/2007 verwiesen. Teilweise ungenügend ist das Schluckvermögen von Bauwerken, namentlich von Durchlässen und Brücken. Der reduzierte Querschnitt führt zu einer lokalen Abnahme der Kapazität, und es besteht die Gefahr von Verklausungen infolge von Schwemmholzdrift. Ausuferungen können auch durch rückschreitende Auflandungen im Mündungsbereich der Bäche (z.B. Altdorfbach) entstehen.

---

<sup>2</sup> In der modellierten Intensitätskarte breitet sich eine Überflutung entlang der Kantonsstrasse in nördliche Richtung aus. Gemäss Aussage der Gemeinde (Frau I. Keller, Protokoll der Sitzung vom 19.9.2011) trat im 2005 genau dieses Szenario ein. Die modellierte Intensitätskarte konnte somit durch eine unabhängige Beobachtung bestätigt werden.

### 5.6.3 Übermürung

Sämtliche der verbleibenden und untersuchten Bäche sind aufgrund der hohen Bruttogefälle murgangfähig. **Übermürung ist für die Gefahrensituation im Siedlungsgebiet häufig der massgebende Prozess.**

- Beim Chalibach besteht aufgrund der feinkörnigen Sohle die Möglichkeit, dass sich bei mittleren und seltenen Abflüssen im Gerinne Murgänge infolge progressiver Erosion ausbilden. Die übrigen untersuchten Bäche laufen abschnittsweise auf Fels oder weisen eine grob verblockte Sohle auf. Die für die progressive Erosion erforderlichen spezifischen Flüsse werden nicht erreicht. Entscheidend werden deshalb die Feststoffeinträge durch seitliche Rutschungen.
- Beim Mülibach ist unterhalb der Steilstufe (Wasserfall) mit einer Ablagerung von Murgängen zu rechnen. Im Kegelbereich ist fluvialer Geschiebetransport dominant. Für die Gefährdung ist primär Überschwemmung massgebend.

Die in der Modellierung verwendeten Murgangfrachten sind in Tab. 7 zusammengefasst.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Gewässer	HQ30 [m <sup>3</sup> ]	HQ100 [m <sup>3</sup> ]	HQ300 [m <sup>3</sup> ]	EHQ [m <sup>3</sup> ]	GK 2004 HQ100	Abweichung Faktor
Lättitobel	1'500	4'000	8'000	10'00	2'000	2.0
Chalibach	7'000	30'000	45'000	65'000	500	60
Altdorfbach	18'000	45'000	80'000	350'000	4'000	11
Plattebach	5'040	16'700	31'300	79'000	1'500	11
Widibach	2'000	11'000	26'000	150'000	3'000	3.7
Mülibach	1'000	2'000	7'000	20'000	400	5.0

**Tab. 7** Zusammenstellung der totalen Murgangfrachten für verschiedene Wiederkehrperioden aufgrund des Feststoffpotentials und Vergleich mit den Werten der bisherigen Gefahrenkarte 2004/2007.

Die neuen, intensiv diskutierten und wohl begründeten Murgangfrachten sind im Vergleich zum Geschiebepotential der Gefahrenkarte 2004/2007 um Faktoren bis Potenzen grösser. Für den Chalibach wird die Murgangfracht für ein seltenes Ereignis gemäss neuem Konsens um einen Faktor 60 höher eingeschätzt. Für den Altdorf- und den Plattenbach beträgt der Unterschied ebenfalls rund eine Zehnerpotenz.

Für alle untersuchten Gerinne gilt: Aufgrund der hohen Bruttogefälle **breiten sich die Murgänge mit hohen Fließgeschwindigkeiten und ohne wesentliche Dämpfung bis zum Kegelbereich und damit bis in das Siedlungsgebiet aus.** Natürlicher Rückhalt resp. grössere Ablagerungszonen sind oberhalb des Siedlungsgebietes kaum vorhanden. Der Geschiebesammler am Altdorfbach mit einem Rückhaltevermögen von zirka 10'000

m<sup>3</sup> (Schubiger AG 2006) ist auf Grundlage der Projektpläne in der Modellierung berücksichtigt.

Die freien Parameter der Modellierung (Reibungsbeiwerte und Grenzschubspannung) können je nach Ereignistyp stark variieren. Es werden deshalb Simulationen mit je zwei unterschiedlichen Parameterwerten ausgeführt, welche den mutmasslichen Bereich abdecken. Weiter ist auch über den zeitlichen Eintrag der Feststoffe eine Annahme zu treffen. Der Abgang der gesamten Feststofffracht in einem einzigen Murschub ist aufgrund des i.d.R. inhomogenen Aufbaus der Rutschungen unwahrscheinlich. Bei der Modellierung wird angenommen, dass die Feststofffracht in zwei resp. drei gleich grossen Murschüben abgeht. Insgesamt ergeben sich pro Wiederkehrperiode acht verschiedene Wertekombinationen.

#### 5.6.3.1 *Widibach*

Murgänge mit geringen Frachten (häufige Ereignisse) werden entlang des Gerinnes und vor allem im Gebiet Parkwald abgelagert. Grössere Feststofffrachten werden somit nicht bis in den Bereich des Parkhotels gelange.

Bei seltenen Ereignissen ist mit Übermurungen und Übersarungen auf der Erschliessungsstrasse zu rechnen. Betroffen von hoher Intensität ist eine Liegenschaft direkt unterhalb der Erschliessungsstrasse. Im Bereich Kantonsstrasse und Parkhotel sind Übermurungen von mittlerer Intensität zu befürchten. Bei noch höheren Murgangfrachten treten im Bereich der Kantonsstrasse und bergseitig der Kantonsstrasse verbreitet starke Intensitäten auf.

#### 5.6.3.2 *Plattebach*

Häufige Murgangereignisse können grösstenteils im bestehenden Gerinne abgeführt werden. Mit Ausuferungen von mittlerer Intensität ist im Bereich der Zihlstrasse zu rechnen.

Bei seltenen Ereignissen sind Ausuferungen mit mehrheitlich mittlerer Intensität oberhalb des Siedlungsgebietes im Gebiet Platte zu erwarten. Betroffen davon ist auch das Trasse der Rigibahn. Grössere Ausuferungen und Murgangablagerungen treten im Siedlungsgebiet auf. Betroffen ist primär das Gebiet Reimen. Auch entlang des Bahndammes der Rigibahn können sich Murgänge ausbreiten. Lokal entlang der Zihlstrasse oder auf der Seestrasse treten auch hohe Intensitäten auf (Ablagerungshöhen über 1.0 m). Das Schulhausareal ist am Rande betroffen. Die Situation ist vergleichbar mit dem Ereignis im Jahre 1910.

Das Ausmass und die Intensitäten der Übermurungen nehmen mit der Murgangfracht weiter zu. Für sehr seltene Ereignisse wird das Trasse der Rigibahn auf einer Länge von 150 m mit mittlerer Intensität und auf weiteren 80 m mit hoher Intensität betroffen. Entlang der Zihlstrasse finden sich ausgedehnte Zonen mit hoher Intensität. Gegen den See hin nehmen die Intensitäten tendenziell auf mittlere Werte ab.

#### 5.6.3.3 Mülibach

Murgänge aus dem Oberlauf kommen unterhalb der Steilstufe (Wasserfall) zur Ablagerung. Für den Siedlungsraum ist der Prozess Überschwemmung und Übersarung massgebend.

#### 5.6.3.4 Altdorfbach

Bei häufigen Ereignissen vermag der Geschiebesammler die anfallenden Feststofffrachten zurückzuhalten. Es ist nicht mit Ausuferungen aus dem Gerinne zu rechnen.

Bei seltenen Ereignissen reicht der Geschiebesammler für einen vollständigen Rückhalt der Murgangfrachten nicht mehr aus und es kommt zu Übermurungen in das Siedlungsgebiet. In Gerinnenähe können auch starke Intensitäten auftreten. Am Rande des Prozessraumes ist mit Übergängen zu einer Übersarung (geringe Intensitäten) zu rechnen. Bei weiter zunehmenden Murgangfrachten dehnt sich der Prozessraum aus. Es ist im Siedlungsraum beidseits des Altdorfbaches bis zur Mündung in den See verbreitet mit starken Intensitäten zu rechnen.

#### 5.6.3.5 Chalibach

Bei häufigen Ereignissen sind die Kantonsstrasse und das Gebiet Tschuepis nördlich des Pseudamms betroffen. Die Intensitäten sind mittel (Übermurung) oder gering (Übersarung).

Bei seltenen Ereignissen kommt es auf Höhe 550 m ü. M. zu einem rechtsseitigen Ausbruch aus dem Gerinne. Betroffen mit mittlerer Intensität sind Flächen des Gebiets Stacher einschliesslich Campingplatz und Flächen beidseits der Kantonsstrasse bis zum See. Bei einer Verklauung des Durchlasses unter dem Steinschlagschutzdamm ist ein Überströmen des Schutzdammes möglich. Die Kantonsstrasse und die Flächen im Gebiet Tschuepis werden mit mittlerer und lokal auch mit starker Intensität betroffen.

Bei weiter erhöhter Murenfracht dehnt sich der Prozessraum weiter aus. Die Flächen starker Intensität dehnen sich weiter ins Siedlungsgebiet aus. Der Steinschlagschutzdamm kann aufgrund der Strömungsbelastung versagen. In den talwärts gelegenen Flächen (Kantonsstrasse, Tschuepis) ist mit starken Intensitäten zu rechnen.

#### 5.6.3.6 Lättitobel

Der Murgangabfluss mit hoher Intensität ist auf eine Geländemulde konzentriert und fliesst unter der Kantonsstrassenbrücke in den Vierwaldstättersee.

Bei häufigen Ereignissen ist im Bereich der Eindolung oberhalb der Kantonsstrasse und auf der Kantonsstrasse mit Übermurungen mittlerer Intensität (Murganghöhen < 1 m) zu rechnen.

Bei seltenen Ereignissen werden zusätzlich die Liegenschaft (Kote 496) sowie Wieslandflächen betroffen. Bei weiter zunehmenden Murgangfrachten weitet sich der betroffene Perimeter aus.

#### 5.6.4 Seehochwasser

Hochwasserstände im Vierwaldstättersee können zu einem statischen Einstau der Uferzonen führen. Es werden Hochwasserstände gemäss Tab. 8 angenommen.

Wiederkehrperiode [Jahre]	30	100	300
Pegel [m ü. M.]	434.60	434.85	435.05

**Tab. 8** Angenommene Hochwasserstände des Vierwaldstättersees.

Die Werte sind der Gefahrenkarte Schwyz-Ingenbohl-Morschach Nord (GEOTEST, BEFFA TOGNACCA GMBH 2007) entnommen. Berücksichtigt ist die Sanierung der Reusswehranlage Luzern. Nicht berücksichtigt sind interne Wellen (Seiche), Wellenbildung durch Windexposition und Flutwellen beispielsweise durch Bergsturz, Felsabbrüche, Rutschungen oder Erdbeben.

Die Einstauhöhen werden basierend auf den ausgedünnten Rohdaten des DTM-AV (Flug 2002) ermittelt.

#### 5.6.5 Zusammenfassung

Für die Gefährdung aus Wasserprozessen ist primär die Prozessart Übermürung massgebend. Dies gilt für alle untersuchten Fliessgewässer.<sup>3</sup> Die Murenfrachten werden durch die Feststoffeinträge der gerinnenahen Rutschungen determiniert.<sup>4</sup> **Rutschungsprozesse stehen somit am Anfang der Murgänge.**

Die Prozessräume und auftretenden Intensitäten wurden mittels zweidimensionaler numerischer Modellierung anhand der aufgrund von geologischen Abklärungen hergeleiteten Murgangfrachten bestimmt. Die Simulationen umfassen das Transitgebiet (Gerinneabfluss) und die Ablagerungsräume auf dem Schwemmkegel bis zur Mündung in den Vierwaldstättersee. Die Resultate der Simulationen wurden im Feld plausibilisiert. Gemäss Vorgaben des Kt. Luzern wurden die modellierten Gefahren- und Intensitätsflächen von

<sup>3</sup> Für den Mülibach ist zusätzlich die Prozessart Überschwemmung zu berücksichtigen.

<sup>4</sup> Für den Chalibach ist bei seltenen und sehr seltenen Ereignissen auch Murgang durch progressive Erosion möglich.

Hand arrondiert (Bearbeitung durch Dr. G. Hunziker, Hunziker Gefahrenmanagement, Kerzers).

Für den Mülibach und den Plattebach wurde zusätzlich der Prozessraum für Überschwemmung ausgeschieden. Für die übrigen untersuchten Bäche wird der Prozessraum Überschwemmung, einschliesslich der Schwachstellenanalyse, der Wirkung von Schutzbauten und die Berücksichtigung von Sekundärprozessen (Geschiebeablagerungen, Schwemmholz) gemäss Gefahrenkarte 2004/2007 als gültig erachtet. Eine inhaltliche Überprüfung der Gefahrenkarte 2004/2007 erfolgte für die Ermittlung der Hochwasserabflussmengen und des Geschiebepotentials.

## 6 PLausibilisierung der Gefahrenhinweiskarten

### 6.1 Einleitung

Gemäss den kantonalen Vorgaben werden die bestehenden Gefahrenhinweiskarten an denjenigen Stellen überprüft, wo keine Gefahrenkarten erstellt werden (niedrige Bearbeitungstiefe).

### 6.2 Wasserprozesse

Die Prozessräume für den Prozess Wasser werden für folgende Gewässer neu bearbeitet:

- **Übermürung:** Widibach, Plattebach, Mülibach, Altdorfbach, Chalibach, Lättitobel.
- **Überschwemmung:** Mülibach, Plattebach, Vierwaldstättersee

Die Prozessräume für die Darstellung der Gefahrenhinweiskarte und die übrigen Bäche resp. Prozessarten werden ungeprüft von den Erstbearbeitern (ARGE GEOTEST AG, FORSTINGENIEURBÜRO BERWERT-LOPES 2004) übernommen.

### 6.3 Rutschungen

In der zu überarbeitenden Gefahrenkarte bzw. in der synoptischen Gefahrenkarte ARGE GEOTEST AG, FORSTINGENIEURBÜRO BERWERT-LOPES 2004 finden sich an der Bearbeitungsgrenze zahlreiche Gefahrenhinweise für Rutschungsprozesse, die sich ausserhalb dieses Perimeters in der Gefahrenhinweiskarte trotz gleicher Disposition (Art und Mächtigkeit der Lockergesteinsbedeckung, Geländesteilheit, etc.) nicht fortsetzen (z.B. Gebiet Grabacher) und so eine Inkonsistenz in der Gefahrenbeurteilung darstellen.

Weiter liegen für einige Gebiete ausserhalb des Perimeters mit hoher Bearbeitungstiefe keine Gefahrenhinweise für Rutschungsprozesse vor, obwohl Ereignisse dokumentiert sind (z.B. Wile).

Aufgrund der erkannten Inkonsistenzen sowie der fehlenden Gefahrenhinweise für Gebiete mit dokumentierten Ereignissen wegen haben wir die Gefahrenhinweiskarte für den Prozess Rutschung komplett überarbeitet und ergänzt. Diese Überarbeitung basiert auf den für die Gebiete innerhalb des Gefahrenkarten-Perimeter definierten Szenarien (Anhang 3).

Im Gebiet der Rigi wurden die teils recht hohen Felswände ebenfalls mit einem Gefahrenhinweis für Rutschungsprozesse versehen, da in aus den Steilhängen über dem Kronenbereich der Felswände zahlreiche Rutschereignisse bekannt sind, die sich über diese

Felswände ergossen. Da die anstehenden die Lockergesteine generell hohe Feinanteile aufweisen und gering durchlässig sind (Lokalmoränen, verlehmtter Gehängeschutt), sind sie entsprechend anfällig für eine Verflüssigung hin zu Hangmuren (Kap. 3.3.4).

#### **6.4 STURZPROZESSE**

In der zu überarbeitenden Gefahrenkarte bzw. der synoptischen Gefahrenkarte (ARGE GEOTEST AG, FORSTINGENIEURBÜRO BERWERT-LOPES 2004) finden sich für Sturzprozesse an der Perimetergrenze im potenziellen Ablagerungsgebiet von Sturzprozessen Gefahrenhinweise, die sich ausserhalb dieses Perimeters - üblicherweise hangaufwärts - in der Gefahrenhinweiskarte wiederum nicht fortsetzen (Kap. 6.3), was eine Inkonsistenz in der Gefahrenbeurteilung darstellt (z.B. Gebiet Grund).

Weiter wurde bei der Erstbearbeitung der Gefahrenhinweiskarte der Prozess Schlipfsturz nicht berücksichtigt. Die Aussage des Geologen KOPP (1971) - „*Fast ein Drittel der Fläche der Rigi besteht aus Bergsturstrümmern.*“ - verdeutlicht die Relevanz dieses Prozesses für die Gefahrenbeurteilung. Folglich drängte sich auch für den Prozess Sturz der Gefahrenhinweiskarte eine Überarbeitung auf, die wiederum auf den für die Gebiete innerhalb des Gefahrenkarten-Perimeters definierten Szenarien (Anhang 3, Anhang 4) basiert.

#### **6.5 LAWINENPROZESSE**

Der Prozess Lawinen wird auftragsgemäss nicht behandelt, und die Prozessbereiche für die Darstellung der Gefahrenhinweiskarte sind von den Erstbearbeitern (ARGE GEOTEST AG, FORSTINGENIEURBÜRO BERWERT-LOPES 2004) übernommen worden.

## 7 SCHUTZZIELE UND SCHUTZDEFIZITANALYSE

### 7.1 VORGEHEN

Für unterschiedliche, in Kategorien zusammengefasste Objekte, z.B. geschlossene Siedlungen, Verkehrswege, Leitungen etc. hat der Kanton Luzern entsprechende **Schutzziele**, d.h. maximal zulässige Gefahrenstufen festgelegt (Abb. 11). Die gemäss Absprache mit der Gemeinde Vitznau und der Dienststelle Verkehr und Infrastruktur (Abteilung Naturgefahren) zu berücksichtigenden Schutzobjekte wurden gemäss dem Perimeter Kap. 2.3 bearbeitet. Die Schutzdefizitanalyse besteht in einem Verschnitt der Intensitätskarten mit den Schutzzielen der zu beurteilenden Objekte.

Die Resultate der Schutzdefizitanalyse werden in **Schutzdefizitkarten** dargestellt. Bestehende Schutzbauwerke werden gemäss den kantonalen Vorgaben *nicht* berücksichtigt - ausgenommen der Steinschlagschutzdamm Stacher / Chalibach sowie der Geschiesammler Altdorfbach.

### 7.2 RESULTATE

#### 7.2.1 Schutzdefizite Sturzprozesse

- Entlang der zahlreichen, kleineren Felsböschungen, in welchen häufiger Steinschlag schwacher Intensität zu erwarten ist, bestehen **kleine Schutzdefizite**: Rigi First, Unterwilenstrasse, Häuser zwischen Wilenstrasse und Bahn-Trasse.
- Weitere **kleine bis mittlere Schutzdefizite** resultieren für Gebiete mit häufigen Sturzprozessen schwacher und seltener bis sehr seltener Sturzprozesse schwacher bis mittlerer Intensität: Rigi First, Bahn-Trasse im Gebiet Grubisbalm, Unterwilenstrasse 22 sowie 36 bis 44, Huse, Huserainstrasse, Stacher, Grund, Kantonsstrasse K2b im Gebiet Naswald und teilweise im Abschnitt Tschuepis - Bürgle.
- **Mittlere bis hohe Schutzdefizite** bestehen in den Gebieten Unterwilenstrasse 26 bis 30, Plattenhus, Tschuepis, Kantonsstrasse K2b im Gebiet Hinter Lützelau, Gafel sowie Ober Nas.

#### 7.2.2 Schutzdefizite Rutschungsprozesse

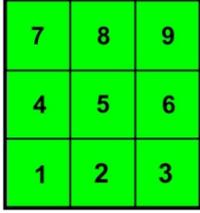
- **Kleine Schutzdefizite** liegen für die zahlreichen kleinen Steilböschungen innerhalb des Siedlungsgebietes vor, in denen bei häufigen Ereignissen Spontanrutschungen schwacher Intensität ereignen können: Rigi First, Gebiet Unterwilen, Lausiegg, See-strasse, Sonnhalde, Mittlerschwande.

- Weitere **kleine bis mittlere Schutzdefizite** resultieren für Gebiete mit häufigen Rutschungsprozessen schwacher und seltener bis sehr seltener Rutschungsprozesse schwacher bis mittlerer Intensität: Grabacher, Huse, Husenrainstrasse, Seestrasse, Mätzli, Unterschwande, Mitlerschwande, Seemli.
- **Mittlere bis hohe Schutzdefizite** durch Rutschungsprozesse liegen nicht vor.

### 7.2.3 Schutzdefizite Hochwasserprozesse

Rutschungen, die in die Gerinne gelangen, können durch Verflüssigung als Gerinnemurgang abgehen und so in urbane Gebiete mit erhöhter Nutzung gelangen. Murgänge sind als „brutale“ Prozesse einzustufen und die neben Sachschäden oftmals leider auch zu Personenrisiken führen können.

- **Widibach (Übermurgung):** Mittlere bis hohe Schutzdefizite weisen auf: Hasliweid; Huse, Parkwald und Seestrasse mit Parkhotel.
- **Plattebach (Übermurgung):** Mittlere bis hohe Schutzdefizite weisen auf: Rigibahndamm; Zihlstrasse; Rigiweg; Reime; Seestrasse.
- **Mülibach (Überschwemmung):** Geringe bis mittlere Schutzdefizite weisen auf: Schulhausareal; Dorfplatz, Seestrasse.
- **Altdorfbach (Übermurgung):** Mittlere bis hohe Schutzdefizite weisen auf: Oberdorfstrasse; Altdorfstrasse; Rubistrasse; Vogelsang (Camping), Seestrasse; Vitznauerhof.
- **Chalibach (Übermurgung):** Mittlere bis hohe Schutzdefizite weisen auf: Stacher; Altdorfstrasse (Camping); Tschuepis, Seestrasse.
- **Lättitobel (Übermurgung):** Geringe bis mittlere Schutzdefizite bestehen für Einzelgebäude im Gebiet Bürgle.

Nr.	Objektkategorie			Schutzziele	
	Sachwerte	Infrastruktur	Naturwerte	 nicht tolerierte Einwirkung	 akzeptierte Einwirkung
1	Standortgebundene Bauten, exkl. Sonderrisiken	Wanderwege* und Loipen* von kantonaler Bedeutung, Flurwege, Leitungen von kommunaler Bedeutung, Ski- und Bergtourenrouten (gemäss SAC-Karten usw.)*	Alpweiden, Ödland, Naturlandschaften	 <p>Intensität ↑ stark mittel schwach</p> <p>sehr selten häufig selten → Häufigkeit</p>	
2	Unbewohnte Gebäude (Remisen, Weidscheunen usw.)	Verkehrswege von kommunaler Bedeutung, Leitungen von kantonaler Bedeutung	Wald mit erheblicher oder besonderer Schutzfunktion, landwirtschaftlich genutztes Land	 <p>Intensität ↑ stark mittel schwach</p> <p>sehr selten häufig selten → Häufigkeit</p>	
3	Zeitweise oder dauernd bewohnte Einzelgebäude und Weiler, Ställe	Verkehrswege von nationaler, kantonaler oder grosser kommunaler Bedeutung, Leitungen von nationaler Bedeutung, Bergbahnen*, Zonen für Skiabfahrten*, Skiübungsgelände*		 <p>Intensität ↑ stark mittel schwach</p> <p>sehr selten häufig selten → Häufigkeit</p>	
4	Geschlossene Siedlungen, Gewerbe, Industrie, Bauzonen	Stationen diverser Beförderungsmittel*, Campingplätze*, Freizeit- und Sportanlagen, andere grosse Menschenansammlungen mit geringem Schutz gegen Gefahrenwirkungen		 <p>Intensität ↑ stark mittel schwach</p> <p>sehr selten häufig selten → Häufigkeit</p>	
5	Sonderrisiken bezüglich besonderer Schadenanfälligkeit oder Sekundärschäden			<b>wird fallweise festgelegt.</b>	

**Abb. 12** Schutzziele der verschiedenen Objektkategorien (aus KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD LAWAZ 2008).

## 8 MASSNAHMENVORSCHLÄGE / -PLANUNG

Allgemeine Schutzmassnahmen vor Naturgefahren umfassen raumplanerische Massnahmen, technische Massnahmen (Schutzbauten und deren Unterhalt sowie Führen eines Schutzbautenkatasters, Objektschutzmassnahmen, Überwachung), biologische Massnahmen (z.B. Schutzwaldpflege) sowie Alarm- und Notfallplanung.

Eine detaillierte Zusammenstellung möglicher Massnahmen zur Beseitigung der in Kap. 7.2 festgestellten Schutzdefizite sind in Anhang 7 dargestellt und bewertet.

Hinsichtlich der **Wasserprozesse** ist unabhängig vom Vorliegen eines allfälligen Schutzdefizites folgendes festzuhalten:

- Die Gemeinde hat sicherzustellen, dass **periodische Kontrollen** in den Einzugsgebieten der murgangfähigen Bäche durchgeführt werden. Diese Begehungen sind vorab in den hinsichtlich Hanginstabilitäten ungünstigen Gebieten wie Bannwald (Chalibach), Mälchgadewald, Rufli, St. Antoni (alle Altdorfbach), Gäbetswil, Weid (beide Mülibach), Stollenegg, Brand (beide Plattebach) sowie Eichiberg (Widibach) zu erfolgen.
- Ebenso ist der **Schutzwaldpflege** gebührende Berücksichtigung zu schenken.
- **Geschiebesammler** (Altdorfbach) und Rückhalteräume (Plattebach) sind periodisch und nach Hochwasser auf ihre Funktionstüchtigkeit hin zu kontrollieren und allenfalls zu ertüchtigen (Entnahme Feststoffe u. Schwemmholz).
- Die **Gerinne** sind zu **unterhalten**, insbesondere auch die angrenzende Bestockung. Dadurch kann der Gefahr von Rutschungen und Verklausungen bei aussergewöhnlichen Niederschlägen (z.B. Starkregen) vorgebeugt werden. Weiter dürfen keine ausgerissenen Wurzelstöcke oder andere Ablagerungen aus dem Holzschlag in die Steilböschungen oder in die Gerinne eingebracht, resp. zurückgelassen werden. Ebenso sind die Durchlässe periodisch zu reinigen und auf deren Funktionstüchtigkeit hin zu prüfen - insbesondere auch während ausserordentlicher, starker und / oder anhaltender Niederschläge.
- In Vitznau hat sich das **periodische Ausbaggern der verschiedenen Bachdeltas** als proaktive Massnahme bestens bewährt. Damit werden eine rückläufige Gefällsverminderung durch Auflandung und Gerinneverlängerung bei gleichbleibender - oder bei Hochwasser gar ansteigender - Erosionsbasis, resp. ein Rückstau aus dem Mündungsgebiet bachaufwärts verhindert, der sonst zu Überflutungen / Übersarungen der angrenzenden Gebiete führen würde.
- Durchführung der zahlreichen **Überwachungsaufträgen** zum Schutz vor Naturgefahren gemäss vorgegebenen Messintervallen. Bezüglich Wasserprozesse sind uns folgende Überwachungsaufträge bekannt: 6354-7 Eichiberg, 6354-8 Stollenegg (nach Massnahmen 2011 in Überarbeitung), 6354-10 Chalibach.

Hinsichtlich der **Rutschungsprozesse** sind unabhängig vom Vorliegen eines allfälligen Schutzdefizites folgende generellen Hinweise zu beachten:

- Da die verbreitet vorkommenden, siltig-sandigen Lockergesteine grundsätzlich rutschanfällig sind, gebührt insbesondere der **Entwässerungssituation** grösste Aufmerksamkeit. So darf in steilerer Hanglage auch bei starken Niederschlägen auf keinen Fall zusätzliches oder gesammeltes Wasser in den Hang eingeleitet werden (z.B. aus Strassenentwässerungen, unterdimensionierten Anschlüssen und Leitungen, unzulässigen Meteorwasserversickerungen etc.). Entsprechend ist die Entwässerungssituation bei Neubauprojekten im Bereich der erkannten Schutzdefizite auch vorsorglich genau zu überprüfen. Örtlich sollte auch die Entwässerungssituation bestehender Strassen (z.B. Gebiet Wilen) verifiziert und gegebenenfalls verbessert werden.
- Ebenso dürfen bei der Umgebungsgestaltung keine ungesicherten Steilböschungen angelegt oder unsachgemässe Aufschüttungen vorgenommen werden. Dazu sind ggf. Stabilitätsnachweise erforderlich, speziell bei Böschungshöhen > 3 m, zwingend bei > 4 m.
- Für bestehende Gebäude in der gelben Zone (geringe Gefährdung durch Rutschungen und Hangmuren) sind mögliche Nutzungsanpassungen der betroffenen Erd- und Untergeschosse oder die Ausführung von allfälligen einfachen baulichen Schutzmassnahmen (erhöhte Lichtschächte etc.) zu prüfen.
- Hinsichtlich der Bestockung ist festzuhalten, dass diese nur mit tief wurzelnden Arten und bis zu einer gewissen Baumgrösse stabilisierend wirkt. Grosse und schwere Bäume wirken meist destabilisierend, so dass in labilen Hangbereichen durch periodisches, punktuell Ausforsten eine altersmässig gut abgestufte Bestockung erreicht werden soll. Flächiger Holzschlag ist in den kritischen Gebieten wenn immer möglich zu unterlassen.
- Geländeadaptierungen (Aufschüttungen / wilde Ablagerungen) oberhalb steiler Bachtobel stehen oft in einem kausalen Zusammenhang mit Ufer- / Spontanrutschungen und sind entsprechend strikte zu unterlassen, bzw. bewilligungspflichtig.
- Durchführung der verschiedenen Überwachungsaufträge zum Schutz vor Naturgefahren gemäss vorgegebenen Messintervallen. Bezüglich Rutschungsprozesse sind uns folgende Überwachungsaufträge bekannt: 6354-7 Eichiberg, 6354-8 Stollenegg (in Überarbeitung).

Hinsichtlich der **Sturzprozesse** sind unabhängig vom Vorliegen eines allfälligen Schutzdefizites folgende Hinweise allgemeinen Charakters zu beachten:

- Die Gemeinde / im Einzugsgebiet der Kantonsstrasse auch der Kanton haben sicherzustellen, dass **periodische Kontrollen** durchgeführt werden. Hierbei sind die Schutzbauwerke zu kontrollieren und zu unterhalten – wobei auch der Steinschlag-schutzdamm Stacher / Chalibach - insbesondere auch der Pseudamm - zu beachten ist. Weiter sind die zahlreichen kleinen Böschungen bergseits von Strassen visuell zu kontrollieren und allenfalls periodisch zu reinigen (z.B. Mätzliflue).

- Durchführung der Überwachungsaufträge zum Schutz vor Naturgefahren gemäss vorgegebenen Messintervallen. Bezüglich Sturzprozesse sind uns folgende Überwachungsaufträge bekannt: 6354-1 Felsüberwachung Gafel, 6354-2 Felsüberwachung Oberi Nas, 6354-3 Felsüberwachung Bürglenwald ViBüW, 6354-9 Unterwilen.

## 9 GÜLTIGKEIT DER GEFAHRENKARTE

Die Gültigkeit der vorliegenden Gefahrenkarte beträgt ca. 10 bis 15 Jahre. Danach sowie nach aussergewöhnlichen Ereignissen ist die Gefahrenkarte zu überprüfen und allenfalls zu überarbeiten. Weiter ist eine Revision der Gefahrenkarte nach Erstellung bzw. Ausführung baulicher Schutzmassnahmen, die gemäss geltenden Richtlinien (ROMANG 2008) eine Reduktion der Gefahrenstufe bewirken, zu verifizieren.

### *Sachbearbeitung:*

Geologie / Naturgefahren: ..... I. Schwenk, S. Joller, Dr. B. Keller  
Wasserprozesse / Murgangmodellierungen: ..... Dr. C. Beffa  
Grafische Auswertungen, Datamining: ..... S. Joller, Dr. B. Keller  
GIS-Bearbeitung: ..... S. Joller, I. Schwenk  
Projektleitung: ..... Dr. B. Keller