

Baudirektion und Direktion des Innern des Kantons Zug

# Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug

Darstellung der Prozessräume gravitativer Naturgefahren

## **Sturz- und Rutschgefahren**

Stein-/Blockschläge, Rutschungen, Hangmuren, Seeuferrutschungen

## **Wassergefahren**

Murgänge, Übersarungen, Überflutungen

## **Erläuterungsbericht**

Dezember 2003

Kanton Zug  
Kantonsforstamt  
Tiefbauamt, Abteilung Wasserbau und Baulicher Gewässerschutz  
GIS-Fachstelle

# **Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug**

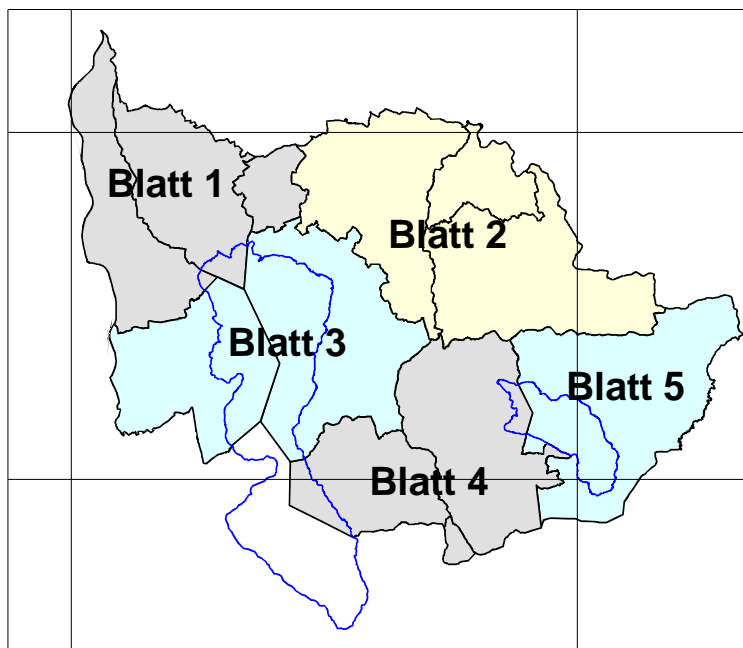
**Ausgabe 2003**

---

## **Erläuterungsbericht**

Arbeitsgemeinschaft    GEOTEST AG – Hunziker, Zarn & Partner  
Geo7 Teilbearbeitung  
per Adresse:            GEOTEST AG, Bahnhofstrasse 42, 6048 Horw  
Tel. 041 340 10 24  
Fax 041 340 10 49

Horw, im Dezember 2003

**Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug****Kartenwerk**

Die GHK Kanton Zug besteht aus folgenden Karten:

- Hinweiskarte 1:25'000, ganzer Kanton, aufgeteilt auf 2 Prozesskarten (Wildbach/-Überflutung und Steinschlag/-Rutschung)
- 5 Grundlagenkarten 1:10'000, jeweils 2 Prozesskarten

Zusätzliche Produkte

- 4 Karten der Phänomene 1:5'000  
Rutsch- und Sturzprozesse innerhalb speziell definierter Perimeter

**Projektausführung**

Herausgeber: Kanton Zug

Auftraggeber: Direktion des Innern, Kantonsforstamt Zug

Leitung: Kantonsforstamt, R. Wüthrich, dipl. Forsting. ETH  
Tiefbauamt, Abteilung Wasserbau und Baulicher Gewässerschutz, A. Baumann, dipl. Ingenieur HTL  
GIS-Fachstelle, J. Günthardt, dipl. Ing. FH-Geomatik/STV

**Bearbeitung**

GEOTEST AG, 6048 Horw  
(Projektleitung, Prozesse Steinschlag, Rutschungen, Hangmuren, Seeüberflutung)  
Dr. M. Liniger, R. Pfeifer, St. Tobler

Hunziker Zarn & Partner AG, 5000 Aarau  
(Prozess Überflutung durch Fliessgewässer, Neigung < 2%)  
M. Schilling, S. Bader

Geo7 AG, 3012 Bern  
(Prozess Wildbachgefahren)  
G. Hunziker

---

## Zusammenfassung

|  |  |
|--|--|
| <i>Ausgangslage</i>                                      | Das Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) von 1979 verlangt: "Sie (die Kantone) stellen fest, welche Gebiete durch Naturgefahren erheblich bedroht sind." Auch die Waldverordnung (WaV) von 1992 fordert: "Die Kantone erarbeiten die Grundlagen für den Schutz vor Naturereignissen, ..."   |
| <i>Gesetzliche Grundlagen Bund</i>                       |  |
| <i>Gesetzliche Grundlagen Kanton Zug</i>                 | Der Kanton Zug erteilte daher gemäss kantonalem Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Wald (EG Waldgesetz, 1998) in einem ersten Schritt der Arbeitsgemeinschaft GEOTEST / Hunziker, Zarn & Partner den Auftrag, eine Gefahrenhinweiskarte zu erstellen.   |
| <i>Projektleitung Kanton</i>                             | Die Projektleitung auf Seite Kanton hatten das Kantonsforstamt und die Abt. Wasserbau des Tiefbauamtes inne.   |
| <i>Gefahrenhinweiskarte 2003 stellt Prozessräume dar</i> | Die Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug wurde im Jahr 2003 für das gesamte Kantonsgebiet erarbeitet. Sie gibt eine Übersicht über die <b>Prozessräume</b> der Naturgefahren Rutschungen und Hangmuren, Seeuferrutschungen, Stein- und Blockschläge, Murgänge, Wildbachübersarungen sowie Überschwemmungen durch Bäche und Seen. Nicht berücksichtigt sind Lawinen und Wasseraufstösse (z.B. Grundwasser oder Meteorwasser) bei Siedlungsentwässerungen.   |
| <i>Fachliche Grundlage Rechtsverbindlichkeit</i>         | <p>Da die Häufigkeit (Eintretenswahrscheinlichkeit) und das Ausmass (Intensität) der möglichen Naturereignisse nicht berücksichtigt sind und die Prozessräume eher pessimistisch (zu gross) dargestellt sind, zeigt die Gefahrenhinweiskarte lediglich einen <b>Gefährdungsverdacht</b> auf.</p> <p>Die Gefahrenhinweiskarte ist eine fachliche Grundlage. Sie hat momentan keinen rechtsverbindlichen Status und ist nicht eigentümerverbindlich.</p>   |
| <i>Methoden</i>  | <p>Die Prozessflächen Sturz, Hangmuren und Spontanrutschungen, Seeüberflutung, Murgang, Übersarung und teilweise Überschwemmung wurden durch computergestützte Modellierungen erstellt. Eine wichtige Grundlage war dabei das digitale Höhenmodell des Kantons Zug (DHM10). Schutzbauten wurden nur dann berücksichtigt, wenn sie sich morphologisch offenbaren (Dämme, Wälle). Permanente Rutschungen und Seeuferrutschungen konnten nicht computergestützt bearbeitet werden. Sie wurden aufgrund bestehender geologischer Grundlagen erfasst. Überflutungsgebiete der flachen Fliessgewässer wurden mit ergänzenden Berechnungen und anhand von Geländebegehungen gutachterisch abgegrenzt.</p> <p>Die computergestützte Modellierung der Naturprozesse ergibt eine einheitliche, objektive, nachvollziehbare und transparente Gefahrenbeurteilung.</p> |

---

|  |   |
|--|---|
| <i>Dokumente</i>                       | <p>Im Rahmen des Projektes Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug wurden folgende Dokumente erstellt:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) <u>Hinweiskarte 1:25'000</u>, 2 Kartenblätter mit folgendem Inhalt:<ul style="list-style-type: none"><li>- Sturz- und Rutschgefahren (Rutschungen, Seeuferrutschungen, Hangmuren, Stein- und Blockschlag)</li><li>- Wassergefahren (Hochwasser Fliessgewässer und Seen, Murgänge)</li></ul></li><li>b) <u>Grundlagenkarten 1:10'000</u>, 10 Kartenblätter<br/>5 Kartenausschnitte mit je 2 Kartenblättern mit folgendem Inhalt:<ul style="list-style-type: none"><li>- Sturz- und Rutschgefahren (Rutschungen, Seeuferrutschungen, Hangmuren, Stein- und Blockschlag)</li><li>- Wassergefahren (Hochwasser Fliessgewässer und Seen, Murgänge)</li></ul></li><li>c) <u>Erläuterungsbericht</u> für den methodisch interessierten Leser, mit Angaben zu den Anwendungsgrenzen der Karte</li><li>d) <u>Kurzbeschreibung</u> zu den Karten 1:25'000 / 1:10'000</li><li>e) <u>4 Karten der Phänomene 1:5'000</u> (Rutsch- und Sturzprozesse)</li><li>f) <u>Digitale Kartendaten</u> im Format "INTERLIS" (GIS-Fachstelle)</li></ul> |
| <i>Resultate</i>                       | <p>Die Gefahrenhinweiskarte zeigt, dass grössere Teile des Siedlungsgebietes und wichtiger Infrastrukturanlagen im Kanton Zug durch Wildbach- und Überflutungsgefahren sowie durch Hangmuren und Spontanrutschungen bedroht sind.</p> <p>Die Gefährdung durch Sturzgefahren und durch Seehochstand ist dagegen eher untergeordnet.</p> <p>Die Wildbach-, Rutschungs- und Sturzgefahren dominieren eher im südöstlichen und östlichen Kantonsgebiet, wogegen Prozessgebiete mit Überflutungsgefahren vor allem im nordwestlichen Kantonsteil liegen.</p>   |
| <i>Anwendung und weiteres Vorgehen</i> | <p>Die Gefahrenhinweiskarte kann auf Stufe Richtplanung und zur Katastrophenabwehr eingesetzt werden. Sie dient weiter zur Ausscheidung von Gebieten, in welchen Gefahrenkarten erarbeitet werden müssen. Gefahrenkarten sind behördenverbindlich. Sie müssen auf Stufe Nutzungsplanung in Gefahrenzonenpläne überführt werden, welche eigentümerverbindlich sind.</p>  |

| <b>Inhaltsverzeichnis</b>                                    | Seite |
|--|-------|
| Zusammenfassung  | 3     |
| 1. Einleitung  | 7     |
| 1.1 Allgemein  | 7     |
| 1.2 Gesetzliche Grundlagen                                   | 7     |
| 1.3 Auftrag  | 7     |
| 1.4 Projektleitung, Projektteam                              | 8     |
| 1.5 Zielsetzung  | 8     |
| 2. Die Naturgefahren   | 10    |
| 2.1 Allgemeines  | 10    |
| 2.2 Steinschlag, Felssturz, Bergsturz                        | 12    |
| 2.3 Wildbach / Murgang                                       | 13    |
| 2.4 Überschwemmung bei flachen Fliessgewässern               | 14    |
| 2.5 Seeüberflutung   | 15    |
| 2.6 Rutschungen  | 15    |
| 2.7 Hangmuren  | 17    |
| 3. In der Gefahrenhinweiskarte berücksichtigte Naturprozesse | 19    |
| 4. Die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte (Methodik)        | 20    |
| 4.1 Grundsätzliches  | 20    |
| 4.2 Erarbeitung der Methodik                                 | 20    |
| 4.3 Grundlagendaten  | 21    |
| 4.3.1 Digitales Höhenmodell                                  | 21    |
| 4.3.2 Bodenbedeckung   | 21    |
| 4.3.3 Geologische Karten                                     | 22    |
| 4.3.4 Gewässernetz und Verkehrsnetz                          | 22    |
| 4.3.5 Luftbilder   | 22    |
| 4.4 Berücksichtigung von Schutzbauten                        | 22    |
| 4.5 Prozessmodelle   | 23    |
| 4.5.1 Steinschlag  | 23    |
| 4.5.2 Rutschungen  | 26    |
| 4.5.3 Seeuferrutschungen                                     | 28    |
| 4.5.4 Hangmuren/spontane Rutschungen                         | 28    |
| 4.5.5 Wildbachprozesse (Neigung > 2%)                        | 32    |

|   |            |
|---|------------|
| 4.5.6 Bachprozesse (Neigung < 2%)   | 44         |
| 4.5.7 Seeüberflutung  | 49         |
| 5. Kartenerstellung und Layout  | 51         |
| 6. Interpretation der Resultate   | 52         |
| 7. Karte der Phänomene  | 53         |
| 7.1 Methodik  | 53         |
| 7.2 Bearbeitete Gebiete   | 53         |
| 8. Umsetzung und Anwendung der Gefahrenhinweiskarte                             | 54         |
| 8.1 Aussagekraft, Mängel und Grenzen  | 54         |
| 8.1.1 Genauigkeit der Aussagen  | 54         |
| 8.1.2 Vergleich mit den Resultaten der Karte der Phänomene                      | 55         |
| 8.1.3 Vergleich mit den Ereignissen vom 6. Juni 2003                            | 56         |
| 8.2 Anwendungen   | 57         |
| 8.3 Gefahrenkarten  | 57         |
| 8.3.1 Bestehende Gefahrenkarten   | 57         |
| 8.3.2 Empfehlung der Berichtverfasser für weitere Gefahrenkarten                | 58         |
| 9. Digitale Daten   | 59         |
| 9.1 Allgemein   | 59         |
| 9.2 Datenmodell Gefahrenhinweiskarte  | 59         |
| 10. Authentizität der Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug, Ausgabe 2003        | 60         |
| <br>  |            |
| <b>Anhang</b>   | <b>Nr.</b> |
| Vorhandene Grundlagen Kanton Zug  | 1          |
| Klassierung Geologie, Grundlagen für Wildbach- Murgang- und Hangmurensimulation | 2          |

## 1. Einleitung

### 1.1 Allgemein

*Zunehmendes Schaden-  
potential, abnehmende  
Risikoakzeptanz*

Die fortschreitende bauliche Erschliessung unseres Landes führt zu einer zunehmenden Exposition von Sachwerten und Menschen gegenüber Naturgefahren. Das Schadenpotential wächst und die Verletzlichkeit von Werten wird grösser. Gleichzeitig beobachtet man in der Bevölkerung eine abnehmende Risikoakzeptanz auch gegenüber Naturgefahren.

Im Sinne eines guten Risikomanagements gilt es, Gefahren zu erkennen und ihre Wirkung auf Werte zu analysieren, damit geeignete Massnahmen zu deren Schutz getroffen werden können.

*Übersicht Naturgefahren-  
potentiale*

Der Kanton Zug ist als Voralpenkanton ebenfalls stark mit Naturereignissen konfrontiert. Übersichten über mögliche Gefahren durch Seehochstand, Überflutung, Murgänge, Rutschungen und Stein Schlag fehlten. Es entstand deshalb der Wunsch, in einem ersten Schritt eine Übersicht über die vorhandenen Gefahrenpotentiale und deren mögliches Zusammentreffen mit Schadenpotentialen in Form einer Gefahrenhinweiskarte zu erstellen.

### 1.2 Gesetzliche Grundlagen

*Gesetzliche Grundlagen*

Der Gesetzgeber trägt dieser Forderung Rechnung, indem er die Kantone und Gemeinden verpflichtet, Grundlagen (Gefahrenkarten und Gefahrenkataster) für den Schutz vor Naturereignissen zu erstellen.

Rechtliche Grundlagen des Bundes:

- Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) vom 22. Juni 1979 (Art. 6 Abs. 2 c RPG)
- Bundesgesetz über den Wald (WaG) vom 4. Oktober 1991 (Art. 1 und Art 19)
- Waldverordnung (WaV) vom 30. November 1992 (Art. 15 WaV, Art. 43 Abs. 2 WaV)
- Bundesgesetz über Wasserbau (WBG) 21. Juni 1991 (Art. 3)
- Verordnung über Wasserbau (Wasserbauverordnugn WBV) vom 2. November 1994 (Art. 21 WBV, Art 27 Abs. 1 WBV)

Rechtliche Grundlagen des Kantons Zug:

- Kantonales Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Wald (EG Waldgesetz) vom 17. Dezember 1998 (Art. 7)

### 1.3 Auftrag

*Auftrag*

Aufgrund der oben erwähnten gesetzlichen Grundlagen erteilte die Direktion des Innern mit Schreiben vom 26.9.2002 der Arbeitsgemeinschaft GEOTEST / Hunziker, Zarn & Partner den Auftrag zur Erstellung der Gefahrenhinweiskarte für den Kanton Zug.



*Vorgängige Pilotstudien* Die Entwicklung der Methoden erfolgte zu einem grossen Teil im Rahmen zweier nationaler Projekte, des WEP / FLAM<sup>1</sup> sowie des NFP31<sup>2</sup>. In den Schlussberichten dieser Programme sind die methodischen Ansätze im Detail beschrieben.

Die vorliegende Karte lehnt sich weitgehend an diejenige des Kantons Bern und des Kantons Luzern an.

## 1.4 Projektleitung, Projektteam

*Projektleitung* Die Projektleitung auf Seiten Kanton hatten folgende Amtstellen inne:

- Kantonsforstamt, R. Wüthrich, dipl. Forsting. ETH
- Tiefbauamt, Abteilung Wasserbau und Baulicher Gewässerschutz, A. Baumann, dipl. Ingenieur HTL
- GIS-Fachstelle, J. Günthard, dipl. Ing. FH-Geomatik/STV

*Projektteam* Das Projektteam bestand aus drei Firmen:

- GEOTEST AG, 6048 Horw; 3052 Zollikofen (Projektleitung, Prozesse Steinschlag, Rutschungen, Hangmuren, Seeüberflutung)
- Hunziker Zarn & Partner AG, 5000 Aarau (Prozess Überflutung)
- Geo7 AG, 3012 Bern (Prozess Wildbachgefahren)

Die beiden ersten Firmen sind in einer Arbeitsgemeinschaft zusammengeschlossen und für das Projekt verantwortlich. Die dritte ist selbständig verantwortlich für die Erarbeitung des Prozesses Wildbachgefahren. Diese Daten werden ins Projekt integriert.

## 1.5 Zielsetzung

*Instrument auf Stufe Richtplan* Zielsetzung war, die Erstellung eines Planungsinstrumentes auf Ebene **Richtplan**.

*Prozessräume* Die Gefahrenhinweiskarte soll folgende Prozessräume aufzeigen:

- Rutschungen, Seeuferrutschung und Hangmuren
- Stein- und Blockschläge
- Wildbachgefahren (Murgänge, Übersarungen; Überflutungen Bäche mit Neigung > 2%)
- Überflutungen durch Fliessgewässer (Neigung < 2%)
- Seehochstände

---

<sup>1</sup> Walderhebungsprogramm, flankierende Massnahmen Modul Naturgefahren (vgl. Heinemann et al. 1996)

<sup>2</sup> Nationales Forschungsprogramm Klimaänderung und Naturgefahren

*Zweck und  
Anwendung der  
Gefahrenhinweiskarte*

Die Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug wird zu folgenden Zwecken benötigt:

- Übersicht über potentielle Gefahrenprozesse (objektiv, flächendeckend, sämtliche im Kanton relevanten gravitativen Prozesse)
- Planungsgrundlage auf Ebene **Richtplan** (nicht eigentümerverbindlich)
- Erkennen von Konfliktgebieten Raumnutzung/Naturgefahren
- Entscheidungsgrundlage über die Notwendigkeit weiterer Gefahrenabklärungen (Gefahrenkarten, Risikoanalysen)
- Beurteilung (z.B. von Baugesuchen) in Gebieten, wo keine Gefahrenkarten erstellt werden
- Grundlage zur Ausscheidung von Schutzwäldern
- Grundlage für die Notfallplanung

## 2. Die Naturgefahren

### 2.1 Allgemeines

Unter Naturgefahren werden gemeinhin folgende Ereignisse verstanden:

- Erdbeben
- Bodenbewegungen (Rutschungen, Absenkungen)
- Bergstürze, Felsstürze, Steinschlag
- Hochwasser (Überschwemmung, Murgänge, Seehochstand)
- Lawinen
- Gewitter, Sturm
- Trockenheit, Kälte
- Waldbrand
- Meteoriteneinschläge
- Vulkanausbrüche

*Naturgefahren im Sinne des Eidg. Waldgesetzes und Wasserbaugesetzes*

Naturgefahren im Sinne des Schweizerischen Waldgesetzes (WaG, 4. Okt. 1991) und Wasserbaugesetzes (WBG vom 21. Juni 1991) sind Gefahren für Menschen und Sachwerte, die sich aus der Bewegung von Wasser-, Schnee-, Eis-, Erd- und Felsmassen an der Erdoberfläche ergeben.

*Gravitative Prozesse*

Es sind dies folgende gravitative Prozesse:

- Lawinen
- Rutschungen
- Steinschlag, Felssturz, Bergsturz
- Wildbachgefahren
- Überflutung durch Seehochstand

Diese Hauptgruppen können nach Bewegungsmechanismen, beteiligtem Material und Volumen in weitere Untergruppen differenziert werden.

*Pauschalgefälle, Reichweite*

Die spezifischen physikalischen Eigenschaften der gravitativen Prozesse manifestieren sich in unterschiedlichen Pauschalgefällen. Das Pauschalgefälle (Fahrböschung nach HEIM) beschreibt den Winkel zwischen Ablagerung und Ausbruch (siehe Abb. 2-1) und ist damit die charakteristische Grösse für die Reichweite eines gravitativen Prozesses. Selbstverständlich wird das Pauschalgefälle und somit die Reichweite im einzelnen Fall durch weitere Faktoren wie Untergrundbeschaffenheit und Zusammensetzung des stürzenden oder fließenden Materials beeinflusst. Die aufgrund von Erfahrungswerten ermittelten, charakteristischen Pauschalgefälle stellen für die verschiedenen Prozesse nur Richtgrößen dar.

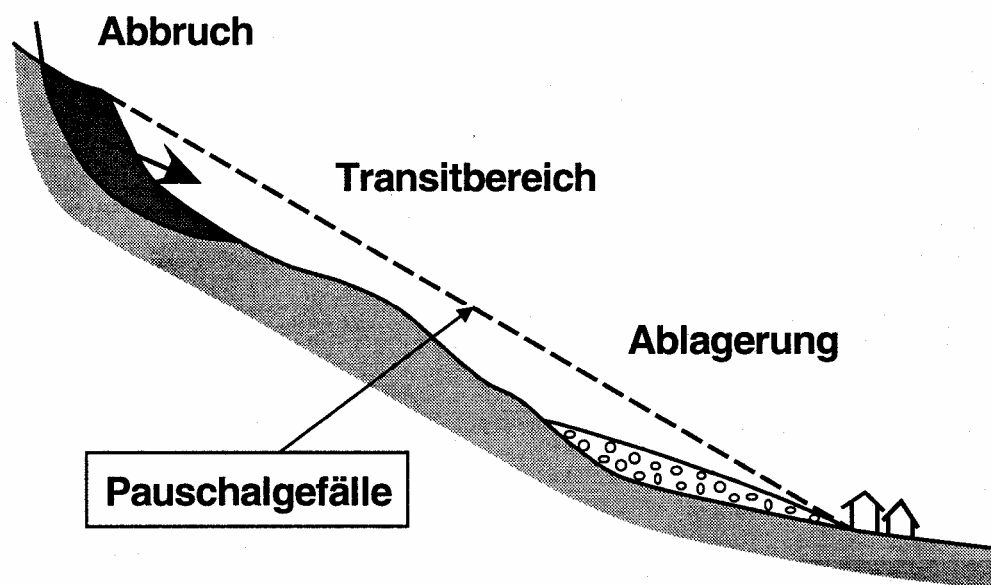


Abb. 2-1: Das Pauschalgefälle von gravitativen Prozessen

Die nachfolgende Tabelle illustriert die Grössenordnungen der Pauschalgefälle der verschiedenen Prozesse.

Tabelle 2-1: Pauschalgefälle verschiedener gravitativer Prozesse

| Prozess   | Pauschalgefälle |
|---|-----------------|
| - Fliesslawinen   | 25° - 20°       |
| - Murgänge  | 20° - 10°       |
| - Stein- und Blockschläge                                 | 35° - 30°       |
| - Felsstürze  | 35° - 30°       |
| - Kleine Bergstürze (2 - 10 Mio m <sup>3</sup> )          | 35° - 25°       |
| - Grosse Bergstürze (10 - 50 Mio m <sup>3</sup> )         | 25° - 12°       |
| - sehr grosse Bergstürze (50 - 1'000 Mio m <sup>3</sup> ) | 12° - 6°        |

*Pauschalgefälle Bergsturz volumenabhängig*

Bemerkenswert ist die Feststellung, dass das Pauschalgefälle von Bergstürzen ausgeprägt volumenabhängig ist (siehe Kapitel 2.2).

Im Folgenden werden die einzelnen Prozesse kurz charakterisiert und definiert.

## 2.2 Steinschlag, Felssturz, Bergsturz

Die Unterscheidung von Steinschlag, Felssturz und Bergsturz erfolgt meist nach dem Volumen und dem Bewegungsmechanismus der abstürzenden Masse.

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <i>Stein- und Blockschlag</i> | Stein- und Blockschlag sind charakterisiert durch mehr oder weniger isolierte Sturzbewegungen (Fallen, Springen, Rollen) von Einzelkomponenten von bis zu mehreren Kubikmetern Grösse. Es werden Geschwindigkeiten bis zu 30 m/s erreicht. Bei Hangneigungen unter ca. 30° kommen bewegte Steine und Blöcke im allgemeinen zum Stillstand. Wald kann die kinetische Energie der Blöcke stark reduzieren.  |
| <i>Felssturz</i>              | Beim Felssturz löst sich ein grösseres, in sich mehr oder weniger fragmentiertes Gesteinspaket «en bloc» aus dem Gebirgsverband und stürzt ab. Das verlagerte Volumen liegt meist zwischen 100 und mehreren 100'000 m <sup>3</sup> pro Ereignis. Die Art des Losbrechens hat meist wenig Einfluss auf die Fortsetzung des Ereignisses. Im Gegensatz zum Bergsturz sind die Interaktionen zwischen den Sturzkomponenten und der dabei entstehende Energieaustausch relativ gering. Die Verlagerungsgeschwindigkeit liegt häufig im Bereich zwischen 10 und 40 m/s.   |
| <i>Bergsturz</i>              | Ein Bergsturz ergibt sich aus dem gleichzeitigen Loslösen sehr grosser Gesteinsmassen (1 Mio. bis mehrere Mio. m <sup>3</sup> ). Der Verlagerungsprozess des Bergsturzes wird durch die Topographie sowie die Fragmentierung der Gesteinsmasse und die Interaktion zwischen den Bruchstücken bestimmt. Typisch ist die starke Wechselwirkung zwischen den Komponenten (Sturzstrom). Dadurch kann das Material bis zu feinstem Gesteinsmehl zerrieben oder gar aufgeschmolzen werden. Es werden Geschwindigkeiten von über 40 m/s erreicht. Die Reichweiten sind auch bei geringerem Gefälle sehr beträchtlich und können mehrere Kilometer betragen (kleine Pauschalgefälle siehe Abschnitt 2.1). Infolge der grossen Volumina vermögen Bergstürze die Landschaft nachhaltig zu verändern. In den Gebirgstälern führen die grossen Sturzmassen oft zu einem Aufstau von Bächen und Flüssen, verbunden mit der Gefahr eines unter Umständen katastrophalen Wasserausbruchs und der Überflutung der talabwärts liegenden Gebiete. |
| <i>Grosse Reichweiten</i>     |   |

## 2.3 Wildbach / Murgang

Hochwasser- und Murganggefahren umfassen ein breites Spektrum verschiedener Prozesse mit unterschiedlichen Wirkungsmechanismen.

Bei Gebirgsgewässern, besonders bei steilen Wildbächen, spielen vor allem auch die mit intensiven Feststoffverlagerungen verbundenen Gefahren eine wichtige Rolle.

### *Wildbäche*

Im Zusammenhang mit diesen Vorgängen wird oft auch der Begriff der «**Wildbachgefahr**» verwendet. Wildbäche sind oberirdische Gewässer mit zumindest streckenweise grossem Gefälle, rasch und stark wechselndem Abfluss und zeitweise hoher Feststoffführung. Die wesentlichen dabei auftretenden gefährlichen Vorgänge werden mit den Teilprozessen Überschwemmung, Ufererosion und Übermürung beschrieben (siehe Tab. 2-2). Die meisten der anderen in diesem Kapitel beschriebenen Hangprozesse, vor allem Felsstürze, Rutschungen, Erosion durch Wasser und Schnee (Lawinen), spielen in Wildbächen hauptsächlich für die Geschiebemobilisierung und die Geschiebelieferung ins Gerinne eine wichtige Rolle.

### *Teilprozesse Überschwemmung, Ufererosion und Übermürung*

Vom Standpunkt der Wirkung des Hochwassers auf die genutzte Fläche wird in den Empfehlungen zur «Berücksichtigung der Wassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BWW, BRP et BUWAL 1997) zwischen den Teilprozessen Überschwemmung, Ufererosion und Übermürung unterschieden. In diesem Zusammenhang sind die Definitionen gemäss Tabelle 2-2 von Bedeutung:

**Überschwemmungen** werden gefährlich, wenn im Überflutungsbe- reich grössere Wassertiefen oder starke Strömungen, oft auch Ero- sion, auftreten. Dabei können mehr oder weniger grobe Feststoffe abgelagert werden (Übersarung).

**Ufererosion** ist raumplanerisch nur relevant, wenn sie sich über den Gerinnebereich hinaus auswirkt.

### *Übermürung: Feststoffab- lagerungen im Kegelbe- reich eines Wildbaches*

**Übermürung bzw. Übersarung**, d.h. die Ablagerung von Feststoffen durch Murgänge bzw. durch fliessende Wassermassen («fluvialer Geschiebetransport») ausserhalb des Gerinnes, erfolgen meist im Bereich von Schwemmkegeln der Wildbäche. Dabei ergibt sich die Hauptschadenwirkung einerseits aus der Stosswirkung der Murfront eines Murganges, welche durch mitgeführte Einzelblöcke noch ver- stärkt wird, und andererseits aus den mächtigen Ablagerungen von Blöcken, Geröll und Schutt. Unterhalb von Murablagerungen spielen sich in der Regel Überschwemmungs-, Übersarungs- und Erosions- prozesse ab.

Tabelle 2-2: Definitionen Bereich Wassergefahren

|                        |  |
|------------------------|--|
| <i>Hochwasser:</i>     | <i>Zustand in einem Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten Schwellenwert überschritten hat.</i> |
| <i>Überschwemmung:</i> | <i>Bedeckung einer Landfläche mit Wasser und Feststoffen, die aus dem Gewässerbett ausgetreten sind.</i>                     |
| <i>Ufererosion:</i>    | <i>Abgleiten von Uferböschungen infolge Tiefen- und Seitenerosion.</i>   |
| <i>Übermurgung:</i>    | <i>Ablagerung von Murgangmaterial ausserhalb des Gerinnes (häufig im Kegelbereich eines Wildbaches).</i>                     |
| <i>Übersarung:</i>     | <i>Ablagerung von Feststoffen ausserhalb des Gerinnes anlässlich von Überschwemmungen.</i>                                   |
| <i>Murgang:</i>        | <i>Schnell fliessendes Gemisch von Wasser und Feststoffen mit einem hohen Feststoffanteil von ca. 30% bis 60%.</i>           |
| <i>Murkopf:</i>        | <i>steile Front eines Murganges bzw. der abgelagerten Masse eines (plötzlich) zum Stillstand gekommenen Murganges.</i>       |
| <i>Murzunge:</i>       | <i>Relativ flache, oft weitreichende Ablagerung eines Murganges bzw. von verschwemmtem Murmaterial.</i>                      |

## 2.4 Überschwemmung bei flachen Fließgewässern

*Überschwemmungen von Talebenen*

*Oft grosses Schadenpotenzial*

Überschwemmungen von Talebenen bei flachen Fließgewässern treten dann auf, wenn das Abflussvermögen eines Gewässers überschritten wird und Wasser über die Ufer austreten kann. Oft spielen begleitende Prozesse wie das Mitführen von Schwemmholz, Geschiebeablagerungen im Gerinne oder Dammbüche eine entscheidende Rolle. Im Vergleich zu den Wildbächen sind die Fließgeschwindigkeiten in den überfluteten Gebieten geringer. Die Gefährdung von Menschenleben ist somit in der Regel klein. Allerdings sind die betroffenen Talebenen oft stark überbaut, so dass erhebliche Wertkonzentrationen auftreten. An Wildbächen treten je nach Ausbaugrad möglicherweise häufiger Überschwemmungen auf als bei Talflüssen. Da die Prozessräume eher bekannt sind, dürften jedoch geringere Schäden verursacht werden. Die Talflüsse sind oft stärker ausgebaut, z.B. für ein hundertjährliches Ereignis HQ100. Ein Überschreiten dieses Abflusses führt aber zu einem sprunghaften Anstieg der Schadensumme.

Während die Wildbäche eher auf kurze, heftige Gewitter reagieren, sind es bei den Talflüssen eher länger dauernde, ausgedehntere Niederschlagsereignisse, welche Überschwemmungen verursachen. In

der Regel besteht somit eine gewisse Vorwarnzeit.

## 2.5 Seeüberflutung

### *Seeüberflutung*

Die Seeüberflutung bezeichnet die Überflutung / Überschwemmung von Seeuferbereichen infolge eines Seehochstandes. Ein Seehochstand wird hauptsächlich von zwei meteorologischen Faktoren bestimmt: Einerseits durch eine rasche Schneeschmelze im Frühjahr nach schneereichen Wintern und andererseits durch mehrtägige Staulagen am Alpenkamm mit grossräumig intensiven Niederschlägen. Eine Kombination von beiden Faktoren führt zu Extremwerten (Beispiel Frühling 1999).

### *Extremwert-Analyse*

Aus der retrospektiven Analyse von extremen Pegelständen kann deren Jährlichkeit (Wiederkehrperiode) bestimmt werden. Für einen definierten Pegel-Hochstand kann der überflutete Seeuferbereich berechnet werden.

## 2.6 Rutschungen

Rutschungen sind hangabwärts gerichtete Bewegungen von Hangteilen aus Fels- und / oder Lockergesteinen an mässig geneigten bis steilen Böschungen, die als Ergebnis eines Scherbruches an der Untergrenze der bewegten Massen stattfinden. Natürliche Instabilitäten dieser Art sind in der Schweiz häufig und weisen eine gros-



se Vielfalt von Erscheinungsformen auf. Sehr viele dieser Rutschungserscheinungen sind alt und heute weitgehend ruhig («schlafend»), können aber allmählich oder plötzlich neu belebt werden.

*Kausaler Faktor: Wasser*

Bei Rutschungen spielt das Wasser meist eine entscheidende Rolle, sei es durch die Wirkung von Porenwasserdruck, von Sickerströmung oder von Quelldruck infolge des Quellens von Tonmineralen.

In den Empfehlungen zur «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» wurden Rutschungen nach der Tiefe und der Aktivität klassiert (siehe Tabelle 2-3). Die Aktivität entspricht der über einen längeren Zeitraum feststellbaren durchschnittlichen Rutschgeschwindigkeit.

*Permanente Rutschungen*

Es gibt Rutschungen mit über einen grossen Zeitraum mehr oder weniger gleichförmigen Bewegungsgeschwindigkeiten, sogenannte permanente Rutschungen.

*Tabelle 2-3: Klassifikation von Rutschungsbewegungen (BUWAL, BWW et BRP 1997)*

| <b>Klassifikation nach Tiefe der Gleitfläche</b> |                                     | <b>Klassifikation nach Aktivität</b><br><i>entspricht der über einen längeren Zeitraum feststellbaren, durchschnittlichen Rutschgeschwindigkeit</i> |                               |
|--|-------------------------------------|---|-------------------------------|
| Rutschung  | Tiefe der Gleitfläche unter Terrain | Rutschung   | Geschwindigkeit der Rutschung |
| Oberflächlich, flachgründig                      | 0 - 2 m                             | substabil, sehr langsam   | 0 - 2 cm/Jahr                 |
| mitteltief, mittelgründig                        | 2 - 10 m                            | wenig aktiv, langsam  | 2 - 10 cm/Jahr                |
| tief, tiefgründig                                | > 10 m                              | aktiv oder langsam mit schnellen Phasen   | > 10 cm/Jahr                  |

*Grosse Rutschgeschwindigkeiten*

Grössere Geschwindigkeiten als in Tabelle 2-3 aufgeführt, treten vor allem bei flachgründigen Bodenrutschungen (Soil slips) auf, die in vielen Fällen in Hangmuren (siehe unten) übergehen. Diese Art Rutschungen zeigen Phasen mit raschen Bewegungen mit bruchartiger Entstehung, meist im Zusammenhang mit heftigen Niederschlägen. Sie werden gemeinhin auch als spontane Rutschungen bezeichnet.

*Spontane Rutschungen*

Auch bei tiefergründigen Rutschungen werden gelegentlich grössere Geschwindigkeiten registriert, wie dies z.B. für die Grossrutschungen von Falli Hölli (bei Plasselb, Kanton Freiburg) im August 1994 mit 6 m/Tag, oder vom Schimbrig (bei Hasle, Kanton Luzern) 1994 mit > 3 m/Tag, der Fall war.

Bei der Beurteilung des Gefahrenpotentials von Rutschungen dürfen nicht nur die Kubatur oder die heutigen Verschiebungsraten be-

achtet werden. Besonders gefährlich für Sachwerte sind die differentiellen Bewegungen an Grenz- und Gleitflächen des Rutschkörpers. Im weiteren besteht die Gefahr eines Überganges in Hangmuren bzw. einer Auslösung von Murgängen, welche weiter talabwärts liegende Areale übermuren können.

*Wirkung von Rutschungen*

Die Wirkung von Rutschungen auf Objekte geschieht im wesentlichen auf zwei verschiedene Arten:

- Das Objekt (z.B. Haus) befindet sich auf der (in der Regel mittel- oder tiefgründig) abgleitenden Masse und wird durch differentielle Bewegungen in Scherbereichen innerhalb oder am Rande der Rutschmasse beschädigt oder zerstört.
- Das Objekt (z.B. Haus) befindet sich in der Bewegungsbahn der abgleitenden Masse. Diese übt an ihrer Front eine Druckwirkung aus. Dies ist besonders gravierend, wenn die Rutschung in eine Hangmure oder einen Murgang übergeht.

*Menschen weniger gefährdet*

Menschen sind durch die Rutschungen selbst im allgemeinen wenig gefährdet, weil die Prozesse meist langsam ablaufen und deshalb eine Vorwarnzeit besteht.

## 2.7 Hangmuren

*Zerstörerische Wirkung*

Neben den «Wildbach-Murgängen» werden auch Muren beobachtet, die sich am freien Hang, unabhängig von einem Gerinne, ereignen. Diese sogenannten Hangmuren sind oberflächlich abfahrende, schnellfliessende Gemische aus Lockergestein (meist nur Boden und Vegetation) und viel Wasser. Hangmuren entstehen an steilen Hängen, wobei eine klare Gleitfläche fehlt. Die bewegten Materialvolumina sind in der Regel limitiert (Grössenordnung: < 20'000 m<sup>3</sup>). Der verhältnismässig grosse Wasseranteil hat eine grosse Prozessgeschwindigkeit (1 - 10 m/s) mit entsprechend zerstörender Wirkung zur Folge. Er führt auch dazu, dass die von der Materialverfrachtung betroffene Fläche oft um einen Faktor von 10 bis 100 grösser ist als die oftmals sehr kleine Anrissfläche. Falls eine Hangmure den Weg in ein Gerinne nimmt, kann sie dort zur Entwicklung eines grösseren Murganges beitragen.

*Disposition für Hangmuren*

Besonders disponiert für Hangmuren sind steile Hänge, die mit gering durchlässigen, erosionsanfälligen quartären Verwitterungsschichten bedeckt sind. Hangmuren entstehen oft an Stellen mit Quellaustritten oder als Sekundärbildungen von meist flachgründigen Rutschungen. Die Auslösung erfolgt bei Starkniederschlägen, nach langandauernden Regenperioden oder auch bei intensiver Schneeschmelze.

Es gibt verschiedene tragische Beispiele von Hangmuren, vor allem in den Gebieten entlang des Alpennordrandes, mit tödlichem Ausgang für die betroffenen Menschen. Im Kanton Zug ereigneten sich sehr viele Hangmuren während den intensiven Niederschlagsereignissen 1934, 1976 und 2003. Es waren erhebliche Schäden an Gebäuden, Strassen, Vieh und Landwirtschaftsland zu verzeichnen (vgl. Karte der Phänomene).

### 3. In der Gefahrenhinweiskarte berücksichtigte Naturprozesse

In der Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug sind folgende Prozesse berücksichtigt und dargestellt:

- a) **Steinschlag, Blockschlag, Felssturz**
- b) **Rutschungen (permante und spontane Rutschungen, Hangmuren, Seeuferrutschungen)**
- c) **Hochwasser von Wildbächen, Flüssen und Seen (Murgänge, Übersarungen/Überflutungen)**

Nicht berücksichtigt sind die Gefahren von Lawinen sowie die Gefahr von Bergstürzen.

*Lawinengefahr*

Die Lawinengefahr ist im Kanton Zug vernachlässigbar. Daher wurde auf eine Bearbeitung verzichtet.

*Bergsturzgefahr nicht dargestellt*

Auf die Ausscheidung des Prozessraumes von Bergstürzen (Volumen  $\gg 1 \text{ Mio m}^3$ ) wurde ebenfalls verzichtet. Einerseits sind solche Ereignisse in den Alpen relativ selten (ca. alle 50 - 100 Jahre ein Bergsturz), andererseits ist ihre Modellierung ohne genauere Kenntnis der lokalen geologischen Verhältnisse wenig sinnvoll. Wie oben bereits ausgeführt, entwickeln grosse stürzende Massen eine spezielle Dynamik, die zu sehr grossen Reichweiten mit entsprechend kleinen Pauschalgefällen führen kann. Würde die hypothetische Gefahr grosser Bergstürze dargestellt, würden vermutlich mehrere Ortschaften in deren Gefahrenbereich liegen. Im Kanton Zug gibt es keine Hinweise auf Bergsturzereignisse.

## 4. Die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte (Methodik)

### 4.1 Grundsätzliches

*Einheitlich, objektiv, nachvollziehbar und reproduzierbar* Mit Ausnahme der Ausscheidung von Rutschungen (permanente Rutschungen, Seeuferrutschungen) und der Überflutungsgefahr für Gewässer < 2% Gefälle erfolgte die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte ausschliesslich durch computergestützte Modelle. Dies brachte neben einer Kostenoptimierung weitere wichtige Vorteile. Die so erstellten Karten sind praktisch frei von subjektiven Beurteilungen, das ganze Kantonsgebiet wird einheitlich, objektiv nach bestimmten vorgegebenen Kriterien beurteilt. Die bei den Modellrechnungen verwendeten Parameter sind bekannt. Damit erhält die Karte die geforderte Nachvollziehbarkeit und Transparenz.

*Ungenauigkeit der Eingabedaten* Obschon die Modellrechnungen an sich fehlerfrei arbeiten, können Fehler entstehen. Sie können z.B. durch Ungenauigkeiten im Höhenmodell oder Gewässernetz bedingt sein. Bei der Modellierung der Entstehung von Hangmuren können im weiteren Ungenauigkeiten und Verallgemeinerungen in den geologischen Eingabedaten zu Fehlern führen.

*keine nachträgliche Korrektur von Fehlern* Es ist wichtig festzustellen, dass solche Fehler nicht nachträglich manuell korrigiert wurden. Die Karte präsentiert sich so, wie sie der Rechner produziert; sie ist damit völlig unverfänglich und jederzeit reproduzierbar.

Ausnahmen hierzu bilden die Prozesse Rutschung und Überflutung durch Fliessgewässer (<2 % Gefälle). Rutschungen mussten mittels klassischer geologischer Beurteilung bearbeitet werden. Dieser Prozess ist einerseits sehr schwer modellierbar, andererseits fehlen im Kanton zurzeit die für eine Modellierung notwendigen geologischen Grundlagen in digitaler Form. Hier wurde vor allem die grosse Menge geologischer Arbeiten, Luftbilder und topographische Karten ausgewertet.

Überflutungsgebiete wurden mit Hilfe ausgedehnter Geländebegehungen verifiziert und abgegrenzt.

### 4.2 Erarbeitung der Methodik

Wie bereits erwähnt, wurde die für die Bearbeitung angewandte Methodik im Rahmen des Projektes der Eidg. Forstdirektion FLAM entwickelt und verfeinert und erstmals für die Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern, und in der Folge für die Kantone Solothurn und Luzern angewandt. Nachdem anfänglich der Prozesse Sturz und Murgang noch mit dem Pauschalgefälleansatz bearbeitet wurden, ermöglichte der Ausbau der Software die Berechnung ganzer Kartenblätter mit den Trajektorienmodellierungen.

## 4.3 Grundlagendaten

### 4.3.1 Digitales Höhenmodell

Die wichtigste Grundlage zur Erstellung von EDV-gestützten Gefahrenhinweiskarten bildet das digitale Höhenmodell (DHM).

*DHM-Rohdaten:  
Photogrammetrie und  
DHM25*

Die vom Auftraggeber gelieferten DHM-Rohdaten basieren auf zwei unterschiedlichen Datenquellen: Zuerst wurde der ganze Kanton photogrammetrisch detailliert ausgewertet (Einzelpunkte, Bruchkanten). Anschliessend wurden in schwer einsehbaren Gebieten (v.a. Waldflächen) die Daten des DHM25 ergänzt.

Das aus der Landeskarte 1:25'000 abgeleitete DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie kann in zwei verschiedenen Formaten bezogen werden: als 25 Meter Raster (Matrixmodell) und als sogenanntes «Basismodell» (vektorierte Höhenkurven, Seekonturen und Höhenkoten). In den DHM-Rohdaten des Kantons Zug wurde das Basismodell verwendet.

Die Aufbereitung der DHM-Rohdaten in ArcInfo berücksichtigt zusätzlich das digitale Gerinnenetz (Vektor25) des Kantons.

*DHM10*

Die Qualität der Rohdaten im Kanton Zug erlaubt die Erstellung eines digitalen Höhenmodells in einem 10 Meter Raster (DHM10), welches das Relief wesentlich besser abbildet als das Matrixmodell des Bundesamtes für Landestopographie.

### 4.3.2 Bodenbedeckung

Die für die Prozessmodellierungen wichtigen Flächentypen ‚Fels‘ bzw. ‚Wald‘ wurden wie folgt aufbereitet:

#### **Fels**

*Digitalisierung ab PK25  
und UP5*

Die Felsgebiete sind als Startzonen für den Steinschlag sowie als potentielle Geschiebelieferungsflächen für die Murgänge zu erfassen. Damit auch kleine Ausbruchzonen berücksichtigt sind, wurden die Felssignaturen ab der Pixelkarte 1:25'000 (PK25, Schwarz-Layer) sowie den digitalen Übersichtsplänen 1:5'000 (UP5) digitalisiert. Dabei sind die teilweise schmalen Felsbänder etwas breiter erfasst worden, damit für die Steinschlagmodellierung genügend Startpunkte generiert werden können.

*Ergänzungen Felsgebiete  
durch Kantonsforstamt*

Die so erfassten Felsgebiete wurden vom Kantonsforstamt mit weiteren bekannten, potentiellen Ausbruchzonen ergänzt.

#### **Wald**

Die Waldflächen sind aus der Pixelkarte 1:25'000 (PK25) extrahiert worden. Die Daten der PK25 haben den Nachführungsstand 1994 und 1996 (östlicher Kantonsteil).

#### 4.3.3 Geologische Karten

Geologische Karten wurden für die Bearbeitung des Prozesses Rutschung verwendet. Der Geologische Atlas der Schweiz 1:25'000 ist im Kanton Zug nicht flächendeckend vorhanden. In einzelnen Gebieten bestehen sog. geologische Spezialkarten und verschiedene geologische Gutachten (siehe Unterlagenverzeichnis). Die geologischen Grundlagen stehen nicht in digitaler Form zur Verfügung.

#### 4.3.4 Gewässernetz und Verkehrsnetz

Die Bearbeitung der Wildbachgefahren erfordert für die Ausscheidung von potentiellen Ausbruchstellen und für die Prozesssimulation ein digitales Gewässernetz und ein digitales Verkehrsnetz. Zur Verfügung stand das digitale Gewässernetz und das Verkehrsnetz des Vektor25 des Bundesamtes für Landestopographie. Beide basieren auf den Informationen aus den Landeskarten im Massstab 1:25'000.

#### 4.3.5 Luftbilder

Orthofotos über den ganzen Kanton (Daten Kanton Zug, 12.5 cm Auflösung) wurden für die Bearbeitung des Prozesses Rutschung verwendet und stereoskopisch ausgewertet. Sie stellen hier eine wichtige und aussagekräftige Grundlage dar, setzen aber eine fundierte Erfahrung in der Interpretation von Geländeformen voraus.

#### 4.4 Berücksichtigung von Schutzbauten

Die vielerorts bestehenden Verbauungen gegen Rutschungen, Murgänge, Steinschlag und Hochwasser wurden mit Ausnahme der flachen Gewässer bei der Bearbeitung nicht berücksichtigt. Der stabilisierende Einfluss von Drainagemassnahmen oder die stabilisierende Wirkung von Bebauungen bei spontanen Rutschungen und Hangmuren wurden bei der Modellierung nicht einbezogen (Daten bezüglich solcher Massnahmen nicht genau erfassbar). Es wurden lediglich Schutzbauten berücksichtigt, welche sich morphologisch im DHM abzeichnen, das heisst grössere Geländeschüttungen, wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme, Ufermauern und ähnliche. Dadurch zeigen die ermittelten Prozessräume, welche Gebiete bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnten (Gefahrenhinweis).

Bei den Überflutungsprozessräumen der flachen Gewässer sind die Schutzbauten in der berücksichtigt worden. Folgende Schutzmassnahmen wurden berücksichtigt:

- Die Hochwasserableitungen des Göblibachsystem der Gemeinden Baar und Zug
- Die Eindolungen am Sijentalbach in Rotkreuz wurden einbezogen

- Die Eindolungen am Drälikerbach in Drälikon wurden eingerechnet
- Die Reussdämme wurden als funktionstauglich angenommen (kein Dambruch).

Die Berücksichtigung der übrigen Schutzbauten muss auf Stufe Gefahrenkarte erfolgen, wo detaillierte Abklärungen bezüglich der Funktionstauglichkeit und die Beurteilung der Schutzwirkung erforderlich sind.

## 4.5 Prozessmodelle

### 4.5.1 Steinschlag

#### Trajektorienmodell Zinggeler+GEOTEST

*Steinschlag-Modell  
Zinggeler+GEOTEST*

Das Steinschlagmodell Zinggeler+GEOTEST berechnet Sturzbahnen von Steinen und Blöcken sowohl entlang digitalisierter Geländeprofile als auch auf digitalen dreidimensionalen Geländemodellen (DHM). Innerhalb definierter Ausbruchzonen werden Startpunkte in einer bestimmten Dichte generiert. Ausgehend von diesen Punkten wird der Sturz eines Blockes als Abfolge von Kontaktreaktionen des Blockes mit dem Untergrund bzw. dem Wald, Flugparabeln sowie einer Rollbewegung modelliert. Es können folgende Parameter berücksichtigt werden:

- Geländetopographie (DHM, Rauigkeit der Geländeoberfläche)
- Blockgrösse, Blockform (Masse, Rotationsfähigkeit)
- Dämpfung des Untergrundes: Fähigkeit des Untergrundes, sich zu deformieren mit entsprechendem Energieverlust des Sturzblockes
- Wald: für kleinere und mittlere Blockgrößen bedeutet ein gesunder Wald ein starkes Hindernis. Der Wald wird im Programm anhand der Stammkennzahlen (mittlerer Stammdurchmesser, Verteilung der Durchmesser) berücksichtigt.

*Prozessraum Sturz*

Die Informationsdichte der Eingabeparameter richtet sich einerseits nach der Grösse des Untersuchungsgebietes und andererseits nach dem vorgegebenen Untersuchungsziel. Für die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten werden standardisierte Werte eingesetzt, die es ermöglichen sollen, die grösstmöglichen, realistischen Reichweiten zu berechnen. Das Programm berechnet für das gesamte Untersuchungsgebiet tausende von Sturzbahnen, deren Umhüllende als Berechnungsergebnis ausgegeben wird und den Prozessraum Sturz darstellt.



## Modellparameter für die Gefahrenhinweiskarte

### Startpunkte

*Gegenseitiger Abstand  
Startpunkte 5m*

Innerhalb der digitalisierten Felsgebiete wurden Startpunkte mit einem gegenseitigen Abstand von 5 m (15m bei grossen Ausbruchflächen) generiert. Mit dieser Startpunktedichte resultieren für den gesamten Kanton etwa 28'000 Startpunkte.

### Blockgrösse

*Modellierung repräsentativ  
für Blockschläge und kleine  
Felsstürze*

Es wurde ein Einheitsblock mit den Hauptachsen 1.2 x 1.1 x 1.0 m (1 m<sup>3</sup>, 2'700 kg) eingesetzt, was einem zu erwartenden grossen Sturzblock entspricht. Sturzblöcke aus Molassefels können jedoch auch grösser sein.

Es ist festzuhalten, dass die Blockgrösse mit den für die Gefahrenhinweiskarte gesetzten Modellparametern, ohne Feldkartierung mit differenzierter Erhebung der Oberflächenrauigkeit, wenig empfindlich für die Reichweite ist. Die berechneten Trajektorien sind daher allgemein repräsentativ für Blockschläge und kleine Felsstürze.

### Dämpfung des Untergrundes

*Dämpfung des Unter-  
grundes als wesentlicher  
Modellparameter*

Der Sturz eines Blockes zeichnet sich durch Energiezunahme während eines Sprunges und durch Energieverlust beim Aufprall auf den Untergrund aus. Ein wesentlicher Aspekt für den Energieverlust ist die plastische Deformierbarkeit des Untergrundes. Ein weicher Untergrund lässt ein tieferes Eindringen und somit eine grössere, mit Energieverlust verbundene Materialumlagerung zu als ein harter Untergrund.

Für Gefahrenbeurteilungen von relativ kleinen Gebieten (wenige km<sup>2</sup>, z.B. für Gefahrenkarten) wird die Dämpfung des Untergrundes im Feld beurteilt und kartiert. Für den Massstab der Gefahrenhinweiskarte muss dieser Simulationsparameter hingegen abgeschätzt werden. Für die Steinschlagmodellierung im Rahmen einer Hinweiskarte 1:10'000 bzw. 1:25'000 wird die Dämpfung des Untergrundes aufgrund grob definierter Hangneigungsbereiche und dem Vorliegen von Waldflächen abgeleitet. Dabei werden die zwei folgenden empirischen Erkenntnisse integriert:

*Erhöhte Dämpfung des Un-  
tergrundes im Wald und für  
flache Hänge*

- Vermehrte Akkumulation von Lockermaterial bei Hangneigungen kleiner als 20°;
- Vermehrte Akkumulation von Lockermaterial und Auflockerung des Untergrundes durch Wurzelaktivität in Waldbereichen. Zusätzlich lokal erhöhte Oberflächenrauigkeit und Dämpfung durch herumliegendes Totholz.

Aus der Kombination dieser generellen Aussagen ergeben sich grundsätzlich fünf unterschiedliche Geländetypen, denen spezifische Dämpfungswerte zugeordnet werden. Abbildung 4-1 stellt die Geländetypen schematisch dar.

Geländetypen für Stein-  
schlagmodellierung

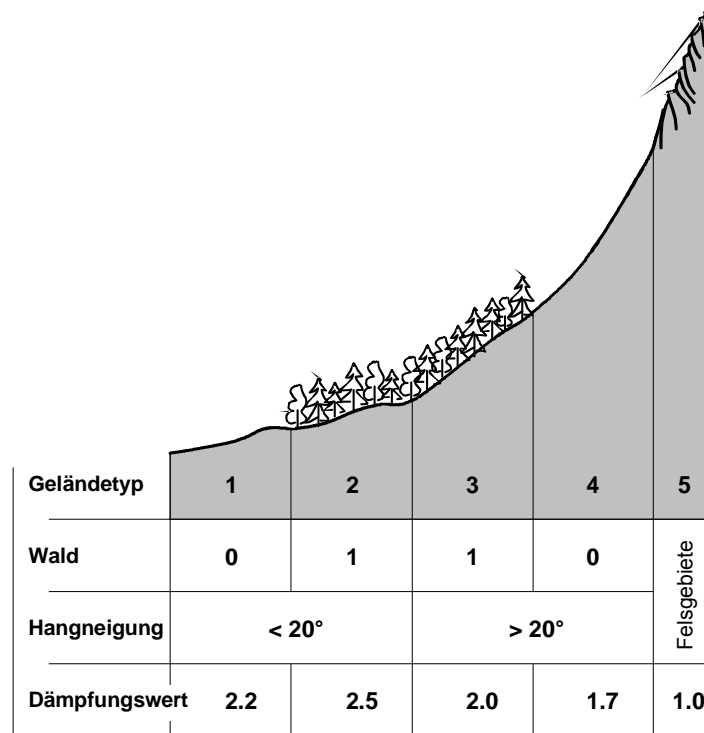


Abb. 4-1: Einteilung in 5 Geländetypen mit zugehörigen Dämpfungsparametern für die Steinschlagmodellierung

Tabelle 4.1: Definition der Dämpfungswerte:

| Bodenart  | Dämpfung    | Dämpfungswert |
|---|-------------|---------------|
| Fels  | Sehr gering | 1             |
| Lockergestein flachgründig, trocken (harter Untergrund) | Gering      | 2             |
| Tiefgründige, trockene Böden, Blockschuttflächen        | Mittel      | 3             |
| Tiefgründige feuchte Böden                              | Gross       | 4             |
| Moor, Sumpf   | Sehr gross  | 5             |

*Pessimistische Modellparameter (Dämpfung, Oberflächenrauigkeit)*

Aus der Legende zu Abbildung 4-1 ist ersichtlich, dass für die Modellierungen der Gefahrenhinweiskarte eher tiefere (pessimistische) Dämpfungswerte eingesetzt wurden. Die Rauigkeit der Geländeoberfläche wurde generell als gering definiert.

*Ohne direkte Schutzwirkung des Waldes*

Im Sinne der Gefahrenhinweiskarte, möglichst alle potentiellen Konfliktstellen erkennen zu können, wurde die direkte Schutzwirkung des Waldes nicht berücksichtigt. Dies entspricht der Methodik der Gefahrenhinweiskarten anderer Kantone (z.B. Bern, Solothurn, Luzern)

### **Steinschlagprogramm und GIS-Umgebung**

*Steinschlagprogramm und  
GIS-Umgebung*

Das Modell Zinggeler+GEOTEST ist eine Turbo-Pascal-Applikation und rechnet 'ausserhalb' einer GIS-Umgebung. Vor und nach der eigentlichen Modellierung werden jedoch GIS-Funktionalitäten benötigt: Vor der Modellierung werden die Modellparameter (Dämpfung des Untergrundes, Rauigkeit der Geländeoberfläche, Wald bzw. kein Wald) mit GIS zu einem binären Parameterfile (BIL-Format) zusammengerechnet.

Die Modellierung selbst rechnet ausgehend von jedem Startpunkt die zugehörige Sturzbahn. In einem 10m-Resultatraster werden die Modellierungsergebnisse erfasst (Blockdurchgang, Energie, Sprunghöhe) und abgespeichert.

*Generalisierung des Pro-  
zessraumes*

Nach der Modellierung werden die Resultate zu Rasterdateien (BIL-Format) verarbeitet, welche mit GIS kartographisch aufbereitet werden müssen: Nebst der Klassierung von Energie- und Sprunghöhen (für Gefahrenkarten) ist dabei vor allem die Generalisierung (Lücken füllen und glätten) des allgemeinen Prozessraumes von Bedeutung.

### **Lücken füllen**

Aufgrund der hohen Auflösung der Resultatraster (Rasterzelle 10 m) entstehen zwischen den einzelnen Sturzbahnen teilweise Lücken. Diese sind methodikbedingt und würden bei einer detaillierteren Auflösung der Geländeoberfläche als durch das DHM10 gegeben, einer grösseren (realen) Variabilität des Untergrundes und einer höheren Startpunktdichte mit hoher Wahrscheinlichkeit verschwinden. Deshalb wurden Lücken bis zu 15 m geschlossen.

### **Prozessraum glätten**

Die Resultatraster weisen eine ‚Treppenstruktur‘ auf, welche zu einem gut lesbaren Linien-Coverage geglättet wurden.

## **4.5.2 Rutschungen**

*Bekannte Rutschungen*

Die Darstellung der Prozessräume «Rutschung» erfolgte nach folgendem Vorgehen:

Kartierung 1:10'000 von bekannten Rutschungen und Rutschgebieten auf Grund von:

- Geologischen und geomorphologischen Karten und Berichten;
- Expertenwissen Geologen (bekannte Ereignisse, Berichte und Expertisen);

*Arrondierung* Arrondierung und Ergänzung der Prozessräume "Rutschung" auf der Basis von:

- Geologischen Karten
- Topografischen Karten
- Luftbildinterpretation

### **Interpretation der geologischen Karten**

*Zusammenhang  
Felsuntergrund–Locker-  
gesteinsbedeckung* Sie geben Auskunft über die Art und Verbreitung der verschiedenen Gesteine. Für Rutschungen prädestinierte Gesteine wie Mergel oder Tonsteine sind daraus ersichtlich. Der Felsuntergrund prägt vielfach auch die Beschaffenheit der Lockergesteinsbedeckung. Mergel und Tonsteine beispielsweise neigen tendenziell zur Bildung von siltig-tonigen, kohäsiven und bodenmechanisch empfindlichen Lockergesteinen, während reiner Kalkfels vorwiegend nicht kohäsiven Kalkschutt bildet. Bei mächtiger Moränenbedeckung oder im Bereich von Bachschuttkegeln kann das Herkunftsgebiet des Lockergesteins allenfalls Hinweise auf dessen Zusammensetzung und Eigenschaften liefern.

*Quellwasserhorizonte* In der Regel sind auf geologischen Karten auch Quellen dargestellt. Dadurch vermitteln sie Angaben zu den generellen Grund- bzw. Gebirgswasserhältnissen, welche bei Rutschhängen oft entscheidend sind (z.B. Quellhorizont als Anrissrand für eine Rutschung).

Allein aufgrund der geologischen Karte können approximativ Zonen bestimmt werden, die aufgrund ihrer mutmasslichen boden- bzw. felsmechanischen Beschaffenheit für Hanginstabilitäten anfällig sind.

### **Analyse von Luftfotos (Geomorphologie)**

*Analyse Luftfotos für ober-  
flächliche Rutschungen* Die stereoskopische Betrachtung von Luftfotos lässt die Geländeformen überhöht in Erscheinung treten. Bei Flächen grösser ca. 1 ha erlauben sie im allgemeinen die Identifikation verschiedener Phänomene (z.B. Stauchwülste, Spalten, Anriss- und Stauchgebiete von Rutschkörpern, verschobene Bachläufe), welche für Massenbewegungen kennzeichnend sind. Scharf begrenzte Phänomene (z.B. Zerrspalten) sind bereits bei Grössen von einigen Zehnern von Metern erkennbar. Gegenüber der topographischen Karten liefern Luftfotos eine bessere räumliche Auflösung. So werden oberflächliche Rutschungen vor allem auf der Basis von Luftfotos ausgedacht.

*Restriktionen bei der Aus-  
wertung von Luftfotos* Schwierigkeiten ergeben sich in bewaldeten Gebieten. So sind in einem hochstämmigen Wald Einzelphänomene kaum ersichtlich und die kleinräumige Morphologie tritt in der Regel nicht mehr in Erscheinung. Ferner tritt bei steilen Hängen und Felswänden oft starker Schattenwurf auf, so dass die beschatteten Hänge im allgemeinen

nicht einsehbar sind.

Vegetation und Nutzungsformen sind aus den Luftfotos im allgemeinen gut ersichtlich. Sie liefern ebenfalls wichtige Hinweise auf Hanginstabilitäten (räumliche Ausdehnung, Aktivität).

#### 4.5.3 Seeuferrutschungen

Die Darstellung der Prozessräume «Seeuferrutschung» erfolgte nach folgendem Vorgehen:

*Bekannte Rutschungen*

Kartierung 1:10'000 von bekannten Rutschungen und Rutschgebieten auf Grund von:

- Geologischen und geomorphologischen Karten und Berichten;
- Expertenwissen Geologen (bekannte Ereignisse, Berichte und Expertisen);

*Arrondierung*

Arrondierung und Ergänzung der Prozessräume "Seeuferrutschung" auf der Basis von:

- Geologischen Karten
- Topografischen Karten

##### **Interpretation der geologischen Karten**

*Zusammenhang  
Felsuntergrund–  
Locker-  
gesteinsbedeckung*

Auf den geologischen Karten sind die historisch dokumentierten Seeuferrutschungen verzeichnet. Es fällt auf, dass die Seeuferrutschungen meist in Gebieten mit grösserer Lockergesteinszufuhr von Festland her entstehen. Es sind dies vor allem Schuttkegel von Bächen und Rutschfronten von tiefgründigen Rutschungen. Oft sind auch strukturempfindliche Seeablagerungen (Seekreide) vorhanden, wenn Seeuferrutschungen entstehen.

#### 4.5.4 Hangmuren/spontane Rutschungen

##### **Aufbereitung der Grundlagen**

*Aufbereitung und Klassierung Geologie*

Die Geologie des Kantons Zug wurde bezüglich der Schuttproduktion, der Matrix des Lockergesteins sowie der Durchlässigkeit des Untergrundes klassiert (-> dreistellige Codierung gemäss Tabelle im Anhang 2). Die Codes sind wie folgt aufgebaut:

*Tabelle 4-2: Bedeutung der 3-stelligen Codes*

| Schuttproduktion<br>1. Stelle | Matrix<br>2. Stelle | Durchlässigkeit<br>Untergrund<br>3. Stelle |
|-------------------------------|---------------------|--|
| 0: kein Fels                  | 0: nicht relevant   | 1: gross                                   |
| 1: gering                     | 1: tonig-siltig     | 2: mittel                                  |
| 2: mittel                     | 2: sandig-kiesig    | 3 gering                                   |
| 3: gross                      | 3: kiesig-blockig   |  |

Für die Modellierung der Rutschanfälligkeit wurden die bekannten Hangmuren, welche im Ereigniskataster aufgeführt sind, sowie die bekannten flachgründigen Rutschungen mit den geologischen Einheiten verschnitten. Für jede geologische Einheit wurden die entsprechenden Hangneigungsverteilungen ausgeschieden und analysiert.

*Bestimmung der  
kritischen Reibungswinkel*

Basierend auf den Hangneigungsverteilungen wurden für alle geologischen Einheiten kritische Reibungswinkel bestimmt, welche als Parameter in die Modellierung der Hangmurenanrisse einfließen. Die untenstehende Tabelle zeigt die Werte, die für die Modellierung eingesetzt wurden.

*Tabelle 4-3: Klassierung des geologischen Untergrundes und Parameter für die Modellierung der Hangmurenanrisse*

| Geol. Code<br>(Anhang 1) | $\phi$<br>Winkel innerer<br>Reibung<br>(Mittelwert) | $\phi$<br>Winkel innerer<br>Reibung<br>(Standardabw.) | c<br>Kohäsion | Wasser-<br>sättigung | Klasse für Mo-<br>dellierung<br>Hangmuren |
|--------------------------|---|---|---------------|----------------------|---|
| 013                      | 18  | 3   | 0             | 20%                  | 1   |
| 011<br>012<br>112<br>313 | 22  | 3   | 0             | 40%                  | 2   |
| 021<br>022<br>023<br>222 | 25  | 3   | 0             | 50%                  | 3   |
| 322                      | 28  | 3   | 0             | 70%                  | 4   |
| 232                      | 35  | 3   | 0             | 80%                  | 5   |

### Modellierung

*Modellierung mit Modell  
SLIDISP*

Die Modellierung der Anrissgebiete erfolgte mit dem Modell „SLIDISP“ und mit den in der Tabelle 4-4 aufgeführten Parametern. Das Modell SLIDISP bestimmt mit Hilfe der Stabilitätsberechnungsmethode Infinite-Slope-Analysis die Hangstabilität für jede Rasterzelle (Grösse 10 x 10 Meter) des DHM 10. Die benötigten Parameter werden flächendeckend aus den vorliegenden digitalen Geologiedaten abgeleitet und ins Modell eingegeben. Die massgebenden Parameter sind die Hangneigung, welche aus dem digitalen Höhenmodell berechnet werden kann, sowie die Scherparameter (Kohäsion und Reibungswinkel) des geologischen Untergrundes.

*Variation der Modellparameter:  
Monte-Carlo Simulation*

Um die hohe natürliche Variabilität der Scherparameter abzubilden, werden die Scherparameter (Kohäsion und Reibungswinkel) nicht durch einzelne Werte pro geotechnischer Klasse sondern durch Verteilungsfunktionen beschrieben. Für die Bestimmung der Rutschanfälligkeit werden wiederholt Werte aus den Verteilungen der Scherparameter ausgewählt und mit diesen Werten jedes Mal ein Sicherheitsgrad berechnet. Mit dieser sogenannten Monte-Carlo-Simulation können die natürlichen Variationsbreiten verschiedener Parameter in der Modellierung berücksichtigt werden.

Für das Modell wird angenommen, dass Kohäsion und Reibungswinkel je als Normalverteilung vorliegen und dass sie nicht miteinander korreliert sind. Diese Annahme stimmt in der Natur nicht, und die Stabilitätsberechnung kann unter dieser Annahme zu hohe oder zu tiefe Werte ergeben. Da die Berechnung aber mit einer grossen Anzahl von Parameterkombinationen durchgeführt wird, heben sich die zu hohen und die zu tiefen Werte auf und die Wahrscheinlichkeit der Verteilung der Sicherheitsgrade bleibt ähnlich.

Da angenommen wird, dass die Scherparameter als Normalverteilung vorliegen, können die Verteilungen auch negative Werte enthalten. Allfällige negative Werte der für die Berechnung verwendeten Verteilungsfunktionen werden auf Null gesetzt, da in der Natur keine negativen Werte auftreten können.

*Bestimmung des Sicherheitsgrades für jede Rasterzelle*

Für die Bestimmung der Rutschanfälligkeit werden für jede Rasterzelle 100 Sicherheitsgrade aus zufällig ausgewählten Werten aus den Verteilungsfunktionen der Scherparameter berechnet. Dabei wird die Anzahl Fälle bestimmt, bei denen der Sicherheitsgrad  $< 1$  ist, das heisst, bei welchen Instabilität angenommen wird. Je grösser die Anzahl der Instabilitäten, desto grösser ist die Rutschwahrscheinlichkeit. Als mögliche Anrissgebiete werden diejenigen Gebiete ausgeschieden, bei denen mehr als 60% der Parameterkombinationen einen Sicherheitsgrad  $\leq 1$  ergeben.

*Flächen generell zu*

Die durch das Modell als rutschanfällig ausgeschiedenen Flächen

*gross* können auch Gebiete mit sehr wenig Lockermaterial oder mit einzelnen Felsbändern umfassen, in denen Hangmuren nur lokal möglich sind.

*Keine Berücksichtigung der Bebauung* Die Flächen wurden ohne Berücksichtigung der Baubauung modelliert. Gefahrenflächen in bebauten Gebieten haben daher nur eine beschränkte Aussagekraft. Eine Bebauung schränkt die Bildung von spontanen Rutschungen und Hangmuren stark ein:

Die Bebauung hat einen stark einwässernden Einfluss auf einen Hang (Enwässerung von Häusern und Strassen)

Durch die teilweise Versiegelung der Fläche dringt weniger Wasser in den Boden.

Bei flachgründigen Rutschungen können Bauwerke meist unterhalb der Gleitfläche fundierte werden und wirken so für den gesamten Hang stabilisierend.

#### **Auslaufmodellierung**

*Auslaufmodellierung mit GIS-Ansatz*

Ausgehend von den modellierten Anrissgebieten wird das mögliche Auslaufgebiet bestimmt. Dazu wird für jedes Pixel im DHM 10 im Anrissgebiet ein Anfangsvolumen von 100 m<sup>3</sup> festgelegt, das ausgehend von den Startgebieten in Fliessrichtung abgelagert wird. Dazu wird schrittweise über einen Ablagerungsfaktor die jeweilige Ablagerungsmenge bestimmt und das Anfangsvolumen entsprechend reduziert. Die Ablagerung erfolgt in Abhängigkeit von der Hangneigung. In Hängen, die steiler als 19° sind, werden 10 % der Anfangsmenge abgelagert. In flacheren Gebieten werden je nach Hangneigung 40 % respektive 80 % abgelagert (vgl. Tabelle 4-4). Die Ablagerung wird schrittweise in Fliessrichtung fortgeführt bis die Anfangsmenge von 100 m<sup>3</sup> abgelagert ist, oder bis eine maximale Auslaufdistanz von 200 m erreicht wurde.

*Tabelle 4-4: Abbaufaktor für die Modellierung des Auslaufgebietes*

| <b>Hangneigungsbereich</b> | <b>Ablagerungsfaktor</b> |
|----------------------------|--------------------------|
| > 19°                      | 10 %                     |
| 19° - 15°                  | 40 %                     |
| < 15°                      | 80 %                     |



#### 4.5.5 Wildbachprozesse (Neigung > 2%)

*Simulation Wildbach-  
prozesse zweistufig:  
Dispositionsmodell und  
Ausbreitungsmodell*

Die angewandte Methodik zur Modellierung der Bachgefahren wurde im Rahmen des Projektes FLAM-NAGEF (vgl. Heinimann et al., 1998) und im NFP31 Projekt "Murgänge und GIS" (Zimmermann et al., 1997) von Geo7 entwickelt und in verschiedenen Projekten (Gefahrenhinweiskarten Bern, Solothurn, Aargau) getestet und weiter verbessert.

Das Verfahren beinhaltet die Ausscheidung der durch Gerinneprozesse gefährdeten Gebiete. Das Schwergewicht liegt bei der flächenhaften Ausscheidung von Prozessräumen.

Die Ausscheidung der Prozessflächen für die steilen Gewässerabschnitte erfolgte grösstenteils GIS-basiert (ArcInfo).

Mit den heutigen Möglichkeiten Geographischer Informationssysteme ist es jedoch nicht möglich, komplexere Modelle (Reichweiten- und Ausbreitungsmodellierung) im GIS selbst zu rechnen. Es besteht aber die Möglichkeit, die eigentliche Simulation in einer der üblichen Programmiersprache auszuführen und dabei auf die im GIS gespeicherten Grundlagendaten zuzugreifen. Die Simulationsergebnisse können ebenfalls in einer Form ausgegeben werden, die im GIS weiterverwendet werden kann.

Dieser Weg wurde für die Implementation des Reichweiten- und Ausbreitungsmodells eingeschlagen. Die Reichweiten- und Ausbreitungssimulation sind dabei in einem internen Rechnungsprogramm kombiniert.

### MODELLIERUNG DER ÜBERFLUTUNGSFLÄCHEN

#### ***Ermittlung der Ausbruchstellen***

*Ermittlung Ausbruchstellen*

Entlang eines Gerinnes treten immer wieder Kapazitätsengpässe auf, die bei Hochwasser zu einem Ausufern von Wasser und Geschiebe führen können. Diese Stellen sind:

- Anfang einer Eindolungsstrecke
- Durchlässe und Brücken
- Gerinneengpässe mit verminderter Kapazität

Die Ausbruchstellen wurden mittels der vorhandenen Grundlagen (Strassen- und Bahnnetz, Gewässernetz Vektor25) automatisch detektiert und die kritischen Stellen im Gelände verifiziert. Ausbruchstellen für die Prozesssimulation Überflutung und Übersarung wurden nur dort ausgeschieden, wo ein Gewässer des Vektor25 vorhanden ist.

Während der Modellierung wird zusätzlich für jedes Gerinnepixel (Pixelgrösse 10 x 10 Meter) geprüft, ob bei der berechneten Fliessrichtung mehrere Abflusswege (multiple flowdirection) möglich sind. Ist dies über eine gewisse Gerinnestrecke der Fall, wird das Pixel, bzw. der Abschnitt, als weitere Ausbruchsstelle (reliefbedingte Ausbruchsstelle) ausgedehnt.

Ausgehend von diesen Ausbruchstellen werden in der nachfolgenden Simulation in einem iterativen Verfahren die Ausbreitungsflächen berechnet. Dabei wird an jeder Ausbruchsstelle das Verfahren neu gestartet. Das heisst, dass weiter oben erfolgte Wasser- und Geschiebeaustritte nicht in Rechnung gestellt werden.

### **Abschätzung Hochwasserabfluss**

*Hochwasserspitze,  
-abfluss, -dauer und  
-volumen*

Die Ausscheidung von Überflutungsflächen durch das Überflutungsmodell erfordert Angaben zur Wassermenge. Es existieren verschiedene Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserspitzen. Mittlere Hochwasserabflüsse und Hochwasser-Dauer können aber kaum abgeschätzt werden. Zur Schätzung des Wasservolumens sind Angaben dazu jedoch notwendig. Es wird hier deshalb ein Ansatz über die Hochwasserspitze gewählt.

Die Abschätzung der **Hochwasserspitzen** erfolgte mit dem gleichen Ansatz wie für die flachen Gewässer (siehe Kapitel 4.5.3).

Die Abschätzung des **mittleren Hochwasserabflusses** während des Ereignisses erfolgt mit der einfachen Beziehung  $EHQ/2$ . Es wird davon ausgegangen, dass die Hochwasserwelle in erster Näherung eine dreieckige Form aufweist. Der mittlere Hochwasserabfluss über das Ereignis beträgt demzufolge etwa die halbe Spitze.

Damit aus einem mittleren Hochwasserabfluss ein Volumen abgeschätzt werden kann, sind Kenntnisse über die **Dauer der Hochwasserwelle** notwendig. Die Dauer wird in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse festgelegt.

- Kleine Einzugsgebiete  $< 55 \text{ km}^2$ : 1 Stunde Ereignisdauer pro  $10 \text{ km}^2$
- Grosse Einzugsgebiete  $> 55 \text{ km}^2$ : 1 Stunde Ereignisdauer pro  $5 \text{ km}^2$

Die Abschätzung des austretenden **Wasservolumens** basiert auf den folgenden Annahmen:

Tendenziell übert bei kleinen Einzugsgebieten ( $< 55 \text{ km}^2$ ) mehr Wasser aus als bei grossen ( $> 55 \text{ km}^2$ ). Es erfolgt daher eine Kor-

rektur für die Einzugsgebietsgrösse. Diese basiert auf den Überlegungen, dass Hochwasserereignisse in Bächen mit kleineren Einzugsgebieten in der Regel durch Starkniederschläge (Gewitterregen) verursacht werden, grosse Einzugsgebiete dagegen stärker auf langandauernde Niederschläge reagieren, die zu Hochwasser führen.

*Kleine Einzugsgebiet (< 55 km<sup>2</sup>)*

Hochwasser in kleineren, steileren Bächen transportieren in der Regel viel Geschiebe und Holz. Hier ist eine massive Einengung des Abflussquerschnitts möglich. Es wird davon ausgegangen, dass die Hälfte des Volumens ausufert.

*Grosse Einzugsgebiete: (> 55 km<sup>2</sup>)*

Hochwasser bei langandauernden Niederschlägen erfolgen langsam. Das Ausuferen erfolgt auf Grund von fehlender Gerinnekapazität. Es wird davon ausgegangen, dass während der halben Zeit 20 % ausuferen, der Rest wird nach wie vor im Gerinne abfliessen.

### **Verteilung des Wasservolumens (Ausbreitung)**

*Modellierung der Ausbreitung und der Reichweite*

Ausgehend von Ausbruchsmöglichkeiten neben dem Gerinne wird die Ausbreitung in der Fläche simuliert. Entscheidend ist dabei die Fliessrichtung in der Ebene. Normalerweise wird dazu die Single flowdirection verwendet. Jedes Pixel hat nur einen Nachfolger, nämlich das Pixel mit dem höchsten Gradienten. Mit dem Multiple flowdirection Ansatz (MFD) besteht die Möglichkeit, bei mehreren Nachfolgepixeln das Ausbreitungsverhalten zu steuern. Zum einen wird festgelegt, ab welcher Hangneigung eine Ausbreitung überhaupt möglich ist, zum andern wird die Stärke der Ausbreitung festgelegt.

An den Ausbruchstellen wird eine Wasserhöhe definiert. Diese Wasserhöhe wird mit einem Abminderungsfaktor und entsprechend der MFD anteilmässig an die Nachbarpixel weitergegeben. Die Iterationen brechen ab, wenn (1) die Wassermenge verbraucht ist, oder (2) eine minimale Wasserhöhe unterschritten wird oder (3) eine maximale Fliesslänge (z.B. nach 250 Iterationsschritten, bzw. 2.5 km Fliesslänge) erreicht wird.

### **Startkriterien für die Überflutung**

*Startkriterien*

An einer potentiellen Ausbruchstelle erfolgt nur dann eine Überflutung, wenn verschiedene prozess-spezifische Kriterien erfüllt sind. Für die Gefahrenhinweiskarte Zug wurden die Kriterien aufgrund der topographischen und geologischen Gegebenheiten wie folgt festgelegt:

|   | <i>Überflutung</i>  |
|---|---------------------|
| Mindest-Einzugsgebietsgrösse                | 1000 m <sup>2</sup> |
| Minimale Gerinneneigung für Ausbruchstellen | > 2 %               |

**Mindest-Einzugsgebietsgrösse:** Die Einzugsgebietsgrösse ist eine Hilfsgrösse, über welche das im Hochwasser-Fall mögliche Wasservolumen einfliesst. Es wird davon ausgegangen, dass das Einzugsgebiet eine minimale Grösse aufweisen muss, damit über den Gebietsniederschlag genügend Wasser in die Gerinne gelangen und wirksam werden kann. Das Ereignis vom 6. Juni 2003 in Oberägeri hat gezeigt, dass dieser Grenzwert sehr tief angesetzt werden muss.

**Minimale Gerinneneigung:** Das Kriterium der Gerinneneigung an der Ausbruchstelle wurde im Modell verwendet, um die Simulation der Prozesse auf die steilen Gewässer (> 3 %) zu beschränken. Mit 2 % Gerinneneigung (Vorgabe Kanton Zug) wurde der Wert aber unterschritten, um einen Überlappungsbereich mit den Prozessflächen der flachen Gewässer zu erhalten. Im Überlappungsbereich mit dem Bereich mit Bearbeitung der Gewässer < 2% wurden daher die im Feld verifizierten Überflutungsdaten übernommen (siehe Kapitel 4.5.6).

### **Abbruchkriterien für die Überflutung**

#### *Abbruchkriterien*

Die Ausbreitung von Wasser ist abhängig von der Topografie (Neigung) und des zur Verfügung stehenden Wasserangebots. Ist einer der beiden Faktoren nicht mehr gegeben, stoppt der Prozess. Die Ausbreitung wird abgebrochen, wenn:

- das Wasservolumen aufgebraucht ist,
- die minimale Wasserhöhe von 5 cm unterschritten wird,
- die maximale Anzahl Iterationsschritte (250 Schritte, entspricht 2.5 km Fliessweg) überschritten wird oder
- ein Gewässer erreicht wird, dessen Einzugsgebiet mindestens doppelt so gross ist.

Sowohl beim Wert für die austretende Wasserhöhe an den Aus-

bruchstellen wie auch bei der minimalen Wasserhöhe handelt es sich um Modellwerte, welche als Berechnungsgrundlage für die Ausbreitung verwendet wurden. Sie entsprechen nicht einer effektiv im Gelände messbaren Grösse.

## MODELLIERUNG DER ÜBERSARUNGSFLÄCHEN

Die Erfassung der Ausbruchstellen für die Modellierung der Übersarungsflächen erfolgte gleich wie für die Überflutung.

*Ausbruchstellen*

### ***Abschätzung Geschiebepotential***

In Hügel- und Berggebieten spielt das Geschiebe im Einzugsgebiet bzw. im Gerinne eine wesentliche Rolle. Hier kommt es neben der Überflutung auch zu Übersarungsprozessen (Ablagerung von Geschiebe auf den Schwemmfächern von Bächen und kleineren Flüssen) und Murgängen. Die Grundlage für die Beurteilung der Geschieberelevanz bilden geologische Daten (Geologie und Lithologie) und die Reliefverhältnisse (Böschungen, Hänge). Mit einfachen Grenzwertkriterien kann die Geschieberelevanz von Einzugsgebieten klassiert werden.

*Dispositions- bzw.  
Geschiebelieferungs-  
modell*

Die Abschätzung des Geschiebepotentials erfolgt mit einem Geschiebelieferungsmodell. Darin werden diejenigen Flächen ausgeschieden, die durch Sturz-, Rutsch- oder Spülprozesse Material in eine Runse oder in ein Gerinne liefern können. Dabei bilden Kenntnisse über den oberflächennahen Untergrund eine wichtige Grundlage.

Die gerinnenahen Bereiche, von denen Material über Ufererosion, flachgründige Rutschungen und Spülprozesse in die Gerinne gelangt, werden aufgrund der Hangneigung ausgeschieden. Ausgehend von den Gerinnen und Runsen wird geprüft, ob die Hangneigung der unmittelbar anschliessenden Rasterzellen über dem definierten Grenzwert liegt. Dieses Verfahren wird iterativ fortgesetzt bis die Hangneigung unter den Grenzwert sinkt oder eine maximale Distanz, die vorher festgelegt wurde, überschritten wird. Der Hangneigungsgrenzwert wird dabei von den geologischen Verhältnissen an der Oberfläche abhängig gemacht.

Eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Geschiebelieferung bildet die Kenntnis der Lage von Rutschgebieten. Im Rahmen der Bearbeitung des Prozesses Rutschungen wurden die Rutschgebiete erhoben und standen digital zur Verfügung. Als geschieberelevant werden Rutschungen mit einem Gerinneanschluss bis zu einer Distanz von 250 m angesehen.

Die Ausscheidung der geschieberelevanten Sturzquellen erfolgt mit einem einfachen Pauschalgefälle-Ansatz. Felsflächen, die steiler als  $34^\circ$  sind und deren Pauschalgefälle zum nächsten Gerinne oder zur nächsten Runse mehr als  $32^\circ$  beträgt, werden als geschieberelevant ausgeschieden. Die maximale Distanz für die Geschieberelevanz wurde auf 1000 m festgelegt.

Neben der Geschiebelieferung aus der Fläche wird auch eine mögliche Erosion im Gerinne selbst beurteilt. Als Bedingung für grössere Erosionen wird eine Gerinneneigung von  $> 6^\circ$  vorausgesetzt. Im weiteren muss das Gerinne im Lockermaterial verlaufen.

*Gewichtete geschieberelevante Fläche*

Um bezüglich der Bedeutung für die Geschiebelieferung differenzieren zu können, werden die geschiebeliefernden Flächen gewichtet. Gewichtungsfaktoren sind die Art der Geschiebequellen (instabile Hänge, Böschungen, Sturzquellen) und die geologische Charakterisierung (Zusammensetzung des Materials, Schuttproduktion).

In den Gerinnen wird eine Gewichtung aufgrund der Gerinnecharakteristik vorgenommen. Unterschieden werden vier Gerinnetypen: Gerinne in instabilen Hängen, Gerinne in offenem Schutt, Gerinne im Fels und übrige Gerinne. Diese Gewichte werden entlang der aus dem DHM abgeleiteten Fließrichtungen zur gewichteten geschieberelevanten Fläche aufsummiert.

Als Resultat der Berechnung steht für jedes Gerinnepixel ein Geschiebewert zur Verfügung, welcher in die Modellierung der Ausbreitung einfließt.

### ***Ausbreitung des Geschiebes***

*Modellierung der Ausbreitung und der Reichweite*

Die Simulation der Übersarungsflächen erfolgt mit einem ähnlichen Ansatz, wie jener für die Überflutung. Als Kriterium für das generelle Auftreten von Übersarung in einem bestimmten Gerinne dient die Verfügbarkeit von Geschiebe, welche über den Geschiebewert definiert ist.

Die durch Übersarung betroffenen Flächen gehen von definierten Ausbruchstellen aus. Die Ausbreitung der Übersarungsfläche wird durch einen multiple flowdirection (MFD) Ansatz und mit Hilfe des Gefälles gesteuert.

### ***Startkriterien für die Übersarung***

*Startkriterien*

An einer potentiellen Ausbruchstelle erfolgt nur dann eine Übersarung, wenn verschiedene prozess-spezifische Kriterien erfüllt sind. Für die Gefahrenhinweiskarte Zug wurden die Kriterien aufgrund der topographischen und geologischen Gegebenheiten wie folgt festgelegt:

|   | <i>Übersarung</i>   |
|---|---------------------|
| Mindest-Einzugsgebietsgrösse                | 1000 m <sup>2</sup> |
| Minimale Gerinneneigung für Ausbruchstellen | > 2 %               |
| Minimale-geschieberelevante Fläche          | 200 m <sup>2</sup>  |

**Mindest-Einzugsgebietsgrösse:** Die Einzugsgebietsgrösse ist eine Hilfsgrösse über welche das im Hochwasser-Fall mögliche Wasservolumen einfliesst. Es wird davon ausgegangen, dass das Einzugsgebiet eine minimale Grösse aufweisen muss, damit über den Gebietsniederschlag genügend Wasser in die Gerinne gelangen und dort für die Geschiebemobilisierung wirksam werden kann. Die Wahl des Grenzwertes beruht auf Erfahrungswerten und den Auswertungen zum Ereignis vom 6. Juni 2003 in Oberägeri.

**Minimale Gerinneneigung:** Das Kriterium der Gerinneneigung wurde verwendet um die Simulation der Prozesse auf die steilen Gewässer (> 2%) zu beschränken. Mit 2 % Gerinneneigung, welche an der Ausbruchstelle erfüllt sein müssen, wurde der Wert unterschritten. Dadurch erhält man einen Überlappungsbereich mit den Prozessflächen der flachen Gewässer.

**Minimale geschieberelevante Fläche:** Mit der Beschränkung der geschieberelevanten Fläche auf 200 m<sup>2</sup> wird verhindert, dass kleinste Übersarungsflächen abgebildet werden. Diese sind auf Stufe Gefahrenhinweiskarte nicht mehr darstellbar. Die Wahl des Wertes beruht auf Erfahrungswerten und den Auswertungen zum Ereignis vom 6. Juni 2003 in Oberägeri.

**Abbruchkriterien für die Übersarung:**

*Abbruchkriterien*

Die Ausbreitung von Geschiebe ist abhängig von der Topografie (Neigung) und des zur Verfügung stehenden Geschiebeangebots. Ist einer der beiden Faktoren nicht mehr gegeben, stoppt der Prozess.

Die Ausbreitung wird abgebrochen, wenn:

- die Hangneigung unter 2% fällt,
- eine maximale Ausbreitungsstrecke erreicht ist, welche in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse und des vorhandenen Geschiebepotentials berechnet wird oder
- ein Gewässer erreicht wird, dessen Einzugsgebiet mindestens doppelt so gross ist.

## MODELLIERUNG MURGANG

### *Ausscheidung von Murganganrissen*

Für die Ausscheidung von Murganganrissen wurden nur Gerinneanrisse berücksichtigt. Auf die Ausscheidung von Anrissen im Hang wurde verzichtet, da im Kanton Zug grosse Schutthalden, wie sie im alpinen Bereich vorkommen, nicht auftreten.

*Murganganrisse in  
Abhängigkeit von  
Gerinneneigung und  
Einzugsgebietsgrösse*

Die Ausscheidung erfolgt auf den Gerinnenetz-Pixeln. Es wird für jede Rasterzelle geprüft, ob ein minimales Geschiebepotential von 50 (entspricht 5'000 m<sup>2</sup> gewichteter geschieberelevanter Fläche) vorhanden ist. Ist dies der Fall, wird geprüft, ob die Gerinneneigung und die Einzugsgebietsgrösse (Indikator für den Abfluss) für die Entstehung von Murgängen ausreichen. Dabei wird die in Abbildung 4-2 dargestellte Funktion verwendet.

Je kleiner das Einzugsgebiet oberhalb eines Gerinneabschnittes ist, umso steiler muss der Gerinneabschnitt sein, damit Murgänge entstehen können. Die Anrissgebiete wurden mit nachfolgender Funktion (Abbildung 4-2) bestimmt. Murganganrissstrecken werden zudem ausgeschieden, wenn Rutschungen das Gerinne verstopfen können und das Einzugsgebiet oberhalb der Stelle mindestens 5 ha beträgt.

Sind die Bedingungen für Murganganrisse nicht erfüllt, wird davon ausgegangen, dass nur geschiebeführende Hochwasser möglich sind.



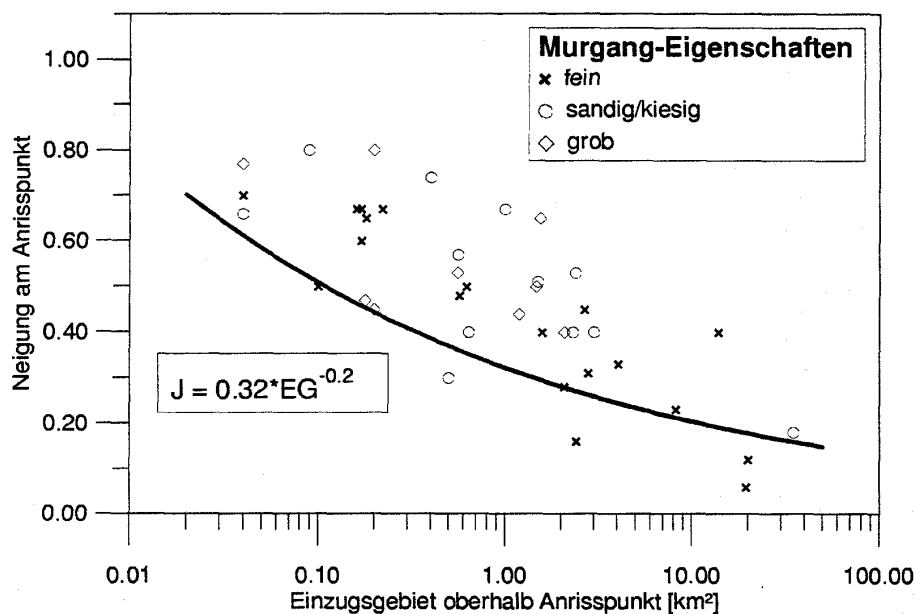


Abb. 4-2: Bedingungen für Murganganrisse im Gerinne  
(Einheit Neigung: Verhältnis Höhenunterschied zu Distanz)

### Modellierungsansatz der Murgang-Reichweite

Modellierungsansatz der  
Murgang-Reichweite

Die Reichweite der Murgänge wird mit Hilfe eines auf dem Voellmy-Lawinenmodell basierenden 2-Parametermodells (vgl. Perla et al. 1980) abgeschätzt. Das Modell berechnet abschnittsweise die Geschwindigkeit eines Murganges entlang des Fließweges. Neben dem mittleren Gefälle pro Abschnitt basiert das Modell auf zwei Reibungsparametern: einen Gleitreibungswert  $\mu$  und einen Wert der inneren Reibung  $M/D$  (mass to drag ratio, gemäss Perla et al. 1980). Der Gleitreibungswert ist von der Einzugsgebietsgrösse (Abflussmenge) abhängig. Je mehr Wasser zur Verfügung steht, umso dünnflüssiger wird der Murgang und umso grösser ist die Reichweite. In Abbildung 4-3 sind zwei Funktionen dargestellt. Die Funktion für den mittleren Wert wird für kleinere Murgänge (gewichtete geschiebelerlevante Fläche < 5 ha) verwendet. Für grössere Murgänge wird die Funktion für den Grenzwert verwendet.

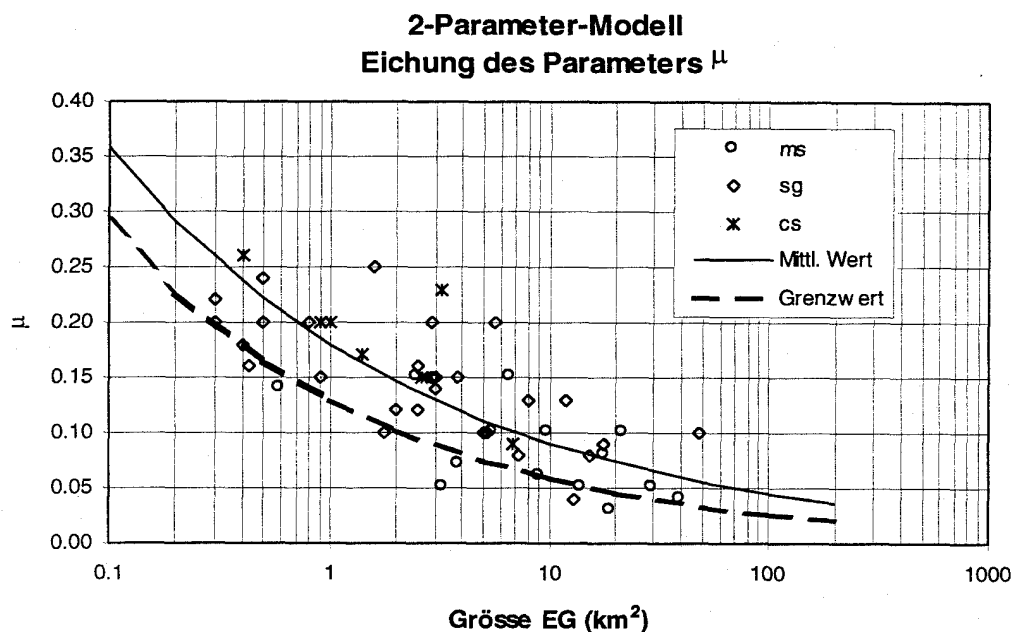


Abb. 4-3: Gleitreibungswert  $\mu$  für kleinere und grosse Murgänge in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgrösse, mittlerer Wert:  $\mu = 0.18EG^{-0.30}$ , unterer Wert:  $\mu = 0.13EG^{-0.35}$   
ms = matrix supported, sg = sand-gravel, cs = clast supported

Modellierungsansatz der  
Murgang-Ausbreitung:  
random-walk

#### Modellierungsansatz der Ausbreitung: random-walk

Für die Simulation der Ausbreitung wird ein random walk Ansatz gewählt. Beim random walk Ansatz wird der Nachfolger einer Rasterzelle zufällig gewählt. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Rasterzelle als Nachfolger gewählt wird ist einerseits von der Hangneigung abhängig, andererseits von der bisherigen Fliessrichtung des Prozesses (Persistenz). Für die Auswahl der möglichen Nachfolger einer Rasterzelle wird ein im Rahmen des FLAM-NAGEF entwickelter Multiflowdirection-Ansatz verwendet (Heinimann et al. 1998). Dieser Ansatz berücksichtigt einerseits einen Grenzwinkel, ab welchem eine Ausbreitung überhaupt möglich ist, andererseits die Neigungen zu den umliegenden Zellen. Die Auswahl der möglichen Nachfolger erfolgt durch einen Vergleich der maximalen Neigung zu einer Nachbarzelle mit der Neigung zu allen anderen Nachbarzellen.

Modellierung von Reichweite und Ausbreitung mit C-Programm "ausserhalb" GIS

#### Simulation von Reichweite und Ausbreitung mit C-Programm

Die Murgang-Simulation erfolgte in einem C-Programm in welches das Reichweiten- und Ausbreitungsmodell implementiert wurde. Die Simulation umfasst drei Hauptschritte:

In einem ersten Schritt geht es um die Ermittlung möglicher Murgangtrajektorien, ohne Berücksichtigung der Reichweite. Dazu wird, ausgehend von einem Startpixel (Murganganriss-Pixel) mit Hilfe des Pauschalgefälle- und des random walk-Ansatzes eine mögliche

Murgangtrajektorie ermittelt. Die Trajektorie wird in einer Rasterebene gespeichert. Zusätzlich werden die Bahnparameter der Trajektorie, das heisst  $\Delta h$ ,  $\Delta l$  und die Einzugsgebietsgrösse in eine Tabelle geschrieben. Für das Pauschalgefälle wird dabei ein sehr niedriger Wert gewählt um sicherzustellen, dass alle notwendigen Werte für die anschliessende Reichweitensimulation gewonnen werden.

Im zweiten Schritt wird, basierend auf der Tabelle mit den Bahnparametern, mit Hilfe des 2-Parameter Modells die Reichweite eines Murganges simuliert.

In einem dritten Schritt wird die ermittelte Reichweite auf die im ersten Schritt ermittelte Trajektorie übertragen. Damit erhält man ein räumliches Bild der Murgangtrajektorie.

Grosse Anzahl random-walk-Simulationen:  
Bevorzugte Murgangtrajektorien erkennbar

Diese Schritte werden für jedes Startpixel mehrmals durchlaufen. Das random walk Modell liefert dabei im Ausbreitungsgebiet verschiedene mögliche Auslaufstrecken. Werden die Anzahl Durchgänge für jedes Pixel aufsummiert, können bei einer grossen Anzahl Simulationsläufe Aussagen über bevorzugte Murgangtrajektorien gemacht werden. Im weiteren ist es auch möglich, die maximale simulierte Geschwindigkeit für jedes Pixel zu ermitteln. Dieser Ablauf wird für jedes Startpixel durchgeführt.

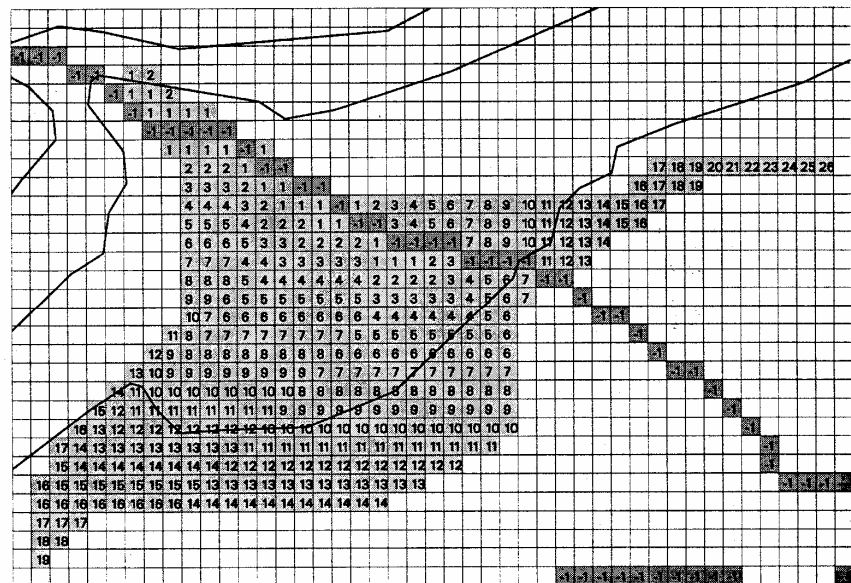


Abb. 4-4: Simulation der Ausbreitung auf einem Kegel. Die Zahlen in den Zellen stehen für die Anzahl der Iterationen. Gerinnepixel haben den Wert -1.

### VERIFIKATION UND NACHBEARBEITUNG DER MODELLIERTEN PROZESSFLÄCHEN

Verifikation Prozessflächen

Die aus den Prozess-Simulationen resultierenden Flächen müssen kritisch geprüft und allfällige Fehler bereinigt werden. Insbesondere Unkorrektheiten aus dem DHM wie beispielsweise die Unterschät-

zung, respektive nicht Darstellung von Dämmen (Autobahn, Eisenbahn) können dazu führen, dass die Prozessflächen überschätzt werden.

Es wurden die folgenden Nachbearbeitungen vorgenommen:

***Anpassungen aufgrund der Verifikation im Gelände:***

Konfliktgebiete, die aufgrund der in der Karte ersichtlichen Situation kritisch erscheinen, wurden im Gelände verifiziert und gegebenenfalls Korrekturen vorgenommen. Die Korrekturen erfolgten auf dem Datensatz der Ausbruchstellen, über welche das Ausufer von Wasser und Geschiebe im wesentlichen gesteuert wird. Potentielle Engstellen, welche sich im Gelände als nicht kritisch erwiesen, wurden aus dem Datensatz entfernt. Ausbruchstellen welche sich aufgrund der Überprüfungen mit dem Ereigniskataster, den bestehenden Gefahrenkarten und aus der topographischen Analyse mit der LK 1:25'000 und dem Übersichtsplan als erwiesene Ausbruchstellen oder Ausbruchstellen mit hoher Wahrscheinlichkeit herausstellten, wurden zusätzlich in den Datensatz der Ausbruchstellen aufgenommen.

Geometrische Veränderungen an den modellierten Prozessflächen wurden aufgrund der Geländeverification nicht vorgenommen. Die einzigen Korrekturen an Prozessflächen betrafen die Übergangsbereiche der Überflutungsflächen zwischen den steilen und flachen Gewässern.

*Abgleich Überflutungsflächen der steilen und flachen Gewässer*

Für die Gefahrenhinweiskarte wurden in der Regel die Überflutungsflächen der steilen Gewässer durch die Prozessflächen der flachen Gewässer überlagert, respektive reduziert. Die Prozessflächen der flachen Gewässer sind meist im Felde verifiziert und daher genauer. Dieser Arbeitsschritt wurde manuell durchgeführt.

***Generalisierung der Prozessflächen:***

Innerhalb der Prozessflächen können kleinste Lücken auftreten. Diese kommen zustande, wenn einzelne Pixel (Rasterzellen der Modellierung) im DHM einen höheren Wert als die Umgebung aufweisen. Um die Lesbarkeit der Karte zu verbessern, wurden diese Lücken geschlossen und um alle Prozessflächen ein Saum von 1 Pixelbreite ergänzt.

Aus kartographischen Gründen (Kartenlesbarkeit) wurden die modellierten Prozessflächen leicht generalisiert. Die auf der Gefahrenhinweiskarte dargestellten Prozessräume können daher von den modellierten Flächen leicht abweichen.

### Literatur

- Beven, K.J., Lamb, R., Quinn, P., Romanowicz, R., Freer, J. (1995): TOPMODEL. In Singh, V.P. (Hrsg.) Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications, Co.
- Gamma, P. (2000): dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung, Geographica Bernensia G66.
- Heinimann, H.R. et al. (1998): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. BUWAL, Umwelt-Materialien Nr. 85, Naturgefahren.
- Kienholz, H., Keller, H., Ammann, W., Weingartner, R., Germann, P., Hegg, Ch., Mani, P., Rickenmann, D. (1998): Zur Sensitivität von Wildbachsystemen. Vdf Verlag, Zürich
- Perla, R., Cheng, T.T., Mc Clung, D.M., (1980): A two parameter model of snow avalanche motion; J. Glaciology, Vol. 26, no. 94: 197-208.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P. (1997): Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. Vdf Verlag, Zürich.

#### 4.5.6 Bachprozesse (Neigung < 2%)

Bei den flachen Fließgewässern können mit dem computer-gestützten Modell für Gewässer > 2% keine zuverlässigen Resultate erzielt werden, da die Gerinnequerschnitte und die entsprechende Hydraulik eine entscheidende Rolle spielen. Für diese Querschnitte liegen zwar zahlreiche vermessene Querprofile vor, allerdings sind die Aufnahmen teilweise älteren Datums oder sie stammen aus Projektunterlagen und es ist nicht sicher, ob das Projekt in jedem Fall wie vorgesehen realisiert wurde. Aus diesem Grund mussten die kritischen Querschnitte in Feldarbeit überprüft und ergänzt werden.

*Überflutungsflächen  
mittels Feldarbeit  
bestimmt*

Die Ausdehnung der Überflutung wurde mit Ausnahme der Lorzenebene nicht computergestützt ermittelt, sondern aufgrund der Analyse der Fließwege anhand des Übersichtsplans 1:5'000 und in Feldarbeit. Dabei konnten die wichtigsten, die Fließwege beeinflussenden Geländestrukturen erfasst werden.

*Arbeitsschritte*

Das Vorgehen für die Gefahrenbeurteilung in flachen Gewässern gliederte sich in die Arbeitsschritte Hydrologie, Szenarienbildung, Gerinnehydraulik und Überflutungshydraulik. Wie die folgenden Ausführungen zeigen, wurde das Vorgehen stellenweise den vorhandenen Grundlagen und den örtlichen Gegebenheiten angepasst.

### Hydrologie

Die Gefahrenhinweiskarte hat zum Ziel, die Umhüllende aller von einer Überflutung betroffenen Flächen zu bezeichnen und diejenigen Gebiete auszuscheiden, in welchen nach menschlichem Ermessen keine Überflutung stattfinden kann. Die einzelnen Überflutungsereignisse werden jedoch hinsichtlich Jährlichkeit und Intensität nicht unterschieden. Diese Unterscheidung erfolgt erst auf der eventuell

*Abschätzung des EHQ mit  
verschiedenen Schätzver-  
fahren*

folgenden Bearbeitungsstufe der Gefahrenkarte.

Für die Abgrenzung der Überflutungsgebiete ist das Extremhochwasser EHQ massgebend. Je nach Grösse des Einzugsgebietes liegt das EHQ etwa um einen Faktor 1.3 bis 2.0 über dem HQ100.

An den Fliessgewässern im Kanton Zug gibt es nur wenige Abflussmessstationen. Lediglich die Lorze bei der Mündung in den Zugersee, die Lorze unterhalb des Zugersees, die Reuss bei Mühlau und die Sihl (Messstation Sihlhölzli Zürich) weisen genügend lange Abflussmessreihen für eine statistische Auswertung auf. Für alle übrigen Gewässer < 2 % ist man auf Schätzverfahren oder Regionalisierungsmethoden angewiesen. An diesen Gewässern wurde eine Hochwasserschätzung für ein Extremereignis EHQ (resp. Qmax) mit 4 verschiedenen in der Schweiz gebräuchlichen Schätzverfahren durchgeführt. Zudem wurden die HQ100 Werte nach 5 verschiedenen Schätzverfahren bestimmt. Dazu wurde die Software HQx\_meso\_CH der Landeshydrologie eingesetzt. Die Methoden sind im Einzelnen:

EHQ, resp. Qmax: Kürsteiner, Müller-Zeller, GIUB'96(Fn), GIUB'96(MQ)

HQ100: Köllameso, GIUB'96(Fn), GIUB'96(MQ), BaD7 und Momente

*Gewählter Ansatz Müller-  
Zeller*

Nicht jeder Ansatz ist bezüglich der Anwendbarkeit auf das Kantonsgebiet gleich gut geeignet (Grenzgebiet Mittelland – Voralpen). Die Ergebnisse streuen daher teilweise sehr stark. Aufgrund einer Analyse der Ergebnisse wurde in Absprache mit der kantonalen Fachstelle entschieden, die Formel von Müller-Zeller zu verwenden. Die Formel ist relativ einfach und vermag dennoch die wichtigsten hydrologischen Eigenheiten wiederzugeben. Die Formel lautet:

$$Q_{max} = \psi \alpha E^{2/3}$$

mit

Qmax Abflussspitze [m<sup>3</sup>/s]

ψ Faktor abhängig von der Neigung und der Landnutzung des Einzugsgebietes (Abflusskoeffizient)

α Faktor abhängig von der Region (Zonenkoeffizient)

E Fläche des Einzugsgebietes [km<sup>2</sup>]

Abbildung 4-5 gibt eine Übersicht über die verwendeten Parameter  $\Psi$  (Ablusskoeffizient) und  $\alpha$  (Zonenkoeffizient) im Kantonsgebiet Zug.

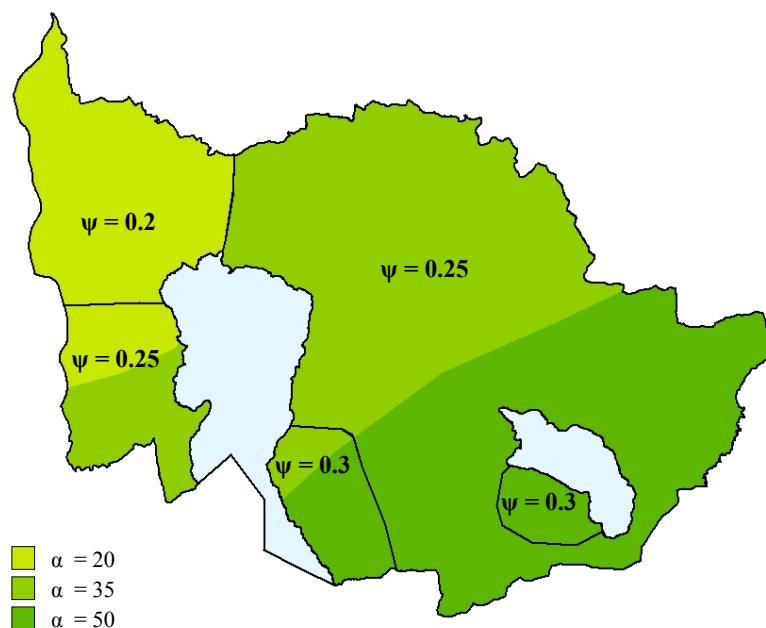


Abb. 4-5: Übersicht Kanton Zug über die verwendeten Kennwerte für die Formel von Müller-Zeller.

*EHQ für Talflüsse aus vor-  
liegenden Studien*

An den grossen Talflüssen Reuss, Lorze und Sihl liegen Studien über die Extremabflüsse vor. Diese Studien wurden gesichtet und die massgebenden Hochwasserspitzen für die Gefahrenhinweiskarte übernommen.

### Szenarienbildung

*Szenarien entscheiden  
über Austrittswassermengen*

Mit der Szenarienbildung wird festgelegt, welches die massgebenden Prozesse während eines Hochwasserereignisses sind. Die Szenarienbildung ist entscheidend für die Bestimmung der Austrittswassermengen. Wichtige Prozesse neben der Wasserführung (Hydrologie und Hydraulik) sind das Mitführen von Schwemmholz, Sohlenveränderungen (Erosion oder Auflandung), Seitenerosion, Wellenbildung und Damnbrüche.

*Definition der Freibordhöhen*

Die meisten dieser Prozesse (Schwemmholz, Wellenbildung) lassen sich mit der Einhaltung eines Freibordes zwischen berechnetem Wasserspiegel und Uferlinie, resp. Brückenunterkante berücksichtigen. Zudem können mit dem Freibord Unsicherheiten in den Ausgangsdaten (z.B. massgebendes hydraulisches Gefälle, Gerinnerrauhigkeit) und kleinere Sohlenveränderungen berücksichtigt werden. Die Freibordhöhe wurde im gesamten Kantonsgebiet einheitlich gemäss nachfolgender Tabelle definiert. Die Tabellenwerte sind ge-

meinsam mit der kantonalen Fachstelle festgelegt worden und sind nur gültig für die Gefahrenhinweiskarte.

Tabelle 4-5: Gewählte Freibordhöhen.

|                     | Gewässer mit Uferhöhe > 1.5 m | Gewässer mit Uferhöhe ≤ 1.5 m |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Brücken, Durchlässe | 1.00                          | 0.50                          |
| Dammstrecken        | 0.50                          | 0.25                          |
| Offenen Abschnitte  | 0.30 – 0.40                   | 0.20                          |

### Gerinnehydraulik

*Berechnung der Gerinnekapazitäten*

An den untersuchten Querschnitten wurde abgeklärt, ob die Gerinnekapazität für ein Extremereignis ausreichend ist. War dies nicht der Fall, wurde die Seite des Wasseraustritts (links oder rechts) und die Austrittswassermenge bestimmt. Die Austrittswassermenge berechnet sich aus der Differenz zwischen dem Spitzenabfluss und der um das Freibord reduzierten Gerinnekapazität.

Zur Bestimmung der Gerinnekapazität wurde in der Regel eine Berechnung des Normalabflusses durchgeführt. An der Lorze zwischen Baar und dem Zugersee und an der Reuss entlang der Kantonsgrenze wurden Staukurvenrechnungen durchgeführt. Am Hüribach bei Unterägeri stand eine Staukurvenrechnung eines früheren Hochwasserschutzprojektes zur Verfügung. Mit Staukurvenrechnungen können die Wasserspiegel nicht nur punktuell, sondern über einen längeren Abschnitt berechnet werden. Damit können auch Rückstau- und Beschleunigungseffekte berücksichtigt werden.

Bei den Normalabflussrechnungen musste neben den geometrischen Abmessungen ein hydraulisch wirksames Gefälle bestimmt werden. Es wurde entweder aus älteren Projektunterlagen, aus den Höhenkurven des Übersichtsplans oder durch eine Messung im Feld mit einem Neigungsmesser geschätzt. Eine sehr gute Grundlage bot der Risikokataster von 1993, bei welchem an einzelnen Bächen die Querschnitte bereits erhoben worden waren.

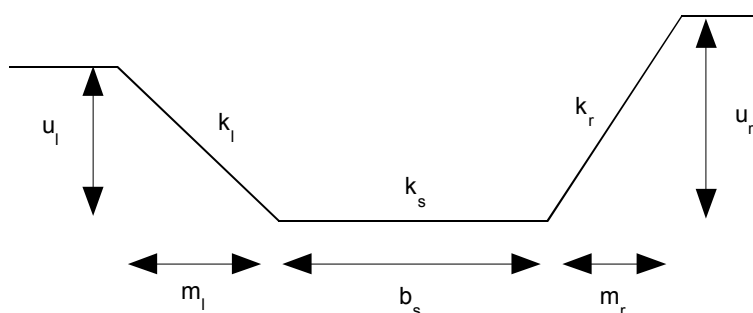
*Erhebung der Gerinne-Querprofile im Feld*

Bei den Feldaufnahmen wurden drei verschiedene Profiltypen unterschieden: offene Trapezprofile, geschlossene Trapezprofile und Kreisprofile. Die folgenden Abbildungen zeigen die erhobenen Querprofilparameter. Kompliziertere Querschnitte wurden durch flächengleiche Umformung in die erwähnten Profiltypen überführt. Abflussberechnungen unter Druck wurden in der Regel nicht gemacht. Dies war auch nicht notwendig, da die Kapazität durch den freien Wasser-

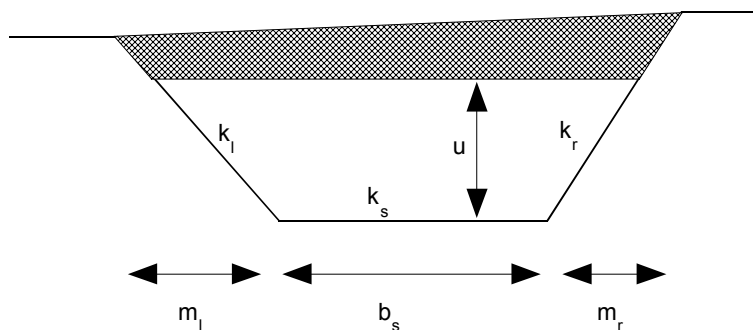


spiegel und die Freibordhöhe bestimmt ist. In wenigen Einzelfällen, wo der Druckabfluss massgebend ist, wurde das hydraulisch wirksame Gefälle erhöht. Die Reibungskoeffizienten wurden für das linke und rechte Ufer getrennt geschätzt. Die Normalabflussberechnung erfolgte mit der Fließformel von Strickler unter Berücksichtigung der Wandrauigkeiten nach Einstein.

*Offenes Trapezprofil*



*Geschlossenes Trapezprofil*



*Kreisprofil*

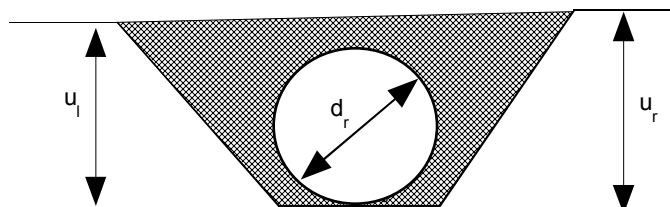


Abb. 4-6: Verwendete Profiltypen.

**Überflutungshydraulik**

*Abgrenzung Überflutungsgebiete im Feld*

Die Abgrenzung der Überflutungsgebiete erfolgte mehrheitlich aufgrund von Feldbegehungen. Die entsprechenden Gewässerabschnitte wurden begangen und die Gebiete gutachtlich abgegrenzt. Als Hilfsmittel dienten die Höhenkurven auf dem Übersichtsplan, sowie ein Gefällsmesser, welcher ein einfaches Nivellement ermöglicht. Wasserrückflüsse sowie Wasserübertritte in ein benachbartes Einzugsgebiet konnten berücksichtigt werden. Retentionseffekte wurden bewusst nur in sehr eindeutigen Fällen berücksichtigt.

*2D-Modellierung der Ausbreitung in der Lorzeebene*

Im Gebiet der Lorzeebene im Raum Baar – Zug – Cham wurde eine computergestützte Überflutungssimulation mit einem 2-dimensionalen Berechnungsprogramm durchgeführt. Der Grund für die Simulation ist das flache Gelände, welches eine Bestimmung der Fliesswege im Feld schwierig macht, sowie das grosse Schadenpotenzial im möglichen Überflutungsgebiet. Als Grundlage für die Simulationen diente das digitale Geländemodell DHM10 des Kantons Zug (Bruchkanten und Einzelpunkte). Das Modell umfasst eine Fläche von 11 km<sup>2</sup>. Wegen dieser Grösse wurde ein sehr grobes Modell erstellt und auf die Berücksichtigung der feinsten Strukturen verzichtet.

*Beurteilte Gewässer*

Modelliert wurden sämtliche links- und rechtsufrigen Wasseraustritte der Lorze von Baar bis zum Zugersee, wie sie sich aus der Staukurvenrechnung ergeben haben. Die austretenden Wassermengen wurden als „Quellen“ neben dem Gerinne gesetzt. Für die Überflutungssimulation wurde das Programm Hydro\_AS-2D eingesetzt.

Es wurden nur die auf der Landeskarte 1:25'000 eingezeichneten und vom Kanton im Bachkataster nummerierten Gewässer untersucht. Kleinstgewässer, Kanalisations- und Meteorleitungen sowie Grundwasseraufstösse wurden nicht untersucht. In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass in der Siedlungsentwässerung (GEP) die Meteorwasserleitungen in der Regel auf ein 5 jährliches Niederschlagsereignis ausgelegt werden. Demzufolge ist ca. alle 5 bis 10 Jahre mit einem Rückstau oder sogar einer Überflutung zu rechnen.

#### **4.5.7 Seeüberflutung**

##### **Definition der Seehochstände**

*300-jährliches Ereignis für  
Seehochstand*

Mit dem Auftraggeber wurde vereinbart, die Überflutungsflächen aufgrund eines 300-jährlichen Ereignisses zu berechnen. Mit Hilfe der Datengrundlagen des Tiefbauamtes bezüglich Seehochstände wurden die entsprechenden maximalen Pegelstände wie folgt angenommen:

Zugersee: Pegel = 414.55 m

Aegerisee: Pegel = 725.00 m

### **Verschnitt mit DHM**

*Extremwert-Analyse*

Für die Seeuferzonen des Zuger- und Aegerisees liegen die sehr detaillierten Photogrammetrie-Rohdaten vor (vgl. Kapitel Grundlagedaten DHM). Diese wurden nicht wie für die anderen Prozessmodellierungen als Raster aufbereitet, sondern in einem CAD-System direkt trianguliert und die Schnittlinien mit den genannten Höhen berechnet.

Die resultierende *Überflutungslinie* wurde geglättet und aus kartographischen Gründen nur dort berücksichtigt, wo sich eine Distanz zur Uferlinie (Normalstand des Sees) von mehr als etwa 8 m ergab.

Die Grundlage für die *Uferlinie* bildet die Seekontur gemäss Vektor25-Daten. Dieser Linienverlauf wurde örtlich leicht angepasst, wenn die Vektor25-Daten mehr als 5 m von der Seelinie des Übersichtplanes UP5 abweichen.

Aus Überflutungslinien und Uferlinien wurden die Überflutungsflächen gebildet. Diese wurden anschliessend vom kantonalen Tiefbauamt anhand von aktuellen Feldaufnahmen (Seehochstand 1999) plausibilisiert.

## 5. Kartenerstellung und Layout

|  |   |
|--|---|
| <i>Zentrale Datenkompilation</i>         | Die digitalen Daten aller Prozesse wurden zentral bei der GEOTEST in Zollikofen für die Kartenerstellung aufbereitet.   |
| <i>Aufteilung in Ausschnitte</i>         | Das maximale Format sollte für alle Karten nicht wesentlich grösser als ISO-A0 sein. Zudem wurde die Einteilung auf die Gemeindegrenzen abgestimmt. Somit ergaben sich für die Grundlagenkarten (1:10'000) sowie für die Karten der Phänomene (1:5'000) eine räumliche Aufteilung des Kantons Zug in 5 bzw. 4 Ausschnitte. Auf der Gefahrenhinweiskarte 1:25'000 hingegen kann der ganze Kanton mit einem Blatt abgebildet werden. Die entsprechenden Blatteinteilungen sind auf den Titelblättern ersichtlich.   |
| <i>Thematische Trennung der Prozesse</i> | <p>Aus Gründen der besseren Lesbarkeit der Karten wurden die Inhalte der Prozesskarten (10'000 / 25'000) auf jeweils zwei Blätter aufgeteilt: Eine Karte Erd- und Felsbewegungen (Stein-/Blockschlag, Rutschung, Hangmuren) und eine Karte Wassergefahren (Murgang, Übersarung, Überflutung, Seehochstand). Es resultieren somit total 12 Prozesskarten (2 x 1:25'000, 2 x 1:10'000).</p> <p>Bei der Farbwahl wurden die Standards des «Symbolbaukastens zur Kartierung der Phänomene» (BUWAL/BWW, 1995) verwendet.</p> <p>Softwaretechnisch sind die Karten unterschiedlich aufgebaut:</p> |
| <i>Methodik der Kartenerstellung</i>     | <p>Die Prozesskarten wurden mit AML-Makros gelayoutet und in RTL-Plotfiles abgespeichert. Als Kartenhintergrund dient dabei der UP5 bzw. die kompilierten und als Grauwerte definierte Einzelebenen der PK25.</p> <p>Die Karten der Phänomene 1:5'000 wurden mit Hilfe der Softwarelösung des BWG zum „Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene“ unter ArcMap erstellt. Als Kartenhintergrund dient der UP5.</p>  |

## 6. Interpretation der Resultate

*Resultate vergleichbar mit Gefahrenhinweiskarten anderer Kantone*

Die Resultate der Gefahrenhinweiskarte Zug sind vergleichbar mit anderen Gefahrenhinweiskarten aus dem Voralpengebiet (Luzern, Teile Bern). Die grösste Gefährdung geht von den Wassergefahren aus. Diese treffen oft Siedlungsgebiete, Infrastrukturen und intensives Kulturland. Gegen den Alpenrand hin nehmen vor allem die Rutschungs- und Sturzgefahren zu. Im Kanton Zug ist eine deutliche Trennung der Gefährdungsbilder entlang der Linie Rotkreuz - Stadt Zug - Baar zu erkennen.

*Überflutungsgefahren im westlichen Kantonsteil*

Im westlichen Teil dominieren die Überflutungsgefahren durch Reuss und Lorze, welche grosse Teile des Reusstales sowie Teilgebiete von Baar und der Stadt Zug bedrohen. Das Konfliktpotenzial mit der Raumnutzung als Baugebiet ist beträchtlich.

*Wildbach-, Hangmuren- und Rutschungsgefahren im östlichen Kantonsteil*

Im östlichen Teil des Kantons dagegen dominieren die Wildbachgefahren (Murgang, Übersaarung, Unterägeri auch Überflutung durch Hüribach/Nübachli), Rutschungs- und Sturzgefahren. Die Wildbachgefahren zeigen hier die meisten Konflikte mit der Raumnutzung als Baugebiet. Auch die Gefährdung durch Hangmuren und Rutschungen ist für grosse Teile des Kantonsgebietes relevant. Die Grösse der Flächen ist aber aufgrund der methodischen Grenzen (Grenzbereich der Auflösung des DHM10) zu gross ausgeschieden. Die Prozessräume Hangmuren und Rutschungen treffen meist nur randlich auf Siedlungen oder bedrohen Einzelgebäude, so dass hier deutlich weniger Schadenpotential bedroht ist als bei den Wildbachgefahren und daher das Konfliktpotenzial kleiner ist. Die Sturzgefahren stellen im Kanton Zug nur eine untergeordnete Gefährdung dar. Das gleiche gilt für die Gefahr der Seeüberflutung und die Seeuferrutschungen. Beide sind örtlich begrenzt, gegen Seeüberflutung kann man sich durch dichtes Bauen bis auf eine sichere Kote einfach schützen und Seeuferrutschung werden oft erst mit baulichen Belastungen entlang von Seeufern ausgelöst.

Die eher beschreibende Interpretation der Kartenbilder kann im Rahmen des Auftrages nicht weiter vertieft werden. Dazu würden auch Angaben über das Schadenpotential benötigt. Die Darstellung des Schadenpotentials auf der Gefahrenhinweiskarte, wie in anderen Kantonen üblich, war auf Wunsch des Kantons Zug aber explizit nicht Inhalt des Auftrags an die Arbeitsgemeinschaft GEOTEST / Hunziker, Zarn & Partner. Daher ist mit den vorliegenden Resultaten dieses Auftrags keine detailliertere statistische Auswertung der Gefährdungsrisikos und des Konfliktpotentials aufgeschlüsselt nach Prozessen möglich, welche auch Angaben über betroffene Personen, betroffene Verkehrsträger etc. enthalten würde.

## 7. Karte der Phänomene

### 7.1 Methodik

*Bearbeitete Prozesse* Die Prozessphänomene von Rutschungen, Hangmuren und Sturzprozessen wurden im Gelände kartiert. Die Kartierung erfolgte im Massstab 1:5'000. Es wurde unterschieden zwischen 3 Prozessbereichen, welche in der Regel überlappend ineinander übergehen:

- Prozessbereiche*
- Ausbruchbereich
  - Transitbereich
  - Ablagerungsbereich

*Legende Karte der Phänomene* Die Erfassung erfolgte gemäss vorgegebener Legende des Bundes (Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, BWG 2002, EDV-Legende für die digitale Kartographie, Minimallegende). Der Symbolbaukasten wurde der ARGE vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Bei dieser Legende sind die Farben für die einzelnen Prozesse definiert, so dass gesamtschweizerisch immer die gleiche Farbgebung angewendet wird, was die Lesbarkeit der Karten erheblich verbessert. Die Farben sind wie folgt definiert:

- Sturzprozesse: Rot
- Wasserprozesse: Blau
- Murgangprozesse: Violett (sowohl Murgänge in Gerinne als auch Hangmuren)
- Lawinen: Hellblau
- Rutschungen: Grün (Umrandungen für Rutschungen im Lockergestein),  
braun (Umrandungen für Rutschungen bis auf Fels)  
gelb bis orange (Flächen).

### 7.2 Bearbeitete Gebiete

*Bearbeitete Gebiete* Die zu bearbeitenden Gebiete wurden bei der Ausschreibung vom Kantonsforstamt vorgegeben. Aufgrund der Prozessausdehnung mussten die Gebiete vergrössert werden, damit eine sinnvolle Kartenaussage entstand. Die nachfolgende Zusammenstellung ergibt einen Überblick über die bearbeiteten Gebiete

| <u>Gebiet</u>      | Fläche (ha)<br>Vorgabe Offerte | Fläche (ha)<br>effektiv kartiert |
|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Lorzentobel        | 240                            | 260                              |
| Morgartenberg      | 320                            | 320                              |
| Walchwiler Seehang | 200                            | 230                              |
| Zuger Seehang      | 620                            | 640                              |

## 8. Umsetzung und Anwendung der Gefahrenhinweiskarte

### 8.1 Aussagekraft, Mängel und Grenzen

#### 8.1.1 Genauigkeit der Aussagen

*Genauigkeit und Pixelgrösse im DHM10 begrenzt*

Grundlage für die Modellierungen war das DHM10. Dadurch ist die Genauigkeit aller Aussagen in der Gefahrenhinweiskarte von allem Anfang an durch die Genauigkeit und die Pixelgrösse des DHM10 limitiert.

*pessimistische Prozessräume*

Die auf der Gefahrenhinweiskarte dargestellten Prozessräume basieren zwar auf realistischen, durch Erfahrungen und Beobachtungen abgestützten Modellrechnungen. Weil die von Ort zu Ort wechselnden lokalen Gegebenheiten wie Geologie, Morphologie etc. nicht berücksichtigt und nur summarisch erfasst sind, ergeben sich jedoch grössere Unsicherheiten. Aus diesem Grunde sind die Prozessräume bewusst eher pessimistisch ausgeschieden.

*Verifizierung der Daten*

Für die Gefahrenhinweiskarte Zug bestanden diverse Möglichkeiten, die Prozessflächen zu verifizieren:

- Vergleiche der berechneten Daten mit den im Ereigniskataster ausgeschiedenen Flächen (Wildbäche, Seeüberflutung, Hangmuren/spontane Rutschungen)
- Vergleich mit den Kartierungen der Prozessphänomene im Gelände (Karte der Phänomene für Rutschungen/Hangmuren und Sturzprozesse)
- Vergleich mit den Übersarungen und Überschwemmungen des Ereignisses vom 6. Juni 2003 (Wildbäche, Hangmuren)

*Teilweise Berücksichtigung von Verbauungen und Wald*

Allfällige Verbauungen gegen Rutschungen, Steinschlag und Murgänge sind in der Gefahrenhinweiskarte nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind die stabilisierende Wirkung von Entwässerungsmassnahmen (v.a. bei spontanen Rutschungen und Hangmuren). Die Prozessräume sind so dargestellt, wie wenn es keine solchen Schutzbauten gäbe. Beim Prozess Steinschlag wurde der Wald und dessen Schutzwirkung indirekt via Dämpfung berücksichtigt (vgl. Abb. 4-1).

*Keine Berücksichtigung von Gebäuden.*

Der Einfluss von Gebäuden auf die Prozesse und die Prozessräume wurde nicht berücksichtigt.

Die so ermittelten **Prozessräume** entsprechen deshalb nicht der absoluten Wahrheit, sondern **weisen nur darauf hin, welcher Raum bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnte.**

Dagegen wurden beim Prozess Überflutung durch flache Fließgewässer die bestehenden Schutzbauten (Wehre, Dämme, Sperren, Hochwasserentlastungsanlagen etc.) berücksichtigt und die Gefahrenräume grösstenteils anhand von Geländekartierungen abgegrenzt.

*Keine Darstellung der Eintretenswahrscheinlichkeit*

*Gefährdungsverdacht*

Im weiteren weist die Gefahrenhinweiskarte im Gegensatz zu Gefahrenkarten die Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität des Prozesses nicht aus. Aus diesem Grunde kann keine eigentliche Gefährdung abgeleitet werden, sondern höchstens ein **Gefährdungsverdacht**.

Ebenfalls nicht dargestellt sind grosse Bergstürze, die allerdings selten sind. Kleine Steinschlagquellen, die in der Pixelkarte nicht abgebildet werden (z.B. im Wald) und vom Kantonsforstamt nicht nachträglich gemeldet wurden, sind nicht berücksichtigt.

**Aus den hier erwähnten Gründen muss die Gefahrenhinweiskarte mit entsprechender Sorgfalt und mit dem steten Bewusstsein über ihre Aussagegrenzen eingesetzt werden.**

### 8.1.2 Vergleich mit den Resultaten der Karte der Phänomene

Der Vergleich der Modellierungen der Hangmuren mit den kartierten Spuren zeigte folgendes:

*Alle Hangmuren innerhalb der modellierten Flächen*

- Sämtliche im Gelände erkennbaren Hangmuren-Anrissflächen und spontane Rutschungen liegen innerhalb der modellierten Flächen mit Hangmurengefahr.

*Hangmurenflächen etwas zu gross*

- Die modellierten Gebiete mit Hangmurengefährdung sind grösser als die beobachteten Hangmuren. Innerhalb einer Fläche können aber z.T. mehrere einzelne, kleinere Hangmuren beobachtet werden. Die Modellierung kann Feinheiten in der Topographie nicht erfassen.

*Auslaufbereiche teilweise zu wenig weit reichend*

- Die modellierten Auslaufgebiete sind teilweise etwas kleiner als die in der Natur beobachteten Reichweiten von Hangmuren. Dies ist abhängig vom Wassergehalt in der Hangmure und kann im Modell nicht exakt erfasst werden (zuströmendes Oberflächenwasser von Strassenableitungen, Quellaufstösse etc. sind nicht erfassbar).



*Fazit: Gute Übereinstimmung der Modellierung mit den Beobachtungen*

Fazit: Die Resultate der Hangmurenmodellierung decken sich sehr gut mit den Geländebeobachtungen. Die modellierten Flächen liegen in den richtigen Hangneigungsbereichen. Die Grösse der Flächen ist jedoch zu gross. Einzelne Flächen bestehen in der Regel aus mehreren, kleineren, unabhängigen Hangmuren.

### 8.1.3 Vergleich mit den Ereignissen vom 6. Juni 2003

*innert 6 Stunden  
ca. 200 mm Niederschlag*

Am 6. Juni 2003 ereignete sich ein heftiges Gewitter, welches sein Zentrum im Gebiet Oberägeri / Alosen hatte. Gemäss Radarauswertungen fielen innert ca. 6 Stunden 180-200 mm Niederschlag, was statistisch einem ca. 200-jährlichen Ereignis entspricht (grösser als Ereignis von 1976, mit ca. 170 mm Niederschlag).

Im Gebiet Morgartenberg war vorgängig durch die ARGE eine Karte der Phänomene erstellt worden. Viele Spuren der dokumentierten starken Niederschlags-Ereignisse von 1934 und 1976 waren noch sichtbar.

Die Auswertung des Ereignisses vom 6. Juni 2003 zeigte folgendes:

#### *Hangmuren:*

*Hangmuren sehr exakt durch modellierte Hangmurenflächen abgebildet*

- Die ausgelösten Hangmuren befanden sich grösstenteils in Gebieten, in welchen schon früher Hangmuren auftraten.
- In den erstellten Karten der Phänomene sind diese Gebiete gut erfasst.
- Die ausgelösten Hangmuren befanden sich alle im Gebiet der modellierten Flächen mit Hangmurengefahr. Die Hangmurenmodellierung zeigt die Gefährdung sehr zuverlässig auf.

#### *Wildbachgefahren:*

*Ereignisse durch Modellierung der Wildbachgefahren gut abgebildet*

- Die betroffenen Gebiete mit Überflutungen und Übersarungen lagen grösstenteils innerhalb der Flächen aus der Wildbachmodellierung. Gewisse Ungenauigkeiten waren auf ungenaue Höhenangaben in Siedlungsgebieten zurückzuführen (Strassenhöhen im DHM10 zu ungenau). Ansonsten war eine sehr gute Übereinstimmung zu beobachten.

*Modellierung von Kleinstgerinnen wurden nachträglich ebenfalls integriert.*

- Gewisse kleinste Gerinne traten ebenfalls über die Ufer. Ein Vergleich zeigte, dass die Modellierung dieser Gerinne durch einen gesetzten Filter ausgeblendet wurde. Es wurde daher beschlossen, auch Kleinstgerinne zu modellieren. Im neu durchgeführten Modellierungslauf sind diese Gerinne nun auch enthalten.

## 8.2 Anwendungen

|  |  |
|--|--|
| <i>Planungsinstrument<br/>Ebene Richtplan</i>      | Mit der Gefahrenhinweiskarte haben die Behörden ein wichtiges Planungsinstrument in der Hand.  |
| <i>Überblick über Naturgefahrenprozesse</i>        | Die Gefahrenhinweiskarte gibt einen umfassenden Überblick über alle relevanten gravitativen Naturgefahrenprozesse im Kanton Zug.   |
| <i>Notwendigkeit vertiefter<br/>Abklärungen</i>    | Aufgrund der Gefahrenhinweiskarte lassen sich mögliche Konfliktstellen erkennen. Sie bildet eine wesentliche Grundlage zur Festlegung, wo vertiefere Abklärungen nötig sind oder Gefahrenkarten ausgearbeitet werden müssen. Dies ist insbesondere bei betroffenen (bestehenden) Siedlungen und im Rahmen der gemeindlichen Nutzungsplanung von Bedeutung. |
| <i>Nutzungsplanung</i>                             |  |
| <i>Grobe Beurteilung von<br/>Einzelbauvorhaben</i> | Aufgrund der Gefahrenhinweiskarte können Einzelbauvorhaben und Konzessionsgesuche grob beurteilt und gegebenenfalls näher abzuklärende Risiken erkannt werden.   |
| <i>Subventionspolitik</i>                          | Da die Gefahrenhinweiskarte auf einheitlich angewendeten, objektiven Kriterien beruht, kann sie zur Festlegung von Subventionierungsprioritäten dienen, was die Wirkung öffentlicher Gelder optimiert. Ebenso kann der Einsatz öffentlicher Gelder von der Erarbeitung weiterer Gefahrengrundlagen abhängig gemacht werden.                                |
| <i>Notfallplanung</i>                              | Die Gefahrenhinweiskarte bildet eine wesentliche Grundlage bei der Planung der Notfallorganisationen. Sie zeigt auf, was passieren könnte. Dadurch lassen sich Notfallszenarien ableiten, welche für eine vorausschauende Notfallplanung sehr wichtig sind.  |

## 8.3 Gefahrenkarten

### 8.3.1 Bestehende Gefahrenkarten

|   |  |
|---|--|
| <i>Bestehende<br/>Gefahrenkarten<br/>Stand Oktober 2003</i> | Im Kanton Zug bestehen bereits für einige Gebiete Gefahrenkarten (siehe auch Unterlagen). Es handelt sich um folgende Gebiete: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Gefahrenkarte Mitteldorfbach, Oberägeri</li><li>▪ Gefahrenkarte Bachtalenbach, Baar</li><li>▪ Gefahrenkarte Mülibach und Brunnenbach, Oberwil</li></ul> |
|---|--|

### 8.3.2 Empfehlung der Berichtverfasser für weitere Gefahrenkarten

*Gefahrenkarten in Bau-  
gebieten und im Be-  
reich wichtiger Ver-  
kehrsträger*

Generell sollten für alle Baugebiete und wichtigen Verkehrsträger, welche sich im Gefahrenraum befinden, Gefahrenbeurteilungen auf Stufe Gefahrenkarte ausgeführt werden. Hierzu sind detaillierte Feldbegehungen, Erhebungen weiterer Katasterdaten und vertiefte Modellrechnungen erforderlich, damit Angaben zu Häufigkeiten und Intensitäten der einzelnen Prozesse gemacht werden können.

Mit den digital vorhandenen Gefahren- und Raumnutzungs-Daten ist es einfach, die Gebiete zu ermitteln, in welchen Gefahrenkarten notwendig sind. Dieser Arbeitsschritt wurde explizit aus dem Auftrag ausgeklammert. Er wird durch den Kanton Zug selbst durchgeführt.

Die nachfolgende Liste von Gebieten, in welchen wir als Verfasser der Gefahrenhinweiskarte die Erarbeitung von Gefahrenkarten als notwendig erachten, ist daher vermutlich unvollständig. Wir empfehlen zudem die Gefahrenkarten gemeindeweise zu erstellen, da deren Umsetzung in die Bau- und Nutzungsplanung gemeindeweise im Rahmen der Ortsplanungsrevision geschieht. Die Gefahrenkarteninformation sollte über alle Bauzonen erarbeitet werden, wobei aufgrund der Gefahrenhinweiskarte die kantonalen Behörden für die Detailbearbeitung bereits Eingrenzungen für die Arbeitsausschreibungen machen können. Die nachfolgenden Listen sind als Empfehlung der ARGE für den Aufwand der zu erarbeitenden Gefahrenkarten zu verstehen.

Gemeinden mit erforderlichen Gefahrenkarten, flächendeckend über die Gemeindebaugebiete, über alle Prozesse:

*Empfehlung ARGE*

*Gefahrenkarten  
flächendeckend  
alle Prozesse*

- Zug
- Oberägeri
- Unterägeri
- Walchwil
- Hühnenberg

Nur Teilgebiete:

*Gefahrenkarten  
nur Teilgebiet  
alle Prozesse*

- Menzingen
- Neuheim
- Risch

Vorwiegend Bach- und Überflutungsprozesse:

*Gefahrenkarten  
vorwiegend Bach- und  
Überflutungsprozesse*

- Cham
- Baar
- Steinhausen

## 9. Digitale Daten

### 9.1 Allgemein

#### *Abgabe Kartendaten*

Das Projekt Gefahrenhinweiskarte Kanton Zug basiert auf digitalen Daten und produziert neue digitale Daten, auf welche sich die Erläuterungen in den vorangehenden Kapiteln hauptsächlich beziehen. Die Daten besitzen teilweise globalen und wiederverwendbaren Charakter; andererseits gibt es aber auch spezifische Datentypen, die nur einen einzigen Zweck im Projektablauf erfüllen (Modellierungsgrundlagen).

Mit dem Kanton Zug wurde vereinbart, alle Daten der Gefahrenhinweiskarte gemäss einem für dieses Projekt entwickelten Datenmodells zu attributieren und dem Kanton (GIS-Fachstelle) im Format "INTERLIS" abzuliefern.

### 9.2 Datenmodell Gefahrenhinweiskarte

Die Projektleitung hat zusammen mit der Hochschule für Technik Rapperswil und der ARGE ein Datenmodell für die Gefahrenhinweiskarte Kanton Zug entwickelt, welches einen Objektkatalog, ein UML-Strukturdiagramm und eine Interlis-Beschreibung umfasst. Das Datenmodell ist in einem eigenen Dokument<sup>3</sup> detailliert beschrieben und wird an dieser Stelle nicht wiederholt.

Das genannte Dokument sowie der vorliegende Erläuterungsbericht beinhalten alle Informationen, die für das Verständnis der im Rahmen des Projektes erarbeiteten Daten nötig sind. Es wird keine separate Beschreibung erstellt.

---

<sup>3</sup> Datenbeschreibung und Objektkatalog des Themas Naturgefahrenhinweise des Kantons Zug und INTERLIS Beschreibung, Version 10 vom 31. Oktober 2003

## 10. Authentizität der Gefahrenhinweiskarte des Kantons Zug, Ausgabe 2003

Es ist den Autoren der Gefahrenhinweiskarte ein wichtiges Anliegen, dass die Authentizität der Karte gewahrt bleibt.

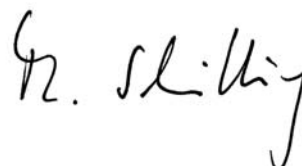
Dies bedeutet, dass der Karteninhalt, insbesondere die Abgrenzungen der Prozessflächen nicht verändert werden darf (Geometrien in INTERLIS-Daten). Die «Gefahrenhinweiskarte Kanton Zug, 2003» muss unbedingt als Unikat erhalten bleiben. Alle eventuellen späteren Änderungen sind entsprechend zu bezeichnen.

**GEOTEST AG**



Markus Liniger, Robert Pfeifer

**Hunziker, Zarn & Partner**



Michael Schilling

**GE07**



Gaby Hunziker



## Verzeichnis von Unterlagen für Gefahrenhinweiskarte Kanton Zug

### Analoge Unterlagen

- Risikokataster 1 : 25'000, Stand April 1998
- Liste von Durchlässen mit grossem Überflutungsrisiko (drei Ordner, Beschrieb)
- Gewässerverzeichnis mit Gewässernummern, Karte 1 : 25'000
- Genereller Entwässerungsplan GEP (11 Gemeinden)
- Gefahrenkarte Mitteldorfbach Oberägeri, Pläne
- Gefahrenkarte Bachtalenbach, Baar, Pläne
- Dorfbach Oberägeri, technischer Bericht, Ausführungspläne bis Ende März 2003, Daten elektronisch
- Hüribach Unterägeri, Wasserspiegelberechnungen, Ausführungspläne
- Teuftännlibach Unterägeri: Hydraulische Berechnungen, Bericht und Situation
- Reuss: Hochwasserauswertung Station Reuss Mühlau, Aufnahmen Querprofile BWG,
- Reuss: Situation, Längenprofil und Längenprofil im Bereich Reussdammsanierung
- Lorze Zug und Baar: Situationen, Längenprofile technischer Bericht und grobe HW – Abschätzung
- Lorze Cham: Pegelauswertung, Staukurvenberechnung (Wehr Obermühle – See),
- Lorze Cham: Situation 1:5'000, Querprofile 1:200, (Teilstück Cham – Reussspitz), Koordinatenliste
- Dorfbach Steinhausen: Hydrologische und Hydraulische Berechnungen, Projektpläne
- Aabach Risch: Hydraulische Berechnungen
- Tobelbach Cham: Hydraulische Berechnungen techn. Bericht, und weitere Planunterlagen
- Sijentalbach Rotkreuz: Bericht und Ausführungspläne
- Göblichbach, Zug und Baar, Übersicht und Detailpläne, technischer Bericht und HW – Spurenkarte 17. Juni 1986
- Verbauung Walterswilerbach Baar, technischer Bericht, Situation, Längen- und Querprofile
- Littibach Baar: Hydraulik, technischer Bericht, Situation, Längenprofil und Querprofile
- Verlegung Krebsenbach, Eindolung Ochsenbach, Baar, Technischer Bericht, Hydraulik und Situation
- Sarbach Menzingen, Neuheim: Technischer Bericht
- Siehbach Zug, Einzugsgebiet 1 : 5'000
- Ägerisee, Pegelauswertung, Abflusskurve
- Zugersee, Pegelauswertung, Abflusskurven
- Ergänzende Unterlagen Mülibach, Bostadel
- Berichte im Bereich Vorstadt Zug (siehe Gutachten zu Rutschungen)
- Wälder mit besonderer Schutzfunktion im Kanton Zug, Bericht und Karte 1: 25'000, Kantonsforstamt 1994 (inkl. Dokument: Wasserverheerungen im Kanton Zug, KFA 1994).
- Ereigniskataster (2 Ordner, Karte als Shapefile elektronisch)
- Schutzbautenkataster (1 Ordner, Karte als Shapefile elektronisch)
- Vorstudie Streckensicherheit SBB Strecke Zug – Arth-Goldau, Teil I Bericht und Teil II Beilagen, Friedli Geotechnik AG, Juli 2002

### **Gutachten zu Rutschungen:**

- Rutschungen entlang des Rämselfaches und seiner Zuflüsse (Kartierung der Rutschgebiete)
- Rutschungen im Lorzentobel bei Allenwinden (Kartierung der Rutschgebiete)
- Gutachten, Baugrund bei der Badeanstalt in Seelikon, Zug
- Vorstadtstrasse Zug, Beurteilung der Baugrund- und Fundationsverhältnisse VAW 1468
- Vorstadtstrasse Zug, Beurteilung der Baugrund- und Fundationsverhältnisse VAW 1468/1
- Gedenkschrift zum 100 Jahrestag der Vorstadtkatastrophe 5. Juli 1887
- Verbreiterung Alpenquai, Zug, Uferstabilität
- Rutschung Breitholz bei Baar
- Hangsanierung Walterswiltobel (siehe Verbauung Walterswilerbach)
- Kantonsstrasse Zug – Walchwil, Baugrunduntersuchung
- Lorzentobelbrücke, Hangrutsch bei Widerlager West
- Hangsanierung km 6.880 – 7.062 (Blickensdorf – Walterswil)

### **Messungen im Bereich von Rutschgebieten:**

- Gemeinde Menzingen, Erdabtrag Risi
- Rutschgebiet Gulm, Gemeinde Oberägeri
- Rutschgebiet Steinhof, Gemeinde Unterägeri
- Senkungs- und Lagemessungen Seeuferzug (Inklinometermessungen)

### **Digitale Unterlagen**

- Digitales Höhenmodell DHM Kanton ZUG (DGN)
- Uebersichtspläne 1: 5'000, 508dpi, Gebiet Kanton Zug (TIF)
- Rahmen Uebersichtspläne 1:5'000 (DGN)
- Landeskarte 1:25'000, Ebenen getrennt, Gebiet Kanton Zug (TIF)
- Orthofotos (Genauigkeit 12.5 cm) Ennetsee Flug 2001, übriger Kanton Flug 2002 (TIF)
- Bodenkarte (Shapefile)
- Daten des Vector 25, alle Layer (GeoMedia)
- Waldränder (DGN)
- Ereigniskataster (Shapefile)
- Schutzbautenkataster (Shapefile)
- Perimeter Karten der Phänomene (Shapefile)
- Wald mit besonderer Schutzfunktion (Shapefile)
- Gemeindegrenzen (GeoMedia)

| Geologische Einheit  | Schuttproduktion<br>(nur in Felsgebieten)   | Matrix<br>(ohne Talböden)  | Untergrund:<br>Durchlässigkeit/<br>Speicherfähigkeit | Bemerkungen   |
|--|---|--|--|---|
|  | 1 gering, 2 mittel, 3 gross,<br>0 kein Fels | 0 nicht relevant, 1 tonig-<br>siltig, 2 sandig-kiesig,<br>3 kiesig-blockig | 1 gross, 2 mittel, 3<br>gering                       |   |
| <b>Quartär</b>   |   |  |  |   |
| Junge Alluvialböden  | Nicht relevant                              | Nicht relevant   | Nicht relevant                                       |   |
| Sumpf, Torfmoor  | Nicht relevant                              | 1  | 1  |   |
| Gehängelehm  | Nicht relevant                              | 1  | 3  |   |
| Schuttkegel aus Einzugsgebiet mit ton- oder<br>mergelreichen Gesteinen     | Nicht relevant                              | 1  | 3  | Für Bach- und<br>Gehängeschutt                        |
| Schuttkegel aus Einzugsgebiet mit sandigen Gesteinen                       | Nicht relevant                              | 2  | 2  |   |
| Schuttkegel aus Einzugsgebiet mit kalkreichen Gesteinen<br>sowie Nagelfluh | Nicht relevant                              | 3  | 1  |   |
| Rutschung  | Nicht relevant                              | 1 - 3  | 3  | Je nach Lithologie im<br>Einzugsgebiet                |
| Hangschutt / Bachschutt  | Nicht relevant                              | 2-3  | 1-2  |   |
|  |   |  |  |   |
| Grundmoränen   | Nicht relevant                              | 1  | 3  |   |
| Moräne i. a. (zwischen den Wällen)   | Nicht relevant                              | 2  | 2  |   |
|  |   |  |  |   |
| End- und Wallmoränen   | Nicht relevant                              | 2  | 2  |   |
| q <sub>3s</sub> .. Riss Schotter (Hochterrassenschotter)                   | Nicht relevant                              | 2  | 1  |   |
| q <sub>4s</sub> Menzinger Schotter   | Nicht relevant                              | 2  | 1  |   |
| q <sub>3m/R</sub> Riss Moräne  | Nicht relevant                              | 1  | 2  |   |
| q <sub>4mV</sub> Frühwürm Moräne, q <sub>4m</sub> Würm Moräne              | Nicht relevant                              | 1  | 3  |   |
| q <sub>4sv</sub> Frühwürm Vorstossschotter (verkittet) Sihl/Lorze          | Nicht relevant                              | 2  | 1  | nicht rutschanfällig, da<br>verkittet und vorbelastet |



| Geologische Einheit   | Schuttproduktion<br>(nur in Felsgebieten)<br><br>1 gering, 2 mittel, 3 gross,<br>0 kein Fels | Matrix<br>(ohne Talböden)<br><br>0 nicht relevant, 1 tonig-<br>siltig, 2 sandig-kiesig,<br>3 kiesig-blockig | Untergrund:<br>Durchlässigkeit/<br>Speicherfähigkeit<br>1 gross, 2 mittel, 3<br>gering | Bemerkungen |
|---|--|---|--|-------------|
| <b>Mittelländische und Subalpine<br/>Molasse</b>            |  |   |  |             |
| Nagelfluh, untergeordnet Sandsteine, ohne Mergel            | 2  | 3   | 2  |             |
| Sandsteine, wenig Nagelfluh und Mergel                      | 2  | 2   | 2  |             |
| Sandstein-Mergel-Wechselagerung                             | 3  | 1   | 3  |             |
| Mergelreiche Serien (sehr wenig Sandstein), Tonsteine       | 3  | 1   | 3  |             |
| <b>Spezielle Serien:</b>                                    |  |   |  |             |
|   |  |   |  |             |
| <b>OSM</b>  |  |   |  |             |
| m <sub>4</sub> Bunte Mergel u dolomitreiche Sst (Tortonien) | 3  | 1   | 3  |             |
| dazwischengelagerte Konglomerathorizonte                    | 2  | 3   | 2  |             |
| <b>OMM</b>  |  |   |  |             |
| m <sub>3</sub> St. Galler Formation (flachliegende Molasse) | 3  | 2   | 2  |             |
| m <sub>2</sub> Luzerner Formation (Burdigal)                | 3  | 2   | 2  |             |
| <b>USM</b>  |  |   |  |             |
| m <sub>1m</sub> Oberaquitanische Mergelzone                 | 3  | 1   | 3  |             |
| m <sub>1</sub> Granitische Molasse "Zugersandstein"         | 2  | 2   | 2  |             |
| o <sub>3G</sub> Grindeleggserie                             | 3  | 1   | 3  |             |
| o <sub>3</sub> Molasse Rouge                                | 3  | 1   | 3  |             |
| Bunte Rigi-Nagelfluh (=Bunte Serie+Radiolaritreiche Serie)  | 1  | 3   | 2  |             |
| <b>UMM</b>  |  |   |  |             |
| Grisigermergel  | 3  | 1   | 3  |             |
| Horwer Platten  | 2  | 3   | 2  |             |