Strategie Naturgefahren Schweiz

Umsetzung des Aktionsplans PLANAT 2005 - 2008

Projekt A 1.1

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Schlussbericht 2. Phase
Testversion
Februar 2009

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Strategie Naturgefahren Schweiz

Umsetzung des Aktionsplanes PLANAT 2005-2008

Projekt A 1.1

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

Schlussbericht 2. Phase
Testversion
Februar 2009

Impressum

Auftraggeber

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
c/o Abteilung Gefahrenprävention
Bundesamt für Umwelt BAFU
3003 Bern

Telefon: 031 324 17 81
Fax: 031 324 19 10
planat@bafu.admin.ch www.planat.ch

Projektsteuerung (Gesamtprojekt)

Andreas Götz, BAFU, Präsident PLANAT (Leitung)
Dr. Gian Reto Bezzola, BAFU, PLANAT
Dr. Pierre Ecoffey, ECAB, PLANAT
Willy Eyer, Amt für Wald, Wild und Fischerei Kanton Freiburg, PLANAT
Bruno Hostettler, BABS, PLANAT
Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, PLANAT

Projektbetreuung (Gesamtprojekt)

Dr. Thomas Egli, Egli Engineering AG (Leitung)
Dörte Aller, Aller Risk Management
Christoph Werner, BABS
Cornelia Winkler, Glenz, Walter & Winkler AG (Betreuung Projekt A 1.1)

Projektleitung Projekt A 1.1

Dr. Michael Bründl, SLF

Begleitung Projekt A 1.1

Dr. Monika Frehner, Forstingenieurbüro Sargans
Claudia Guggisberg, ARE
Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG
Arthur Sandri, BAFU
Christoph Werner, BABS
Dr. Christian Wilhelm, Kanton GR
Cornelia Winkler, Glenz, Walter & Winkler AG

Auftragnehmer Projekt A 1.1

WSL–Institut für Schnee- und
Lawinenforschung SLF
Flüelastrasse 11
7260 Davos Dorf

Telefon: 081 417 01 11
Fax: 081 417 01 10
www.slf.ch

Autoren Projekt A 1.1

Dr. Michael Bründl, SLF (Leitung)
Dörte Aller, Aller Risk Management
Nicole Bischof, SLF
Blaise Duvernay, BAFU
Dr. Thomas Egli, Egli Engineering AG
Giuseppe Franciosi, Geotest AG
André Gauderon, Glenz, Walther & Winkler AG
Dr. Niels Holthausen, Ernst Basler und Partner AG
Dr. Bernhard Krummenacher, Geotest AG
Hans Merz, Ernst Basler und Partner AG
Dr. Hans Romang, SLF
Daniel Rüttimann, Egli Engineering AG
Maja Stucki, Egli Engineering AG
Daniel Tobler, Geotest AG
Cornelia Winkler, Glenz, Walther & Winkler AG
Yvonne Schaub, SLF (Layout und Redaktion)

Zitiervorschlag

Bründl Michael (Ed.) 2009: Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 420 S.

Hinweis

Die Reproduktion der Texte und Grafiken mit Quellenangabe und Belegexemplar an die Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT ist erwünscht.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung **1**
Anlass des Projekts 1
Die Stellung des Leitfadens Risikokonzept «RIKO» im Integralen Risikomanagement . 1
Der Leitfaden im Umfeld anderer Anwendungen 2
Struktur des vorliegenden Leitfadens 3

Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts

1 Zweck und Grundmodell des Risikokonzepts **1**

2 Risikobegriff und Risikogrössen **3**
2.1 Der Risikobegriff 3
2.2 Die Risikoformel 5
2.3 Gefährdete Personen und Objekte 5
2.4 Risikogrössen für Todesopfer 6
2.4.1 Individuelles Risiko 6
2.4.2 Kollektives Risiko 6
2.4.2.1 Personen 6
2.4.2.2 Sachwerte 7

3 Risikoanalyse **9**
3.1 Zielsetzung, Abgrenzung und Vorbereitungsarbeiten 10
3.1.1 Zielsetzung 10
3.1.2 Abgrenzung und Beschreibung des Beurteilungsperimeters 10
3.1.3 Vorbereitungsarbeiten 10
3.1.3.1 Beschaffung und Sichtung der verfügbaren Grundlagen 10
3.1.3.2 Projektorganisation und Zuständigkeiten 11
3.2 Gefahrenanalyse 11
3.2.1 Ereignisanalyse 11
3.2.2 Wirkungsanalyse 12
3.3 Expositionsanalyse 13
3.3.1 Identifizierung der ortsfesten Objekte 14
3.3.2 Identifizierung von Personen und variablen Objekten 14
3.3.3 Unterscheidung von Expositionssituationen 15
3.3.4 Entwicklung des Schadenpotentials 18
3.4 Konsequenzenanalyse 19

3.4.1 Berechnungsfaktoren in der Konsequenzenanalyse . . . 19
3.4.1.1 Schadenempfindlichkeit . . . 19
3.4.1.2 Objektschutz . . . 20
3.4.1.3 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit . . . 20
3.4.1.4 Präsenzwahrscheinlichkeit . . . 21
3.4.1.5 Verknüpfung der Faktoren . . . 21
3.4.2 Gewichtung des Schadenausmasses (Risikoaversion) . . . 21
3.4.3 Bestimmung direktes Schadenausmass . . . 22
3.4.3.1 Schadenausmass Gebäude . . . 22
3.4.3.2 Schadenausmass Personen in Gebäuden . . . 22
3.4.3.3 Schadenausmass fixe Sachwerte entlang Strassen . . . 23
3.4.3.4 Schadenausmass Personen entlang von Strassen und mechanischen Aufstiegshilfen . . . 24
3.4.3.5 Schadenausmass entlang von Bahnlinien . . . 25
3.4.3.6 Schadenausmass Personen entlang von Bahnlinien . . . 29
3.4.3.7 Schadenausmass Leitungen . . . 31
3.4.3.8 Schadenausmass Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen . . . 32
3.4.3.9 Gesamtes Schadenausmass direkte Schäden Szenario j . . . 32
3.4.4 Bestimmung indirektes Schadenausmass . . . 33
3.4.5 Gesamtes Schadenausmass Szenario j . . . 34
3.5 Risikoermittlung und Risikodarstellung . . . 34
3.5.1 Kollektive Risiken . . . 34
3.5.2 Individuelle Risiken . . . 37

4 Risikobewertung und Schutzziele 39
4.1 Grundsätzliches . . . 39
4.2 Schutzziele für Personenrisiken . . . 40
4.2.1 Methodischer Ansatz für die Schutzzielkriterien . . . 40
4.2.2 Unterscheidung Risikokategorien . . . 41
4.2.3 Vorschlag Schutzziele Personen . . . 42
4.3 Schutzziele für weitere Schadenarten . . . 44
4.3.1 Sachwerte . . . 44
4.3.2 Sonderrisiken . . . 44
4.4 Risikoaversion . . . 45
4.4.1 Die drei Teileffekte der Risikoaversion . . . 45
4.4.1.1 Qualitative Ausweitung und überproportionale Zunahme negativer indirekter Effekte von Schadenereignissen . . . 45
4.4.1.2 Zunehmende Unsicherheit bei der Schadenprognose . . . 46
4.4.1.3 Verantwortung bei Ereignissen mit ausserordentlichem Schadensausmass . . . 47
4.4.2 Vorschlag der Aversionsfaktoren . . . 47

5 Massnahmenplanung und -bewertung 49
5.1 Zielsetzung . . . 49
5.2 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 50
5.3 Zeitliche Entwicklung . . . 51

5.4 Vorgehen . . . 52
5.5 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 54
5.6 Bestimmen der Kosten . . . 57
5.7 Optimale Massnahmenkombinationen . . . 59
5.8 Schlussbemerkung . . . 60

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Lawine

1 Einleitung 1
1.1 Charakterisierung des Prozesses «Lawine» . . . 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess Lawine . . . 2
1.2.1 Gefahrenanalyse . . . 2
1.2.1.1 Ereignisanalyse . . . 2
1.2.1.2 Wirkungsanalyse . . . 3
1.2.2 Expositionsanalyse . . . 4
1.2.3 Konsequenzenanalyse . . . 4
1.3 Risikobewertung . . . 4
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . 4
1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 5
1.4.2 Berechnen der Kosten . . . 5
1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . 5
1.4.4 Bewertung von Massnahmen . . . 6
1.4.5 Weitere Einflussfaktoren . . . 6

2 Fallbeispiel Frauentobel, Landschaft Davos, Kanton Graubünden 9
2.1 Einleitung . . . 9
2.2 Gefahrenanalyse . . . 9
2.2.1 Ereignisanalyse . . . 9
2.2.1.1 Grundlagen . . . 9
2.2.1.2 Anrissgebiete . . . 10
2.2.1.3 Sturzbahn . . . 10
2.2.1.4 Auslaufgebiet . . . 11
2.2.2 Wirkungsanalyse . . . 12
2.2.2.1 Grundlagen . . . 12
2.2.2.2 Bestimmung der Intensitätszonen . . . 12
2.2.2.3 Interpretation der Ergebnisse . . . 13
2.3 Expositionsanalyse . . . 14
2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . 14
2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen . . . 14
2.4 Konsequenzenanalyse . . . 17
2.4.1 Darstellung mit Durchschnittswerten . . . 17
2.4.2 Darstellung mit Expositionssituationen . . . 18
2.5 Risikoermittlung . . . 20
2.5.1 Kollektive Risiken . . . 20
2.5.1.1 Darstellung mit Durchschnittswerten . . . 20
2.5.1.2 Darstellung mit Expositionssituationen . . . 20

2.5.2 Individuelle Risiken . . . 22
2.6 Risikobewertung . . . 22
2.6.1 Kollektive Risiken . . . 22
2.6.2 Individuelle Risiken . . . 23
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 23
2.7.1 Technische Massnahmen . . . 24
2.7.1.1 Variante 1: Verbau Gebiete 305, 307, 308 . . . 24
2.7.1.2 Variante 2: Verbau Gebiet 308 . . . 24
2.7.1.3 Variante 3: Verbau Gebiet 305 . . . 24
2.7.2 Raumplanerische Massnahmen . . . 24
2.7.3 Biologische Massnahmen - Schutzwald . . . 25
2.7.4 Organisatorische Massnahmen . . . 25
2.7.4.1 Variante 4: Sperrung und Evakuierung . . . 25
2.7.4.2 Variante 5: Künstliche Lawinenauslösung . . . 25
2.8 Wirksamkeit . . . 25
2.8.1 Variante 2-3: Kombination Variante 2 und Variante 3 . . . 25
2.8.2 Variante 4: Sperrung und Evakuierung . . . 26
2.8.3 Variante 5: Künstliche Lawinenauslösung . . . 26
2.9 Kosten . . . 27
2.10 Massnahmenbewertung . . . 27
2.10.1 Bewertung nach Grenzkostenkriterium . . . 27
2.10.2 Bewertung bezüglich Akzeptanz . . . 28
2.11 Weitere Einflussfaktoren . . . 28
2.12 Realisierte Massnahmen . . . 29

3 Fazit **31**

4 Richtwerte EconoMe **33**

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Hochwasser

1 Einleitung **1**
1.1 Charakterisierung des Prozesses «Hochwasser» . . . 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hochwasser . . . 2
1.2.1 Gefahrenanalyse . . . 3
1.2.1.1 Ereignisanalyse . . . 3
1.2.1.2 Wirkungsanalyse . . . 3
1.2.2 Expositionsanalyse . . . 4
1.2.3 Konsequenzenanalyse . . . 4
1.3 Risikobewertung beim Prozess Hochwasser . . . 5
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung beim Prozess Hochwasser . . . 5
1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 6
1.4.2 Berechnen der Kosten . . . 6
1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . 6
1.4.4 Bewertung von Massnahmen . . . 7
1.4.5 Weitere Einflussfaktoren . . . 7

2 Fallbeispiel Lonza, Gemeinden Gampel und Steg, Kanton Wallis **9**
2.1 Einleitung . . . 9
2.2 Gefahrenanalyse . . . 10
2.2.1 Grundlagen . . . 10
2.2.2 Ereignisanalyse . . . 10
2.2.2.1 Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . 10
2.2.2.2 Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . 11
2.2.3 Wirkungsanalyse . . . 11
2.2.3.1 Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . 11
2.2.3.2 Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . 11
2.3 Expositionsanalyse . . . 13
2.3.1 Schadenpotential vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . 14
2.3.2 Schadenpotential Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . 14
2.4 Konsequenzenanalyse . . . 14
2.4.1 Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR» . . . 14
2.4.2 Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . 15
2.5 Risikoermittlung . . . 15
2.6 Risikobewertung . . . 17
2.6.1 Situation vor jeglichen Massnahmen . . . 17
2.6.2 Aktuelle Situation «AKTUELL» . . . 17
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 17
2.8 Wirksamkeit . . . 18
2.9 Kosten . . . 19
2.10 Massnahmenbewertung . . . 20
2.11 Weitere Einflussfaktoren . . . 21

3 Fazit **23**

4 Richtwerte EconoMe **25**

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Murgang

1 Einleitung **1**
1.1 Charakterisierung des Prozesses «Murgang» . . . 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess Murgang . . . 2
1.2.1 Gefahrenanalyse . . . 2
1.2.1.1 Ereignisanalyse . . . 2
1.2.1.2 Wirkungsanalyse . . . 3
1.2.2 Expositionsanalyse . . . 3
1.2.3 Konsequenzenanalyse . . . 4
1.3 Risikobewertung beim Prozess Murgang . . . 4
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung beim Prozess Murgang . . . 4
1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 4
1.4.2 Berechnen der Kosten . . . 5
1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . 5
1.4.4 Bewertung von Massnahmen . . . 6

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren 6

2 Fallbeispiel Chummerbach, Landschaft Davos, Kanton Graubünden 7
2.1 Einleitung 7
2.2 Gefahrenanalyse 7
2.2.1 Ereignisanalyse 7
2.2.1.1 Topographie 7
2.2.1.2 Geologie - Geomorphologie - Vegetation 8
2.2.1.3 Niederschlag 9
2.2.1.4 Ereigniskataster 9
2.2.1.5 Abflussbestimmung 9
2.2.1.6 Feststoffpotential 9
2.2.1.7 Beurteilungsszenarien 10
2.2.2 Wirkungsanalyse 10
2.3 Expositionsanalyse 11
2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte 11
2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen in Gebäuden 12
2.3.3 Ermittlung der exponierten Personen auf Verkehrswegen 13
2.3.4 Schadenpotential im Beurteilungsperimeter 13
2.4 Konsequenzenanalyse 13
2.5 Risikoermittlung 14
2.5.1 Kollektive Risiken 14
2.5.2 Individuelle Risiken 14
2.6 Risikobewertung 15
2.6.1 Kollektive Risiken 15
2.6.2 Individuelle Risiken 16
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen 16
2.7.1 Raumplanerische Massnahmen 16
2.7.2 Biologische Massnahmen 16
2.7.3 Organisatorische Massnahmen 17
2.7.4 Technische Massnahmen 17
2.7.4.1 Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf 17
2.7.4.2 Variante 2: Längsverbau im Mittellauf 18
2.7.4.3 Variante 3: Geschiebesammler 18
2.7.4.4 Variante 4: Objektschutz 19
2.7.4.5 Variante 5: Geschiebesammler maximal 20
2.8 Wirksamkeit 20
2.8.1 Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf 20
2.8.2 Variante 2: Längsverbau im Mittellauf 21
2.8.3 Variante 3: Geschiebesammler 22
2.8.4 Variante 4: Objektschutz 22
2.8.5 Variante 5: Geschiebesammler maximal 23
2.8.6 Variante 6: Kombination Geschiebesammler und Objektschutz 23
2.9 Kosten 24
2.9.1 Variante 1 24
2.9.2 Variante 2 25

2.9.3 Variante 3 . . . 25
2.9.4 Variante 4 . . . 26
2.9.5 Variante 5 . . . 26
2.9.6 Variante 6 . . . 26
2.10 Massnahmenbewertung . . . 27
2.11 Realisierte Massnahmen . . . 28

3 Fazit **29**

4 Richtwerte EconoMe **31**

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Sturz

1 Einleitung **1**
1.1 Charakterisierung von Sturzprozessen . . . 1
1.2 Risikoanalyse bei Sturzprozessen . . . 2
1.2.1 Gefahrenanalyse . . . 3
1.2.1.1 Ereignisanalyse . . . 3
1.2.1.2 Wirkungsanalyse . . . 3
1.2.2 Expositionsanalyse . . . 4
1.2.3 Konsequenzenanalyse . . . 5
1.3 Risikobewertung . . . 5
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . 5
1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 6
1.4.2 Berechnen der Kosten . . . 6
1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . 6
1.4.4 Bewertung von Massnahmen . . . 7
1.4.5 Weitere Einflussfaktoren . . . 7

2 Fallbeispiel Meiggerli, Gemeinde Saas-Balen, Kanton Wallis **9**
2.1 Einleitung . . . 9
2.2 Gefahrenanalyse . . . 9
2.2.1 Ereignisanalyse . . . 9
2.2.2 Wirkungsanalyse . . . 10
2.3 Expositionsanalyse . . . 11
2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . 11
2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen . . . 11
2.4 Konsequenzenanalyse . . . 12
2.5 Risikoermittlung . . . 13
2.5.1 Kollektive Risiken . . . 13
2.5.2 Individuelle Risiken . . . 13
2.6 Risikobewertung . . . 13
2.6.1 Kollektive Risiken . . . 13
2.6.2 Individuelle Risiken . . . 14
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 14
2.7.1 Raumplanerische Massnahmen . . . 14

2.7.2 Technische Massnahmen . . . 14
2.7.2.1 Variante A: Langer Schutzdamm . . . 14
2.7.2.2 Variante B: Kurzer Schutzdamm . . . 15
2.7.2.3 Variante C: Ufermauer mit Netz . . . 15
2.7.3 Biologische Massnahmen . . . 15
2.7.4 Organisatorische Massnahmen . . . 16
2.8 Wirksamkeit . . . 16
2.8.1 Variante A . . . 16
2.8.2 Variante B . . . 18
2.8.3 Variante C . . . 19
2.8.4 Variante D . . . 20
2.9 Kosten . . . 21
2.10 Massnahmenbewertung . . . 21
2.11 Weitere Einflussfaktoren . . . 22
2.12 Realisierte Massnahmen . . . 22

3 Fazit **25**

4 Richtwerte EconoMe **27**

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess spontane Rutschung

1 Einleitung **1**
1.1 Charakterisierung von Rutschprozessen . . . 1
1.1.1 Einteilung der Rutschungen im weiteren Sinne . . . 2
1.1.2 Klassifikation nach der Form der Gleitfläche . . . 3
1.2 Risikoanalyse beim Prozess der spontanen flachgründigen Rutschungen und Hangmuren . . . 4
1.2.1 Gefahrenanalyse . . . 4
1.2.1.1 Ereignisanalyse . . . 4
1.2.1.2 Wirkungsanalyse . . . 4
1.2.2 Expositionsanalyse . . . 6
1.2.3 Konsequenzenanalyse . . . 6
1.3 Risikobewertung . . . 8
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . 8
1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 9
1.4.2 Berechnen der Kosten . . . 9
1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . 10
1.4.4 Bewertung von Massnahmen . . . 11
1.4.5 Weitere Einflussfaktoren . . . 11

2 Fallbeispiel Bantigental, Gemeinde Bolligen, Kanton Bern **13**
2.1 Einleitung . . . 13
2.2 Gefahrenanalyse . . . 13
2.2.1 Ereignisanalyse . . . 13
2.2.1.1 Grundlagen . . . 13

2.2.1.2 Geländebefunde . . . 13
2.2.1.3 Das Ereignis 2006 . . . 15
2.2.1.4 Ereignisszenarien . . . 15
2.2.2 Wirkungsanalyse . . . 15
2.2.2.1 Grundlagen . . . 15
2.2.2.2 Intensitätskarten . . . 15
2.3 Expositionsanalyse . . . 16
2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . 16
2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen . . . 17
2.4 Konsequenzenanalyse . . . 17
2.5 Risikoermittlung . . . 17
2.5.1 Kollektive Risiken . . . 17
2.5.2 Individuelle Risiken . . . 18
2.6 Risikobewertung . . . 18
2.6.1 Kollektive Risiken . . . 18
2.6.2 Individuelle Risiken . . . 18
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 19
2.7.1 Raumplanerische Massnahmen . . . 19
2.7.2 Biologische Massnahmen . . . 19
2.7.3 Organisatorische Massnahmen . . . 19
2.7.4 Technische Massnahmen . . . 19
2.8 Wirksamkeit . . . 20
2.8.1 Konsequenzenanalyse nach Massnahmen . . . 20
2.8.2 Risikoermittlung nach Massnahmen . . . 20
2.9 Kosten . . . 21
2.10 Massnahmenbewertung . . . 21
2.11 Realisierte Massnahmen . . . 21
2.12 Weitere Einflussfaktoren . . . 21

3 Fazit **23**

4 Richtwerte EconoMe **25**

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess permanente Rutschung

1 Einleitung **1**
1.1 Charakterisierung der Prozesse der permanenten, tiefgründigen Rutschungen . . . 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess der permanenten, tiefgründigen Rutschungen . . . 4
1.2.1 Gefahrenanalyse . . . 4
1.2.1.1 Ereignisanalyse . . . 4
1.2.1.2 Wirkungsanalyse . . . 5
1.2.2 Expositionsanalyse . . . 8
1.2.3 Konsequenzenanalyse . . . 8
1.3 Risikobewertung . . . 8
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . 9
1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 10

1.4.2 Berechnen der Kosten . . . 10
1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . 11
1.4.4 Bewertung von Massnahmen . . . 11
1.4.5 Weitere Einflussfaktoren . . . 12

2 Fallbeispiel Ollon-Villars, Gemeinde Villars, Kanton Waadt 13
2.1 Einleitung . . . 13
2.2 Gefahrenanalyse . . . 13
2.2.1 Grundlagen . . . 13
2.2.2 Geländebefunde . . . 14
2.2.3 Ereignisanalyse und -szenarien . . . 15
2.2.4 Wirkungsanalyse . . . 15
2.2.4.1 Grundlagen . . . 15
2.2.4.2 Intensitätskarten . . . 15
2.3 Expositionsanalyse . . . 16
2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte . . . 16
2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen . . . 16
2.4 Konsequenzenanalyse . . . 17
2.5 Risikoermittlung . . . 17
2.5.1 Kollektive Risiken . . . 17
2.5.2 Individuelle Risiken . . . 17
2.6 Risikobewertung . . . 17
2.6.1 Kollektive Risiken . . . 17
2.6.2 Individuelle Risiken . . . 18
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 18
2.8 Wirksamkeit . . . 18
2.9 Kosten . . . 19
2.10 Massnahmenbewertung . . . 19
2.11 Weitere Einflussfaktoren . . . 19

3 Fazit 21

4 Richtwerte EconoMe 23

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Erdbeben

1 Einleitung 1
1.1 Charakterisierung des Prozesses Erdbeben . . . 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess Erdbeben . . . 6
1.2.1 Gefahrenanalyse . . . 6
1.2.1.1 Ereignisanalyse . . . 6
1.2.1.2 Wirkungsanalyse . . . 7
1.2.2 Expositionsanalyse . . . 14
1.2.3 Konsequenzenanalyse . . . 14
1.2.4 Risikoermittlung . . . 17
1.3 Risikobewertung . . . 18

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung 18
1.4.1 Mögliche Schutzmassnahmen 18
1.4.1.1 Raumplanerische Massnahmen 18
1.4.1.2 Organisatorische Massnahmen 19
1.4.1.3 Technische Massnahmen 19
1.4.2 Bestimmen der Wirksamkeit 19
1.4.3 Berechnen der Kosten 20
1.4.4 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen 20
1.4.5 Bewertung von Massnahmen 20

2 Risikobasierte Beurteilung von bestehenden Gebäuden gemäss Merkblatt SIA 2018 21

3 Anwendungsbeispiel des Merkblattes SIA 2018 27
3.1 Risikoermittlung und Risikobewertung 28
3.2 Massnahmenkonzept und Massnahmenbewertung 28

4 Fazit 31

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Sturm

1 Einleitung 1
1.1 Charakterisierung des Prozesses Sturm 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess Sturm 2
1.2.1 Gefahrenanalyse 2
1.2.1.1 Ereignisanalyse 2
1.2.1.2 Wirkungsanalyse 4
1.2.2 Expositionsanalyse 8
1.2.3 Konsequenzenanalyse 9
1.3 Risikobewertung 11
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung 11
1.4.1 Mögliche Massnahmen 11
1.4.1.1 Verstärkungsmassnahmen 11
1.4.1.2 Abschirmungen 12
1.4.2 Bestimmen der Wirksamkeit 12
1.4.3 Berechnen der Kosten 12
1.4.4 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen 12
1.4.5 Bewertung von Massnahmen 13

2 Fallbeispiel Sturmauswirkungen auf Industriebetrieb im Mittelland 15
2.1 Einleitung 15
2.2 Gefahrenanalyse 15
2.2.1 Ereignisanalyse 15
2.2.2 Wirkungsanalyse 15
2.3 Expositionsanalyse 16
2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte 16
2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen 16

2.4 Konsequenzenanalyse . . . 16
2.5 Risikoermittlung . . . 17
2.5.1 Kollektive Risiken . . . 17
2.5.2 Individuelle Risiken . . . 17
2.6 Risikobewertung . . . 18
2.6.1 Kollektive Risiken . . . 18
2.6.2 Individuelle Risiken . . . 18
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 18
2.8 Wirksamkeit . . . 18
2.9 Kosten . . . 18
2.10 Massnahmenbewertung . . . 19

3 Fazit **21**

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Hagel

1 Einleitung **1**
1.1 Charakterisierung des Prozesses Hagel . . . 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hagel . . . 2
1.2.1 Einleitung . . . 2
1.2.2 Gefahrenanalyse . . . 2
1.2.2.1 Ereignisanalyse . . . 2
1.2.2.2 Wirkungsanalyse . . . 3
1.2.3 Expositionsanalyse . . . 6
1.2.4 Konsequenzenanalyse . . . 6
1.2.4.1 Grundlagen für die Empfindlichkeit von Gebäudehüllen . . . 7
1.2.4.2 Schadenausmass von Gebäudehüllen . . . 7
1.2.4.3 Schadenausmass für Sachwerte auf Parkplätzen und Verkehrsachsen (Autos) . . . 7
1.2.4.4 Schadenausmass Landwirtschaft . . . 8
1.3 Risikoermittlung . . . 9
1.4 Risikobewertung . . . 9
1.5 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung . . . 9
1.5.1 Mögliche Schutzmassnahmen bei Gebäuden . . . 9
1.5.1.1 Verstärkung . . . 9
1.5.1.2 Abschirmung . . . 10
1.5.1.3 Organisatorische Massnahmen (Wegstellen) . . . 10
1.5.2 Mögliche Schutzmassnahmen in der Landwirtschaft . . . 10
1.5.2.1 Abschirmung . . . 10
1.5.2.2 Hagelabwehr . . . 10
1.5.3 Mögliche Schutzmassnahmen bei Autos . . . 10
1.5.3.1 Abschirmung . . . 10
1.5.3.2 Organisatorische Massnahme . . . 11
1.5.4 Bestimmen der Wirksamkeit . . . 11
1.5.5 Berechnen der Kosten . . . 11
1.5.6 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen . . . 11

1.5.7 Bewertung von Massnahmen 12

2 Fallbeispiel Hagelgefährdung eines Sportzentrums in Luzern 13
2.1 Einleitung 13
2.2 Gefahrenanalyse 13
2.2.1 Ereignisanalyse 13
2.2.2 Wirkungsanalyse 13
2.3 Expositionsanalyse 14
2.4 Konsequenzenanalyse 14
2.4.1 Dachflächen Faserzement 14
2.4.2 Fassade gewellter GFK-UP 14
2.4.3 Fassade Glasfenster 15
2.5 Risikoermittlung 15
2.6 Risikobewertung 15
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen 16
2.8 Wirksamkeit 16
2.9 Kosten 16
2.10 Massnahmenbewertung 17

3 Fazit 19

Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Hitzewelle

1 Einleitung 1
1.1 Charakterisierung des Prozesses Hitzewelle 1
1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hitzewelle 2
1.2.1 Einleitung 2
1.2.2 Gefahrenanalyse 2
1.2.2.1 Ereignisanalyse 3
1.2.2.2 Wirkungsanalyse 3
1.2.3 Expositionsanalyse 6
1.2.4 Konsequenzenanalyse 8
1.2.5 Risikoermittlung 8
1.3 Risikobewertung 8
1.3.1 Individuelle Risiken 8
1.3.2 Kollektive Risiken 8
1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung 9
1.4.1 Mögliche Schutzmassnahmen 9
1.4.1.1 Verhalten / Organisation 9
1.4.1.2 Bauliche Massnahmen an Gebäuden und Nutzungsverhalten in Gebäuden 9
1.4.2 Bestimmen der Wirksamkeit 10
1.4.3 Berechnen der Kosten 11
1.4.4 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen 11
1.4.5 Bewertung von Massnahmen 11

2 Fallbeispiel Altersheim Bern **13**
2.1 Einleitung . . . 13
2.2 Gefahrenanalyse . . . 13
2.2.1 Ereignisanalyse . . . 13
2.2.2 Wirkungsanalyse . . . 14
2.3 Expositionsanalyse . . . 14
2.3.1 Ermittlung der fixen Objekte . . . 14
2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen . . . 14
2.4 Konsequenzenanalyse . . . 15
2.5 Risikoermittlung . . . 16
2.5.1 Kollektive Risiken . . . 16
2.5.2 Individuelle Risiken . . . 16
2.6 Risikobewertung . . . 16
2.6.1 Kollektive Risiken . . . 16
2.6.2 Individuelle Risiken . . . 17
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen . . . 17
2.7.1 Raumplanerische Massnahmen . . . 17
2.7.2 Biologische Massnahmen . . . 17
2.7.3 Organisatorische Massnahmen . . . 17
2.7.4 Technische Massnahmen . . . 17
2.7.4.1 Massnahme 1: Einbau von Klappenöffnungen für die Nachtauskühlung . . . 18
2.7.4.2 Massnahme 2: Dach- und Wandisolation des Gebäudes . . . 18
2.8 Wirksamkeit . . . 18
2.8.1 Wirksamkeit Massnahme 1 . . . 18
2.8.2 Wirksamkeit Massnahme 2 . . . 19
2.9 Kosten . . . 19
2.10 Massnahmenbewertung . . . 20
2.11 Realisierte Massnahmen . . . 21

3 Fazit **23**

Literaturverzeichnis

Glossar

Vorwort

Angeregt durch die Motion Danioth (1999) hat der Bundesrat der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT den Auftrag erteilt, eine übergeordnete und vernetzte Strategie zur Verbesserung der Sicherheit vor Naturereignissen auszuarbeiten. Der Bundesrat betonte, dass der Schutz vor Naturgefahren nicht nur für die Bevölkerung im Alpenraum zu gewährleisten sei, sondern für die Bevölkerung in der ganzen Schweiz. Zudem wolle er im Sinne eines umfassenden Risikomanagements einen gesamtschweizerisch vergleichbaren Sicherheitsstandard erreichen. Ziel ist dabei der Schutz des Menschen und seiner natürlichen Lebensgrundlagen sowie der Schutz von erheblichen Sachwerten.

Bisher hat die PLANAT in einer ersten Etappe eine übergeordnete und vernetzte Strategie für die Sicherheit von Naturgefahren[1] erarbeitet. Diese Strategie entspricht der vom Bundesrat verfolgten Politik der Nachhaltigkeit und den in der Strategie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) verankerten Grundsätzen einer einheitlichen Sicherheitsphilosophie. In der zweiten Etappe hat die PLANAT die heutige Situation im Bereich Naturgefahren analysiert[2] und einen Aktionsplan mit Massnahmen vorgeschlagen, welche 2005 bis 2008 in einer dritten Etappe umgesetzt werden.

Der vorliegende Bericht gibt die Ergebnisse des Einzelprojekts A1.1 «Leitfaden Risikokonzept» wieder, das im Rahmen des Aktionsplans 2005 bis 2008 durchgeführt wurde.

Andreas Götz
Präsident PLANAT

Ittigen, Februar 2009

[1] PLANAT (2004): Sicherheit vor Naturgefahren - Vision und Strategie.
[2] PLANAT (2005): Strategie Naturgefahren Schweiz (2005). Synthesebericht.

Gesamtfazit

Der vorliegende Leitfaden zeigt die Anwendung des Risikokonzeptes für die in der Schweiz auftretenden Naturgefahrenprozesse. Er soll in Zukunft als Nachschlagewerk für das Vorgehen bei einer risikobasierten Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung vor dem Hintergrund des integralen Risikomanagements dienen. Der Bericht besteht aus einem Einleitungsteil, einem Teil A und einem Teil B. Im Teil A wird das Risikokonzept prozessübergreifend vorgestellt. Im Teil B wird die Anwendung des Konzeptes auf die Prozesse Lawine, Hochwasser, Murgang, Sturz, spontane und permanente Rutschung, Erdbeben, Sturm, Hagel und Hitzewellen anhand je eines Fallbeispiels erläutert.

Die Grundlage für die allgemeine Darstellung des Risikokonzepts im Teil A stellt der Synthesebericht der PLANAT aus dem Jahr 2005 dar. Gemäss den dort formulierten Grundsätzen werden Risikoanalyse, Risikobewertung sowie integrale Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung erläutert und dargestellt. Die Kenntnis und das Verständnis der im Teil A dargelegten Grundzüge ist notwendig, um die Anwendung in den Fallbeispielen nachvollziehen zu können. Querverweise zwischen den entsprechenden Textstellen in den Teilen A und B sowie ein weitgehend gleicher Aufbau der beiden Teile erleichtern die Orientierung.

Ein wesentliches Ziel des Leitfadens besteht darin aufzuzeigen, ob das in der PLANAT-Strategie formulierte Risikokonzept einer praktischen Anwendung Stand hält. Zusammenfassend kann diese Frage mit einem grundsätzlichen «Ja» beantwortet werden, wenn auch zwischen den einzelnen Prozessen zum Teil erhebliche Unterschiede bestehen. Zur Bestimmung der Risiken infolge Naturereignissen sind eine nicht unerhebliche Anzahl von Annahmen zu treffen, die in den meisten Fällen auf wenig gesicherten Grundlagen beruhen. Die in diesem Leitfaden vorgeschlagenen Berechnungsformeln, die auf bestehendem Wissen aufbauen, erlauben aber eine einheitliche Vorgehensweise trotz den vorhandenen Unsicherheiten.

Der Umgang mit Unsicherheiten ist Bestandteil des Risikokonzepts. Das Risikokonzept ist aber vor allem eine Möglichkeit diese Unsicherheiten quantitativ abzuschätzen und transparent darzustellen. Die Ergebnisse einer Risikoanalyse dürfen daher niemals als «richtig» oder «falsch» bezeichnet werden; sie geben vielmehr eine Abschätzung der zu erwartenden Schäden unter den gemachten Annahmen wieder. Für die Beurteilung der Unsicherheiten sind sehr gute Prozesskenntnisse von entscheidender Bedeutung. Um die Unsicherheiten in der Risikoanalyse möglichst klein zu halten, sind in den nächsten Jahren weitere Anstrengungen notwendig. Es müssen bessere Grundlagen für die Szenarienbildung und die Eingangsgrössen der Risikogleichung erarbeitet werden. Insbesondere bei den Prozessen Sturm, Hagel und Hitzewelle sind hierzu weitere Arbeiten zu initiieren.

Die Risikobewertung spiegelt in indirekter Weise die Werthaltung der Gesellschaft in Bezug auf Risiken wieder. Für den vorliegenden Leitfaden wurden die Vorschläge aus der PLANAT-Strategie übernommen und mit laufenden Arbeiten und neueren Erkenntnissen ergänzt; dies im Wissen, dass die formulierten Schutzziele für das Individuum und die Gesellschaft eine Momentaufnahme sind. Die den Schutzzielen zu Grunde liegenden Werthaltungen sind daher periodisch zu überprüfen und gegebenenfalls sind die Entscheidungskriterien des Risikokonzeptes später anzupassen.

Die Massnahmenplanung anhand einer integralen Sichtweise und die ökonomische Bewertung von Massnahmenkombinationen ist ein herausfordernder Schritt für die Praxis. Zum einen ist die Beurteilung der Wirksamkeit von Einzelmassnahmen hinsichtlich einer Risikoreduktion anspruchsvoll; zum anderen verlässt eine integrale Massnahmenplanung (alle verfügbaren und sinnvollen Massnahmen können miteinander kombiniert werden) eingespielte Denkmuster der vergangenen Jahre und Jahrzehnte. In der Praxis ist es üblich, komplette Massnahmenpakete zu schnüren und die (Kosten-)Wirksamkeit in der Summe statt im Einzelnen zu beurteilen. Durch die Beurteilung der Kosten-Wirksamkeit von Massnahmenpaketen resultiert oft eine ökonomisch suboptimale Lösung und trägt damit nicht einer optimalen Allokation der finanziellen Mittel Rechnung, wie es in der PLANAT-Strategie gefordert ist. In den einzelnen Fallbeispielen wurde versucht, die Massnahmenbewertung mit Hilfe des Grenzkostenkriteriums darzustellen. Es muss jedoch festgehalten werden, dass hierzu noch einige Erfahrungen zu sammeln sind.

Abschliessend sollen noch einige Bemerkungen zum Aufwand gemacht werden. Eine detaillierte, risikobasierte Massnahmenplanung, wie sie in diesem Leitfaden dargestellt wird, kann bei einer Vielzahl von Objekten einen nicht zu unterschätzenden Aufwand beinhalten. Welcher Aufwand für welches Sicherheitsproblem betrieben werden soll, muss mit den jeweiligen Auftraggebern diskutiert und abgesprochen werden. Da die Erstellung von Intensitätskarten unter Einbezug jeder betrachteten Massnahme bzw. Massnahmenkombination sehr aufwändig ist, muss mit den Auftraggebern vor dem Hintergrund einer integralen Massnahmenplanung zwingend festgelegt werden, welche Varianten in die Überlegungen einbezogen werden sollen. In vielen Fällen dürfte der Zusatzaufwand eines intensiven Variantenstudiums und einer Ausscheidung der ökonomisch optimalen Lösung gemäss Grenzkostenkriterium den erzielten Mehrnutzen einer «besseren Lösung» gegenüber einer weniger guten Lösung innerhalb weniger Jahre aufwiegen.

Der gesicherte Beweis für eine Stärkung der Planung konnte im Rahmen dieses Projekts nicht vollumfänglich erbracht werden. Dieser Leitfaden stellt jedoch die Grundlage dar, um hierfür in den nächsten Jahren weitere Erfahrungen zu sammeln.

Einleitung

Anlass des Projekts

Dieser Leitfaden stellt das Ergebnis des Projekts A1.1 «Leitfaden Risikokonzept» dar, das im Rahmen des PLANAT-Aktionsplans «Sicherheit vor Naturgefahren» in den Jahren 2006 bis 2008 durchgeführt wurde[3]. Der PLANAT-Aktionsplan 2005 - 2008 setzte die Bemühungen um die Entwicklung einer Strategie zum Umgang mit Naturgefahren fort, die nach den Naturereignissen 1999 mit der Motion Danioth ihren Anfang genommen haben. Mit diesem und weiteren Projekten des Aktionsplans wurde versucht, die in der Strategie identifizierten Lücken zu schliessen.

Der vorliegende Leitfaden ist primär auf die Beurteilung des Sicherheitsaspektes ausgerichtet. Weitere relevante Aspekte wie gesellschaftliche Akzeptanz, politische Durchsetzbarkeit oder ökologische Verträglichkeit können bei der Massnahmenplanung mehr oder weniger stark ins Gewicht fallen. Für ihre transparente Berücksichtigung sind Beurteilungsmethoden und -kriterien aus den entsprechenden anderen Bereichen (z.B. Naturschutz) beizuziehen.

Das Ziel einer einheitlichen Beurteilung von Naturrisiken liegt insbesondere auch in der Sicherstellung der Vergleichbarkeit verschiedener Beurteilungen. Beim heutigen Wissensstand können die notwendigen Annahmen von verschiedenen Fachleuten unterschiedlich getroffen werden. Beurteilungsgrundlagen wie der vorliegende Leitfaden dienen somit auch der Harmonisierung im Umgang mit den Unsicherheiten.

Die Stellung des Leitfadens Risikokonzept «RIKO» im Integralen Risikomanagement

Die Strategie der PLANAT und das dem Leitfaden zu Grunde liegende Risikokonzept bauen auf dem Grundgedanken des integralen Risikomanagements auf. Integrales Risikomanagement umschreibt ein systematisches Managementkonzept zum Umgang mit Risiken. Diese müssen erkannt, anhand anerkannter und bewährter Massstäbe beurteilt und mit einer optimalen Kombination aus technischen, planerischen, biologischen und organisatorischen Massnahmen reduziert werden. Das integrale Risikomanagement strebt die Gleichwertigkeit von Prävention, Intervention und Wiederherstellung an.

Der Raumplanung als Teil des integralen Risikomanagement kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Über die Richtplanung, die Nutzungsplanung und Baubewilligungsverfahren versucht sie, eine an-

[3]Wir danken Walter Ammann und Thomas Schneider für die konstruktiven Diskussionen im Vorfeld dieses Projekts.

gepasste Nutzung sicherzustellen, die auf Gefahrenstellen Rücksicht nimmt. So hilft sie mit, vorhandene Risiken zu reduzieren und neue zu vermeiden [1]. Die Raumplanung stellt eine wichtige Massnahme für den Umgang mit Naturgefahren dar, auf dem alle weiteren Massnahmen aufbauen, was auch durch Waldgesetz und Waldverordnung bzw. Wasserbaugesetz und Wasserbauverordnung vorgeschrieben wird.

Der vorliegende Leitfaden kann grundsätzlich bei allen Sicherheitsproblemen im Bereich Naturgefahren angewendet werden. In erster Linie dürfte er jedoch dort zur Anwendung gelangen, wo trotz raumplanerischer Massnahmen zu hohe Risiken vermutet werden und untersucht werden soll, ob sich diese Risiken mit einem verhältnismässigen Einsatz von finanziellen Mitteln verringern lassen. Der Leitfaden greift vor allem für diejenigen Situationen, in denen ein aktuelles Schutzdefizit besteht. Damit stehen organisatorische, biologische und technische Massnahmen im Vordergrund, die aktiv und in vergleichsweise kurzer Frist zur Risikoreduktion eingesetzt werden können. Raumplanerische Massnahmen stellen vor allem hinsichtlich Nutzungsänderung oder Umsiedelung weiterhin eine eine wichtige Massnahme dar.

Neben dem vorliegenden Leitfaden wurden in den letzten Jahren auch andere Instrumente zum strukturierten Umgang mit Risiken infolge Naturgefahren erarbeitet. Zum Verständnis, was der vorliegende Leitfaden soll und welche Zielrichtung er verfolgt, wird im folgenden Abschnitt ein Überblick über andere Entscheidungshilfen gegeben.

Der Leitfaden im Umfeld anderer Anwendungen

Risikobeurteilungen können je nach Ziel mit verschiedenen methodischen Ansätzen und unterschiedlichem Tiefgang durchgeführt werden. Neben den Eingangsdaten, die in unterschiedlicher Quantität und Qualität zur Verfügung stehen, spielt die Erfahrung und das Wissen des Bearbeitenden und die Verwendung der Ergebnisse der Analyse eine wichtige Rolle. Schliesslich hat auch die Sensibilisierung von Behörden, Fachleuten und der Bevölkerung für die Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung des Risikokonzepts eine nicht zu unterschätzende Bedeutung.

In diesem Umfeld unterschiedlicher Ziele und Ansprüche wurden in den letzten Jahren verschiedene Hilfsmittel zur Risikoanalyse, Risikobewertung sowie zur Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung initiiert.

RiskPlan2: RiskPlan 2 online ist der Nachfolger der Software RiskPlan, einem Berechnungs- und Managementwerkzeug zur Abschätzung von Risiken in definierten Wirkungsräumen und zur Bestimmung der Kostenwirksamkeit von Schutzmassnahmen. Mit RiskPlan 2 ist es möglich, mehrere Objekträume und mehrere Gefahrenprozesse zu untersuchen, um eine regionale Übersicht der vorhandenen Risiken zu erhalten. Die Datengrundlagen für die Bestimmung des Schadenausmasses stellen Schätzungen dar. RiskPlan 2 hat daher eher Übersichtscharakter, eine detaillierte Risikoanalyse ist mit diesem Tool nicht vorgesehen. Neben Naturgefahrenrisiken eignet sich das Instrument auch für die Untersuchung von technischen und gesellschaftlichen Risiken. Der Zugriff auf RiskPlan 2 erfolgt über den Link `www.riskplan.admin.ch`.

EconoMe: EconoMe ist ein Online-Berechnungstool zur Bestimmung der Kosten-Wirksamkeit von Einzelprojekten und unterstützt primär die Projektbeurteilung und Mittelzuteilung der

Subventionsbehörden. EconoMe erlaubt eine Risikoanalyse basierend auf Durchschnittswerten und vereinfachten Annahmen sowie eine Beurteilung des Nutzen-Kosten Verhältnisses. Der Zugriff auf EconoMe erfolgt über den Link `www.econome.admin.ch`.

RIKO: Das in RIKO vorgestellte Konzept ist die Dokumentation und die methodische Grundlage für die beiden oben erwähnten Software-Tools. Der vorliegende Leitfaden versucht, die Grundlagen für eine risikobasierte Massnahmenplanung mit den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung auf höchster Detaillierungsstufe für in der Schweiz übliche Naturgefahren bereit zu stellen. Die detaillierteste Stufe verlangt, dass die Objekte individuell beurteilt werden. Die in EconoMe gemachten vereinfachten Annahmen zur Schadenempfindlichkeit, Letalität von Personen und räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit können bei fehlenden Grundlagen in erster Näherung jedoch auch für den vorliegenden Leitfaden verwendet werden.

Die Anwendung wird in erster Linie für die Prozesse Hochwasser, Lawine, Murgang, spontane und permanente Rutschung und Sturz dargestellt. In zweiter Linie werden Überlegungen angestellt, wie das Risikokonzept auch für andere Prozesse wie Erdbeben, Sturm, Hagel und Hitzewellen angewendet werden kann. Der Leitfaden richtet sich an Naturgefahrenexperten in der Privatwirtschaft sowie an Entscheidungsträger auf Stufe Gemeinde, Kanton und Bund. Voraussetzung für die Anwendung ist ein fundiertes Fachwissen auf dem Gebiet der Naturgefahren.

Der Leitfaden Risikokonzept hat Schnittstellen zu verschiedenen anderen Projekten im PLANAT-Aktionsplan 2005 - 2008. Abbildung 1 zeigt die Schnittstellen auf.

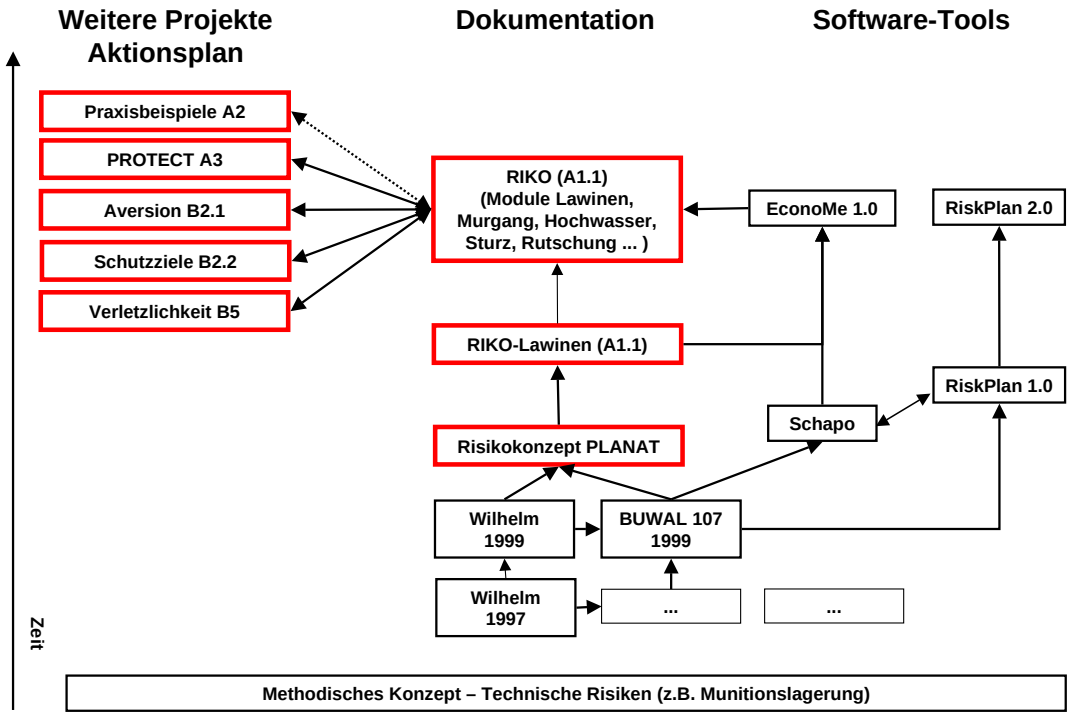


Abbildung 1: Abgeschlossene und laufende Projekte, die eine Schnittstelle zum Leitfaden Risikokonzept haben.

Struktur des vorliegenden Leitfadens

Der vorliegende Leitfaden ist aus zwei Teilen aufgebaut:

Teil A. Teil A zeigt die Grundgedanken des Risikokonzepts, nach welchem alle Naturgefahren beurteilt werden sollen. Für alle Prozesse übergreifend wird das Vorgehen in der Risikoanalyse und -bewertung sowie die Voraussetzungen und das Vorgehen für die Massnahmenplanung und -bewertung dargestellt. Der Teil A bildet somit das Fundament für das Verständnis der konkreten Anwendung des Risikokonzepts.

Teil B. In diesem Teil ist je anhand eines Fallbeispiel für die Prozesse Lawine, Hochwasser, Murgang, Sturz und Rutschung darstellt, wie das Risikokonzept angewendet werden soll. Weiter wird auch für die Prozesse Sturm, Hagel, Extremtemperaturen und Erdbeben gezeigt, wie das Risikokonzept angewendet werden kann. Die jeweiligen Kapitel im Teil B stehen für sich allein, setzen aber das Verständnis und das Wissen der Überlegungen aus Teil A voraus. Die Annahmen und Parameter, die für eine Risikoanalyse und Massnahmenplanung notwendig sind, werden jeweils bei den einzelnen Prozesskapiteln im Teil B dargestellt.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

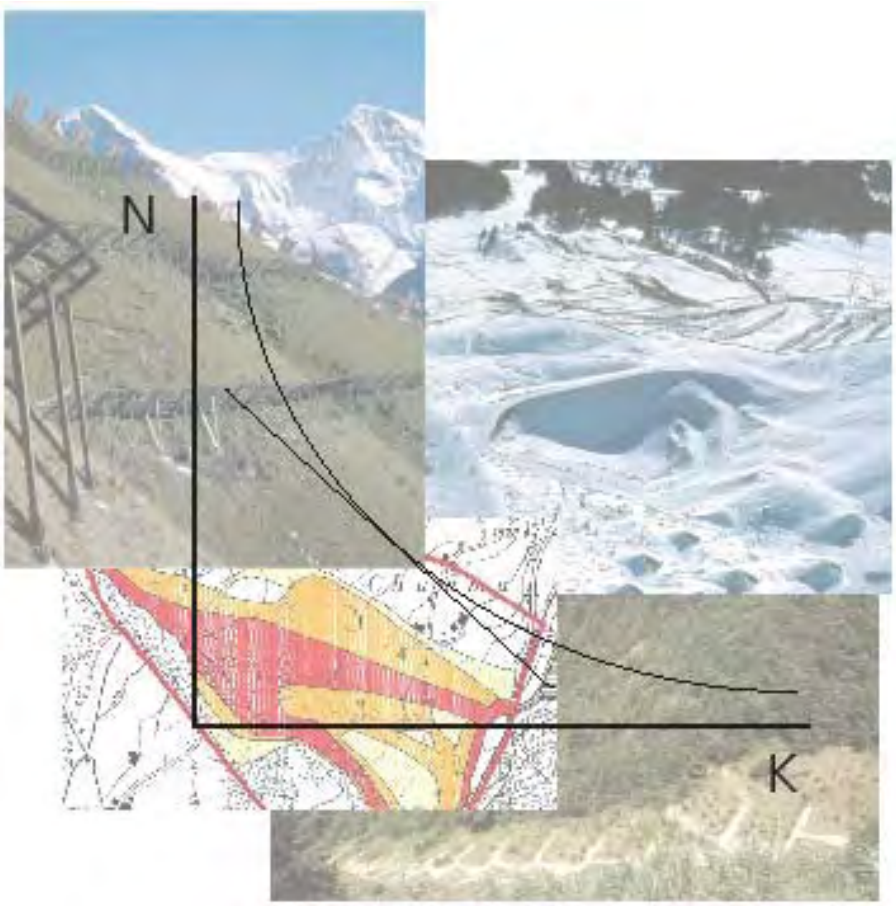
Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL A:
ALLGEMEINE DARSTELLUNG DES RISIKOKONZEPTS

Michael Bründl, Hans Romang, Niels Holthausen, Hans Merz, Nicole Bischof



Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Zweck und Grundmodell des Risikokonzepts

Das Risikokonzept ist ein Modell für die Analyse und Bewertung anspruchsvoller Sicherheitsprobleme und der damit einhergehenden Massnahmenplanung. Wie jedes Modell gibt es die Realität nur beschränkt wieder. Es stellt somit eine Konvention dar, mit welcher – im Sinne einer bewusst gelebten Risikokultur – ein einheitlicher und damit auch vergleichbarer Umgang mit Sicherheitsproblemen möglich ist.

Als Risikokonzept wird ein allgemeingültiger methodischer Ansatz verstanden, welcher die Abläufe bei der Beurteilung von Sicherheitsproblemen strukturiert. Dieser Ablauf einer risikobasierten Sicherheitsplanung wird in die Schritte Risikoanalyse, Risikobewertung sowie Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung unterteilt.

Der Ursprung des Risikokonzepts liegt im technischen Bereich. In den sechziger Jahren ging es zunehmend darum, sehr komplexe technische Systeme in Bezug auf die Sicherheit zu beurteilen. Das Risikokonzept diente vor allem dazu, die komplexen Zusammenhänge bei der Planung solcher Systeme qualitativ und soweit möglich quantitativ fassbar zu machen. Darauf basierend wurden Aussagen über die Sicherheit solcher Systeme bzw. die Vertretbarkeit der durch sie erzeugten Risiken gemacht sowie die Zweckmässigkeit und Zuverlässigkeit von Sicherheitskonzepten nachgewiesen. Zunehmend wurde das Risikokonzept aber auch eingesetzt, um Aussagen über die Effektivität und Effizienz solcher Konzepte machen zu können.

Heute dient das Risikokonzept als Instrument für die transparente Darstellung von Abläufen innerhalb des komplexen Netzwerkes von beteiligten Fachleuten, Institutionen und Betroffenen sowie zur transparenten Begründung bzw. Rechtfertigung der Ausgaben für Sicherheit.

Das Risikokonzept für den Umgang mit Risiken infolge Naturgefahren bildet einen Grundraster für den Umgang mit Sicherheitsbeurteilungen in den verschiedensten Anwendungsbereichen. Damit erlaubt es auch einen Erfahrungsaustausch und eine beschränkte Vergleichbarkeit der Risiken infolge Naturgefahren mit Risiken aus anderen Bereichen.

Die Grundidee des Risikokonzepts besteht aus drei Teilen, die sich mit den Fragen «Was kann passieren?», «Was darf passieren?» und «Was ist zu tun?» umschreiben lassen. Um diese Fragen beantworten zu können, sind folgende Schritte notwendig:

Risikoanalyse: Die Risikoanalyse besteht aus Gefahrenanalyse, Expositionsanalyse, Konsequenzenanalyse sowie der eigentlichen Risikoermittlung. Anhand von definierten Szenarien wird bestimmt, welche Faktoren und Umstände zum Gesamtrisiko beitragen. Werden bestehende Sicherheitsmassnahmen berücksichtigt, dann dient eine Risikoanalyse auch zur Beurteilung der Wirksamkeit dieser Massnahmen.
Risikobewertung: Die Risikobewertung zeigt auf, ob die ermittelten Risiken über oder unterhalb von festgelegten Bewertungskriterien (Schutzziele) liegen und ob ein Schutzdefizit besteht. Die Überprüfung der Schutzziele für kollektive Risiken kann erst nach einer Massnahmenplanung erfolgen.

Integrale Massnahmenplanung: Die integrale Massnahmenplanung setzt dann ein, wenn die Risiken zu hoch sind. Sie zeigt auf, mit welchen Massnahmen und Mitteln, welche Risikoreduktion möglich ist und welches das optimale Massnahmenpaket ist, um die Schutzziele zu erreichen.

Das systematische Vorgehen einer Risikoanalyse ist in Abbildung 1.1 dargestellt. Die im folgenden Text verwendeten Begriffe werden im Glossar erläutert.

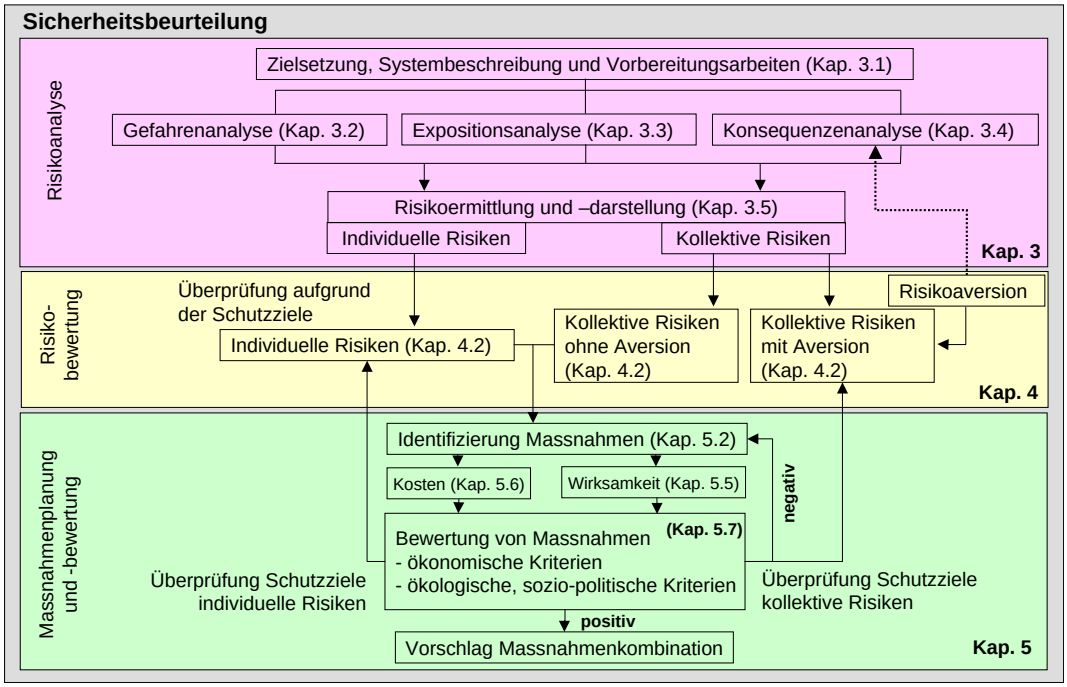


Abbildung 1.1: Elemente einer risikobasierten Planung von Sicherheitsmassnahmen.

Kapitel 2

Risikobegriff und Risikogrössen

2.1 Der Risikobegriff

Allgemein betrachtet bezeichnet das Risiko die Möglichkeit, dass eine unerwünschte Folge, d. h. im technischen-naturwissenschaftlichen Bereich ein Schaden, eintreten kann. Das Risiko kann daher als das Mass für den Umgang mit Sicherheit definiert werden, das an entsprechenden Risikogrössen gemessen und beurteilt wird. Das Risiko setzt sich zusammen aus:

- der **Häufigkeit** oder **Jährlichkeit** eines gefährlichen Ereignisses und
- dem **Schadenausmass**, das bestimmt wird durch die Anzahl Personen und die Sachwerte, die einem gefährlichen Ereignis zum Zeitpunkt seines tatsächlichen Eintrittes ausgesetzt sind sowie durch die Schadenempfindlichkeit der betroffenen Personen und Werte. Dabei können diese Werte ökonomische, ökologische oder soziale Dimensionen haben.

Zwischen den Begriffen Häufigkeit und Jährlichkeit besteht ein Zusammenhang, der in der Abbildung 2.1 dargestellt ist und der sich aus der Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion der Grösse eines Ereignisses ableitet [14]. Diese Funktion kann aus langjährigen Datenreihen abgeleitet werden. Die Jährlichkeit bezeichnet ein Zeitintervall, in dem ein bestimmter Wert, der einen Schaden verursacht, erreicht oder überschritten wird (z. B. Anrisshöhe bei Lawinen, Pegelstand bei Hochwasser, Blockgrösse bei Steinschlag). In Abbildung 2.1 (a) ist die Wahrscheinlichkeit dargestellt, dass ein Pegelstand einer bestimmten Jährlichkeit alle T^* Jahre erreicht oder überschritten wird.

In Abbildung 2.1 (b) ist die Häufigkeit eines Ereignisses dargestellt. In der Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion können Ereignisse mit einem Pegelstand $T*$ oder grösser in verschiedene Szenarien eingeteilt werden. Ein Szenario beinhaltet die Pegelständen zwischen T^* und T^1, ein zweites diejenigen zwischen T^1 und T^2 sowie ein drittes die Pegelständen zwischen T^2 und T^{max}. Die Häufigkeiten dieser drei Szenarien entsprechen den jeweiligen unterschiedlich schraffierten Flächen in der Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion. Die Häufigkeit kann daher als Differenz der jeweils angrenzenden Jährlichkeiten approximiert werden. Entspricht in Abbildung 2.1 (b) T^* = 30 Jahre (p_{30} = 0.033) und T^1 = 100 Jahre (p_{100} = 0.01), so beträgt die Häufigkeit des Szenarios zwischen T = 30 Jahre und T = 100 Jahre, $p_{30} - p_{100}$= 0.023. Risiken infolge Naturgefahren werden als **Schadenerwartungswert** definiert. Das Risiko kann als Schadenerwartungswert pro Zeiteinheit (z. B. CHF pro Jahr) oder pro Ereignis ausgedrückt werden.

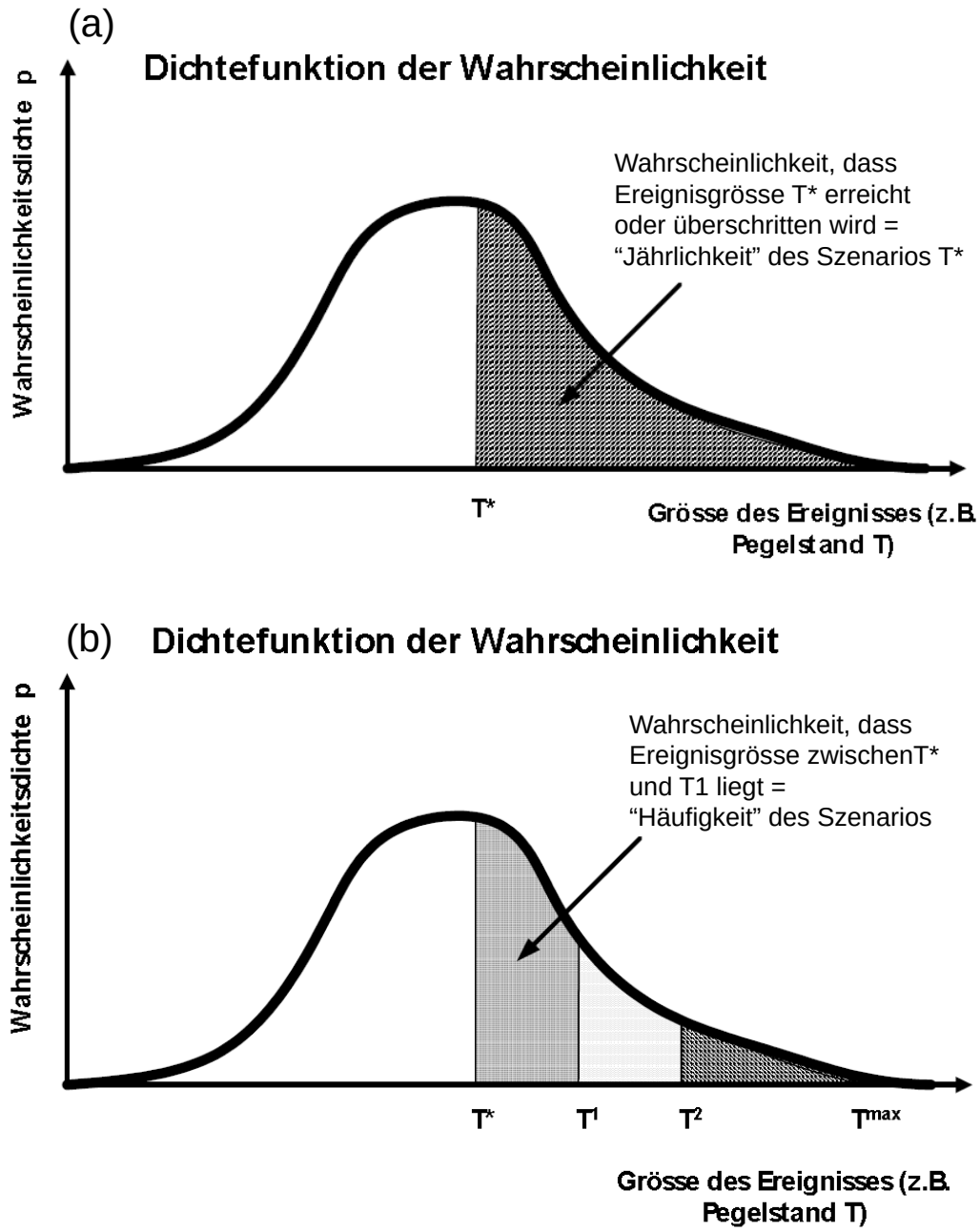


Abbildung 2.1: Darstellung von Jährlichkeit (a) und Häufigkeit (b) in einer Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion. (Grundlage: [14])

2.2 Die Risikoformel

Ein Risiko bzw. ein Schaden entsteht erst, wenn ein Objekt gefährlichen Wirkungen ausgesetzt ist und als Folge seiner Empfindlichkeit Schaden nehmen kann. Die Risikoformel zur Darstellung dieser Zusammenhänge lässt sich wie folgt formulieren:

$$R_{i,j} = p_j \cdot p_{i,j} \cdot A_i \cdot v_{i,j} \tag{2.1}$$

$$R_j = \sum_i R_{i,j} \tag{2.2}$$

$$R = \sum_j R_j \qquad \text{[Tf/a oder CHF/a]} \tag{2.3}$$

R = Kollektives Risiko als Summe über alle Szenarien j und Objekte i [CHF/a oder Tf/a].
p_j = Wahrscheinlichkeit des Szenarios j [-].
$p_{i,j}$ = Wahrscheinlichkeit, dass Objekt i dem Szenario j ausgesetzt ist [-].
A_i = Wert des Objektes i [CHF].
$v_{i,j}$ = Schadenempfindlichkeit des Objektes i in Abhängigkeit von Szenario j [-].

Die Formeln zeigen, dass bei gleicher Gefährdung aufgrund unterschiedlicher Schadenempfindlichkeiten unterschiedliche Risiken resultieren. Auch wenn diese Grössen je nach erforderlichem Detaillierungsgrad in der Anwendung des Risikokonzeptes nicht oder nur teilweise quantifiziert werden können, muss man sich dieser verschiedenen Faktoren und Zusammenhänge bei der Beurteilung von Risiken stets bewusst sein.

2.3 Gefährdete Personen und Objekte

Grundsätzlich sind in einer Risikoanalyse diejenigen Objekte zu berücksichtigen, welche für die Entscheidung über die notwendigen Sicherheitsmassnahmen im konkreten Fall massgebend sind. Einem Ereignis können entweder Personen oder Objekte oder aber beides ausgesetzt sein. Die Strategie der PLANAT «Sicherheit Naturgefahren Schweiz» [57] weist den Schutz von Menschenleben als prioritär aus, der Schutz von Sachwerten ist diesem Ziel nachgeordnet. In der Strategie der PLANAT wird aber auch auf Schutzbedürfnisse bei Infrastrukturen, Kulturgütern, politischen Gemeinwesen und sozio-ökonomischen Systemen hingewiesen.

Besondere Bedeutung haben daher Personen, die bei einem Naturereignis verletzt oder getötet werden können. Speziell zu behandeln sind Verletzte und die dabei entstehenden Folgekosten, die unter Umständen beträchtlich sein können. Grundsätzlich kann Personenschäden kein monetärer Wert zugeordnet werden. Um jedoch zusammen mit den Sachwerten ein Gesamtrisiko bestimmen zu können, wird den Personenschäden eine Geldeinheit zugeordnet, die sich aus der gesellschaftlichen Zahlungsbereitschaft zur Verhinderung von Todesfällen ableiten lässt (s.a. auch Abschnitt 4.2.3).

Gefährdete Objekte lassen sich in verschiedene Kategorien wie Gebäude (z. B. Wohnhäuser, Gewerbe- und Industriegebäude, Öffentliche Gebäude etc.), Sonderobjekte (z. B. Kraftwerk, Deponie, Wasserreservoir etc.), Infrastruktur Strasse und Schiene, mechanische Aufstiegshilfen, Leitungen sowie Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald einteilen. Der Schaden an Objekten kann

meist direkt in Geldeinheiten quantifiziert werden. Er entspricht dem Geldbetrag, der notwendig ist, um das Objekt wieder in den gleichen Zustand wie vor dem Ereignis zu versetzen. Dieser Wert wird auch als direkter Schaden bezeichnet.

Zusätzlich entstehen bei einem Naturereignis auch indirekte oder Folgeschäden. Dazu sind insbesondere Kosten infolge Betriebsunterbruch oder Verdiensteinbussen zu rechnen. Die Quantifizierung der indirekten Schäden kann sehr umfangreich, schwierig oder gar unmöglich sein. Problematisch kann auch die Abgrenzung zwischen betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Schäden sein. Aus den genannten Gründen werden indirekte Schäden häufig nicht oder nur unzureichend in Risikoanalysen einbezogen.

Neben den Schäden, die mehr oder weniger quantifiziert werden können, können auch Objekte betroffen sein, denen nicht ohne Weiteres ein ökonomischer Wert zugeordnet werden kann. Dazu sind vor allem Kulturobjekte zu zählen, die bei einem Schaden nicht oder unvollständig ersetzt werden können.

2.4 Risikogrössen für Todesopfer

2.4.1 Individuelles Risiko

Das individuelle Risiko bezeichnet das Risiko für den Einzelnen, d. h. es gibt die jährliche Wahrscheinlichkeit für eine Person an, in einer gegebenen Risikosituation zu Tode zu kommen. Das individuelle Risiko drückt damit die zusätzliche Wahrscheinlichkeit zur natürlichen Sterbewahrscheinlichkeit aus. Dargestellt in der Risikomatrix (Tabelle 3.5, Seite 36) ergibt sich das individuelle Risiko r_i einer Person aus der Summe von Risiken in allen möglichen Szenarien, in denen sich die Person befinden kann. Die Einheit des individuellen Risikos ist in der Regel die Sterbewahrscheinlichkeit pro Jahr oder auch pro Einheit einer bestimmten Tätigkeit (z. B. pro km Autofahren).

2.4.2 Kollektives Risiko

2.4.2.1 Personen

Das kollektive Risiko bezeichnet das Risiko für eine bestimmte Personengruppe oder Gemeinschaft. Übertragen auf die Risikomatrix (Tabelle 3.5, Seite 36) entspricht es dem Risiko R als Produkt der Häufigkeit eines Szenarios und dem wahrscheinlichen Schadenausmass.

Abbildung 2.2 verdeutlicht den Unterschied zwischen individuellem und kollektivem Risiko. In beiden Fällen ist das kollektive Risiko R gleich gross; der Erwartungswert an Todesopfern ist gleich gross. Im Fall (a) sind es drei Personen, die mit einem hohen, unter Umständen sogar sehr grossen (in diesem Fall aber gleichen) individuellen Risiko zum Gesamtrisiko R beitragen (z. B. Personen in einem besonders exponierten Wohnhaus). Im Fall (b) sind es viele Personen mit einem kleinen individuellen Risiko (z. B. Personen auf der Strasse). Im Fall (a) sind die potenziellen Opfer zudem in der Regel bekannt, im Fall (b) sind es zufällige Opfer aus einer grossen Anzahl von potenziell Betroffenen. Die Risikosituation ist somit immer durch das kollektive Risiko R und die Verteilung der individuellen Risiken bzw. die Form der resultierenden Risikofläche charakterisiert.

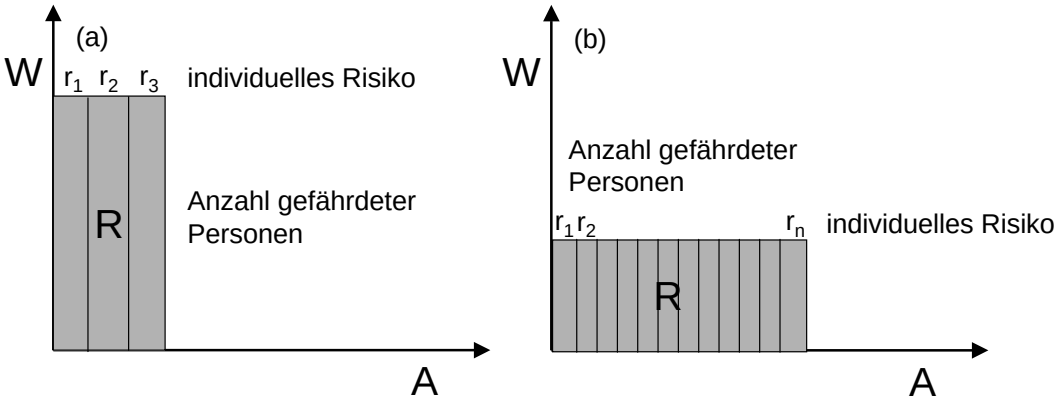


Abbildung 2.2: Unterschiedliches Ausmass von individuellen Risiken bei gleichem kollektivem Risiko R.

Für die Bewertung von Risiken ist dieser Unterschied ausschlaggebend. Die Risiken müssen daher immer aus diesen zwei Blickwinkeln ermittelt und beurteilt werden.

2.4.2.2 Sachwerte

Je nach Prozess haben nicht Personen sondern Sachwerte massgebenden Einfluss auf das Risiko (z. B. beim Prozess Hochwasser). Das kollektive Risiko in Bezug auf Sachwerte setzt sich zusammen aus der Summe des Schadenausmasses von jedem Objekt im Beurteilungsperimeter verknüpft mit der Häufigkeit des Szenarios. In der Risikomatrix lässt sich das Schadenausmass für jedes Objekt darstellen. Je nach Situation kann es sinnvoll sein, das Risiko für bestimmte, besonders bedeutsame Objekte gesondert darzustellen. Das Risiko in Bezug auf Sachwerte, ausgedrückt als Schadenerwartungswert, wird in Geldeinheiten pro Jahr (CHF pro Jahr) ausgedrückt.

Kapitel 3

Risikoanalyse

Das Ziel der Risikoanalyse ist die möglichst objektive Ermittlung der Risikogrössen für ein konkretes Schadenereignis, für ein spezifisches Objekt oder ein bestimmtes Gebiet. Dabei geht es sowohl um die Beurteilung der Ausgangssituation ohne Massnahmen, aber auch um die Beurteilung der Wirkung von Massnahmen. Letzteres ist insbesondere für die Massnahmenbewertung relevant (siehe Kapitel 5).

Eine Risikoanalyse wird in die folgenden Schritte unterteilt:

- **Zielsetzung, Abgrenzung und Vorbereitungsarbeiten:** Definition der Ziele einer Risikoanalyse, Abgrenzung des zu beurteilenden Gebietes sowie weitere Vorbereitungsarbeiten.
- **Gefahrenanalyse:** Ereignisanalyse (zur Festlegung der massgebenden Szenarien und ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit) und Wirkungsanalyse (zur Bestimmung der Intensitäten und des Ausmasses der Gefährdung).
- **Expositionsanalyse:** Identifikation von Art und Ort der gefährdeten Objekte (Personen und Sachwerte) sowie ihrer zeitlichen und örtlichen Präsenz (Expositionssituationen).
- **Konsequenzenanalyse:** Ermittlung des Schadenausmasses für die einzelnen Objekte (durch Verknüpfung von Anzahl und Wert der Objekte), der Schadenempfindlichkeit (Letalität), der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit des Prozesses, der Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen und Objekten sowie dem Objektschutz. Bestimmung und Darstellung ungewichtetes und gewichtetes Schadenausmass (mit Risikoaversion).
- **Risikoermittlung und -darstellung:** Ermittlung und Darstellung der massgebenden Risikogrössen (individuelles und kollektives Risiko).

Die konkrete Ausgestaltung der Risikoanalyse, insbesondere des Detaillierungs- und Quantifizierungsgrades, hängen in hohem Masse von der Gefahrenart und der Gefahrensituation insgesamt ab. Aber auch das Ziel und die Ansprüchen an die Risikoanalyse sowie der Kenntnisstand des Analysten und die Datenlage spielen eine Rolle. Unabhängig von den Ansprüchen an eine Risikoanalyse ist stets der dargelegten Systematik zu folgen.

3.1 Zielsetzung, Abgrenzung und Vorbereitungsarbeiten

Bevor eine Risikoanalyse durchgeführt werden kann, muss der Beurteilungsperimeter inhaltlich und geographisch abgegrenzt sowie das Ziel der Risikoanalyse definiert werden. Sodann gilt es die entsprechenden Grundlagen für die einzelnen Teilschritte zusammen zu tragen.

Vor Beginn der eigentlichen Sicherheitsbeurteilung sind mit der verantwortlichen Stelle (Auftraggeber) die Zielsetzung (inkl. dem Detaillierungsgrad) und die Abgrenzung des Beurteilungsperimeters festzulegen. Weitere Vorbereitungsarbeiten betreffen die Beschreibung des Beurteilungsperimeters sowie die Beschaffung und die Sichtung der verfügbaren Grundlagen. Festzulegen ist ferner die Projektorganisation (Beteiligte, Zuständigkeiten, Zusammenarbeit).

3.1.1 Zielsetzung

Das Ziel der Beurteilung hängt ab von der konkreten Problemlage und den erwarteten Resultaten. Wo steht das Problem im Entscheidungsprozess? Als wie kritisch wird die Situation beurteilt? Geht es vorerst nur um eine Grobbeurteilung als Entscheidungsgrundlage für die Beurteilung des Handlungsbedarfs und des weiteren Vorgehens, oder geht es bereits um eine möglichst detaillierte Planung und Beurteilung von Massnahmen? Welche Faktoren beeinflussen den Entscheidungsprozess? Aufgrund dieser Fragen ist das Ziel der Beurteilung zu präzisieren.

Aufgrund der Zielsetzung und der Situationsanalyse sind der notwendige und gerechtfertigte Detaillierungsgrund bzw. der Aufwand für die Beurteilung festzulegen. Es ist insbesondere zu beurteilen, ob der Aufwand für eine sorgfältige Beurteilung gemäss diesem Leitfaden die damit ermöglichte Kostenoptimierung für Massnahmen rechtfertigt. Der zweckmässige Detaillierungsgrad bzw. die nötige Sorgfalt der Analyse und Beurteilung hängen dabei auch von den rechtlichen Rahmenbedingungen ab (Sorgfaltspflicht).

3.1.2 Abgrenzung und Beschreibung des Beurteilungsperimeters

Die Abgrenzung und Beschreibung des Beurteilungsperimeters hängt ebenfalls wesentlich zusammen mit der Situationsanalyse und der Zielsetzung der Beurteilung. Sie ist

- geographisch (räumliche Ausdehnung des Beurteilungsperimeters) und
- inhaltlich (Gefahrenquellen, Objekte, Schadenarten, Nebeneffekte)

vorzunehmen.

3.1.3 Vorbereitungsarbeiten

3.1.3.1 Beschaffung und Sichtung der verfügbaren Grundlagen

Die Grundlagenbeschaffung für die Sicherheitsbeurteilung umfasst das verfügbare Kartenmaterial, Luftbilder, Ereigniskataster, technische Berichte und Gutachten (auch zu ähnlichen Situationen), Zeitungsberichte, mündliche Erfahrungsberichte, etc. Dazu gehören auch Daten zu menschlichen

Aktivitäten im Beurteilungsperimeter inkl. deren potenzielle zukünftige Entwicklung sowie Daten zu natürlichen Gegebenheiten inkl. Vegetation, meteorologische Daten, etc.

3.1.3.2 Projektorganisation und Zuständigkeiten

Jede Sicherheitsbeurteilung ist in einen Kontext eingebettet, welcher verschiedene Beteiligte aber auch Betroffene umfasst. Der Umgang mit dem organisatorischen Umfeld bzw. der Kontext der Beurteilung gehört ebenfalls zu den Vorabklärungen.

Insbesondere ist klarzustellen, wer für die nötigen Festlegungen und Entscheide betreffend die Beurteilung und das allgemeine Vorgehen zuständig ist. In der Regel ist dies der Auftraggeber. Ferner ist festzulegen, welche und in welcher Weise weitere Stellen und Personen einzubeziehen sind und an welche Adressen Informationen weiter gegeben werden dürfen bzw. müssen.

3.2 Gefahrenanalyse

Die in der Gefahrenanalyse ermittelten oder definierten Parameter bilden die Grundlage für die Berechnung der Risiken. Die Gefahrenanalyse lässt sich in Ereignisanalyse und Wirkungsanalyse unterteilen. Die Ereignisanalyse identifiziert die zu berücksichtigenden Gefahren und legt die massgebenden Szenarien fest. Die Wirkungsanalyse bestimmt Art, Ausdehnung und Intensität der gefährlichen Prozesse. Das Ergebnis der beiden Teilschritte und damit der Gefahrenanalyse sind Intensitätskarten für jedes der massgebenden Szenarien (Darstellung der Wirkungen je Szenario).

3.2.1 Ereignisanalyse

Zunächst werden in der **Ereignisanalyse** mit Hilfe verschiedener Datenquellen (z. B. Ereigniskataster, Luftbild- und Geländeanalyse) die relevanten Gefahren identifiziert. Die Auswertung der erwähnten Grundlagen erlaubt, zusammen mit weiteren Informationen und entsprechend dem aktuellen Stand des Wissens, die Festlegung der massgebenden Ereignisszenarien als Resultat der Ereignisanalyse. Grundsätzlich ist vom Ist-Zustand auszugehen. Mögliche veränderte Ereignisabläufe können einbezogen werden, müssen aber klar als solche gekennzeichnet werden. Ferner ist den Wechselwirkungen mit menschlicher Infrastruktur (z. B. Verklausung) Beachtung zu schenken. Die Szenarienbildung kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen (Abbildung 3.1):

- Aus Katasterdaten lässt sich die Wahrscheinlichkeit eines Szenarios (p = 0.083) über die Jährlichkeit T eines Prozesses bestimmen (z. B. Anzahl beobachteter Lawinen pro Zeitraum in einem Strassenabschnitt ergibt T = 12 Jahre) (Abbildung 3.1(a)).
- Die möglichen Ereignisgrössen werden mit Hilfe von Szenarien bestimmter Jährlichkeit kategorisiert. Aus Vergleichbarkeitsgründen werden in der Schweiz Klassen mit Jährlichkeiten von 0 bis 30 Jahre, 30 bis 100 Jahre, 100 bis 300 Jahre und 300 Jahre definiert. Für den Prozess Hochwasser wird auch noch jeweils ein Ereignis EHQ angenommen, das den Extremfall dargestellt. Die Jährlichkeit des EHQ liegt etwa im Bereich 500 bis 1000 Jahre (Abbildung 3.1(b)).

- Das komplexe Zusammenwirken verschiedener Ereignisabläufe wird mit Hilfe eines Ereignisbaumes modelliert (Abbildung 3.1(c)).
- Die Szenarien werden durch Expertenmeinungen festgelegt.

Letztere Möglichkeit ist vor allem beim pragmatischen Ansatz relevant, kommt jedoch auch bei der Überprüfung von modellierten Szenarien zur Anwendung. Der pragmatische Ansatz zum Umgang mit Naturgefahren bezeichnet ein Verfahren, in dem im Rahmen von Workshops zusammen mit Experten und Vertretern verschiedener Bereiche Grobabschätzungen über die Risikoverteilung in einer Region vorgenommen werden [14, 5].

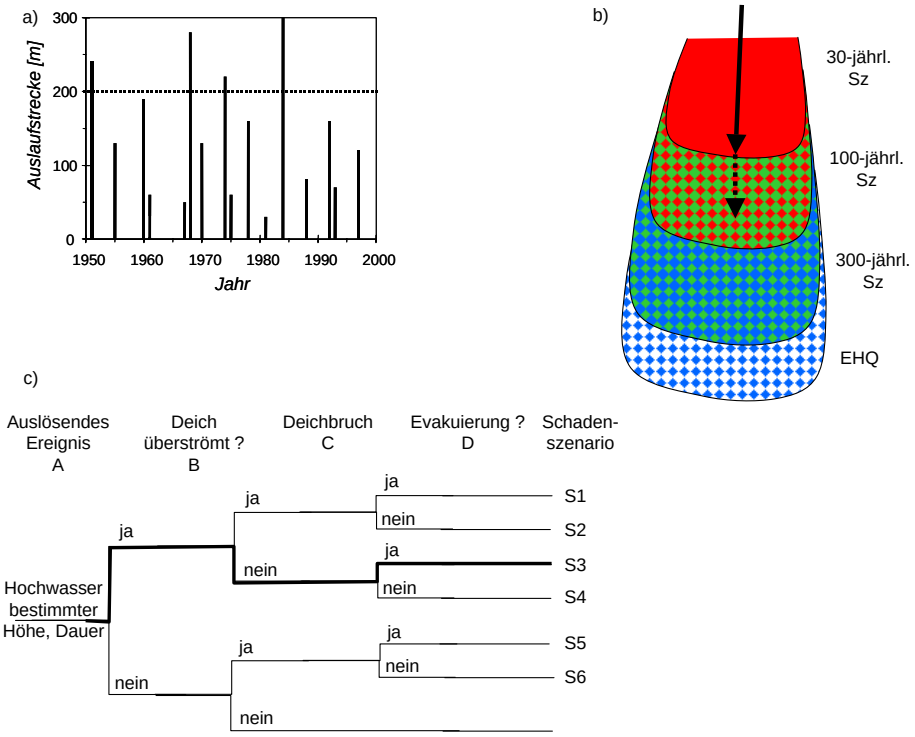


Abbildung 3.1: Möglichkeiten der Szenarienbildung. Im Fall (a) kann die Jährlichkeit eines Prozesses aus einer Beobachtungsperiode berechnet werden. Zum Beispiel wurden im Zeitraum von 48 Jahren verschiedene Lawinenereignisse entlang einer beliebigen Verkehrsachse beobachtet. Dabei traten im Beobachtungszeitraum insgesamt 16 Lawinen auf, vier davon erreichten eine Auslaufslänge von 200 m. Daraus lässt sich eine Jährlichkeit von 12 Jahren errechnen (nach [84]). Im Fall (b) werden drei Szenarien mit einer Jährlichkeit von T = 30 Jahre, T = 100 Jahre und T = 300 Jahre gebildet. Der Raum jenseits des 300-jährlichen Ereignisses wird nicht mehr betrachtet. Im Fall (c) werden Szenarien mit Hilfe eines Ereignisbaumes gebildet.

3.2.2 Wirkungssanalyse

In der **Wirkungsanalyse** werden Art, Ausdehnung und Intensität der Gefährdung durch die festgelegten Szenarien bestimmt. Die Intensität entspricht der physikalischen Wirkung des Prozesses,

die je nach Prozesstyp unterschiedlich ist (z. B. die Überflutungshöhe oder das Produkt aus Überflutungshöhe und Fliessgeschwindigkeit bei Hochwasser).

Die Intensitäten in den Szenarien werden mit Angaben aus dem Kataster aber auch mit Hilfe von Modellrechnungen und Simulationen abgeschätzt, wobei ein vereinfachtes Bild des natürlichen Systems erstellt wird. Das Ergebnis sind Intensitätskarten. Intensitätskarten sind eine notwendige Voraussetzung für detaillierte Risikoanalysen und können nur sehr bedingt durch Gefahrenkarten ersetzt werden, da in einer Gefahrenkarte Intensität und Häufigkeit nicht getrennt dargestellt sind. Für eine Risikoanalyse ist es aber notwendig zu wissen, wo und wie oft mit welcher Intensität zu rechnen ist.

Aus Vereinfachungsgründen wird es in den meisten Fällen sinnvoll sein, die abgeschätzten bzw. berechneten Intensitäten in Klassen einzuteilen. Eine Möglichkeit der Abgrenzung dieser Klassen folgt den in der Naturgefahrenliteratur verankerten Konventionen (geringe, mittlere und starke Intensität). Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass mit einheitlichen Klassen gearbeitet wird, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Für die Prozesse Lawine, Hochwasser und Murgang, Sturz und Rutschung wurden die Abgrenzungskriterien für die Intensitätsklassen in Richtlinien und Empfehlungen des Bundes festgelegt [10, 47, 45].

Bei nicht-gravitativen Prozessen ist im Fall von Wind die Windgeschwindigkeit und deren Dauer von Bedeutung, bei Hagel die Korngrösse der Hagelkörner. Bei temperaturbedingten Prozessen (Hitze und Kälte) ist die Anzahl von Tagen über- bzw. unterhalb einer bestimmten Tagesdurchschnittstemperatur ein relevantes Abgrenzungskriterium für die Intensität.

3.3 Expositionsanalyse

In der Expositionsanalyse werden die potentiell gefährdeten Objekte im Beurteilungsperimeter identifiziert und hinsichtlich Lage, Anzahl, Art, Nutzung und Wert qualitativ bzw. quantitativ beschrieben. Eine Risikoanalyse geht grundsätzlich vom Ist-Zustand aus, das heisst, es werden nur diejenigen Objekte erfasst, die auch tatsächlich zum Zeitpunkt der Beurteilung vorhanden sind. Das Schadenpotential ist jedoch über die Zeit nicht konstant, sondern verändert sich. Eingezonte Gebiete im blauen Gebiet, die als Baugebiet ausgeschieden sind, können z. B. in fünf bis zehn Jahren nach einer Beurteilung bebaut sein, wodurch sich das Schadenpotential beträchtlich erhöhen kann, was wiederum das Risiko beeinflusst. Es bietet sich daher im Einzelfall an, diese Gebiete separat zum Ist-Zustand in die Planung einzubeziehen, um eine zukünftige Entwicklung des Risikos und ihr Einfluss auf die Massnahmenplanung beurteilen und gegebenenfalls berücksichtigen zu können. Die mögliche zukünftige Entwicklung muss jedoch in jedem Fall deutlich als solche gekennzeichnet sein.

Die Objekte und die zu beurteilenden Gebiete lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

- Objekte, deren Zahl und Aufenthaltsort sich über die Zeit gesehen nicht verändert (ortsfest, fixe Objekte).
- Objekte, die zeitlich und örtlich variabel sind (Fahrzeuge, mobile Einrichtungen) und zum Beurteilungzeitpunkt als gegeben angenommen werden müssen.

- Personen mit einem Aufenthaltsort entweder in fixen oder variablen Objekten, die zum Zeitpunkt der Beurteilung angenommen werden.
- zukünftige Entwicklung (Zu- oder Abnahme) von ortsfesten Objekten und Personen als separate Eingangsgrössen für die Beurteilung einer Risikoentwicklung.

3.3.1 Identifizierung der ortsfesten Objekte

Für die potentiell gefährdeten, ortsfesten Objekte sind die in Tabelle 3.1 angegebenen Daten zu erheben. Diese Angaben sind Grundlage für die Ermittlung des Schadenausmasses, auf die in Abschnitt 3.4 eingegangen wird. Die so bestimmten Schäden entsprechen dem direkten Schaden, der in Folge der angenommenen Szenarien zu erwarten ist.

Tabelle 3.1: Direkte Grössen und Angaben zu potentiell gefährdeten Objekten.

Objektart	**direkte Grössen**
Gebäude, Sonderobjekte	Lage, Anzahl Gebäude, Anzahl Personen pro Gebäude, monetärer Wert
Infrastrukturen	Lage, Nutzung, Bauart, Objektschutz, monetärer Wert
Strasse, Schiene	Lage, Länge, Besetzungsgrad
mechanische Aufstiegshilfe	Transportanlage, monetärer Wert, Objektschutz
Leitungen, Versorgung	Lage, Länge, monetärer Wert, Schutz
Landwirtschaft	Lage, Fläche, monetärer Wert
Wald	Lage, Fläche, monetärer Wert
Erholungsflächen	Lage, Fläche, monetärer Wert

Neben den direkten Schäden treten bei praktisch jedem Naturereignis auch indirekte Folgen auf. Diese entstehen durch die eingeschränkte Funktion von Objekten (z. B. beschädigter oder gesperrter Verkehrsweg, beschädigter Gewerbe- oder Industriebetrieb) für den Eigentümer oder Betreiber. Bei einigen Objekten stellen die indirekten Folgen den grösseren Anteil in Bezug auf die Schäden dar, als die direkten Schäden. Ein Beispiel dafür sind Bahnen mit einer gesetzlichen Fahrplanpflicht, da bei einem Unterbruch ein kostspieliger Ersatzbetrieb aufgebaut werden muss. Die direkten Schäden, wie z. B. leichte Schäden an Gleisanlagen bei einem Lawinenniedergang bzw. Räumungskosten fallen dagegen praktisch kaum ins Gewicht. Da indirekte Folgen jedoch meist schwer zu ermitteln sind, ist auf eine Dokumentation der gemachten Annahmen und eine sehr gute Nachvollziehbarkeit zu achten. Einige Beispiele für indirekte Folgen sind in Tabelle 3.2 angegeben.

3.3.2 Identifizierung von Personen und variablen Objekten

Für mobile Sachwerte wie Fahrzeuge, Zelte, Festeinrichtungen usw. ist zu bestimmen, ob sie in der Zeit, in der ein gefährlicher Prozess auftreten kann, tatsächlich im gefährdeten Gebiet vorhanden sind. Falls dies gegeben ist und ein beträchtlicher Schaden erwartet werden kann, sind diese in die Risikoanalyse einzubeziehen.

Tabelle 3.2: Indirekte Grössen und Angaben zu potentiell gefährdeten Objekten.

Objektart	**indirekte Grössen**
Gebäude, Sonderobjekte, Gewerbe, Industrie	Kosten Betriebsunterbruch
Infrastrukturen	Kosten Unterbruch
Strasse, Schiene, mechanische Aufstiegshilfe	Kosten Unterbruch (z. B. Staukosten)
Leitungen, Versorgung	Kosten Unterbruch
Landwirtschaft	Ertragsausfall
Wald	fehlender Schutz vor Naturgefahren
Erholungsflächen	Ertragsausfälle

Für den Umgang mit Personen ist zunächst zu entscheiden, ob diese für den untersuchten Prozess im Vordergrund stehen. Sodann ist zu entscheiden, ob die Annahme einer durchschnittlichen Belegung der Objekte eine ausreichende Genauigkeit liefert oder ob die Zahl der anwesenden Personen zu verschiedenen Zeiten stark schwankt.

Wenn von Durchschnittswerten ausgegangen wird, dann ist neben der durchschnittlichen Belegung der jeweiligen Objekten mit Personen ($N(P)$) auch die Präsenzwahrscheinlichkeit $p(pr)$ der Personen in den Objekten zu bestimmen. Darunter wird die Wahrscheinlichkeit verstanden, dass Personen bei Eintritt eines gefährliches Prozesses in gefährdeten Objekten anwesend sind. Das Produkt aus der Belegung der Gebäude ($N(P)$) und der Präsenzwahrscheinlichkeit ($p(pr)$) ergibt die tatsächliche Belegung der Objekte mit Personen. Wird zum Beispiel angenommen, dass pro Wohnung im Mittel 2.24 Personen ($N(P)$= 2.24) wohnen, sich diese täglich im Mittel während 12 Stunden in ihren Häusern aufhalten und der Prozess während des ganzen Jahres auftreten kann, dann beträgt die Präsenzwahrscheinlichkeit $p(pr) = 0.5$ und damit die angenommene Anzahl der tatsächlich anwesenden Personen pro Wohnung 1.12 Personen ($N(P) \cdot p(pr) = 1.12$).

3.3.3 Unterscheidung von Expositionssituationen

Wenn die Anzahl der potentiell exponierten Personen über einen betrachteten Zeitraum stark schwankt und das Personenrisiko im Vordergrund der Betrachtungen liegt (z. B. bei den Prozessen Lawine, Murgang, Sturz), dann bietet sich die Modellierung dieser variierenden Personenzahl anhand so genannten Expositionssituationen an. In allen übrigen Fällen kann mit einer durchschnittlichen Anzahl von Personen in den Objekten gearbeitet werden.

Unter einer Expositionssituation wird eine gleich bleibende Verteilung von Personen im Gefahrenbereich während einer gewissen Dauer verstanden[1]. Charakterisiert wird eine Expositionssituation durch eine bestimmte Dauer und durch die effektive Anzahl von Personen ($N(Peff)$) bei oder in einem Objekt. Typischerweise werden Expositionssituationen in eine **Grundsituation** und eine oder mehrere **Sondersituationen** unterteilt.

[1] Ein einfaches Bild einer Expositionssituation ist ein Schnappschuss, wobei die Belichtungszeit der Situationsdauer entspricht.

Eine **Grundsituation** umschreibt eine konstante Anzahl von Personen über einen längeren Zeitraum, z. B. in Wohnhäusern. Die Grundsituation deckt den Grossteil der Zeit ab; ihr Anteil ist daher relativ hoch, z. B. 75 % der Gesamtzeit.

Mit **Sondersituationen** werden Fälle beschrieben, in denen während vergleichsweise kurzer Zeit grosse Personengruppen exponiert sind. Beispiele für Sondersituationen sind Zugsdurchfahrten, Durchfahrten von voll besetzten Reisebussen auf der Strasse, Verkehrsstau auf der Strasse, Durchmarsch grösserer Wandergruppen, eine Open-Air Veranstaltung mit Hunderten oder gar Tausenden von anwesenden Personen, ein vollbesetztes Schulhaus, Ferienheim oder Hotel, eine Hochzeit in einer Kirche usw. Trifft ein Ereignis mit einer Sondersituation zeitlich und räumlich zusammen, dann ist unter Umständen mit einer grossen Anzahl von Opfern zu rechnen. Das damit verbundene hohe Schadenausmass wird mit dem reinen Schadenerwartungswert nur unzureichend ausgedrückt, da solche Ereignisse für die verantwortliche Institution und Gemeinschaft ein überproportionales schweres Ereignis bedeutet.

Ein Einbezug solcher Situationen mit einer durchschnittlichen Anzahl von anwesenden Personen würde daher zu verzerrten Ergebnissen führen. Zudem liefert der Beitrag der Risiken aus Expositionssituationen wichtige Hinweise für die Massnahmenplanung. Trägt z. B. eine Expositionssituation in beträchtlichen Umfang zum Gesamtrisiko bei, dann muss einer Risikoreduktion dieser Expositionssituation vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die Überlagerung verschiedener Sondersituationen mit den Grundsituationen führt zur Ausscheidung von verschiedenen Expositionssituationen, die durch die Anzahl der anwesenden Personen und ihre Dauer gekennzeichnet sind. Die Dauer der Expositionssituationen ergibt sich aus der Kombination der Sondersituationen mit den Grundsituationen.

Graphisch lassen sich Expositionssituationen und die zeitlichen Anteile der einzelnen Expositionssituationen im Verhältnis zur Gesamtzeit mit einem Ereignisbaum ableiten und darstellen (Abbildung 3.2).

Die Abbildung 3.2 zeigt anhand eines willkürlichen Beispiels die verschiedenen resultierenden Kombinationen. Sie unterscheiden sich durch die Anzahl der während der Zeitabschnitte anwesenden Personen in den verschiedenen Objekten und der Länge der Zeitabschnitte. Das Beispiel lässt auch vermuten, dass bei Annahme mehrerer Sondersituationen die Gesamtzahl der Expositionssituationen rasch gross werden kann. In den meisten Fällen wird es daher sinnvoll sein, mit einer Grund- und wenigen Sondersituationen die Realität abzubilden. So dürften meist eine bis drei Sondersituationen ausreichend sein, um die Realität mit einem verhältnismässigen Aufwand abzubilden[2]. Der Entscheid, wie viele Sondersituationen unterschieden werden, muss pro Fallbeispiel gefällt werden. Für viele Fälle dürfte die Ausscheidung von folgenden Situationen sinnvoll sein:

1. Normale Belegung der Häuser mit anwesender Wohnbevölkerung, normale Verkehrsfrequenz, wenig Personen im Freien (hoher Zeitanteil, z. B. Situationsdauer$_k$ (SD_k) $= 0.75$, d. h. an 75 von 100 Tagen ist diese Situation massgebend).

[2]Durch Unterstützung mit einer geeigneten Software kann der Umgang mit mehreren Expositionssituationen erheblich vereinfacht werden. Beispiele hierfür gibt es aus dem Bereich Umgang mit der Munitionslagerung (Software RIMANA Version 4).

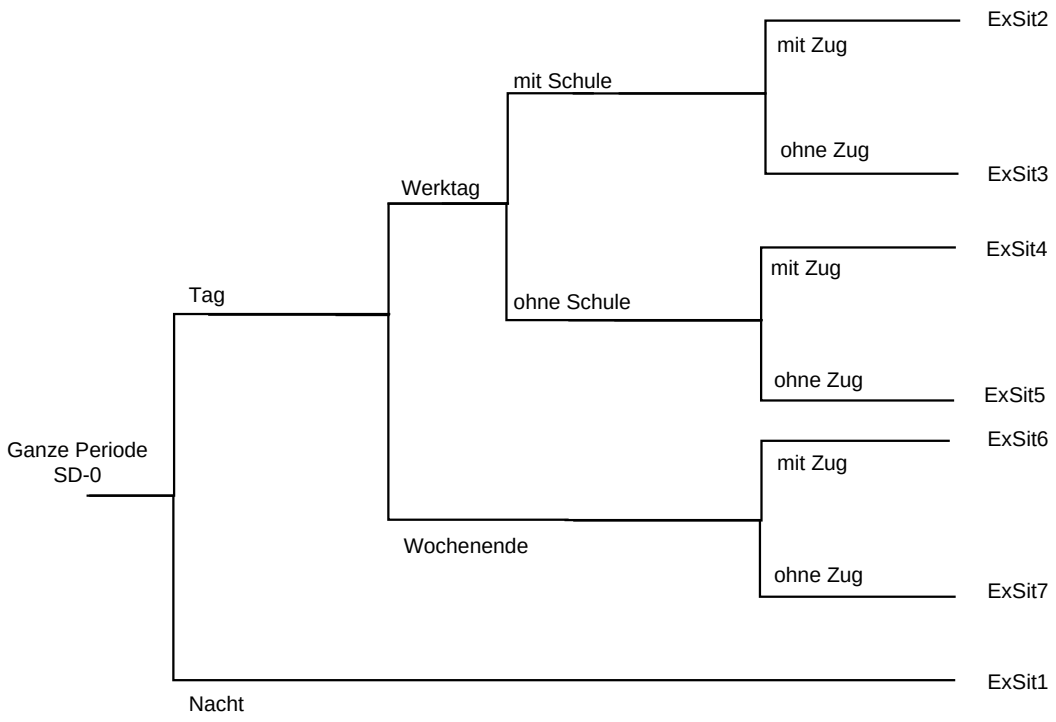


Abbildung 3.2: Darstellung von Expositionssituationen als Ereignisbaum.

2. Erhöhte Präsenz von Personen in Häusern, auf der Strasse (höherer durchschnittlicher Tagesverkehr (DTV)) und im Freien an Wochenenden oder in der Nacht bzw. in der Ferienzeit in Tourismusgebieten (mittlerer bis kleiner Zeitanteil, z. B. $SD_k = 0.23$, d. h. an 23 von 100 Tagen ist diese Situation massgebend).

3. Sondersituation. Beispiel: Durchfahrt von Zügen oder stark besetzten Reise- oder Linienbussen durch den gefährdeten Bereich. Ein Zug bzw. ein Bus halten sich nur während einer vergleichsweise kurzen Durchfahrtszeit im gefährdeten Bereich auf, gleichzeitig befindet sich aber eine grosse Anzahl von Personen im gefährdeten Bereich. Es entsteht eine Risikospitze. Weitere denkbare Sondersituationen sind auch ein Stau auf einer Strasse oder eine Open-Air Veranstaltung mit zahlreichen Besucherinnen und Besucher während einigen Stunden (sehr kleiner Zeitanteil, z. B. $SD_k = 0.02$, d. h. an 2 von 100 Tagen liegt diese Situation vor).

Nach Festlegung der verschiedenen Situationen werden für die einzelnen Objekte diejenigen Werte ermittelt, die für die verschiedenen Situationen charakteristisch sind:

Gebäude: Anzahl der in den einzelnen Situationen effektiv anwesenden Personen $N(Peff)$.

Strasse: Verkehrsfrequenz DTV_k, Besetzungsgrad der Fahrzeuge β_k, Geschwindigkeit der Fahrzeuge im gefährdeten Streckenabschnitt v in den einzelnen Situationen.

Bahn: Frequenz der Züge Fz_k, Zuglänge $l(z)$, Besetzungsgrad β_k, und Geschwindigkeit des Zuges v im gefährdeten Streckenabschnitt in den einzelnen Situationen.

Personen im Freien oder anderen Anlagen: Anzahl der in den einzelnen Situationen effektiv anwesenden Personen $N(Peff)$.

Wie in Abbildung 3.2 gezeigt, ergeben sich aus den Kombinationen dieser Situationen verschiedene Expositionssituationen. Die Dauer sämtlicher Expositionssituationen ergibt die volle Zeitspanne, das heisst die Summe der Zeitanteile der einzelnen Expositionssituationen ergibt den Wert 1 oder 100 %.

Der Zeitanteil von Expositionssituationen (SD_k) für Personen in nicht bewegten Objekten (Gebäude, fest Aufenthaltsorte im Freien) errechnet sich als Verhältnis der betrachteten Stunden, Tage oder Wochen zum gesamten betrachteten Zeitraum (z. B. Sommerhalbjahr) nach folgender Formel:

$$SD_k = \frac{t(pr)_k}{t(ha)} \qquad [-] \tag{3.1}$$

wobei:

SD_k	=	Zeitanteil einer Expositionssituation k.
$t(pr)_k$	=	Aufenthalt in Stunden, Tagen oder Wochen in Expositionssituation k.
$t(ha)$	=	Zeitdauer (Stunden, Tage, Wochen), in der sich ein Prozess ereignen kann. Die potentielle Gefahrenzeit unterscheidet sich je nach Prozess. Beim Prozess Lawinen kann z. B. vereinfacht nur das Winterhalbjahr angenommen werden, beim Prozess Murgang z. B. vor allem die Sommermonate.

Bei Situationen in denen Personen sich in bewegten Objekten aufhalten, ergibt sich die Dauer einer Situation aus der Häufigkeit der Durchfahrt, der Länge des gefährdeten Abschnitts und der gefahrenen Geschwindigkeit. Für die Sondersituation «Durchfahrt eines Zuges» errechnet sich die Dauer der Sondersituation nach folgender Formel:

$$SD(B)_k = \frac{Fz_k \cdot (g + l(z))}{v} \cdot \frac{t(pr)_k}{t(ha)} \qquad [-] \tag{3.2}$$

wobei:

$SD(B)_k$	=	Zeitanteil der Sondersituation Zugdurchfahrt während einer Situation k.
Fz_k	=	Frequenz der Züge während eines Tages.
g	=	Länge der gefährdeten Strecke [m].
$l(z)$	=	Länge des Zuges [m].
v	=	Durchschnittsgeschwindigkeit des Zuges [km/h].
$t(pr)_k$	=	Präsenzzeit in Stunden, Tagen oder Wochen in Expositionssituation k.
$t(ha)$	=	Zeitdauer (Stunden, Tage, Wochen), in der sich ein Prozess ereignen kann.

Für Autos oder Reisebusse darf man vereinfacht von Punktobjekten ausgehen, weshalb die Zuglänge $l(z)$ nicht berücksichtigt werden muss. Die Bestimmung des Zeitanteils SD_k funktioniert jedoch nach dem gleichen Prinzip.

3.3.4 Entwicklung des Schadenpotentials

Wie bereits eingangs dieses Abschnitts erwähnt, ist das Schadenpotential keine statische Grösse, sondern sie verändert sich mit der Zeit. Um die Entwicklung des Risikos in einem Gebiet in die

Massnahmenplanung einzubeziehen, kann es je nach Projekt sinnvoll sein, zusätzlich zur Erhebung des Ist-Zustandes Annahmen zur Entwicklung des Schadenpotentials zu machen. Folgende Grössen sollten in die Betrachtung einbezogen werden:

- Veränderung der Anzahl Gebäude und Sonderobjekte;
- Veränderung der Infrastruktur;
- Veränderung der Anzahl und der Länge von Verkehrswegen (Strasse und Schiene);
- Veränderung von Leitungen zur Energieversorgung, Telekommunikation, Wasser und Abwasser;
- Veränderung der Frequenz von Fahrzeugen auf Strasse und Schiene;
- Veränderung der Anzahl von durchschnittlich anwesenden Personen in Gebäuden und auf Verkehrswegen;
- Zeitraum der erwarteten Zunahme.

3.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse[3] wird durch Überlagerung der Intensitätskarten und der potentiell gefährdeten Objekte unter Einbezug von Schadenempfindlichkeit (bei Personen zusätzlich der Einbezug der Letalität), der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit und der Präsenzwahrscheinlichkeit das Schadenausmass im Ereignisfall für jedes Objekt einschliesslich anwesender Personen für alle betrachteten Ereignisszenarien und Expositionssituationen bestimmt.

3.4.1 Berechnungsfaktoren in der Konsequenzenanalyse

3.4.1.1 Schadenempfindlichkeit

Der Begriff **Schadenempfindlichkeit** wird in diesem Leitfaden als Charakterisierung des Ausmasses einer Beeinträchtigung verstanden, welche ein Objekt (wie z. B. Gebäude oder Infrastruktur) unter einer bestimmten Prozesseinwirkung erfährt. Die Schadenempfindlichkeit (SE) ist je nach Prozessart und Intensität verschieden und wird mit einem Wert zwischen 0 (keine Beeinträchtigung) und 1 (totale Beeinträchtigung = Totalschaden) quantifiziert. Der Begriff Schadenempfindlichkeit wird häufig als Synonym für den Begriff Verletzlichkeit verwendet.

Der Begriff Verletzlichkeit ist jedoch weiter gefasst und schliesst neben der negativen Beeinträchtigung von Objekten auch die von technischen oder gesellschaftlichen Systemen ein [38]. Verletzlichkeit kann daher in eine «technische» oder «soziale» Verletzlichkeit unterteilt werden [48]. Der Begriff «technische Verletzlichkeit» wird vor allem für die Beeinträchtigung von technischen Systemen verwendet.

Unter Verletzlichkeit von technischen Systemen wird die Beeinträchtigung von Systemen wie z. B. Warnsystemen, Elektrizitäts- bzw. Energieversorgung, Wasserversorgung, Kommunikationsnetzen

[3] auch Folgenanalyse oder in den Technischen Vorschriften zur Munitionslagerung (TLM) als Analyse der Auswirkungen bezeichnet.

oder Verkehrsnetzen verstanden. Die Beeinträchtigung kann ebenfalls als Bruchteil im Verhältnis zum funktionstüchtigen System umschrieben werden. Dabei ist auch eine zeitliche Komponente einzubeziehen, die aussagt, wie schnell das System wieder in den voll funktionsfähigen Zustand gebracht werden kann (Resilienz des Systems).

Unter Verletzlichkeit von sozialen Systemen wird die Beeinträchtigung einer Gesellschaft bzw. des Teils einer Gesellschaft verstanden (z. B. Bewohner einer Region oder Talschaft oder einer Gemeinde). Die Verletzlichkeit bestimmt hier den Grad der Abweichung von einem definierten Normalzustand. Die Beeinträchtigung kann z. B. darin bestehen, dass nach wiederholten Naturereignissen ein Gebiet einen starken Imageschaden erleidet oder an Attraktivität verliert und die Bewohnerinnen und Bewohner dieses Gebiet verlassen. Die Resilienz einer Gemeinschaft (z. B. Talgemeinschaft) spielt für den Grad der Verletzlichkeit eine bedeutende Rolle.

Im Idealfall sind für alle potentiell betroffenen Objekte bzw. Systeme Konventionen vorhanden, die eine Zuordnung von Verletzlichkeitswerten bzw. -funktionen entsprechend der zu erwartenden Intensität zulassen. In der gegenwärtigen Naturgefahrenpraxis ist dies leider nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. So wird man in den meisten Fällen auf Annahmen angewiesen sein, die aber im Sinne der Nachvollziehbarkeit klar definiert werden müssen. Im Rahmen des Projektes EconoMe [8] wurden auf Basis des vorhandenen Wissens Werte für die Schadenempfindlichkeit von Objekten definiert. Im Anhang zu jedem Prozess sind die entsprechenden Werte aufgeführt (s.a. Teil B).

Der Begriff **Letalität** bezeichnet die Schadenempfindlichkeit von Personen und beziffert die Wahrscheinlichkeit der Todesfolge einer Person unter Einwirkung einer bestimmten Prozessintensität. Sie wird mit Werten zwischen 0 und 1 quantifiziert. Die Letalität (λ) ist abhängig von der Exposition der Person (Person im Freien, in Gebäuden, in Fahrzeugen, usw.). Befindet sich eine Person zum Zeitpunkt eines Ereignisses in einem Objekt, errechnet sich die Wahrscheinlichkeit der Todesfolge (Letalität) aus dem Produkt von Schadenempfindlichkeit des entsprechenden Objektes und dem Letalitätsfaktor in diesem Objekt.[4].

3.4.1.2 Objektschutz

Die Schadenempfindlichkeit eines Objekts wird massgeblich durch bauliche Massnahmen beeinflusst, die direkt am Objekt angebracht wurden, um bei Eintreten eines Ereignisses Schaden abzuwenden. Die Wirkung dieser Massnahmen wird bei der Bestimmung des Schadenausmasses durch den Objektschutzfaktor (ε) berücksichtigt. Hat ε den Wert «0» ist kein Schutz vorhanden; ist ε = 1, bedeutet dies einen vollständigen Schutz.

3.4.1.3 Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Dies ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Punkt im Beurteilungsperimeter bei Eintritt eines Gefahrenprozesses erreicht wird. Der Einbezug einer räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit trägt der Sachlage Rechnung, dass oft nicht die gesamte gefährdete Fläche von einem Gefahrenprozess betroffen ist. Diese Wahrscheinlichkeit kann auf verschiedene Weise abgeschätzt werden:

[4] In der Objektparametertabelle «EconoMe» sind Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor getrennt dargestellt.

1. Durch Festlegung eines Faktors $p(rA)$ zwischen 0 und 1, der festlegt, welcher Anteil eines Bereichs im Mittel betroffen wird. Dieser Faktor ist für jeden Prozess und jedes Szenario unterschiedlich.
2. Durch Abschätzung mit Hilfe eines Ereignisbaumes. Damit ist es möglich, ortsspezifisch Eigenschaften des Geländes und die Lage eines Objekts in die Betrachtung einzubeziehen.

3.4.1.4 Präsenzwahrscheinlichkeit

Wie in Abschnitt 3.3.3 dargelegt, ergibt sich die Präsenzwahrscheinlichkeit $p(pr)$ aus der durchschnittlichen Dauer der Anwesenheit einer Person oder eines Objektes im gefährdeten Bereich. Da Personen nicht während der gesamten betrachteten Zeit in einem Gebiet anwesend sind, bzw. sich nur sehr kurzzeitig darin aufhalten (z. B. Durchfahrt in einem Auto oder einem Zug), wirkt die Präsenzwahrscheinlichkeit reduzierend auf die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens.

Wenn Expositionssituationen unterschieden werden, so muss der Zeitanteil der Situationsdauer SD_k bei der Bestimmung des Schadenausmass berücksichtigt werden. Da bei der Unterscheidung von Expositionssituationen ein grosses Schadenausmass entstehen kann, wirkt der Zeitanteil stark reduzierend auf die Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens.

3.4.1.5 Verknüpfung der Faktoren

Zur Bestimmung des Schadenausmasses werden die obigen Faktoren mit den exponierten Objekten verknüpft. Für jede Expositionssituation wird überprüft:

- ob ein Objekt betroffen ist (räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit $p(rA)$) und
- in welcher Intensitätszone es liegt.

Basierend auf diesen Angaben wird für jedes Objekt gemäss den folgenden Berechnungsformeln (Abschnitt 3.4.3) das Schadenausmass und das wahrscheinliche Schadenausmass bestimmt. Die Ergebnisse der Berechnung lassen sich dann in eine Matrix des Schadenausmasses übertragen (Tabelle 3.5).

Für technische und soziale Systeme sind gegenwärtig keine Verletzlichkeitsfunktionen vorhanden. Sind solche Systeme betroffen, so müssen mit Hilfe von Experteneinschätzungen geeignete Verletzlichkeitsfunktionen definiert werden.

3.4.2 Gewichtung des Schadenausmasses (Risikoaversion)

Ein weiterer Faktor, der an dieser Stelle aus methodischen Gründen erwähnt werden muss, ist die Gewichtung eines grossen Schadenausmasses (Einbezug einer Risikoaversionsfunktion). Gemäss der Strategie der PLANAT wird bereits ein Schadenausmass grösser einem Todesfall gewichtet. Die Gewichtung des Schadenausmasses ist ein Teil der Risikobewertung, die von der Gesellschaft bzw. einem Unternehmen getroffen wird. Da jedoch nicht das Risiko, sondern das Schadenausmass gewichtet wird, muss diese Überlegung aus Verständnisgründen hier schon erwähnt werden.

Die genaueren Gründe, die für eine Gewichtung des Schadenausmass sprechen, werden in Abschnitt 4.4 erläutert. In einer Risikoanalyse sollte immer das tatsächliche (ungewichtete) und das empfundene (gewichtete) Schadenausmass bestimmt und dargestellt werden. Gewichtet wird dabei stets das «Schadenausmass im Ereignisfall» (Abschnitt 3.4.3).

3.4.3 Bestimmung direktes Schadenausmass

Bei der Berechnung des Schadenausmasses können zwei Unterscheidungen getroffen werden:

1. Das «Schadenausmass im Ereignisfall» bezeichnet das Schadenausmass, wenn das Objekt tatsächlich getroffen wird. Das Schadenausmass im Ereignisfall wird im Folgenden vereinfacht als Schadenausmass bezeichnet.
2. Das «wahrscheinliche Schadenausmass» bezeichnet das «Schadenausmass im Ereignisfall» unter Einbezug der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit und der Präsenzwahrscheinlichkeit eines Objektes oder einer Person. Es kann auch gleich dem «Schadenausmass im Ereignisfall» sein, wenn die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit und die Präsenzwahrscheinlichkeit den Wert «1» haben.

Das «Schadenausmass im Ereignisfall» ist daher grösser oder gleich dem «wahrscheinlichen Schadenausmass» und ist derjenige Wert, der bei Einbezug der Risikoaversion gewichtet wird.

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Schritte bei der Bestimmung des Schadenausmasses mit den entsprechenden Berechnungsformeln dargestellt. Die Grundlage dafür stellt die BUWAL Publikation 107 dar [12], welche für alle Prozesse angewendet werden kann.

3.4.3.1 Schadenausmass Gebäude

$$A(G)_{i,j} = (1-\varepsilon_i) \cdot W(G)_i \cdot SE(G)_{i,j} \qquad \text{[CHF]} \tag{3.3}$$

Unter Einbezug der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses erhält man das wahrscheinliche Schadenausmass für Gebäude

$$Aw(G)_{i,j} = p(rA)_j \cdot (1-\varepsilon_i) \cdot W(G)_i \cdot SE(G)_{i,j} \qquad \text{[CHF]} \tag{3.4}$$

3.4.3.2 Schadenausmass Personen in Gebäuden

$$A(PG)_{i,j,k} = (1-\varepsilon_i) \cdot N(P)_{i,k} \cdot \lambda_{i,j} \qquad \text{[Tf]} \tag{3.5}$$

Unter Einbezug der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses erhält man das wahrscheinliche Schadenausmass für Personen

$$Aw(PG)_{i,j,k} = p(rA)_j \cdot p(pr)_{i,k} \cdot (1-\varepsilon_i) \cdot N(P)_{i,k} \cdot \lambda_{i,j} \qquad \text{[Tf]} \tag{3.6}$$

wobei:

$A(G)_{i,j}$ = Schadenausmass Sachwerte im Ereignisfall für ein Gebäude i in einem Szenario j [CHF].

$Aw(G)_{i,j}$ = wahrscheinliches Schadenausmass Sachwerte für ein Gebäude i in einem Szenario j [CHF].

$A(PG)_{i,j,k}$ = Schadenausmass Personen im Ereignisfall (Anzahl Todesfälle) für ein Gebäude i in einem Szenario j und einer Expositionssituation k [Tf].

$Aw(PG)_{i,j,k}$ = wahrscheinliches Schadenausmass Personen (Anzahl Todesfälle) für ein Gebäude i in einem Szenario j und einer Expositionssituation k [Tf].

ε_i = Objektschutzfaktor von Gebäude i in Abhängigkeit des Prozesses und der Intensität [-]. Der Wert liegt zwischen 0 und 1. Der Wert 1 bedeutet, dass das Gebäude zu 100 % geschützt ist und kein Schaden erwartet werden muss.

$W(G)_i$ = Wert Gebäude i [CHF].

$SE(G)_{i,j}$ = Schadenempfindlichkeit Gebäude i in Abhängigkeit des Prozesses und der Intensität [-]. Der Wert liegt zwischen 0 und 1. Der Wert 1 bedeutet, dass das Gebäude zu 100 % zerstört ist.

$N(P)_{i,k}$ = Anzahl durchschnittlich anwesender Personen in einem Gebäude i in Expositionssituation k [-].

$\lambda_{i,j}$ = Letalität Personen in einem Gebäude i in Abhängigkeit des Prozesses und der Intensität [-]. Der Wert liegt zwischen 0 und 1. Der Wert 1 bedeutet, dass bezogen auf eine Person mit einem Todesfall zu rechnen ist.

$p(rA)_j$ = räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Prozesses und des gewählten Szenarios j am Ort [-].

$p(pr)_{i,k}$ = Präsenzwahrscheinlichkeit einer Person i in Expositionssituation k [-].

Das gesamte wahrscheinliche Schadenaumass der Gebäude $Aw(G)_j$ in einem Szenario j berechnet sich mit:

$$Aw(G)_j = \sum_i Aw(G)_{i,j} \qquad \text{[CHF]} \tag{3.7}$$

Das gesamte wahrscheinliche Schadenausmass von Personen in allen Gebäuden $Aw(P)_{j,k}$ in einem Szenario j und einer Expositionssituation k berechnet sich mit:

$$Aw(PG)_{j,k} = \sum_i Aw(PG)_{i,j,k} \qquad \text{[Tf]} \tag{3.8}$$

Das Schadenausmass über alle Expositionssituationen ist die Summe der Schadenausmasse der einzelnen Expositionssituationen:

$$Aw(PG)_j = \sum_k Aw(PG)_{j,k} \qquad \text{[Tf]} \tag{3.9}$$

3.4.3.3 Schadenausmass fixe Sachwerte entlang Strassen

Das Schadenausmass für fixe (ortsfeste) Sachwerte entlang von Strassen berechnet sich aus:

$$A(S)_j = SE(S)_j \cdot W(S) \cdot g_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.10}$$

Unter Einbezug der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass $Aw(S)_j$:

$$Aw(S)_j = p(rA)_j \cdot SE(S)_j \cdot W(S) \cdot g_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.11}$$

Die für die Berechnung massgebende Schadenempfindlichkeit entspricht einer über die Streckenlänge pro Intensität gemittelten Schadenempfindlichkeiten, gemäss:

$$SE(S)_j = \frac{(SE(S)_s \cdot g_s) + (SE(S)_m \cdot g_m) + (SE(S)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \qquad [-] \tag{3.12}$$

wobei:

$SE(S)_j$	=	gemittelte Schadenempfindlichkeit Strasse in Abhängigkeit des Prozesses im Szenario j [-].
$SE(S)_{s,m,st}$	=	Schadenempfindlichkeit bei schwacher, mittlerer und starker Intensität.
$W(S)$	=	Sachwert Strasse pro Laufmeter [CHF].
g_j	=	Länge des gesamten gefährdeten Abschnitts pro Szenario j als Summe der Streckenabschnitte unabhängig von der Intensität [m]. Sie berechnet sich als Summe der gefährdeten Abschnitte in schwacher (g_s), mittlerer (g_m) und starker Intensität (g_{st}).

3.4.3.4 Schadenausmass Personen entlang von Strassen und mechanischen Aufstiegshilfen

Bei Unfällen auf Strassen infolge Naturereignissen können grundsätzlich zwei Schadenbilder unterschieden werden:

1. Das Fahrzeug wird von einem Prozess direkt getroffen. Dieses Schadenbild ist vor allem für gravitative und sogenannte «brutale» Prozesse massgebend. Die Wahrscheinlichkeit für einen Direkttreffer richtet sich nach der Frequenz der Fahrzeuge, der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Fahrzeuge und der Länge des gefährdeten Streckenabschnitts.
2. Das Fahrzeug kann auf bereits abgelagertes Material auffahren (Fall «Anprall auf abgelagertes Material»).

Ob diese Unterscheidung getroffen werden muss, hängt ab von der Lage des gefährdeten Streckenabschnitts und der Übersichtlichkeit des Streckenverlaufs. Da Autos und Reisebusse sehr viel kürzere Bremswege haben als Züge, dürfte diese Unterscheidung nur in wenigen Fällen wirklich notwendig sein. Sie wird der Vollständigkeit halber hier jedoch erwähnt.

Direkttreffer: Beim Schadenbild «Direkttreffer» wird das Schadenausmass von Personen in Fahrzeugen entlang von Strassen und in mechanischen Aufstiegshilfen wie folgt bestimmt:

$$A(PS)_{j,k} = \lambda_j \cdot \beta_k \qquad [\text{Tf}] \tag{3.13}$$

Unter Einbezug der räumlichen und zeitlichen Präsenzwahrscheinlichkeit ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass $Aw(PS)_{j,k}$ für Personen auf Strassen und mechanischen Aufstiegshilfen:

$$Aw(PS)_{j,k} = p(rA)_j \cdot \frac{DTV_k \cdot g_j}{v} \cdot \lambda_j \cdot \beta_k \qquad [\text{Tf}] \tag{3.14}$$

Die für die Berechnung massgebende Letalität entspricht einer über die Streckenlänge pro Intensität gemittelten Letalität, gemäss:

$$\lambda_j = \frac{(\lambda_s \cdot g_s) + (\lambda_m \cdot g_m) + (\lambda_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \qquad [-] \tag{3.15}$$

wobei:

$A(PS)_{j,k}$	=	Schadenausmass Personen auf Strasse und in mechanischer Aufstiegshilfe im Ereignisfall im Szenario j und Expositionssituation k [Tf].
DTV_k	=	durchschnittlicher täglicher Verkehr in Expositionssituation k [1/d]. Bei mechanischen Aufstiegshilfen entspricht dies der durchschnittlichen Anzahl transportierter Personen pro Tag.
λ_j	=	über die gefährdete Strecke gemittelte Letalität im Fahrzeug berechnet aus der Letalität in schwacher (λ_s), mittlerer (λ_m) und starker Intensität (λ_{st}) [-].
β_k	=	durchschnittlicher Besetzungsgrad der Fahrzeuge in Expositionssituation k [-].
$p(rA)_j$	=	Auftretenswahrscheinlichkeit am Ort in Abhängigkeit des Prozesses und des Szenarios j [-].
g_j	=	Länge des gesamten gefährdeten Abschnitts pro Szenario als Summe der Streckenabschnitte unabhängig von der Intensität [m]. Sie berechnet sich als Summe der gefährdeten Abschnitte in schwacher (g_s), mittlerer (g_m) und starker Intensität (g_{st}).
v	=	durchschnittliche Geschwindigkeit Fahrzeuge resp. mechanischen Aufstiegshilfen im gefährdeten Streckenabschnitt [km/h].

Das gesamte Schadenausmass «Personen entlang von Strassen» ergibt sich aus der Summe der Schadenausmasse in den einzelnen Gefahrenabschnitten verschiedener Intensität und den verschiedenen Expositionssituationen k.

$$Aw(PS)_j = \sum_k Aw(PS)_{j,k} \qquad [\text{Tf}] \tag{3.16}$$

3.4.3.5 Schadenausmass entlang von Bahnlinien

Es ist zu unterscheiden, ob ortsfeste oder mobile Objekte auf einer Bahnlinie getroffen werden. Zu den mobilen Objekten zählen auch die Zugskompositionen mit den sich darin befindlichen Personen.

Schadenausmass ortsfeste Sachwerte: Das Schadenausmass von fest installierten Sachwerten, die als Punktobjekte definiert werden, wie Schaltposten, Kabelanlagen etc. berechnet sich nach folgender Formel:

$$A(BPO)_{i,j} = SE(BPO)_{i,j} \cdot W(BPO)_i \qquad [\text{CHF}] \tag{3.17}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass

$$Aw(BPO)_{i,j} = p(rA)_j \cdot SE(BPO)_{i,j} \cdot W(BPO)_i \qquad \text{[CHF]} \tag{3.18}$$

Das Schadenausmass für Linienobjekte wie die Gleisanlage etc. berechnet sich aus:

$$A(BLO)_j = SE(BLO)_j \cdot W(BPO) \cdot g_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.19}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass

$$Aw(BLO)_j = p(rA)_j \cdot SE(BLO)_j \cdot W(BLO) \cdot g_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.20}$$

Die für die Berechnung massgebende Schadenempfindlichkeit entspricht einer über die Streckenlänge pro Intensität gemittelten Schadenempfindlichkeiten, gemäss:

$$SE(BLO)_j = \frac{(SE(BLO)_s \cdot g_s) + (SE(BLO)_m \cdot g_m) + (SE(BLO)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \qquad \text{[-]} \tag{3.21}$$

wobei:

$SE(BPO)_{i,j}$	=	Schadenempfindlichkeit eines Punktobjektes i im Szenario j [-].
$SE(BLO)_j$	=	gemittelte Schadenempfindlichkeit des Linienobjektes über den gefährdeten Streckenabschnitt im Szenario j [-].
$W(BPO)_i$	=	Sachwert Bahn pro Objekt i [CHF].
$W(BLO)$	=	Sachwert Bahn pro Laufmeter [CHF].
g_j	=	Länge des gesamten gefährdeten Abschnitts pro Szenario j als Summe der Streckenabschnitte unabhängig von der Intensität [m]. Sie berechnet sich als Summe der gefährdeten Abschnitte in schwacher (g_s), mittlerer (g_m) und starker Intensität (g_{st}).
$Aw(BPO)_{i,j}$	=	wahrscheinliches Schadenausmass fixe Sachwerte für Punktobjekt i in Szenario j [CHF].
$Aw(BLO)_j$	=	wahrscheinliches Schadenausmass fixe Sachwerte für Linienobjekt in Szenario j [CHF].

Schadenausmass mobile Sachwerte: Das Schadenausmass von mobilen Sachwerten (Lokomotive und Rollmaterial) entlang von Bahnlinien wird mit den beiden Schadenbildern «Direkttreffer» und «Anprall auf abgelagertes Material» beschrieben (Abbildung 3.3).

Direkttreffer: Der Zug kann direkt von einem gefährlichen Prozess getroffen werden. Dieser Fall ist vor allem für gravitative und sogenannte «brutale» Prozesse, wie Lawine, Murgang, Steinschlag und oberflächennahe Rutschung (Hangmure) relevant. Die Trefferwahrscheinlichkeit richtet sich nach der Frequenz der Züge, der durchschnittlichen Geschwindigkeit in der gefährdeten Zone, der Länge eines Zuges und der Länge des gefährdeten Gebietes. Ist der Prozess ausgelöst, wird die Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers nach folgender Formel berechnet:

$$p(DT)_{j,k} = p(rA)_j \cdot \frac{Fz_k \cdot g_j}{v} \cdot \left(\frac{l(z)}{g} + 1\right) \qquad \text{[-]} \tag{3.22}$$

wobei $\left(\frac{g}{l(z)} \leq 1\right)$ und:

$p(DT)_{j,k}$= Wahrscheinlichkeit für einen Direkttreffer in Szenario j in der Expositionssituation k [-].
$p(rA)_j$ = räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit am Ort in Szenario j [-].
Fz_k = Anzahl der Zugsdurchfahrten pro Tag in Expositionssituation k [1/d].
g_j = Länge des gesamten gefährdeten Abschnitts pro Szenario j als Summe der Streckenabschnitte unabhängig von der Intensität [m]. Sie berechnet sich als Summe der gefährdeten Abschnitte in schwacher (g_s), mittlerer (g_m) und starker Intensität (g_{st}).
v = durchschnittliche Geschwindigkeit der Züge im gefährdeten Streckenabschnitt [km/h].
$l(z)$ = durchschnittliche Länge der Züge [m].

Das Schadenausmass für mobile Sachwerte bei einem Direkttreffer berechnet sich mit:

$$A(BDT)_j = SE(BDT)_j \cdot W(B) \qquad \text{[CHF]} \tag{3.23}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass $Aw(BDT)_{j,k}$:

$$Aw(BDT)_{j,k} = p(DT)_{j,k} \cdot SE(BDT)_j \cdot W(B) \qquad \text{[CHF]} \tag{3.24}$$

Die für die Berechnung massgebende Schadenempfindlichkeit entspricht einer über die Streckenlänge pro Intensität gemittelten Schadenempfindlichkeiten, gemäss:

$$SE(BDT)_j = \frac{(SE(BDT)_s \cdot g_s) + (SE(BDT)_m \cdot g_m) + (SE(BDT)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \qquad \text{[-]} \tag{3.25}$$

wobei:

$A(BDT)_j$ = Schadenausmass mobile Sachwerte bei Direkttreffer auf einer Bahnlinie in Szenario j [CHF].
$SE(BDT)_j$ = über den gefährdeten Streckenabschnitt gemittelte Schadenempfindlichkeit in Abhängigkeit des Prozesses und der Intensität infolge Direkttreffer [-].
$SE(BDT)_{s,m,st}$ = Schadenempfindlichkeit bei schwacher, mittlerer und starker Intensität.
$W(B)$ = Sachwert Bahn für mobile Sachwerte [CHF].
$Aw(BDT)_{j,k}$ = wahrscheinliches Schadenausmass mobile Sachwerte bei Direkttreffer auf Bahnlinie in Szenario j und Expositionssituation k [CHF].
$g_{s,m,st}$ = Länge der gefährdeten Abschnitte in schwacher (g_s), mittlerer (g_m) und starker Intensität (g_{st}).

Anprall auf abgelagertes Material: Der Zug kann auf bereits abgelagertes Material auffahren bzw. anprallen. Dies stellt ein weiteres mögliches Schadenbild dar. Für das Schadenbild «Anprall auf abgelagertes Material» für mobile Sachwerte werden die verschiedenen Wahrscheinlichkeiten bestimmt mit [85]:

$$p(Anp)_{j,k} = (1 - p(DT)_{j,k}) \cdot (1 - \overline{p(Anp)}) \qquad [-] \tag{3.26}$$

$$\overline{p(Anp)} = p(wa) \cdot (1 - p(uF)) + p(uF) \cdot (1 - p(wa)) + p(wa) \cdot p(uF) \qquad [-] \tag{3.27}$$

mit:

$\overline{p(Anp)}$ = Wahrscheinlichkeit, dass der Zug nicht anprallt [-].
$p(wa)$ = Wahrscheinlichkeit, dass der Lokführer gewarnt wird [-].
$p(uF)$ = Wahrscheinlichkeit, dass die Fahrleitung unterbrochen ist [-].

Für die Warnwahrscheinlichkeit $p(wa)$ und die Wahrscheinlichkeit für eine unterbrochene Fahrleitung $p(uF)$ werden folgende Richtwerte vorgeschlagen:

Tabelle 3.3: Erfahrungswerte für Warnwahrscheinlichkeiten $p(wa)$ und Wahrscheinlichkeit für unterbrochene Fahrleitung $p(uF)$.

	Lawine	**Stein-schlag**	**Hoch-wasser**	**Murgang**	**Sturz**	**Rutschung**	**Hangmure**
$p(wa)$	0.3	0.1	0.3	0.2	0.05	0.2	0.2
$p(uF)$	0.5	0.1	0.5	0.2	0.5	0.2	0.2

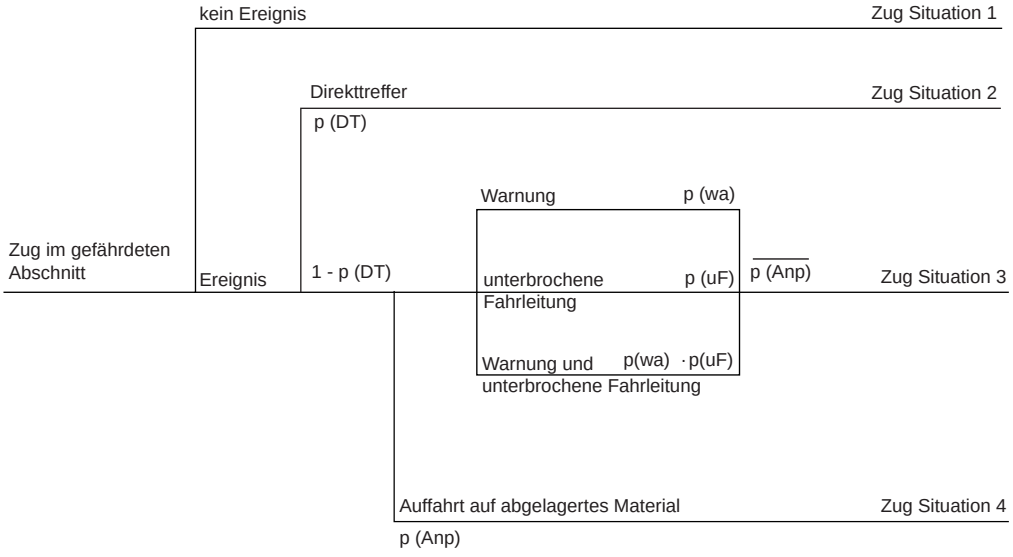


Abbildung 3.3: Darstellung verschiedener Schadenbilder mit einem Zug als Ereignisbaum.

Das Schadenausmass berechnet sich dann mit:

$$A(BAnp) = SE(BAnp) \cdot W(B) \cdot k \qquad [\text{CHF}] \tag{3.28}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit eines Anpralls ergibt sich

$$Aw(BAnp)_{j,k} = p(Anp)_{j,k} \cdot SE(BAnp) \cdot W(B) \cdot k \qquad [\text{CHF}] \tag{3.29}$$

wobei:

$A(BAnp)$	=	Schadenausmass mobile Sachwerte Anprall im Ereignisfall [CHF].
$SE(BAnp)$	=	Schadenempfindlichkeit mobile Sachwerte bei Anprall [-].
$W(B)$	=	Sachwert Bahn mobile Sachwerte [CHF].
k	=	Anprallfaktor in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit. Berücksichtigt, dass nur die vorderen Wagen betroffen sind. Die Werte sind in Tabelle 3.4 definiert [-].
$Aw(BAnp)_{j,k}$	=	wahrscheinliches Schadenausmass mobile Sachwerte bei einem Anprall in Szenario j und Expositionssituation k [CHF].

Tabelle 3.4: Faktor k, der berücksichtigt, dass bei einem Anprall auf abgelagertes Material nur die vorderen Wagen betroffen werden. Der Faktor setzt in Abhängigkeit der Geschwindigkeit die Anzahl der betroffenen Wagen bzw. Personen herunter.

	Fahrgeschwindigkeit				
v [km/h]	30–50	50–80	80-100	100-120	> 120
k	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8

Das gesamte wahrscheinliche Schadenausmass bezüglich mobiler Sachwerte auf einer Bahnlinie $Aw(mB)_j$ berechnet sich als Summe der wahrscheinlichen Schadenausmasse infolge Direkttreffer und Anprall:

$$Aw(mB)_j = \sum_k Aw(BDT)_{j,k} + \sum_k Aw(BAnp)_{j,k} \qquad \text{[CHF]} \tag{3.30}$$

Summenbildung Schadenausmass Sachwerte entlang von Bahnlinien: Das gesamte wahrscheinliche Schadenausmass bezüglich Sachwerte auf einer Bahnlinie berechnet sich als Summe des wahrscheinlichen Schadenausmasses infolge Direktreffer und Anprall.

$$Aw(B)_j = Aw(mB)_j + Aw(BPO)_j + Aw(BLO)_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.31}$$

wobei:

$Aw(B)_j$	=	wahrscheinliches Schadenausmass auf Bahnlinien in Szenario j.
$Aw(mB)_j$	=	wahrscheinliches Schadenausmass Direkttreffer und Anprall in Szenario j.
$Aw(BPO)_j$	=	wahrscheinliches Schadenausmass für Punktobjekte in einem Szenario j.
$Aw(BLO)_j$	=	wahrscheinliches Schadenausmass für Linienobjekte in einem Szenario j.

3.4.3.6 Schadenausmass Personen entlang von Bahnlinien

Direkttreffer: Das Schadenausmass für einen Direktreffer für Personen in einem Zug in Szenario j wird bestimmt mit:

$$A(PBDT)_{j,k} = \lambda(DT)_j \cdot \beta_k \qquad \text{[Tf]} \tag{3.32}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass $Aw(PBDT)_{j,k}$:

$$Aw(PBDT)_{j,k} = p(DT)_{j,k} \cdot \lambda(DT)_j \cdot \beta_k \qquad \text{[Tf]} \tag{3.33}$$

Zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit eines Direkttreffers siehe auch Gleichung 3.22.

Die für die Berechnung massgebende Letalität entspricht einer über die Streckenlänge pro Intensität gemittelten Letalität, gemäss:

$$\lambda(DT)_j = \frac{(\lambda(DT)_s \cdot g_s) + (\lambda(DT)_m \cdot g_m) + (\lambda(DT)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \qquad \text{[-]} \tag{3.34}$$

wobei:

$\lambda(DT)_j$	=	über die Länge der gefährdeten Strecke gemittelte Letalität von Personen bei Direkttreffer [-].
$\lambda(DT)_{s,m,st}$	=	Letalität bei schwacher, mittlerer und starker Intensität.
$g_{s,m,st}$	=	gefährdete Abschnitte in schwacher (g_s), mittlerer (g_m) und starker Intensität (g_{st}).
β_k	=	Besetzungsgrad Zug in Expositionssituation k, wobei $\frac{g}{l_z} \leq 1.0$.
$Aw(PBDT)_{j,k}$	=	wahrscheinliches Schadenausmass Personen bei Direkttreffer auf Bahnlinie in Szenario j und Expositionssituation k [Tf].

Schadenausmass Personen Anprall im Ereignisfall: Das Schadenausmass für das Schadenbild «Anprall im Ereignisfall» berechnet sich mit:

$$A(PBAnp)_k = \lambda(Anp) \cdot \beta_k \cdot k \qquad \text{[Tf]} \tag{3.35}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit eines Anpralls ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass bei Anprall auf abgelagertes Material $Aw(PBAnp)_{j,k}$:

$$Aw(PBAnp)_{j,k} = p(Anp)_{j,k} \cdot \lambda(Anp) \cdot \beta_k \cdot k \qquad \text{[Tf]} \tag{3.36}$$

wobei:

$p(Anp)_{j,k}$	=	Wahrscheinlichkeit, dass ein Zug in eine Ablagerung auf den Schienen fährt (Anprall) [-].
$\lambda(Anp)$	=	Letalität von Personen im Zug bei einem Anprall auf abgelagertes Material [-]. Es wird ein Wert von 0.02 vorgeschlagen.
k	=	Faktor k, bei Anprall auf abgelagertes Material, der berücksichtigt, dass nur die vorderen Wagen betroffen sind. Die Werte sind in Tabelle 3.4 definiert [-].

Das wahrscheinliche Schadenausmass für eine Expositionssituation k bezüglich Personen auf einer Bahnlinie berechnet sich als Summe des wahrscheinlichen Schadenausmasses infolge Direkttreffer und Anprall:

$$Aw(PB)_{j,k} = Aw(PBDT)_{j,k} + Aw(PBAnp)_{j,k} \qquad \text{[Tf]} \tag{3.37}$$

Das gesamte Schadenausmass berechnet sich als Summe der Schadenausmasse der verschiedenen Expositionssituationen:

$$Aw(PB)_j = \sum_k Aw(PB)_{j,k} \qquad \text{[Tf]} \tag{3.38}$$

wobei:

$Aw(PB)_{j,k}$	=	wahrscheinliches Schadenausmass Personen auf Bahnlinie in Szenario j und Expositionssituation k.
$Aw(PB)_j$	=	wahrscheinliches Schadenausmass Personen auf Bahnlinie in Szenario j.
$Aw(PBDT)_{j,k}$	=	wahrscheinliches Schadenausmass Personen bei Direkttreffer auf Bahnlinie in Szenario j und Expositionssituation k.
$Aw(PBAnp)_{j,k}$	=	wahrscheinliches Schadenausmass Personen bei einem Anprall in Szenario j und Expositionssituation k.

3.4.3.7 Schadenausmass Leitungen

Für fixe (ortsfeste) Sachwerte, die ein Linienobjekt darstellen, berechnet sich das Schadenausmass aus:

$$A(L)_j = SE(L)_j \cdot W(L) \cdot g_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.39}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass:

$$Aw(L)_j = p(rA)_j \cdot SE(L)_j \cdot W(L) \cdot g_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.40}$$

Die für die Berechnung massgebende Schadenempfindlichkeit entspricht einer über die gefährdete Länge pro Intensität gemittelten Schadenempfindlichkeit, gemäss:

$$SE(L)_j = \frac{(SE(L)_s \cdot g_s) + (SE(L)_m \cdot g_m) + (SE(L)_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \qquad \text{[-]} \tag{3.41}$$

wobei:

$SE(L)_j$	=	über die gefährdete Länge gemittelte Schadenempfindlichkeit der Leitung [-].
$SE(L)_{s,m,st}$	=	Schadenempfindlichkeit bei schwacher, mittlerer und starker Intensität.
$W(L)$	=	Sachwert Leitungen pro Laufmeter [CHF].
g_j	=	Länge des gesamten gefährdeten Abschnitts pro Szenario j als Summe der Streckenabschnitte unabhängig von der Intensität [m]. Sie berechnet sich als Summe der gefährdeten Abschnitte in schwacher (g_s), mittlerer (g_m) und starker Intensität (g_{st}).
$Aw(L)_j$	=	wahrscheinliches Schadenausmass für Leitungen in Szenario j [CHF].

3.4.3.8 Schadenausmass Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen

Für landwirtschaftliche Flächen, Wald und Grünanlagen berechnet sich das Schadenausmass aus:

$$A(F)_j = SE(F)_j \cdot W(F) \cdot F_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.42}$$

Unter Einbezug der Wahrscheinlichkeit ergibt sich das wahrscheinliche Schadenausmass für Flächenobjekte $Aw(F)_j$:

$$Aw(F)_j = p(rA)_j \cdot SE(F)_j \cdot W(F) \cdot F_j \qquad \text{[CHF]]} \tag{3.43}$$

Die für die Berechnung massgebende Schadenempfindlichkeit entspricht einer über die Fläche pro Intensität gemittelten Schadenempfindlichkeit, gemäss:

$$SE(F)_j = \frac{(SE(F)_s \cdot F_s) + (SE(F)_m \cdot F_m) + (SE(F)_{st} \cdot F_{st})}{F_s + F_m + F_{st}} \qquad \text{[-]} \tag{3.44}$$

wobei:

$SE(F)_j$	=	über die gesamte Fläche gemittelte Schadenempfindlichkeit des Flächenobjektes in Szenario j [-].
$SE(F)_{s,m,st}$	=	Schadenempfindlichkeit bei schwacher, mittlerer und starker Intensität.
$W(F)$	=	Sachwert Landwirtschaftsfläche [CHF/are].
F_j	=	gesamte gefährdete Fläche in Szenario j aus Summe der Teilflächen in den Intensitätszonen [are]. Sie berechnet sich als Summe der gefährdeten Flächen in schwacher (F_s), mittlerer (F_m) und starker Intensität (F_{st})

3.4.3.9 Gesamtes Schadenausmass direkte Schäden Szenario j

Das Schadenausmass für Sachwerte ausgedrückt in Geldeinheiten (CHF oder EUR) kann nicht direkt mit dem Schadenausmass in Bezug auf Personen aufaddiert werden. Dieser Schritt ist nur dann möglich, wenn das Schadenausmass Personen ausgedrückt in Anzahl Todesfälle mit einem bestimmten Geldbetrag monetarisiert wird. Als Ansatz für die Monetarisierung bietet sich die gesellschaftliche Zahlungsbereitschaft zur Verhinderung eines Todesfalls an. In der Schweiz wird gemäss PLANAT-Strategie und den anderen verfügbaren Software-Tools [8, 5] der Wert von 5 Mio CHF pro verhindertem Todesfall vorgeschlagen. Das direkte Schadenausmass bezüglich Sachwerte und Personen wird nach folgender Formel berechnet:

$$Aw_j = Aw(G)_j + Aw(S)_j + Aw(B)_j + Aw(L)_j + Aw(F)_j \quad \text{[CHF]} \tag{3.45}$$

$$Aw(P)_j = 5 \cdot 10^6 \cdot (Aw(PG)_j + Aw(PS)_j + Aw(PB)_j) \qquad \text{[CHF]} \tag{3.46}$$

3.4.4 Bestimmung indirektes Schadenausmass

Wie in Abschnitt 3.3.1 erwähnt und in Tabelle 3.2 dargestellt, können bei der Einwirkung gefährlicher Naturprozesse auf verschiedene Objekte neben den direkten, messbaren oder beobachtbaren Schäden auch indirekte Folgen entstehen, die meist auch Kosten verursachen und daher auch als Folgekosten bezeichnet werden können. Bei einigen Objekten sind die Folgekosten sogar bedeutsamer als die direkt sichtbaren Sachschäden.

Insbesondere für Bahngesellschaften, die eine Fahrplanpflicht zu erfüllen haben, entstehen bei Streckenunterbrüchen Folgekosten durch den Aufbau von Bahnersatzdiensten und Umleitungen. Diese Zusatzaufwendungen, die ohne ein Ereignis nicht entstanden wären, sind in diesem Zusammenhang als indirekte Schäden einzubeziehen.

Längere Betriebsunterbrüche in einem kompetitven Umfeld können sogar dazu führen, dass Unternehmen bestimmten Lieferverpflichtungen nicht mehr nachkommen können und dadurch einen starken Imageschaden erleiden, der im schlimmsten Fall auch zu einer Betriebsaufgabe führen kann. Dies gilt in erster Linie für kleinere bis mittlere Unternehmen, die einen Betriebsunterbruch weniger gut verkraften können.

Im Sinne einer vollständigen Ermittlung des Schadens infolge Naturereignissen sollten indirekte Folgen (oder Kosten), die sich aus Betriebsunterbrüchen ergeben, getrennt von den direkten Schäden in die Bestimmung des Schadenausmass eingehen. Für die Bestimmung des indirekten Schadenausmasses ist in der Regel die Dauer des Unterbruchs entscheidend. In jedem Fall muss klar dokumentiert werden, welche Grundlagen für die Ermittlung des indirekten Schadens verwendet wurden. Der indirekte Schaden kann vereinfacht mit folgender Rechnung bestimmt werden:

$$A(id)_j = K(ub) \cdot d_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.47}$$

wobei:

$A(id)_j =$ Schadenausmass indirekte Schäden im Szenario j [CHF].
$K(ub) =$ Kosten Betriebsunterbruch pro Tag [CHF].
$d_j \quad =$ Dauer des Betriebsunterbruchs im Szenario j [d].

Dabei ist zu beachten, dass das Schadenausmass mit zunehmender Dauer des Unterbruchs nicht linear zunimmt. Die Kosten Betriebsunterbruch pro Tag dürften in der Regel mit zunehmender Dauer des Unterbruchs zuerst zu- und dann wieder abnehmen. Das indirekte Schadenausmass spielt für folgende Bereiche eine wichtige Rolle:

- Bahnbetreiber mit Fahrbahnpflicht;
- Energieversorgung;
- Telekommunikation;
- Gewerbe- und Industrieunternehmen mit regelmässigen Lieferverpflichtungen;
- Talschaften mit nur einer Zufahrtsmöglichkeit;
- Landwirtschaft.

Die indirekten Schäden müssen für die einzelnen Szenarien separat ermittelt werden und können dann mit dem direkten Schadenausmass aufaddiert werden. Es empfiehlt sich, das direkte, das indirekte Schadenausmass und die Summe beider getrennt voneinander in der Rechnung aufzuführen und darzustellen.

3.4.5 Gesamtes Schadenausmass Szenario j

Das gesamte Schadenausmass aus direkten Sachschäden, indirekten Schäden und Personen berechnet sich aus:

$$A_j = Aw_j + A(id)_j + Aw(P)_j \qquad \text{[CHF]} \tag{3.48}$$

wobei:

A_j	=	Schadenausmass direkte und indirekte Schäden im Szenario j.
Aw_j	=	Schadenausmass direkte Sachschäden im Szenario j.
$A(id)_j$	=	Schadenausmass indirekte Schäden im Szenario j.
$Aw(P)_j$	=	Schadenausmass Personen monetarisiert im Szenario j.

3.5 Risikoermittlung und Risikodarstellung

Im letzten Teil der Risikoanalyse werden die massgebenden Risikogrössen bestimmt. Neben den Personenrisiken müssen die Sachrisiken bestimmt werden. Der Anteil von Personenrisiken zu dem von Sachrisiken ist je nach betrachtetem Prozess unterschiedlich, es müssen daher immer beide Komponenten dargestellt werden.

Bei den Personenrisiken wird zwischen den kollektiven und individuellen Risiken unterschieden, die auch getrennt dargestellt werden müssen. Obwohl für die Planung von Schutzmassnahmen die kollektiven Risiken im Beurteilungsperimeter entscheidend sind, empfiehlt es sich, auch den Beitrag der einzelnen Ereignisszenarien und Expositionssituationen darzustellen, da diese wichtige Rückschlüsse auf die Massnahmenplanung zulassen. Der Beitrag der einzelnen Ereignisszenarien und Expositionssituationen wird in einer Risikomatrix dargestellt.

Für die Bestimmung der individuellen Risiken sind vor allem Personen herauszugreifen, die in einem Gefährdungsgebiet permanent anwesend und besonders exponiert sind. Bei den individuellen Risiken kann bestimmt werden, ob die Risiken über den festgelegten Grenzwerten liegen und damit «massgebend» sind.

3.5.1 Kollektive Risiken

In der Risikoermittlung wird das berechnete Schadenausmass der verschiedenen Objekte mit der Häufigkeit der massgebenden Szenarien gemäss Gleichung 3.49 verknüpft.

$$R_j = p_j \cdot A_j \tag{3.49}$$

$$p_j = P_j - P_{j+1} \tag{3.50}$$

$$R = \sum_j R_j \qquad \text{[CHF/a]} \tag{3.51}$$

wobei:

R_j = kollektives Risiko im Szenario j [CHF/a].
p_j = Häufigkeit Szenario j, angenähert als Differenz der Überschreitenswahrscheinlichkeit zweier benachbarter Szenarien P_j und P_{j+1} [-].
R = kollektives Risiko [CHF/a].

Die grundlegende Darstellung ist die Matrix des Schadenausmasses der verschiedenen Objekte in den verschiedenen Ereignisszenarien und Expositionssituationen. Aus dieser Darstellung lässt sich die Bestimmung des kollektiven Risikos besonders gut nachvollziehen und der Beitrag des Schadenausmasses bestimmter Objekte zum Gesamtschadenausmass kann einfach abgelesen werden (Tabelle 3.5).

Die Zeilen dieser Matrix zeigen das Schadenausmass für die einzelnen Objekte bzw. Objektgruppen in den Ereignisszenarien j und zugehörigen Expositionssituationen k sowie die zugehörige Summe. In den Spalten wird die Summe über die Expositionssituationen und Ereignisszenarien dargestellt. Mit dieser Darstellung kann der Beitrag der Objekte sowie Objektkategorien zum Schadenausmass eines Ereignisszenarios j beurteilt werden. Schliesslich erlaubt die Darstellung auch den Vergleich zum Schadenpotential im Beurteilungsperimeter.

Tabelle 3.5: Matrix mit Darstellung des Schadenausmasses aller Ereignisszenarien und Expositionssituationen. Wenn das Schadenausmas gewichtet wird, dann ist zusätzlich eine Matrix mit dem gewichteten Schadenausmass zu bestimmen.

Schadenausmass	SZ30				SZ100				SZ300				Summe
ohne / mit Aversion	ExSit1	ExSit2	ExSit3	ExSit4	ExSit1	ExSit2	ExSit3	ExSit4	ExSit1	ExSit2	ExSit3	ExSit4	
$Aw(PGm)_{j,k}$[a]													$\sum_{j,k} Aw(PGm)_{j,k}$
$Aw(G)_j$[b]													$\sum_j Aw(G)_j$
$Aw(PSm)_{j,k}$[c]													$\sum_{j,k} Aw(PSm)_{j,k}$
$Aw(S)_j$[d]													$\sum_j Aw(S)_j$
$Aw(PBm)_{j,k}$[e]													$\sum_{j,k} Aw(PBm)_{j,k}$
$Aw(BPO)_j$[f]													$\sum_j Aw(BPO)_j$
$Aw(BLO)_j$[g]													$\sum_j Aw(BLO)_j$
$Aw(B)_j$[h]													$\sum_j Aw(B)_j$
$Aw(L)_j$[i]													$\sum_j Aw(L)_j$
$Aw(F)_j$[j]													$\sum_j Aw(F)_j$
Summe ExSit[k]													
Summe Szenarien[l]	A_{SZ30}				A_{SZ100}				A_{SZ300}				
Schadenpotential													

[a] Schadenausmass Personen in Gebäuden (monetarisiert) in Szenario j und Expositionssituation k;
[b] Schadenausmass Gebäude in Szenario j;
[c] Schadenausmass Personen Strasse (monetarisiert) in Szenario j und Expositionssituation k;
[d] Schadenausmass Sachwerte in Szenario j;
[e] Schadenausmass Personen Bahnlinie (monetarisiert) in Szenario j Expositionssituation k;
[f] Schadenausmass Punktobjekte entlang Bahnlinie in Szenario j;
[g] Schadenausmass Linienobjekte in Szenario j;
[h] Schadenausmass Sachwerte in Szenario j;
[i] Schadenausmass Energie- und Wasserversorgung, Kommunikation in Szenario j;
[j] Schadenausmass Landwirtschaft und Wald in Szenario j;
[k] Schadenausmass in Expositionssituationen k;
[l] Schadenausmass Szenarien j.

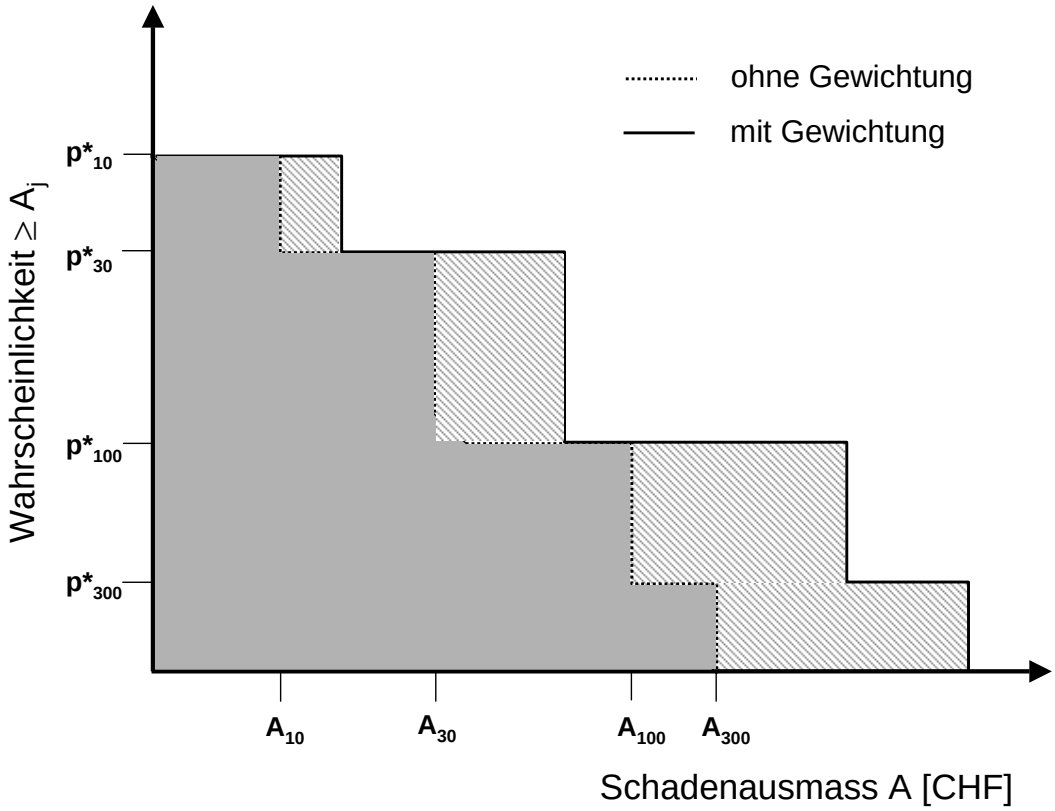


Abbildung 3.4: Beispiel für ein Wahrscheinlichkeits-Ausmass Diagramm ohne und mit Gewichtung (Aversion). Die graue Fläche unter der Treppenfunktion entspricht dem tatsächlichen (ungewichteten) Risiko, die graue und die schraffierte Fläche dem gewichteten Risiko [48].

Das Risiko aus verschiedenen Szenarien lässt sich mit einem Wahrscheinlichkeits-Ausmass Diagramm (WA-Diagramm) darstellen (Abbildung 3.4). Dies wird erstellt, indem die betrachteten Schadenszenarien der Grösse nach geordnet mit ihrer Wahrscheinlichkeit und dem zugehörigen Schadenausmass in ein Diagramm eingetragen werden. Die Darstellung der Summe der Wahrscheinlichkeiten der Szenarien (kumulative Wahrscheinlichkeit) mit dem dazugehörigen Schadenausmass ergibt eine Treppenfunktion. Daraus lässt sich die Wahrscheinlichkeit ablesen, mit der ein bestimmtes Schadenausmass erreicht oder überschritten wird.

Das kollektive Risiko entspricht dabei der Fläche unter der Treppe. Die Form der Treppenkurve zeigt den Beitrag der gewählten Szenarien zum gesamten Risiko. Neben dem kumulierten Einzel-Wert für das kollektive Risiko sollte das Risiko auch immer im WA-Diagramm dargestellt werden [48].

3.5.2 Individuelle Risiken

Für die Berechnung der individuellen Risiken sind diejenigen Personen zu identifizieren, welche insgesamt am längsten und gleichzeitig am intensivsten gefährdet sind. Es müssen also nicht à priori die individuellen Risiken aller Personen ermittelt werden, sondern nur diejenigen von relevanter, allenfalls kritischer Grösse. In der Regel betrifft dies vor allem ständige Einwohner im

Gefahrenbereich, die in besonders exponierten Häusern wohnen. Weitere Personen, die einem hohen individuellen Risiko ausgesetzt sein können, sind Personen auf Verkehrswegen, die den gefährdeten Bereich mehrmals täglich passieren oder Personen im Freien.

Das individuelle Risiko für Personen in Gebäuden wird bestimmt mit:

$$A(PG)_{i,j} = p(rA)_j \cdot p(pr)_i \cdot (1-\varepsilon_i) \cdot \lambda_j \qquad [-] \tag{3.52}$$

$$r_{i,j} = p_j \cdot A(PG)_{i,j} \tag{3.53}$$

$$r_i = \sum_j r_{i,j} \tag{3.54}$$

Das individuelle Risiko von Personen auf Verkehrswegen wird bestimmt mit:

$$A(PS)_{i,j} = p(rA)_j \cdot \frac{g_j \cdot z_i}{v} \cdot \lambda_j \qquad [-] \tag{3.55}$$

$$r_{i,j} = p_j \cdot A(PS)_{i,j} \tag{3.56}$$

$$r_i = \sum_j r_{i,j} \tag{3.57}$$

Die für die Berechnung massgebende Letalität entspricht einer über die Streckenlänge pro Intensität gemittelten Letalität, gemäss:

$$\lambda_j = \frac{(\lambda_s \cdot g_s) + (\lambda_m \cdot g_m) + (\lambda_{st} \cdot g_{st})}{g_s + g_m + g_{st}} \qquad [\text{-}] \tag{3.58}$$

wobei:

$A(PG)_{i,j}$	=	individuelles Schadenausmass einer Person i in einem Gebäude im Szenario j.
$p(rA)_j$	=	räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Prozesses im Szenario j.
ε_i	=	Objektschutzfaktor des Gebäudes i.
$A(PS)_{i,j}$	=	individuelles Schadenausmass einer Person i auf einem Verkehrsweg im Szenario j.
g_j	=	Länge gefährdeter Streckenabschnitt im Szenario j [m].
z_i	=	Anzahl der Durchfahrten pro Tag der meisten exponierten Personen i.
v	=	durchschnittliche Geschwindigkeit im gefährdeten Streckenabschnitt [km/h].
λ_j	=	über die gefährdete Strecke gemittelte Letalität einer Person im Fahrzeug berechnet aus der Letalität in schwacher (λ_s), mittlerer (λ_m) und starker Intensität ($\lambda_s t$).
$r_{i,j}$	=	individuelles Risiko einer Person i im Szenario j.
p_j	=	Häufigkeit des Szenarios j.
r_i	=	individuelles Risiko einer Person i.

Kapitel 4

Risikobewertung und Schutzziele

Dieses Kapitel ist in der jetzigen Version noch an die PLANAT-Strategie in der Version von 2005 angelehnt [57]. Im Projekt B2.1 «Schutzziele» [25] wurde ein Konzept vorgeschlagen, das sich aber bei Drucklegung dieses Bericht noch im Entwurf befand. Daher wurden die Ergebnisse dieses Projekts noch nicht integriert.

4.1 Grundsätzliches

Nach der objektiven, systematischen und transparenten Beurteilung der vorhandenen Risiken in der Risikoanalyse wird in der Risikobewertung überprüft, ob diese von der Gesellschaft getragen werden können oder ob diese reduziert werden müssen. Diese Bewertung ist einerseits Grundlage für die Massnahmenplanung. Andererseits kann erst mit einer Massnahmenplanung gezeigt werden, ob die Risiken mit einem verhältnismässigen Aufwand reduziert und damit die Schutzziele erreicht werden können. Als Schutzziel wird in diesem Zusammenhang ein Mass für die Grenze von Schutzanstrengungen für das Individuum und das Kollektiv definiert.

Es geht daher in der Risikobewertung darum, nachvollziehbare und klare Kriterien für den Umgang mit individuellen und kollektiven Personenrisiken einerseits sowie ein Vorgehen für den Umgang mit grossen aber seltenen Risiken andererseits zu finden.

Da die Risikobewertung auf einer Wertung durch die Gesellschaft basiert, stellt sich die Frage, wer diese Wertung vornehmen kann: Können Wertungskriterien auf Experteneinschätzungen begründet werden oder muss die Risikowahrnehmung der Öffentlichkeit als Grundlage genommen werden? Die Risikobewertung bewegt sich damit im Spannungsfeld zwischen den Natur- und Ingenieurwissenschaften auf der einen Seite und den Sozialwissenschaften auf der anderen Seite.

Ein pragmatisches Vorgehen mag daher darin liegen, naturwissenschaftlich-technisches Vorgehen mit intuitiver Risikowahrnehmung zu ergänzen, um damit sinnvolle Kriterien für die Bewertung von Risiken abzuleiten [48]. Diese Kriterien werden oftmals nicht explizit sondern implizit durch faktisches Handeln definiert.

Das im Folgenden vorgestellte Vorgehen für eine übergeordnete Risikobewertung mit allgemein gültigen Schutzzielen beruht einerseits auf einem logischen Grundmodell, anderseits auf Erfah-

rungswerten, welche sich aus dem bisherigen, von der Gesellschaft getragenen Handeln ableiten lassen. Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Überlegungen für die Mehrheit der Risiken Gültigkeit haben, also insbesondere auch für die Risiken infolge Naturgefahren gelten [67]. Da ein impliziter, nicht transparenter Entscheid aber naturgemäss nicht kohärent sein kann, ist eine Interpretation dieser Erfahrungsbasis unumgänglich.

4.2 Schutzziele für Personenrisiken

Sowohl bei den Naturgefahren als auch im Bereich der technischen Gefahren kommt dem Schutz von Menschenleben besondere Bedeutung zu, da es sich hierbei um ein hohes und schwer zu bewertendes Schutzgut handelt.

4.2.1 Methodischer Ansatz für die Schutzzielkriterien

Grundsätzlich muss sich die Bewertung an den Risikogrössen des individuellen und des kollektiven Risikos orientieren. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass es bei diesen beiden Grössen um zwei völlig unterschiedliche Anliegen an die Sicherheit geht.

1. **Sicherheitsbedürfnis des Individuums**: Das individuelle Risiko beschreibt die Grösse des Risikos, dass ein Einzelner infolge einer Gefahr ums Leben kommt. Die Grösse r_i des individuellen Risikos gibt darauf Antwort. Hier macht die Frage nach einem zulässigen Risiko Sinn und r_i ist damit die Grösse, die man beurteilen muss.
2. **Sicherheitsbedürfnis des Kollektivs**: Selbst wenn die individuellen Risiken aller gefährdeten Personen tief genug sind, kann für das Kollektiv immer noch ein hohes kollektives Risiko (sprich: Anzahl Opfer) entstehen, wenn viele Personen einem niedrigen individuellen Risiko ausgesetzt sind (vgl. auch Abbildung 2.2, S. 7). Daher ist das Bedürfnis nach Sicherheit nicht befriedigt, wenn alle Individuen ein genügend tiefes individuelles Risiko haben. Die Opfer sind dann quasi «zufällige und anonyme» Personen und nicht Personen, die infolge ihres hohen individuellen Risikos als Opfer «prädestiniert» waren.

Die Gesellschaft hat ein Interesse, die Gesamtzahl der Opfer niedrig zu halten, unabhängig davon, ob es sich um Personen mit hohem oder niedrigem individuellen Risiko handelt. Dabei geht es bei der Definition von Schutzzielen für das Kollektiv nicht mehr um die Definition eines zulässigen Risikos für einzelne Risikosituationen, sondern um eine Minimierung der Anzahl Opfer im Gesamtsystem (z. B. einem Land) mit den insgesamt verfügbaren Mitteln. Dies ist eine Optimierungsaufgabe.

Diese Optimierung verlangt, dass in allen Risikosituationen Sicherheitsanstrengungen bis zu den gleichen Grenzkosten (bestimmter Betrag pro verhinderter Todesfall oder Wert eines statistischen Lebens[1]) vorgenommen werden. Die Grenzkosten für die Sicherheitsanstrengungen können daher als das Kriterium für das Schutzziel beim kollektiven Risiko angesehen werden. Die Grenzkosten als Betrag bis zu welchem die Sicherheitsanstrengungen gehen müssen, darf nicht dahingehend interpretiert werden, dass damit einem Menschenleben ein Wert zugeordnet werde. Die Kosten, welche die Gesellschaft zur Verhinderung eines Todesfalles zu zahlen bereit ist (oder in der Lage

[1] im Englischen als «value of statistical life (VSL)» bezeichnet.

ist), haben nichts mit dem Wert eines Menschenlebens zu tun. Auch wenn ein Menschenleben unendlich viel Wert ist, kann die Gesellschaft nicht unendlich viel für dessen Rettung ausgeben und tut dies auch nicht. Mit dem Grenzkostenkriterium werden aber im Rahmen der verfügbaren Ressourcen am meisten Todesfälle verhindert.

Dieser Aspekt ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn Personenrisiken im Rahmen der Massnahmenplanung in Geldeinheiten ausgedrückt werden müssen, um zusammen mit Sachrisiken die gleiche Einheit (Geldeinheiten, z. B. CHF) verwenden zu können. Die Monetarisierung ist daher in diesem Zusammenhang nicht als Bewertung des menschlichen Lebens sondern als Bewertung der Verhinderung eines Todesfalls zu interpretieren.

4.2.2 Unterscheidung Risikokategorien

Bevor auf die Quantifizierung der oben diskutierten Schutzziele eingegangen wird, ist ein weiteres Element einzuführen, welches die Festlegung von Schutzzielen beeinflusst. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass nicht alle Risiken gleich behandelt werden können.

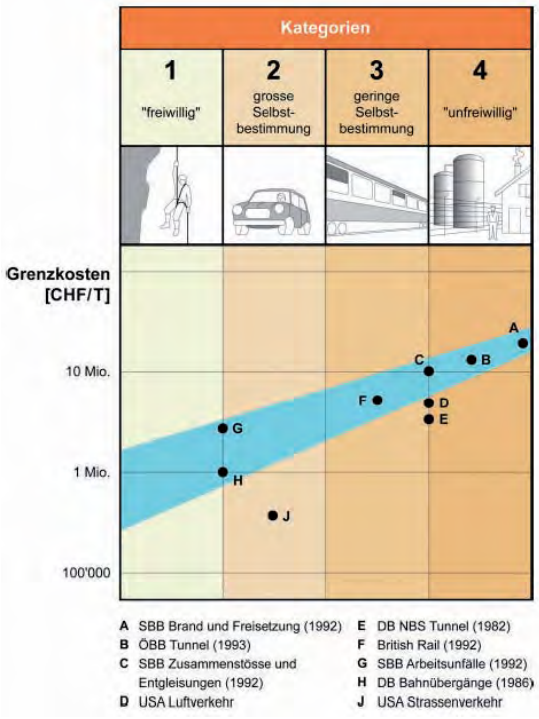


Abbildung 4.1: Risikokategorien und Festlegung der Grenzkosten für technische Risiken als Grundlage für das Bewertungssystem bei Naturgefahren [3].

Bereits in den sechziger Jahren wurde erstmals darauf hingewiesen, dass hinsichtlich der Akzeptanz von «freiwilligen» bzw. «unfreiwilligen» Risiken ein Unterschied in der Höhe des Faktors 1'000 festzustellen ist [75]. Dies betrifft die individuellen Risiken. Ausgehend von diesem ersten Ansatz, wurde in der Folge ein differenziertes Konzept von Risikokategorien entwickelt, das

die Risikoakzeptanz in Abhängigkeit vom Selbstbestimmungsgrad und der Unmittelbarkeit der Nutzenempfindung der Betroffenen darstellt.

In Abbildung 4.1 ist die Spanne von freiwillig bis unfreiwillig eingegangenen Risiken in vier Risikokategorien aufgeteilt, die sowohl für das individuelle wie auch für das kollektive Risiko angewendet werden können. Diese Risikokategorien implizieren auch ein differenziertes Verständnis für das Verhältnis von gesellschaftlicher und individueller Verantwortung in Risikosituationen, eine Problematik, die gerade auch bei Naturgefahren sehr wohl bekannt ist. Als Grundlage für die Differenzierung dieser Schutzziele bieten sich daher diese Risikokategorien an.

4.2.3 Vorschlag Schutzziele Personen

Während der qualitative bzw. methodische Ansatz für die Schutzziele noch keine Wertung darstellt, ist bei der Quantifizierung der Schutzziele eine Wertung unumgänglich. Der Vorschlag der PLANAT basiert auf Überlegungen und Grundlagen, die für den Umgang mit technischen Risiken entwickelt wurden [49]. Dieser Vorschlag gilt grundsätzlich für alle Arten von Risiken, da postuliert werden kann, dass es keinen triftigen Grund gibt, zwischen Schäden und Opfern, welche aus verschiedenen Gefahrenarten herrühren, zu unterscheiden.

Tabelle 4.1: Schutzziele der PLANAT für individuelle und kollektive Personenrisiken

Risikokategorie	**Individuelles Todesfallrisiko Maximaler Wert der Todesfallwahrscheinlichkeit pro Jahr**	**Kollektives Risiko: Grenzkosten verhinderter Todesfall (Mio. CHF)**	**Beispiel**
Kategorie 1 100 % freiwillig	$10^{-2} – 10^{-3}$	1 – 2	Personen,die Absperrungen bei erhöhter Gefahr bewusst missachten.
Kategorie 2 hohe Selbstverantwortung	$10^{-3} – 2 \cdot 10^{-4}$	2 – 5	Personen, die Gefahrensituation einschätzen können und die Gefahr bewusst eingehen.
Kategorie 3 niedrige Selbstverantwortung	$2 \cdot 10^{-4} – 3 \cdot 10^{-5}$	5 – 10	Weitgehend bis gänzlich Unbeteiligte, die Risiken mehr oder minder unfreiwillig eingehen
Kategorie 4 100 % unfreiwillig	$3 \cdot 10^{-5} – 4 \cdot 10^{-6}$	10 –20	

Die von der PLANAT vorgeschlagenen Grenzwerte bzw. Schutzziele für das individuelle Todesfallrisiko und für die Grenzkosten im Sinne des kollektiven Risikos sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt (PLANAT-Schutzziele).

Die in Tabelle 4.1 dargestellten Schutzziele müssen im Hinblick auf die praktische Umsetzung weiter vereinfacht werden. So kann die Kategorie 1 in Zusammenhang mit der Massnahmenplanung im Siedlungs- und Verkehrsachsenbereich vernachlässigt werden. Massgebend sind vor allem die Risikokategorien zwei bis vier, wobei zwischen Kategorie drei und vier kaum unterschieden werden kann. Faktisch können für individuelle Risiken also zwei Kategorien definiert werden (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Vereinfachter Vorschlag für Schutzziele für individuelle Risiken auf Grundlage der PLANAT-Schutzziele und gängiger Schutzziele in den Kantonen.

Risikokategorie	**Individuelles Todesfallrisiko** maximaler Wert pro Jahr	**Beispiel**
hohe Selbstverantwortung	$\leq 1 \cdot 10^{-4}$	Berufskraftfahrer, Schneeräumung, etc.
niedrige bis keine Selbstverantwortung	$\leq 1 \cdot 10^{-5}$	Anwohner, Strassenbenutzer, Bahnreisende etc.

Der Definition der Grenzwerte in Tabelle 4.2 begründet sich auf den Vorschlag der PLANAT (Tabelle 4.1) und Schutzzielen, die in verschiedenen Kantonen festgelegt wurden (Kanton Bern[2], Kanton Tessin).

Bei der Behandlung der kollektiven Risiken ist eine Unterscheidung nach Risikokategorien erschwert, da der Schutz von Personen in einem Perimeter nach unterschiedlichen Schutzzielen kaum praktikabel ist. Es wird daher vorgeschlagen, die in einem Beurteilungsperimeter potentiell betroffenen Menschen beim Umgang mit kollektiven Risiken einheitlich der Kategorie 3 gemäss PLANAT-Schutzzielen zuzuordnen. **Die Grenzkosten für die Verhinderung eines Todesfalls in dieser Kategorie werden somit einheitlich auf 5 Millionen CHF festgelegt**.

Das Ziel einer systematischen Sicherheitsplanung muss deshalb sein, durch konsequente Anwendung einheitlicher Schutzziele sowohl den Mitteleinsatz zu optimieren, wie auch einheitliche Sicherheitsstandards zu gewährleisten. Dies entspricht den zwei Hauptzielen der Vision und Strategie der PLANAT [57]. Eine einheitliche Sicherheit kann durch Maximalwerte des individuellen Risikos sowie durch gleiche Sicherheitsanstrengungen gegenüber kollektiven Risiken (Einhaltung der Grenzkostenkriterien) gewährleistet werden [49].

[2]Risikostrategie Naturgefahren: Ergebnissicherung der Klausursitzung des Regierungsrates vom 10. August 2005.

4.3 Schutzziele für weitere Schadenarten

4.3.1 Sachwerte

Unter Sachwerten werden Gebäude, Infrastruktur, Verkehrsverbindungen und Fahrzeuge sowie landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Nutzflächen verstanden.

Grundsätzlich gilt für die Verhinderung von Sachschäden inklusive den Folgeschäden unter Einbezug von Versicherungsleistungen, dass zur Verhinderung eines Franken Schadens nicht mehr als ein Franken für Sicherheitsmassnahmen ausgegeben werden soll. In der Praxis stösst dieses Vorgehen an Probleme, da die berechneten Sachschäden oftmals indirekte, mitunter schwere Folgeschäden nicht einschliessen und mit den getroffenen Massnahmen beim vorgeschlagenen Verhältnis von 1:1 ein unzureichender Schutz vorhanden ist. Für die Fälle, in denen mit bedeutenden indirekten Folgeschäden zu rechnen ist, kann im Einzelfall auch proportional mehr investiert werden. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass

- sich indirekte Folgeschäden bei der Ermittlung der potentiellen Schäden oftmals schwer quantifizieren lassen, und dass
- bei bestimmten Situationen eine Präferenz vorliegt, einen Schaden zu verhindern, statt auf Schadenbehebung abzustellen.

In Anlehnung an die in der PLANAT-Strategie skizzierten Schutzziele wird für die Planung von Massnahmen ein Verhältnis von 1:1 von Massnahmenkosten zu Sachschäden vorgeschlagen. Sind hohe Folgeschäden zu erwarten, so wird vorgeschlagen, diese als indirekte Sachschäden klar zu deklarieren und in die Risikoanalyse und Massnahmenplanung einzubeziehen. Beispiele für Folgeschäden sind in Abschnitt 3.4.4 (Seite 33) erwähnt. Ein mögliches Vorgehen, um die indirekten Schäden mit Hilfe eines Schadenergänzungsfaktors einzubeziehen, wurde im Rahmen des Projekts A2 «Risikoaversion» skizziert [24].

4.3.2 Sonderrisiken

Bei besonderen Infrastrukturen und Kulturgütern hält bereits die PLANAT-Strategie fest, dass deren Schutz nach gesamtheitlichen Kriterien zu erfolgen hat. Schutzkonzepte haben ihrer Funktion und Bedeutung Rechnung zu tragen, im Speziellen bei lebensnotwendigen Anlagen wie Spitälern, der Wasserversorgung, Stromversorgung usw. In die jeweiligen Schutzkonzepte gehen die Naturgefahren nur als eine der möglichen Gefährdungen ein. Die entsprechenden Gefährdungsannahmen bei solchen Objekten sind nach einheitlichen Kriterien zu treffen. Je nach Bedeutung dieser Infrastrukturen kann es notwendig sein, mehr in Schutzmassnahmen zu investieren als dies dem reinen materiellen Schadenerwartungswert entsprechen würde. Die indirekten Folgewirkungen, die sich beim Ausfall von Versorgungseinrichtungen ergeben können, sollten daher soweit wie möglich quantifiziert werden. Wo dies nicht möglich ist, stellt der Einbeug eines Schadenergänzungsfaktors [24] ein mögliches Vorgehen dar.

Für Kulturgüter stellen die Naturgefahren ebenfalls nur eines unter vielen Gefährdungsszenarien dar. Gleiches gilt auch für ökologisch besonders wertvolle Schutzobjekte.

Der Schutz von politischen Gemeinwesen und sozio-ökonomischen Systemen, wie er in der Strategie aufgeführt ist, ist ein anspruchsvolles Spezialthema. Es ist zum Teil Gegenstand der bisherigen Überlegungen, welche unter dem Aspekt der Risikoaversion behandelt werden. Weitergehende Überlegungen wurden bis jetzt nicht dokumentiert. Grundlagen zur Quantifizierung liegen im Moment nicht vor. So bleibt nur ein qualitativer Einbezug und eine gesamtheitliche Beurteilung.

In jedem Fall ist es notwendig, die gewählten Annahmen klar zu definieren und zu kommunizieren, um damit eine transparente Sicherheitsplanung zu gewährleisten.

4.4 Risikoaversion

Unter dem Thema Risikoaversion wird die Gewichtung des Schadensausmasses verstanden. Darunter wurden bisher unterschiedliche Phänomene zusammengefasst. Nach neuerem Verständnis [4] lassen sich drei Teileffekte unterscheiden, die im Folgenden näher beschrieben werden:

1. Qualitative Ausweitung und überproportionale Zunahme negativer indirekter Effekte von Schadereignissen, welche meist nicht durch Schadensindikatoren berücksichtigt werden (sozioökonomischer Gesamtschaden);
2. Unsicherheit der Abschätzung von Häufigkeit und Ausmass;
3. Intrinsische Risikoeinstellung: Ablehnende Haltung gegenüber der Möglichkeit von Ereignissen mit potenziell sehr grossen Schadenausmassen.

Die Gewichtung aufgrund des Aspektes 1 dient der Abschätzung von Schadenausmassen und wäre streng genommen unmittelbar Bestandteil der Risikoanalyse. Diese Gewichtung ist dann vorzunehmen, wenn nicht für jedes Szenario eine exakte Berechnung der direkten und indirekten Schäden möglich ist, sondern ausgehend von einzelnen Schadenindikatoren auf das gesamte Schadenausmass hochgerechnet wird.

Die Gewichtung aufgrund der Aspekte 2 und 3 lässt sich auch als «Risikoaversion» bezeichnen und ist ein Teil der Risikobewertung, die von der Gesellschaft bzw. dem Entscheidungsträger getroffen wird. Da jedoch das Risiko der einzelnen Szenarien gewichtet wird und damit rechnerisch in die Ermittlung des kollektiven Risikos einfliesst, muss diese Überlegung bereits in der Risikoanalyse berücksichtigt werden.

4.4.1 Die drei Teileffekte der Risikoaversion

4.4.1.1 Qualitative Ausweitung und überproportionale Zunahme negativer indirekter Effekte von Schadenereignissen

Mit zunehmendem beobachteten Schadenausmass ziehen Katastrophen viel weitere Kreise und wirken sich auf immer komplexere Weise auf das sozioökonomische Netzwerk einer Gesellschaft aus. Zudem nehmen die Kosten für die Wiederherstellung und die Regeneration überproportional zu. Diese qualitative Ausweitung und überproportionale Zunahme des Schadens wird mit einem Schadenergänzungsfaktor f berücksichtigt, der damit eine Annäherung an den effektiven

Gesamtschaden darstellt. Seine Beurteilung kann theoretisch weitgehend objektiv auf technisch-ökonomischen Analysen abgestützt werden. Als Basis kann die Auswertung von Schäden bei effektiven Ereignissen beigezogen werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Erweiterung der Schadenskategorien grundsätzlich abhängig vom betrachteten System ist und der Schadenergänzungsfaktor daher theoretisch für verschiedene Systeme unterschiedlich ist.

Zunehmende Unsicherheit über die quantitative Einschätzung von Risiken. Mit abnehmender Häufigkeit und steigendem Schadenausmass nimmt die Unsicherheit bei der Quantifizierung von Risiken in der Regel zu. Konkrete Erfahrungswerte rücken rasch immer mehr in den Hintergrund und müssen analytischen Abschätzungen oder gar intuitiven Expertenschätzungen Platz machen. Systemverantwortliche aber auch politisch Verantwortliche und die Öffentlichkeit äussern daher oft Skepsis und mahnen zur Vorsicht. Dies entspricht dem im Recht verankerten Vorsorgeprinzip, welches besagt, dass bei grosser Unsicherheit gegenüber gravierenden Risiken besondere Vorsicht anzuwenden ist.

Um dieser Vorsicht nachzukommen ist es sinnvoll, bestmögliche Schätzungen mit einem einheitlichen oder der Kenntnis des betroffenen Systems angepassten Sicherheitsfaktor zu gewichten, statt bei der Abschätzung von Risiken an verschiedenen Stellen sog. «konservative» Schätzungen zu verwenden, sich also immer eher am schlechteren Fall zu orientieren. Ein Vorteil der Gewichtung mit einem Sicherheitsfaktor liegt darin, dass in der Analyse festgelegt werden kann, welches Konfidenzintervall verwendet wird, mit welcher Sicherheit das tatsächliche Risiko also nicht unterschätzt wird. Dabei handelt es sich um eine gesellschaftliche Wertung (Grad der Vorsicht [oder eben Aversion] gegenüber katastrophalen Ereignissen), die so transparent vorgenommen werden kann und nicht in der Verantwortung derjenigen liegt, welche die Risikoanalyse erstellen.

Zunehmende Unsicherheit bei der Abschätzung der Eintretenswahrscheinlichkeit. Falls es nicht möglich ist, das Schadensausmass potenziell grosser Schadenereignisse resp. Katastrophen durch Schutzmassnahmen genügend abzumindern, muss sichergestellt werden, dass sie genügend unwahrscheinlich sind. In den meisten Systemen verbleiben dabei letztlich immer potenzielle Ereignisse mit grossen - oder gar existenzbedrohenden - Schadensausmassen, die wegen ihrer Seltenheit als «genügend unwahrscheinlich» angesehen werden (z. B. Auslösung einer Katastrophe durch ein extremes Erdbeben). Oft werden diese dann gar nicht mehr in die Analyse einbezogen.

In der Regel nimmt die Zuverlässigkeit der Bestimmung von Ereignishäufigkeiten mit zunehmender Seltenheit ab. Während die Häufigkeit regelmässiger Ereignisse auf Statistiken abgestützt werden können, sind die Häufigkeiten sehr seltener Ereignisse nur mittels theoretischen Überlegungen oder gar durch Schätzungen von Experten abschätzbar – und dies gerade bei besonders kritischen, grossen Ereignissen.

4.4.1.2 Zunehmende Unsicherheit bei der Schadenprognose

Auch bei der Prognose des Schadensausmasses nimmt die Unsicherheit in der Regel mit der Ereignisgrösse zu. Insbesondere werden die Schadenbilder immer komplexer. Aber auch die Kenntnislücken auf technisch-wissenschaftlicher Ebene (z. B. Verletzlichkeiten) kumulieren sich und

wirken sich immer stärker aus. Auch hier kann immer weniger auf die Erfahrung und Auswertung bisheriger Ereignisse zurückgegriffen werden. Zum Teil sind Schadenwirkungen einzubeziehen, für welche noch keine anerkannten Berechnungsmodelle vorliegen. Vereinfachende Modellrechnungen sind nötig, welche sich zwangsläufig wieder auf Annahmen und Abschätzungen durch Experten stützen. Dabei sollten solche Abschätzungen, gemäss Konzept der Risikoanalyse nicht einfach als worst-case-Annahmen verstanden werden, sondern ein nach bestem Wissen und Gewissen ermitteltes, zu erwartendes Schadensausmass der jeweiligen Szenarios darstellen.

4.4.1.3 Verantwortung bei Ereignissen mit ausserordentlichem Schadensausmass

Bei diesem Effekt handelt es sich gemäss Entscheidungstheorie um die Aversion im engeren Sinn, auch als intrinsische Risikoeinstellung bezeichnet. Sie besagt, dass risikoaverse Personen einen geringen sicheren Verlust einer Risikosituation mit gleichem Erwartungswert vorziehen. Dies lässt sich so erklären, dass der meist geringe Erwartungswert seltener Grossereignisse als bewältigbar eingeschätzt wird, während bei der Möglichkeit, dass das Ereignis tatsächlich eintritt, eine potenziell nicht bewältigbares Schadenausmass droht. Die Präferenz für den sicheren, jedoch bewältigbaren Schaden stellt damit eine auch rational begründbare Absicherung dar. Ein Beispiel für eine solche Absicherung stellt die verbreitete Privathaftpflichtversicherung dar.

Die intrinsische Risikoeinstellung ist dann besonders gross, wenn man sich bei seltenen Ereignissen mit grossen - oder gar existenzbedrohenden - Schadensausmassen besonders weit weg vom statistischen Erfahrungsbereich bewegt und damit auch vom Gültigkeitsbereich statistischer Modelle, wie es der Erwartungswert $R = \Sigma p_j \cdot A$ bei sehr seltenen Ereignissen mit grossen Schadenausmass darstellt.

4.4.2 Vorschlag der Aversionsfaktoren

Die beschriebene Aufgliederung der Risikoaversion wurde im Rahmen des PLANAT-Aktionsplan-Projektes B 2.1 «Risikoaversion» entwickelt. Da die Umsetzung dieses Konzeptes in die Praxis noch nicht abschliessend diskutiert ist, wird im vorliegenden Leitfaden vorgeschlagen, zunächst weiterhin einen Faktor zu verwenden. Dieser entspricht der Quantifizierung im Projekt B 2.1. In Abbildung 4.2 ist dieser Vorschlag für die Funktion der Risikoaversion inkl. des Schadenergänzungsfaktors f dargestellt.

Mathematisch lassen sich diese Faktoren wie folgt ausdrücken:

Funktion für Teilfaktor f:

$$f = 10^{0.001\,log\,x^4 - 0.0119\,log\,x^3 + 0.0208\,log\,x^2 + 0.1931\,log\,x - 0.0001} \tag{4.1}$$

Funktion für alle Teilfaktoren f, ϕ_{1+2} und ϕ_3:

$$y(f, \phi_{1+2}, \phi_3) = 10^{\frac{1}{log(300)} \cdot log\,(x)} \qquad \text{für } 1 < x < 300 \tag{4.2}$$

$$y(f, \phi_{1+2}, \phi_3) = 10^{-0.0418\,log\,x^2 + 0.5515\,log\,x - 0.1064} \qquad \text{für } 300 < x < 1'000'000 \tag{4.3}$$

Funktion für alle Teilfaktoren (eigentliche Aversionsbestandteile):

$$\phi(\phi_{1+2}, \phi_3) = 10^{-0.0036 log x^3 + 0.02011 log x^2 + 0.186 log x} \tag{4.4}$$

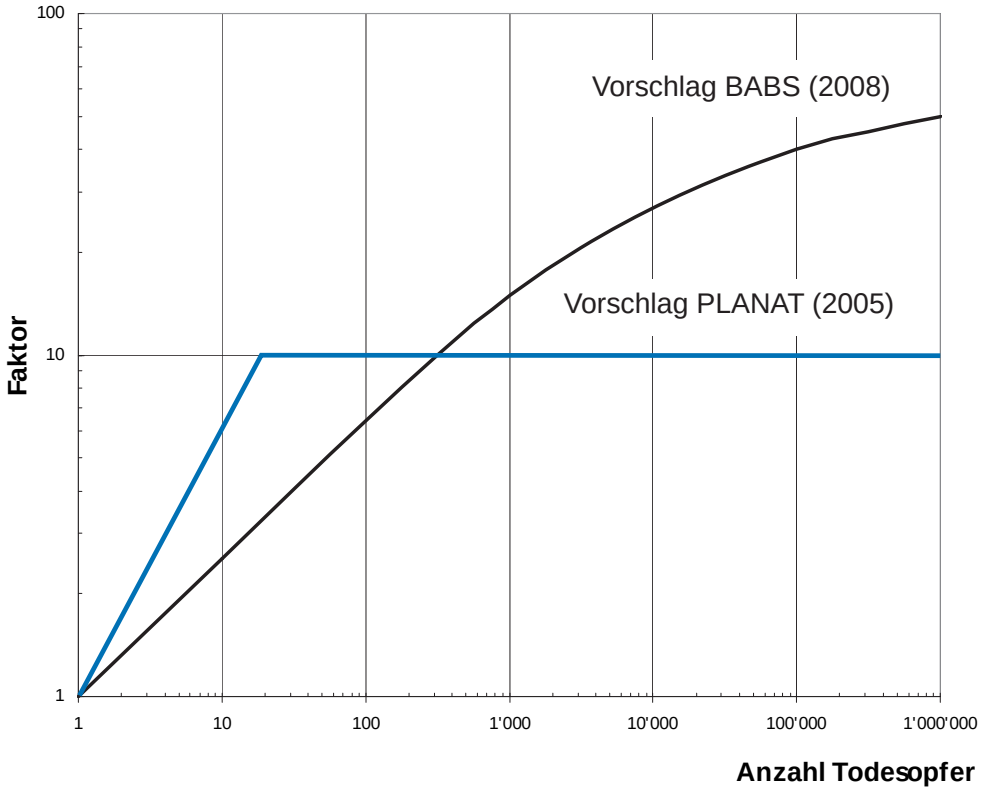


Abbildung 4.2: Vorschlag für eine neue Risikoaversion bestehend aus Teilfaktoren (nicht gezeigt, schwarze Linie) und die Funktion gemäss der PLANAT-Strategie (blaue Linie).

Die Aversionsfunktion bezieht sich derzeit auf den Schadenindikator Todesopfer. Es wird vorgeschlagen, die Funktion in dieser Form auch für andere Schäden anzuwenden, solange keine weitergehenden Kenntnisse in Bezug auf andere Schadenindikatoren vorliegen. Dazu muss die Anzahl der Todesopfer mit den jeweils adäquaten Grenzkosten multipliziert werden.

Kapitel 5

Massnahmenplanung und -bewertung

5.1 Zielsetzung

Die Resultate der Risikoanalyse und -bewertung bilden die Grundlage für den dritten Schritt des Risikokonzeptes, die Massnahmenplanung und -bewertung. Dabei werden mögliche Schutzmassnahmen beziehungsweise Kombinationen von Massnahmen entworfen und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und ihren Kosten untersucht.

Das Ziel der Massnahmenplanung ist, jene Massnahmen oder Massnahmenpakte zu finden, welche

1. die kollektiven Risiken im Sinne der ökonomischen Effizienz nach dem Grenzkosten-Prinzip optimal reduzieren und
2. bei Bedarf die individuellen Risiken unter eine Todesfallwahrscheinlichkeit pro Jahr $1 \cdot 10^{-4}$ bzw. $1 \cdot 10^{-5}$ (vgl. Abschnitt 4.2.3) vermindern.

Zusätzlich sollen die in Betracht gezogenen Massnahmen bzw. Massnahmenkombination hinsichtlich weiterer Faktoren abgeklärt werden. So sollen

- die Massnahmen den Kriterien der Umweltverträglichkeit genügen (z. B. Landschaftsschutz),
- die Massnahmen Kosten nicht auf zukünftige Generationen verschieben (Prinzip der Nachhaltigkeit[1]),
- Auflagen wie Vorgaben zu Evakuierungen oder Strassensperrungen zumutbar und verhältnismässig sein[2].

[1] Brundtland-Bericht, 1987: Nachhaltigkeit heisst «den Bedürfnissen der heutigen Generation zu entsprechen, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen».

[2] Zumutbarkeit und Verhältnismässigkeit sind diffuse Begriffe. Werden sie im konkreten Fall verwendet, um einen höheren Schutzbedarf zu begründen, müssen sie verbindlich formuliert werden. In der Risikostrategie des Kantons Bern wird beispielsweise vorgeschlagen, bei Verkehrswegen je nach ihrer Bedeutung so genannte Verfügbarkeitsanforderungen festzulegen. Eine solche kann etwa lauten: «... dass die Bahnstrecke höchstens alle zehn Jahre einige Stunden und höchstens alle dreissig Jahre eine Woche unterbrochen sein darf.»

Die Planung ist in hohem Masse ein kreativer Prozess, der nicht rein systematisch durchführbar ist. Dies äussert sich besonders in der Entwicklung von optimalen Kombinationen. Durch geeignete Kombination können bspw. Schwachpunkte der Massnahmen gegenseitig abgedeckt respektive Unsicherheiten dank redundanten Wirkungen vermindert, oder die Bemessung der Einzelmassnahmen reduziert und so geringere Kosten und verbesserte Akzeptanz erreicht werden.

Schliesslich kann die Massnahmenplanung immer nur so gut sein, wie die dazu aufbereitete Ausgangsbasis. Was nicht als Massnahme eingebracht wird, kann auch nicht in die Beurteilung einfliessen. Deshalb ist eine breite Abstützung auf Expertenwissen, Erfahrungen und auch Inputs von Betroffenen wichtig.

5.2 Mögliche Schutzmassnahmen

Grundsätzlich werden alle denkbaren respektive sinnvollen Massnahmen aus Prävention und Intervention in die Massnahmenplanung einbezogen[3]. Dabei können die Massnahmen in vier Gruppen unterteilt werden:

- Raumplanerische Massnahmen: Durch raumplanerische Vorgaben wird eine der Gefahrensituation angepasste Raumnutzung gefördert.
- Bauliche Massnahmen: Zum einen kann mit Verbauungen die Entstehung, die Bewegung und Entwicklung sowie die Ausbreitung von Gefahrenprozessen verhindert oder eingedämmt werden. Zum andern erhöhen bauliche Eingriffe die Widerstandsfähigkeit potenziell betroffener Objekte.
- Biologische Massnahmen: Der stabilisierende Effekt von Pflanzen kann speziell bei gravitativen Gefahrenprozessen zur Verhinderung, Bremsung oder Eindämmung von Bewegungen genutzt werden. Auch die Wasser speichernde Funktion von Pflanzen kann zu den biologischen Massnahmen gezählt werden.
- Organisatorische Massnahmen: Schäden können durch Vorbereitung auf ein Ereignis, durch Warnung vor sowie durch einen Einsatz während kritischen Situationen und Ereignissen reduziert werden.

Raumplanerische Massnahmen spielen für die langfristige Risikosteuerung und -kontrolle eine zentrale Rolle. Ihnen kommt deshalb im integralen Naturgefahrenmanagement eine wichtige Funktion zu. Der vorliegende Leitfaden konzentriert sich aber auf die Analyse und Lösung akuter Sicherheitsprobleme. Hier stehen eher Massnahmen der übrigen drei Gruppen im Vordergrund, welche aktiv und vergleichsweise kurzfristig zur Risikoreduktion eingesetzt werden können. Als Spezialfall ist die Umsiedlung zu betrachten, welche den raumplanerischen Massnahmen zugeordnet wird und bei Bedarf in vergleichsweise kurzen Zeiträumen grosse Veränderungen ermöglicht. Objektschutz hingegen – obwohl rechtlich meist durch die Nutzungsplanung forciert – wird den baulichen Massnahmen zugerechnet. Eine weitere raumplanerische Massnahme ist eine Nutzungs-

[3] Die Wiederherstellung ist das dritte Element des Risikokreislaufs. Im Gegensatz zu Prävention und Intervention hat sie aber nicht die Vermeidung beziehungsweise Reduktion von potenziellen Schäden zum Ziel, sondern die Vorbereitung (Bsp. Versicherungen, Fonds) und die rasche und der (neuen) Situation angepassten Realisierung von Instandstellungsarbeiten nach Ereignissen.

beschränkung, die sicherstellt, dass Personen (oder Sachwerte) im Zeitraum einer potentiellen Gefährdung nicht anwesend sind.

Solange gemäss Risikobewertung die Risiken zu hoch sind respektive ökonomisch optimal vermindert werden können, ist die Realisierung von Schutzmassnahmen sinnvoll. Sind die individuellen Risiken genügend tief oder ist die ökonomische Verhältnismässigkeit nicht (mehr) gegeben, sei dies weil die optimale Massnahmenkombination gefunden wurde oder weil keine Schutzmassnahmen notwendig beziehungsweise effizient sind, bieten raumplanerische Massnahmen das Instrumentarium, weitere Raumnutzung zu ermöglichen ohne neue oder grössere Risiken zu schaffen. Sie bilden gewissermassen den Rahmen, in dem langfristig eine risikogerechte Raumnutzung erfolgen kann. Deshalb gehören raumplanerische Betrachtungen in jedem Fall zu einer integralen Massnahmenplanung dazu, können aber nicht in jedem Fall nach den für die übrigen Massnahmen gültigen Kriterien Grenzkosten und Schutzziel individuelle Risiken beurteilt werden.

5.3 Zeitliche Entwicklung

Risikoanalysen und Massnahmenplanungen sind zum Einen zwar eine Momentaufnahme, zum Andern haben sie aber eine starke zeitliche, in die Zukunft gerichtete Komponente. Dies wird besonders bei Massnahmen mit grossen zeitlichen Veränderungen wie den biologischen Eingriffen (z. B. Aufforstungen) oder der Steuerung der Raumnutzung über die Nutzungsplanung augenfällig.

Grundsätzlich erlaubt das Risikokonzept auch zeitlich differenzierte Risikobetrachtungen anzustellen und beispielsweise Expositionssituationen (vgl. Abschnitt 3.3.3) mit Zukunftscharakter aufzustellen oder die (zunehmende oder abnehmende) Wirkung von Schutzmassnahmen differenziert zu beurteilen und so zukünftige Risiken quantitativ abzuschätzen. Diese Detailbetrachtung wird hier explizit nicht ausgeschlossen. Für den Normalfall werden aber die folgenden Vereinfachungen empfohlen:

- Bei Umsiedlungen als hier speziell berücksichtigte Möglichkeit raumplanerischer Massnahmen ist die Wirkung an sich nicht problematisch einzuschätzen. Vielmehr ist es aber die Realisierungszeit: Wie rasch werden die doch massiven Eingriffe durchgesetzt bzw. werden mit den Betroffenen Lösungen gefunden? Falls die Umsiedlung im konkreten Fall effektiv als mögliche Lösung in Betracht gezogen wird, was insbesondere Überlegungen zur Akzeptanz und zur Durchführbarkeit voraussetzt, soll die Massnahmenbewertung davon ausgehen, dass die Realisierung in ähnlichen Zeiträumen wie die anderen Massnahmenvarianten erfolgen kann.
- Kosten und Wirkung von baulichen Massnahmen fallen im Wesentlichen ab Realisierung an[4]. Die Beurteilung ist damit vergleichsweise unproblematisch. Später anfallende Kosten (z. B. Unterhalt) werden in der Kostenrechnung berücksichtigt.

[4]Zwischen dem Planungsprozess und der tatsächlichen Realisierung von Schutzbauten respektive ihrer Fertigstellung können aus verschiedenen Gründen einige Jahre liegen. In dieser Zeit verändern sich auch die Eingangsgrössen der Risikoanalyse, insbesondere das Schadenpotenzial. Es wird aber angenommen, diese Veränderungen liegen im Unsicherheitsbereich der Risikoabschätzung. Damit ist die statische Risikobetrachtung des Status quo nach wie vor für die Massnahmenbewertung zulässig.

- Bei biologischen Massnahmen fallen in der Regel die Kosten ab Projektbeginn an, während hinsichtlich der Wirkungen mit Verzögerungen (z. B. Entwicklung von Pflanzungen) zu rechnen ist. Deshalb darf bei der Wirksamkeit zunächst nur auf denjenigen Komponenten basiert werden, welche «sicher» von Beginn weg wirksam sind (z. B. technische Komponenten). Die «unsicheren» Massnahmen (z. B. zukünftige Vegetationsentwicklung) können je nach Situation nicht oder nur mit reduzierter Wirkung eingerechnet werden. Damit ergibt sich die Konsequenz, dass von Beginn weg Kosten anfallen, eine adäquate Wirkung aber erst mit Verzögerung eintritt. Dieser Effekt kann gegebenenfalls kostenseitig abgedämpft werden, in dem für biologische Massnahmen eine hohe Laufzeit eingesetzt wird.
- Bezüglich der organisatorischen Massnahmen gelten im Wesentlichen obige Bemerkungen zu den baulichen Massnahmen: Kosten und Wirksamkeit fallen innert der Aufbauphase von wenigen Jahren an. Deshalb kann häufig bereits kurzfristig ein Effekt erwartet werden, wobei dieser je nach Situation (z. B. vorhandene Grundlagen, Instrumente und Erfahrungen) sehr unterschiedlich ausfallen kann. Mit der Zeit können sich organisatorische Massnahmen insbesondere durch den wachsenden Erfahrungsschatz positiv entwickeln. Allerdings bleiben Unsicherheiten bezüglich der Erhaltung bestehen (langfristiger Bestand etwa eines Warn- und Rettungsdienstes).

Eine wesentliche Frage ist, ob ein allfälliger späterer «Mehrnutzen» von Schutzmassnahmen zur Gefahrenabwehr durch Intensivierung der Raumnutzung berücksichtigt werden soll. Solche Szenarien sind bei entsprechenden Annahmen in der Regel ökonomisch vorteilhaft, müssen aber im Vorfeld abgeklärt werden. Aus Sicht der Massnahmenbewertung müssen solche Überlegungen nicht à priori ausgeschlossen werden. Es ist aber zu bedenken, dass ein Szenario nur begründet ist, wenn (a) konkrete Bauabsichten vorliegen und insbesondere (b) keine günstigeren Alternativstandorte zur Verfügung stehen. Gerade Letzteres dürfte aus Sicht des Subventionsgebers eher selten der Fall sein. Auch wenn der konkrete Nutzniesser volkswirtschaftlich nicht relevant ist, stellt sich bei dieser Betrachtungsweise die Frage der Verteilungsgerechtigkeit: Ist es vertretbar, die betroffenen Grundeigentümer oder die Standortgemeinde in diesem Sinn zu bevorzugen?

Für den ökonomischen Massnahmenentscheid gilt, dass eine Schutzmassnahme bezüglich der aktuellen Situation ökonomisch verhältnismässig sein muss. Zukunftsszenarien können in begründeten Fällen – beispielsweise wenn die intensivere Raumnutzung am betreffenden Standort aus verschiedenen Gründen vorteilhaft wäre – als Zusatzinformationen einfliessen und etwa bei ansonsten gleichwertigen Massnahmen den Entscheid beeinflussen.

5.4 Vorgehen

Grundsätzlich darf davon ausgegangen werden, dass die Massnahmenplanung im engeren (technischen) Sinn gemäss dem aktuellen Stand des Wissens durchgeführt wird und Fachgrundlagen berücksichtigt werden. Der Arbeitsablauf kann wie folgt gegliedert werden (Abbildung 5.1):

Auslöser: Die Massnahmenplanung wird durch die Resultate der Risikoanalyse und -bewertung initiiert, welche ihrerseits durch ein vermutetes Sicherheitsdefizit erst ausgelöst werden.

Massnahmenplanung: Ausgehend vom heutigen Risiko werden die möglichen Einzelmassnahmen und Massnahmenkombinationen entworfen. Damit die Planung in der notwendigen

Genauigkeit erfolgen kann, sind in der Regel weitere massnahmenspezifische Erhebungen notwendig. So müssen etwa bei Verbauungen der Werktyp, seine Bemessung und Ausdehnung aber auch die Rahmenbedingungen wie Baugrund oder Erschliessung bekannt sein und berücksichtigt werden. Solche Angaben werden sowohl für die Risikoanalyse nach Realisierung als auch für die Kostenberechnung benötigt.

Bestimmen von Wirksamkeit und Kosten: Die Wirksamkeit als Risikoreduktion sowie die Kosten dieser Massnahmen werden ermittelt. Zur Quantifizierung der Risikoreduktion muss die Risikoanalyse nochmals durchlaufen werden. Je nach Massnahme werden entweder angepasste Ereignisszenarien und Intensitätskarten erstellt oder neue Expositionssituationen entworfen sowie die Konsequenzen (Risiko nach Massnahmen) bestimmt.

Bewerten der Massnahmen: Die ökonomische Bewertung der entworfenen Massnahmen erfolgt nach dem Grenzkostenkriterium (vgl. Abbildung 5.1). Zur Massnahmenbewertung gehört weiter die Überprüfung der individuellen Risiken. Sie müssen mit der gewählte Variante unter dem vorgegebenen Grenzwert liegen.

Vorschlag Massnahmen: Aus den vorangehenden Analysen ergibt sich die für die Weiterbearbeitung empfehlenswerte Massnahmenvariante aus Sicht des vorliegenden Leitfadens.

Weiche Faktoren: Häufig spielen nicht nur technische und ökonomische Faktoren für den Massnahmenentscheid eine Rolle, sondern auch Aspekte wie Verhältnismässigkeit, Akzeptanz, ökologische Verträglichkeit, etc. Der systematische Einbezug solcher Punkte und insbesondere ihre Wertung fällt allerdings aufgrund fehlender Methoden und Grundlagen meist schwer und die Nachvollziehbarkeit ist nicht immer gegeben. Deshalb ist hier Transparenz sehr wichtig, insbesondere wenn der Massnahmenvorschlag aufgrund der weichen Faktoren noch abgeändert werden soll. Unter anderem sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wird die gewählte Massnahme von der betroffenen Bevölkerung akzeptiert?
- Wird die gewählte Massnahme von den politischen Entscheidungsträgern akzeptiert?
- Ist die Massnahme aus ökologischen Gründen vertretbar?
- Steht die Massnahme im Widerspruch zu anderen Zielen der Raumplanung, die unter Umständen höher zu gewichten sind?
- Wird durch die Massnahme die Funktionalität einer Infrastruktur (z. B. Verfügbarkeit Verkehrsachse) stark beeinträchigt?
- Sind Anliegen von Natur- und Landschaftsschutz berücksichtigt?

Zukunft: Wie bereits dargelegt ist die Raumnutzung und die damit verbundenen Risiken dynamisch zu betrachten. Deshalb gehören Überlegungen zur zukünftigen Risikoentwicklung zu einer integralen Massnahmenplanung dazu. Das Vorgehen kann sich dabei auf das methodische Grundgerüst des Risikokonzeptes stützen, welches künftige Situationen ebenso gut abbilden kann wie den Status quo. Allerdings ist noch ungeklärt, wie die Zukunftsszenarien konkret gebildet werden und – insbesondere – wie sie den Massnahmenentscheid beeinflussen sollen. Kritisch zu beleuchten sind in jedem Fall Situationen, wo in einem Zeitraum von Jahren bis wenigen Jahrzehnten nach der Realisierung der Massnahmen die Risiken erneut stark ansteigen. Möglicherweise liegen in diesen Situationen Defizite bei der Massnahmenplanung und speziell bei den langfristig relevanten raumplanerischen Massnahmen

vor. Zuweilen kann es sich aber auch um eine bewusst gewählte Strategie handeln, welche von einer beabsichtigten intensivierten Raumnutzung ausgeht.

Entscheid und Umsetzung: Fällt das Gesamturteil über die geplanten Massnahmen auch nach der erweiterten Überprüfung positiv aus, wird der abschliessende Entscheid gefällt und die Umsetzung wird an die Hand genommen. Andernfalls wäre eine überarbeitete Planung angezeigt, da erhebliche Differenzen zwischen dem Status Quo und dem möglichen, zukünftigen Zustand bestehen würden.

5.5 Bestimmen der Wirksamkeit

Die Wirksamkeit einer Massnahme entspricht der resultierenden Risikoreduktion und lässt sich als Differenz von Ausgangsrisiko zu verbleibendem Risiko nach Massnahmen bestimmen. Damit das verbleibende Risiko berechnet werden kann, muss der Einfluss der Massnahmen auf die verschiedenen Parameter der Risikoformel bestimmt werden. Dabei lassen sich die verschiedenen Massnahmentypen hinsichtlich ihres Einflusses grob einordnen (Tabelle 5.1).

Generell bestehen bei der konkreten Bestimmung der Wirksamkeit grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Massnahmen. Zudem ist meist eine individuelle Betrachtung der konkreten Situation notwendig. Einige allgemeine Grundsätze können aber eine erste Einordnung erleichtern:

- **Umsiedlung (Spezialfall raumplanerische Massnahmen):** Gebäude im gefährdeten Gebiet werden abgerissen oder zumindest umgenutzt. Die Hauptnutzung wird in ein ungefährdetes Gebiet verlegt. Es handelt sich um Einzelfälle, welche individuell betrachtet werden müssen. Generell muss bekannt sein, welche Gebäude betroffen sind und wie die künftige Nutzung (z. B. Abbruch, Umnutzung) konkret aussehen soll. Während die Realisierung einer Umsiedlung auf grosse Schwierigkeiten stossen kann, ist die Einschätzung der Wirksamkeit grundsätzlich einfach. Es sind nur punktuelle Objekte (Gebäude) betroffen, wo mit vergleichsweise hoher Genauigkeit abgeschätzt werden kann, wie das Schadenpotenzial nach Realisierung aussehen wird.
  Wie erwähnt, werden die übrigen raumplanerischen Massnahmen nicht nach dem Vorgehen des Leitfadens beurteilt. Ihre Wirkung wäre mittels Zukunftsszenarien zu bestimmen, indem Szenarien mit mehr oder weniger starker Einflussnahme durch die Raumplanung (z. B. Nutzungseinschränkungen oder angepasste Nutzungen) verglichen würden.

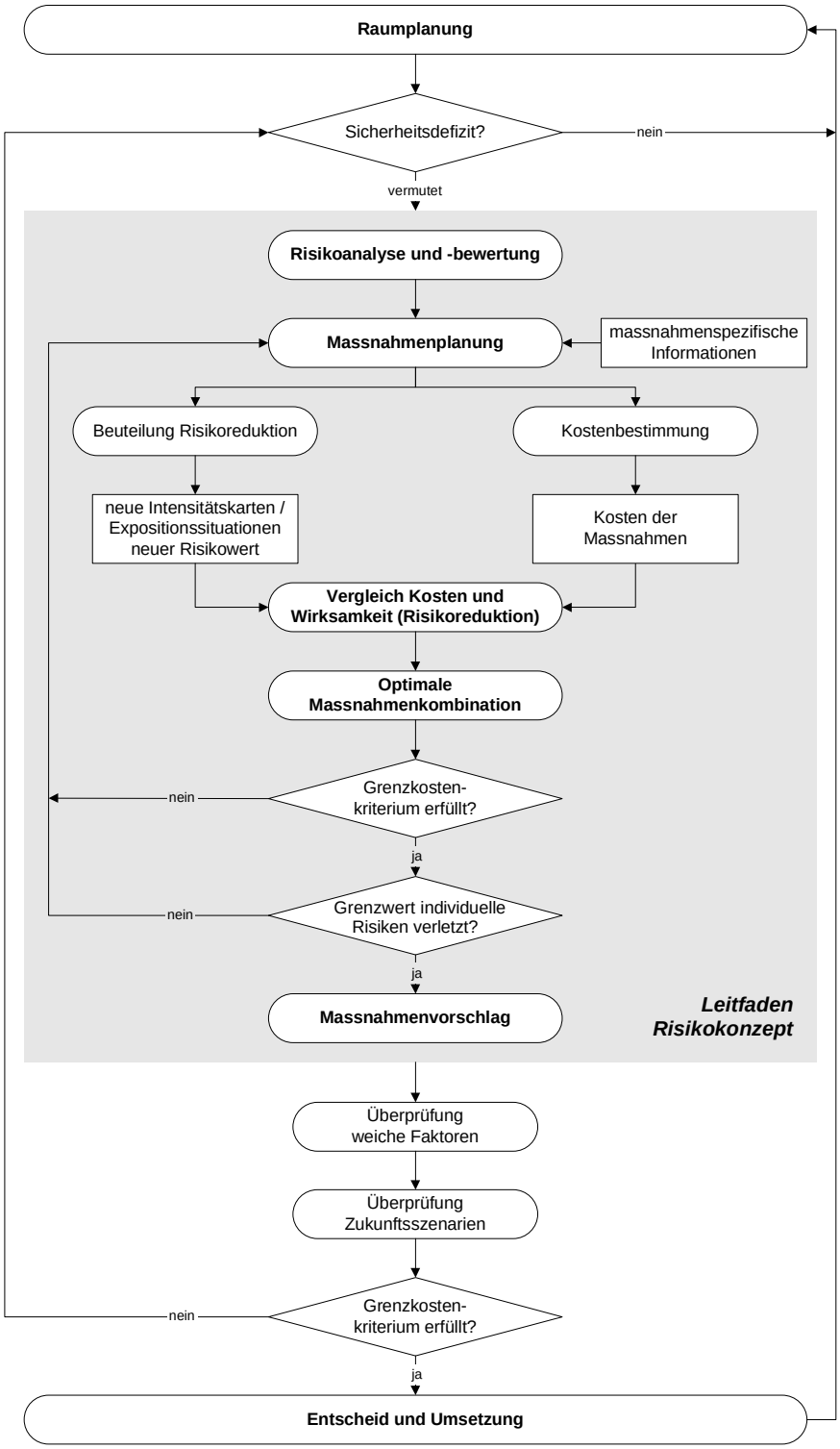


Abbildung 5.1: Übersicht Massnahmenplanung und -bewertung.

Tabelle 5.1: Wirkung verschiedener Schutzmassnahmen auf das Risiko.

	Wirkung auf ...			
	p_j Häufigkeit des Szenarios j	$p_{i,j}$ Wahrscheinlichkeit, dass Objekt i dem Szenario j ausgesetzt ist	A_i Wert des Objektes i	$SE_{i,j}$ Schadenempfindlichkeit des Objekts i in Anhängigkeit von Szenario j
Raumplanerische Massnahmen	kein Einfluss	langfristige Reduktion möglich	sehr langfristige Reduktion möglich	indirekt bzw. durch Bauauflagen
Spezialfall Umsiedelung	kein Einfluss	starke Reduktion bei Realisierung	starke Reduktion bei Realisierung	kein Einfluss
Bauliche Massnahmen	zentrale Wirkung von Verbauungen	z. B. Bau eines sicheren Unterstandes, Objektschutz	kein Einfluss	reduzierte Einwirkungen einerseits, verstärkte Bauten andererseits
Biologische Massnahmen	wie bauliche Massnahmen	kein Einfluss	kein Einfluss	reduzierte Einwirkungen
Organisatorische Massnahmen	Einfluss, z. B. durch künstliche Auslösung oder Prozessumleitung	Einfluss durch Sperrung, Evakuierung	kein Einfluss	Einfluss, durch z. B. temporäre Verstärkung, erste Hilfe/ Rettung

- **Bauliche Massnahmen:** Die Wirksamkeit von Schutzbauwerken – seien dies Massnahmen zur Gefahrenabwehr oder Massnahmen zur Verstärkung potenziell betroffener Objekte – wird grundsätzlich aus dem Vergleich der Prozesseinwirkungen mit dem Verhalten des Bauwerkes im Lastfall hergeleitet. Dieser Vergleich erlaubt die Abschätzung der Gefahrensituation nach Massnahmen (Prozessintensitäten und -wahrscheinlichkeiten) oder der verminderten Schadenempfindlichkeit von Objekten und somit die angepasste Risikoberechnung. Zu den Bauwerken stehen häufig Grundlagen wie Bemessungsvorgaben oder allgemeine Regeln (Normen, Richtlinien) zur Verfügung. Hingegen ist das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Bauwerken und Prozessen unterschiedlich weit entwickelt. Für die wichtigsten Massnahmentypen im Bereich Lawinen, Sturzprozesse, Rutschungen, Wildbäche und Flüsse wurden im PLANAT Projekt A3 «Wirkung von Schutzmassnahmen» eine generelle Vorgehensweise und konkrete Arbeitshilfen entwickelt [61]. Diese Anleitung soll in der Regel verwendet werden, um die Wirksamkeit von baulichen Massnahmen zu bestimmen.
- **Biologische Massnahmen:** Im Wesentlichen kann ihre Wirksamkeit nach dem gleichen Prinzip wie bei den baulichen Massnahmen beurteilt werden. Somit gelten die obigen Ausführungen auch hier, insbesondere der Verweis auf den Bericht zum Projekt A3 «Wirkung von Schutzmassnahmen» [61].
- **Organisatorische Massnahmen:** Diese Gruppe von Massnahmen deckt ein weites Feld ab. So fallen Massnahmen zur Förderung der Risikowahrnehmung und von angepassten Verhaltensweisen ebenso darunter wie Frühwarnsysteme und die Umsetzung der Informationen in Massnahmen wie Sperrungen als auch Interventionsmassnahmen im Ereignisfall. Die Abschätzung der Wirksamkeit kann nur situations- und massnahmenspezifisch erfolgen, haben die verschiedenen Möglichkeiten doch eine unterschiedliche Zielsetzung. Die Beurteilungsgrundlagen sind allerdings sehr unterschiedlich und mehrheitlich wurde die Wirkung solcher Massnahmen noch nicht systematisch untersucht.

5.6 Bestimmen der Kosten

Die Kosten setzen sich aus den Investitionskosten (Kapitalkosten) und den laufenden Kosten (Betriebskosten) zusammen. Die reale Verteilung der Kostenströme über die Zeit ist unbekannt. Sie wird vereinfachend als konstant angenommen. Dies entspricht auch dem Nutzen der Schutzprojekte (Risikoverminderung), welcher ebenfalls jährlich als gleich hoch angenommen wird.

Zur Anwendung kommt eine statische Kostenrechnung [84], welche eine dynamische Diskontierung nicht berücksichtigt. Dies ist dadurch begründet, dass (a) auch der Nutzen, d. h. die Risikoverminderung nicht abdiskontiert wird und (b) die methodisch bedingten Fehler dieser Kostenrechnung innerhalb des Unsicherheitsbereiches der gesamten Analyse liegen.

$$K(j) = K(b) + K(u) + K(r) + K(a) + K(z) \tag{5.1}$$

mit

$$K(a) = \frac{I(0) - L(n)}{n} \tag{5.2}$$

und

$$K(z) = \left[L(n) + \frac{I(0) - L(n)}{2} \right] \cdot \frac{p}{100} \tag{5.3}$$

$$= \frac{I(0) + L(n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \tag{5.4}$$

eingesetzt in die Grundgleichung berechnen sich die jährlichen Kosten mit:

$$K(J) = K(b) + K(u) + K(r) + \frac{I(0) - L(n)}{n} + \frac{I(0) + L(n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \tag{5.5}$$

mit

$K(J)$	=	Jährliche Kosten	[CHF/Jahr]
$K(b)$	=	Betriebskosten (z. B. Munitionskosten)	[CHF/Jahr]
$K(u)$	=	Unterhaltskosten	[CHF/Jahr]
$K(r)$	=	Reparaturkosten	[CHF/Jahr]
$K(a)$	=	Abschreibungskosten	[CHF/Jahr]
$K(z)$	=	Zinskosten	[CHF/Jahr]
$I(0)$	=	Investitionsbetrag	[CHF]
$L(n)$	=	Restwert	[CHF]
n	=	Laufzeit	[Jahre]
p	=	Zinssatz	[%]

Diese Berechnung erlaubt den Vergleich verschiedener Projektvarianten hinsichtlich der Kosten[5]. Die einzelnen Parameter werden jeweils massnahmenspezifisch bestimmt (vgl. Teil B). Sie sind wie folgt zu verstehen:

- Die laufenden Kosten setzen sich zusammen aus den Betriebskosten (wie Personalkosten bei einem Warndienst), den Unterhaltskosten (wie jährliche Unterhaltsarbeiten an technischen Einrichtungen) und den Reparaturkosten (wie Wiederinstandstellung von Schutzbauwerken). Die laufenden Kosten müssen so abgeschätzt werden, dass über den gesamten betrachteten Zeitraum (a) die Funktionalität der Massnahme und (b) ihre Sicherheit gegeben ist. Sie werden entweder in absoluten Grössen abgeschätzt oder in Prozentanteilen des Investitionsbetrages bestimmt.
- Die Kapitalkosten umfassen die Abschreibungskosten und die Zinskosten. Die Investitionskosten werden dabei jeweils für den konkreten Fall bestimmt. Für den Zinssatz wird ein fixer Wert von 2 % empfohlen[6]. Die Laufzeit und indirekt der Restwert leitet sich aus der Lebensdauer der Massnahme oder der Anzahl Jahre ab, nach der sie abgeschrieben sein muss. Die Lebensdauer endet dann, wenn trotz Erhaltungsmassnahmen die Sicherheit und Funktionalität der Werke nicht mehr gegeben ist. So ist sie unter anderem von den Aufwendungen für

[5] In Abschnitt 5.4 wurde für die Massnahmenplanung der Detaillierungsgrad «Vorstudie» vorgegeben. Dies entspricht kostenseitig gemäss Kreisschreiben Nr. 7 des BUWAL einer Genauigkeit von +/- 25 %. Dieser Bereich ist massgebend für die Schätzung der Investitionskosten und der laufenden Kosten.

[6] Wilhelm [82] schlägt basierend auf den Renditen von Bundesobligationen von 1981-92 einen Zinssatz von 1.65 % vor. Werden die Zahlen von 1975-2001 verwendet, resultieren 1.9 %.

Unterhalt und Reparatur abhängig. Es sind hier nicht maximal mögliche Lebensdauern relevant, sondern Mindestzeiträume, während denen im Regelfall die Wirkung im erwähnten Sinn gegeben ist.

Für die Betriebs-, Unterhalts- und Reparaturkosten, die Laufzeit und den Restwert werden in Teil B aufgrund der bisherigen Erfahrungen Richtwerte vorgeschlagen. Für die konkreten Werte sind aber die lokalen Bedingungen ausschlaggebend.

Bei organisatorischen Massnahmen wie Sperrungen und Evakuierungen sind die indirekten, schwer quantifizierbare Kosten ein wichtiger Punkt. Sperrungskosten in Form einer beeinträchtigen Wirtschaftstätigkeit oder die psychische Belastung im Fall von Evakuierungen sind jedoch nicht verlässigbar. Für Sperrungen hat Wilhelm [84] eine Vorgehensweise mittels eines Ersatzkostenansatzes entwickelt. Für die dargestellten Beispiele ergeben sich Sperrkosten in der Höhe zwischen rund 200'000 CHF und 650'000 CHF pro Tag.

Im Leitfaden des ASTRA wird für die Monetarisierung von unterbrochenen Nationalstrassen die Verwendung des Staukostenansatzes vorgeschlagen [2]. Gemäss den im Bericht dargestellten Annahmen ergeben sich z. B. für die Gotthard Nationalstrasse bei 20'000 Fahrzeugen Sperrkosten pro Tag in Höhe von rund 3.5 Mio CHF.

Da die Kosten für unterbrochene bzw. gesperrte Verkehrsverbindungen sehr unterschiedlich sind (z. B. Nationalstrasse vs. Kantons- bzw. Gemeindestrasse) wird ein pragmatisches Vorgehen vorgeschlagen:

- Sperrungen bis 2 Tage pro Jahr
- und Evakuierungen bis höchstens ein Mal pro 10 Jahre

werden ohne weitere Kostenfolge als tolerierbar erachtet. Wird mehr gesperrt beziehungsweise häufiger evakuiert, sind entweder die Kosten bestmöglichst anzunähern oder das Massnahmenkonzept ist zu überarbeiten.

5.7 Optimale Massnahmenkombinationen

Damit Sachrisiken und Personenrisiken gleichwertig in die Bewertung einbezogen werden können, werden letztere in Geldeinheiten umgewandelt. Bewertet wird dabei nicht das Leben an sich, sondern die gesellschaftliche Bereitschaft und finanzielle Möglichkeit Todesfälle zu verhindern. Dies entspricht dem Grenzkostenkonzept, nach dem Investitionen bis zu einem bestimmten Grenzbetrag als verhältnismässig angesehen werden. Der Grenzbetrag wurde auf 5 Mio. Franken pro verhinderten Todesfall (CHF/Tf) festgelegt (Abschnitt 4.2.3). Das Ausgangsrisiko und die durch die jeweilige Massnahme erzielte Risikoverminderung bezüglich Personenrisiken in Tf/a werden mit diesem Grenzbetrag multipliziert und so das Personenrisiko monetarisiert.

Ziel der Bewertung ist es, die aus gesamtwirtschaftlicher Sicht optimale Massnahme oder Massnahmenkombination zu finden. Dazu werden die Massnahmen im Risiko-Kosten Diagramm aufgezeichnet (Abbildung 5.2).

Die ökonomische Bewertung der entworfenen Massnahmen erfolgt nach dem Grenzkostenkriterium. Die Grenzkosten beschreiben die Kosteneinheit ΔK, welche zum Erzielen einer «Einheit

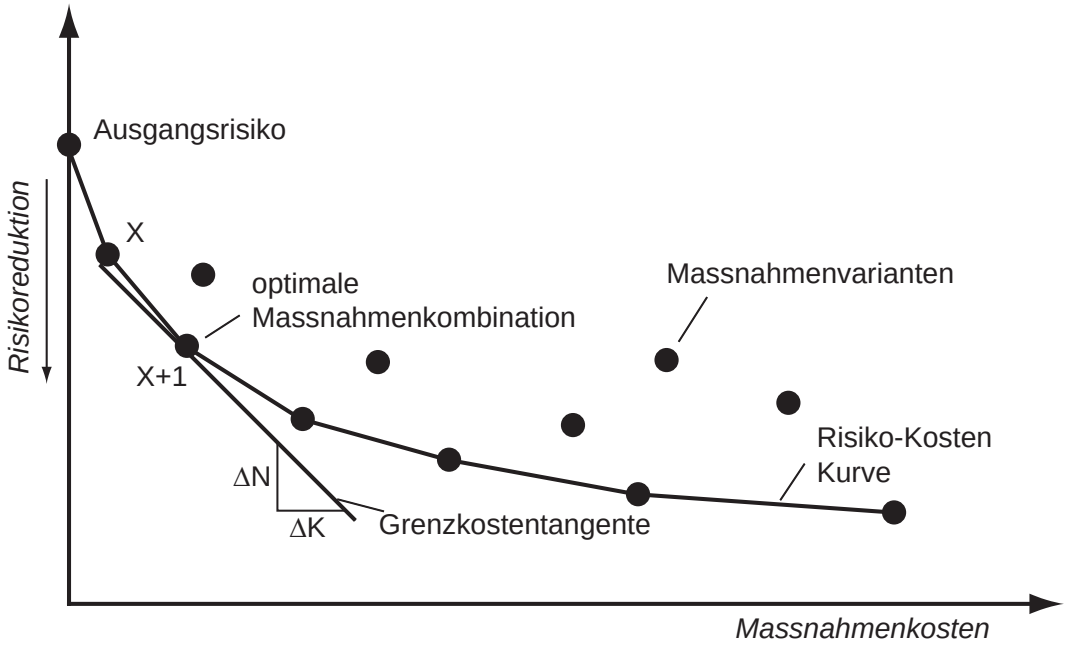


Abbildung 5.2: Ermitteln der optimalen Massnahmenkombination nach dem Grenzkostenkriterium.

Wirksamkeit» (Nutzen) ΔN eingesetzt werden muss. Grafisch entsprechen sie der Tangente an die Risiko-Kosten-Kurve[7].

Als erste Massnahme wird jene mit dem höchsten Wirksamkeits-Kosten Verhältnis gewählt. Anschliessend folgen in absteigender Reihenfolge die übrigen Massnahmen. Optimal sind jene Massnahmenkombinationen, bei welchen die Verbindungslinie die untere Umhüllende der Punkteschar bilden. Die Sicherheitsmassnahmen müssen nun soweit gehen, bis die Grenzkosten erreicht sind. Grafisch betrachtet stellt dieser Punkt den Berührungspunkt der Tangente mit der Steigung -1 an die theoretische Kurve im Punkt X+1 respektive bei diskret verteilten Massnahmenpunkten dem Segment von Massnahme X zu Massnahme X+1 dar. Bei einer geringeren Steigung der Tangente würde pro Einheit Nutzengewinn (Wirksamkeit) mehr als eine Einheit Kosten ausgegeben. Folglich stellt die Tangente mit der Steigung -1 den massgebenden Grenzwert für die ökonomische Optimierung dar.

Zur Massnahmenbewertung gehört weiter die Überprüfung der individuellen Risiken. Sie müssen mit der gewählte Variante unter dem vorgegebenen Grenzwert liegen.

5.8 Schlussbemerkung

Die vorgeschlagene Massnahmenplanung und -bewertung nach dem Grenzkostenkriterium stellt eine Entscheidungsgrundlage basierend auf den Überlegungen zur Sicherheit und zum verhältnismässigen, d. h. wirtschaftlichen Einsatz der Mittel dar. Da gemäss diesem Vorschlag die Sicher-

[7] Die Kurve verläuft nach dem Gesetz des abnehmenden Ertragszuwachses. Dieses besagt, dass bei einem fortgesetzten Einsatz eines Inputs (z. B. Geld) auf einen andern fixen Produktionsfaktor (z. B. Lawinenzug) der zusätzlich zu erzielende Output abnimmt [64].

heitsanstrengungen immer bis zum gleichen Punkt gehen, kann im Rahmen der Ungenauigkeiten sichergestellt werden, dass mit den zur Verfügung stehenden Mitteln ein Maximum an Sicherheit erreicht wird.

Die Erfahrungen in der Praxis zeigen jedoch, dass die Anwendung des Grenzkostenkriteriums nicht immer möglich ist. In einigen Fällen stehen nicht genügend Massnahmenvarianten zur Auswahl. In diesen Fällen wird die Kosten-Wirksamkeit (Sekantenkriterium im Risiko-Kosten Diagramm) als ökonomisches Entscheidungskriterium herangezogen.

Das Grenzkostenkriterium stellt bezüglich einer integralen Massnahmenplanung jedoch nicht das alleinige Entscheidungskriterium dar. Sicherheit ist immer nur ein Aspekt bei einer Massnahmenplanung, wenn auch ein sehr wichtiger. Die Praxis hat sich jeweils wie dargestellt auch an übrigen Anforderungen, wie Verfügbarkeit von Verkehrsverbindungen, Umweltverträglichkeit von Massnahmen und der Akzeptanz von Massnahmen in der Gesellschaft zu orientieren. Ein Einbezug dieser Aspekte in die Massnahmenplanung ist notwendig, kann aber gegenwärtig wegen fehlender Grundlagen nicht in gleicher Weise vollzogen werden, wie dies hinsichtlich der ökonomischen Kriterien gezeigt wurde. Es ist jedoch wichtig, dass der Einbezug dieser Faktoren immer explizit und nachvollziehbar geschieht.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS LAWINE

Michael Bründl, Hans Romang

Lawinenverbau Männlichen, Wengen, BE (S. Margreth, SLF)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Lawinen anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzprojekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Lawine charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses «Lawine»

Eine Schneelawine ist die schnelle Massenbewegung von abgelagertem Schnee mit einem Volumen von mehr als $100\,m^3$ und einer Länge von mehr als 50 Metern [73]. Lawinen können hinsichtlich ihrer Bewegung in Fliesslawinen und Staublawinen unterteilt werden. Treffen Lawinen auf ein Hindernis können durch die auftretenden starken Druckkräfte Gebäude und Infrastruktur zerstört werden (Abbildung 1.1). Durch den Transport von Bäumen und Steinen kann sich die zerstörerische Wirkung von Lawinen noch erhöhen.

Neben Schneelawinen kann auch Eis (z.B. von Hängegletscher) als Lawine zu Tal gehen. Eislawinen können ihrerseits Lawinen auslösen und stürzen dann als kombinierte Eis-/ Schneelawinen herab. In den folgenden Ausführungen wird jedoch schwerpunktmässig der Prozess Schneelawine betrachtet. Prinzipiell kann das Vorgehen aber auch auf Eislawinen übertragen werden, wobei

(a) (b)

Abbildung 1.1: Lawinenschäden an Gebäuden. Foto: M. Bründl (a); Archiv SLF (b).

dann entsprechende Anpassungen hinsichtlich Auslösewahrscheinlichkeit, Bewegung und Intensität gemacht werden müssen.

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Lawine

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

In der Ereignisanalyse werden die potentiellen Anrissgebiete (Neigung, Exposition, Geländeformen, Rauhigkeit, Vegetation, Verbauungen) und damit die Voraussetzungen für Lawinenabgänge beurteilt. Ferner gehören die Untersuchung der Sturzbahn und des Ablagerungsgebietes zur Geländeanalyse. Weitere wichtige Informationen für die Ereignisanalyse sind historische Quellen, Lawinenkataster und die Erfahrungen der lokalen Bevölkerung sowie lokaler Experten. Auslösefaktoren für Lawinen sind die Neuschneemenge in einer bestimmten Zeiteinheit, die Windrichtung- und die Windgeschwindigkeit, die Luft- und Schneetemperatur sowie die Belastung und die Stabilität der Schneedecke. Die Analyse der meteorologischen Bedingungen in einem Gebiet gehört daher zur Ereignisanalyse (z.B. Statistik über die Häufigkeit von Wetterlagen, 3-Tages Neuschneesumme, maximale Schneehöhen).

Die Auswertung dieser Grundlagen erlaubt, zusammen mit allfälligen weiteren Informationen und entsprechend dem aktuellen Stand des Wissens, die Festlegung der massgebenden Ereignisszenarien als Resultat der Ereignisanalyse. Für Verkehrswege werden die Szenarien dabei vor allem aufgrund der Häufigkeit beobachteter Lawinen über den Verkehrsweg ermittelt. Für Siedlungen

werden häufig Szenarien mit Jährlichkeiten z.B. von 10, 30, 100 und 300 Jahren formuliert. Das 300-jährliche Ereignis stellt dabei das Extremereignis dar. Ebenso können Szenarien mit kürzeren Jährlichkeiten (z.B. 1 bis 10 Jahre) sinnvoll sein. Die Wahl der für die Risikobeurteilung als relevant erachteten Szenarien muss in Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgen und ist entsprechend zu begründen.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse werden die Grundlagen aus der Ereignisanalyse hinsichtlich ihrer Wirkung beurteilt. Die Wirkungsanalyse wird in der Regel durch eine Modellierung des Prozesses unterstützt. Neben einem Handrechenmodell («Berechnungen von Fliesslawinen» [63]) werden in der Schweiz meist die lawinendynamischen Modelle AVAL-1D oder AVAL-2D verwendet. Als Eingangsparameter werden Informationen aus der Ereignisanalyse, z.B. über das Anrissgebiet, die Topographie der Sturzbahn und das Ablagerungsgebiet sowie die Berechnungsparameter benötigt. Details können den entsprechenden Handbüchern bzw. Grundlagendokumenten entnommen werden [19, 33].

Die Intensität einer Fliesslawine wird über die Geschwindigkeit, Fliesshöhe und die Dichte des Lawinenschnees definiert. Alternativ zur Geschwindigkeit kann auch der Druck auf ein senkrecht zur Fliessrichtung stehendes grosses Hindernis als Mass für die Intensität verwendet werden. Für Staublawinen wird der Staudruck als Ausdruck der Intensität verwendet [26]. In Anlehnung an die Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten können folgende Intensitätsklassen unterschieden werden (Tabelle 1.1):

Tabelle 1.1: Definition Intensitätsklassen für den Prozess Lawine. Der Parameter p bezeichnet den Druck einer Lawine auf ein zur Fliessrichtung senkrecht stehendes grosses Hindernis [10].

Intensitätsklasse	**Kriterien**
schwache Intensität	$p < 3\ kPa$
mittlere Intensität	$3 \leq p < 30 kPa$
starke Intensität	$p \geq 30 kPa$

Die Ergebnisse von Berechnungsmodellen müssen mit den Ergebnissen vergangener Ereignisse verglichen bzw. überprüft werden (Dokumente, Zeugenaussagen, Erfahrung von Experten etc.). Werden Differenzen zwischen den Simulationsergebnissen und den Erfahrungen festgestellt, dann sollten die Ergebnisse kritisch überprüft und gegebenenfalls manuell angepasst werden.

Bei der manuellen Korrektur der Simulationsergebnisse sind auch mögliche Ungenauigkeiten der Modellierung in Bezug auf die Inputdaten zu berücksichtigen. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, sollten die manuellen Korrekturen im Bericht dokumentiert werden. Diese finale Überprüfung ist für die Ermittlung des Risikos von entscheidender Bedeutung.

Die Ergebnisse der Ereignis- und Wirkungsanalyse werden kartographisch dargestellt; das Resultat der Gefahrenanalyse sind Intensitätskarten für den Prozess Lawine.

1.2.2 Expositionsanalyse

Lawinen können durch ihre Zerstörungskraft Gebäude, Infrastruktur, Verkehrswege, oberirdische Leitungen, Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Grün- und Erholungsflächen beschädigen. Ebenso können Personen ausserhalb und bei erheblicher Gefährdung auch innerhalb von Gebäuden betroffen sein. Können in einem gefährdeten Gebiet zahlreiche Personen anwesend sein (z.B. vollbesetztes Restaurant oder grössere Personenansammlung im Freien), dann ist die Ausscheidung von Expositionssituationen zu beurteilen. Mit der Ausscheidung von Expositionssituationen können Risikospitzen besser abgebildet werden.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Da Lawinen je nach Dichte des Schnees, Geschwindigkeit und Fliesshöhe sehr unterschiedliche Druckkräfte aufbauen können, ist die Bestimmung der Schadenempfindlichkeit mit grossen Unsicherheiten behaftet. Es gibt bezüglich der Einwirkung von Lawinen auf Gebäude und andere Strukturen nur wenige aussagekräftige empirische Daten [83]. Ebenso verhält es sich mit der Letalität von Personen. Die Ergebnisse des Projekts B5 «Verletzlichkeit» zeigt anhand von Fallbeispielen auf, wie gross die Unsicherheiten sein können [74].

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit von Lawinen ist ebenfalls mit grossen Unsicherheiten behaftet, da sich Lawinen je nach Topographie von Sturzbahn und Ablagerungsgebiet unterschiedlich ausbreiten können. Da Mehrfachniedergänge im gleichen Lawinenzug für einen Ausgleich von Geländeunebenheiten sorgen, können Lawinen verschiedene Bereiche des Ablagerungsgebietes erreichen. Die Wahrscheinlichkeit mit der ein Objekt durch eine Lawine betroffen werden kann, wird durch den Faktor räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit in der Berechnung des Schadenausmasses modellhaft abgebildet. Die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit müssen für den Einzelfall überprüft und angepasst werden. Als erste Annäherung können jedoch die entsprechenden Werte aus EconoMe übernommen werden. Die Unsicherheit sollte jedoch in der Risikobestimmung klar dargestellt werden.

1.3 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Da beim Prozess Lawine Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen Personen- und Sachrisiken bewertet werden. Für die Personen sind jeweils die individuellen und die kollektiven Risiken zu beurteilen.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Die heute möglichen und gebräuchlichen Massnahmen zur Reduktion von Lawinenrisiken können gemäss Tabelle 1.2 typisiert werden. Grundsätzlich gilt, dass jeder der aufgelisteten Massnah-

Tabelle 1.2: Gliederung der Lawinenschutzmassnahmen.

Technische Massnahmen	**Biologische Massnahmen**
Stützverbau (Anrissverbau)	Temporärer Verbau und Aufforstung
Galerie, Tunnel	Schutzwaldpflege
Ablenkwerke (Ablenkdamm)	**Organisatorische Massnahmen**
Bremsbauwerk (Höcker)	Warnsysteme
Auffangbauwerk (Dämme)	künstliche Auslösung
Objektschutz	Evakuierung und Sperrung
	Intervention und Rettung
	Raumplanerische Massnahmen
	Umsiedelung
	Nutzungsbeschränkung

mentypen eine relevante Wirkung entfalten kann, dass aber diese Wirkung für den Einzelfall zu quantifizieren ist.

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im Rahmen des Projekt A3 «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von Lawinen-Stützverbau, Lawinendämmen und Schutzwald entwickelt [61]. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares und transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Lawinenbereich nur fallspezifische Grundlagen. Solche Massnahmen sind deshalb immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Formel 5.1 in Teil A, Seite 57 bestimmt. In Tabelle 2.7 sind einige Richtwerte angegeben, die aus EconoMe übernommen und ergänzt wurden. Im Einzelfall können die realen Werte jedoch von diesen Richtwerte abweichen.

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit mit-

Tabelle 1.3: Richtwerte für laufende Kosten, Laufzeit und Restwert von Schutzmassnahmen bei Lawinen. Der Prozentsatz bezieht sich auf die Investitionssumme.

	Betriebs-kosten [%]	**Unterhalts-kosten** [%]	**Laufzeit** Jahre	**Restwert** [CHF]
Stützverbau (Anrissverbau)		1.0	80	0
Temporärer Verbau und Aufforstung		2.0	30	0
Galerie, Tunnel		2.0	80	0
Ablenkwerke (Ablenkdamm)		0.5	100	0
Bremsbauwerk (Höcker)		0.5	100	0
Auffangbauwerk (Dämme)		0.5	100	0
Objektschutz		0.5	50	0
Warnsysteme	5	0.0	10	0
Sprenganlagen	5	4.0	20	0

einander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60).

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach dem Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt (Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60).

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Neben den ökonomischen Kriterien sind weitere, auch sogenannte «weiche» Faktoren in den Entscheid einzubeziehen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse auf dem aktuellen Stand bezüglich einwirkendem Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die zeitliche Entwicklung eines Raumes in erster Linie nicht abgebildet. Da die Wirkung von Massnahmen gegen Lawinen die zeitliche Gültigkeit einer Risikoanalyse überschreitet, ergeben sich mit zunehmender Laufzeit Differenzen zwischen der Schutzwirkung von Massnahmen und dem sich daraus ergebenden Nutzen. Diese Entwicklung kann in einzelnen Fällen in den Massnahmenentscheid einbezogen werden. Dies muss aber in jedem Fall klar hervorgehoben werden.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Frauentobel, Landschaft Davos, Kanton Graubünden

2.1 Einleitung

Als Beispiel wird der Lawinenzug Davos Frauentobel verwendet. Der betrachtete Beurteilungsperimeter umfasst den Auslaufbereich der Frauentobellawine. Der Auslaufbereich beinhaltet den Schuttkegel unterhalb des Geschiebefängers über den Bereich der Kantonsstrasse und der Bahnlinie hinweg. Den nordöstlichen Teil im Bereich der Kantonsstrasse / Bahnlinie stellt die Lokalität «Tannen» dar, die südwestliche Begrenzung ist bei der Abzweigung «Lengmatta» (Abbildung 2.1).

Als Prozess wurde nur der Prozess «Schneelawine» untersucht, der für dieses Gebiet vor allem relevant ist. Dabei wurde aus Vereinfachungsgründen nur der Prozess «Fliesslawine» betrachtet.

Dieses Fallbeispiel baut auf einem Gutachten des SLF auf, das im Auftrag der Landschaft Davos Gemeinde erarbeitet wurde. Um in diesem Fallbeispiel in Expositionsanalysen verschiedene Situationen darstellen zu können, wurde die Angaben zu den betroffenen Objekten und Personen gegenüber dem Originalgutachten verändert.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

2.2.1.1 Grundlagen

Im Gebiet des Frauentobels haben sich gemäss historischen Quellen innerhalb der letzten 400 Jahre sechs schwere Ereignisse ereignet, bei denen insgesamt 13 Toten zu beklagen waren. Zwischen 1951 und 1999 haben sich 17 Lawinenniedergänge ereignet. Lawinen, die bis auf die Höhe der Kirche vorstossen, haben aufgrund dieser Daten eine geschätzte Jährlichkeit von 30 bis 50 Jahren.

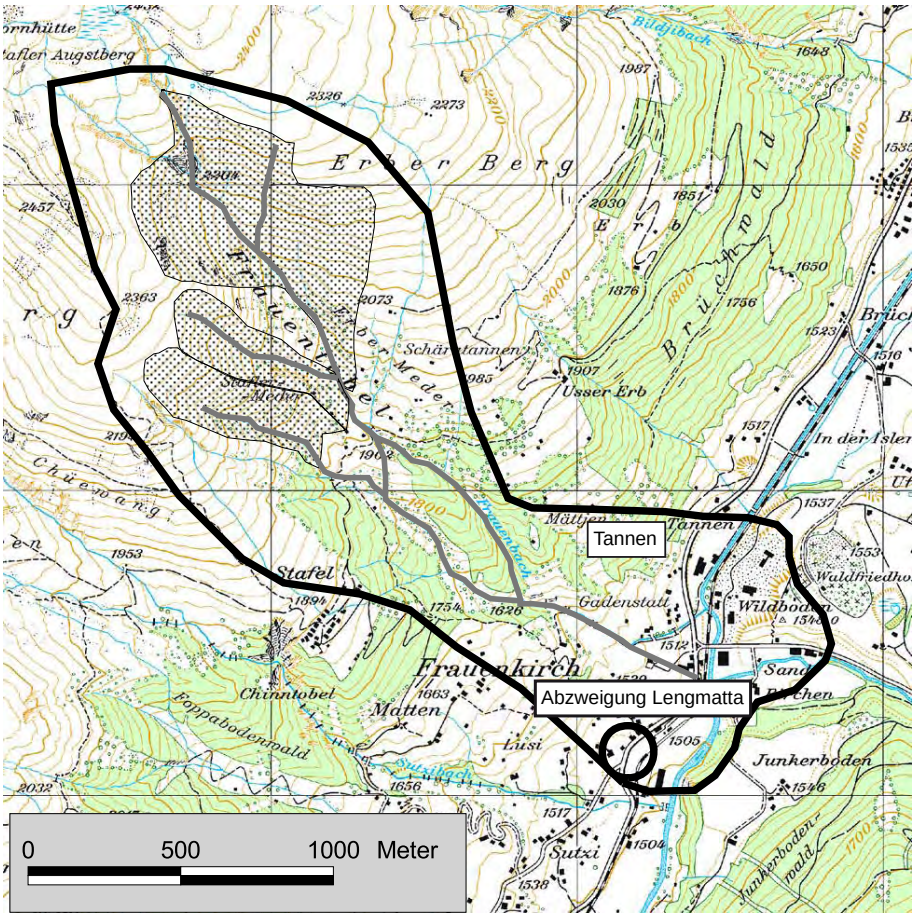


Abbildung 2.1: Gebietsabgrenzung Fallbeispiel Davos Frauentobel. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.2.1.2 Anrissgebiete

Das bedeutendste Anrissgebiet ist das Gebiet 305 (Abbildung 2.2). Es hat eine durchschnittliche Neigung von 31° und ist nach Süden exponiert. Im südöstlichsten Teil sind nur sehr selten Lawinen zu erwarten. Im nordwestlichen Teil ist das Gelände etwas steiler und zudem ist bei Nordwind mit der Anhäufung von Triebschnee im obersten Teil des Anrissgebietes zu rechnen.

Das Gebiet 304 liegt zuoberst im Frauentobel gegenüber vom nordwestlichen Teil des Gebietes 305. Das Gelände ist im Durchschnitt 33° steil und nach Osten ausgerichtet. Auch hier ist mit grösseren Triebschneeablagerungen zu rechnen.

Ein gleichzeitiger Anriss des nordwestlichen Teils der Gebiete 304 und 305 ist möglich und führt zu einer Lawine mit grosser Durchflussmenge.

2.2.1.3 Sturzbahn

Das obere und untere Frauentobel wird durch einen natürlichen Damm bei 1900 m ü. M. getrennt. Dieser Damm ist zwischen 5 m und 30 m hoch. Die Lawinen aus dem oberen Frauentobel treffen primär auf den westlichen, hohen Teil des Dammes. Der nördliche Arm der Sturzbahn (Hellento-

bel) ist von groben Felsblöcken durchzogen, relativ dicht bewaldet und weist eine grosse Rauhigkeit auf. Der südliche Teil (unteres Frauentobel) ist wenig bewaldet und zeigt keine bedeutenderen Geländeunebenheiten. Die Rauhigkeit ist daher nur mässig.

2.2.1.4 Auslaufgebiet

Das Auslaufgebiet ist durch einen markanten Schuttkegel geprägt. Im Süden des Schuttkegels wird die Lawinenbahn auf ca. 1570 m ü. M. durch einen schmalen, ca. 5 m hohen Geländerücken begrenzt. Dieser Rücken kann bei Mehrfachniedergängen überflossen werden. Ferner verläuft im südlichen Teil des Schuttkegels eine schwach ausgeprägte Rinne. Diese Rinne kann eine Ablenkung vor allem von langsamen Lawinen nach Süden in Richtung Landhaus bewirken (unterer Kartenrand in Abbildung 2.2) und die oberhalb liegenden Gebäude begünstigen. Das Auslaufgebiet weist eine Hangneigung von rund 10° auf.

Die Kirche steht auf einem nur wenig ausgeprägten Rücken. Schnelle und grosse Lawinen werden durch diesen Rücken nicht wesentlich beeinflusst.

Als Hinweise für die maximale Ausdehnung dienten die Gefahrenkarte und die Umhüllenden bisheriger Ereignisse, die im Lawinenkataster dargestellt sind. Danach wurde die Lawine von 1984

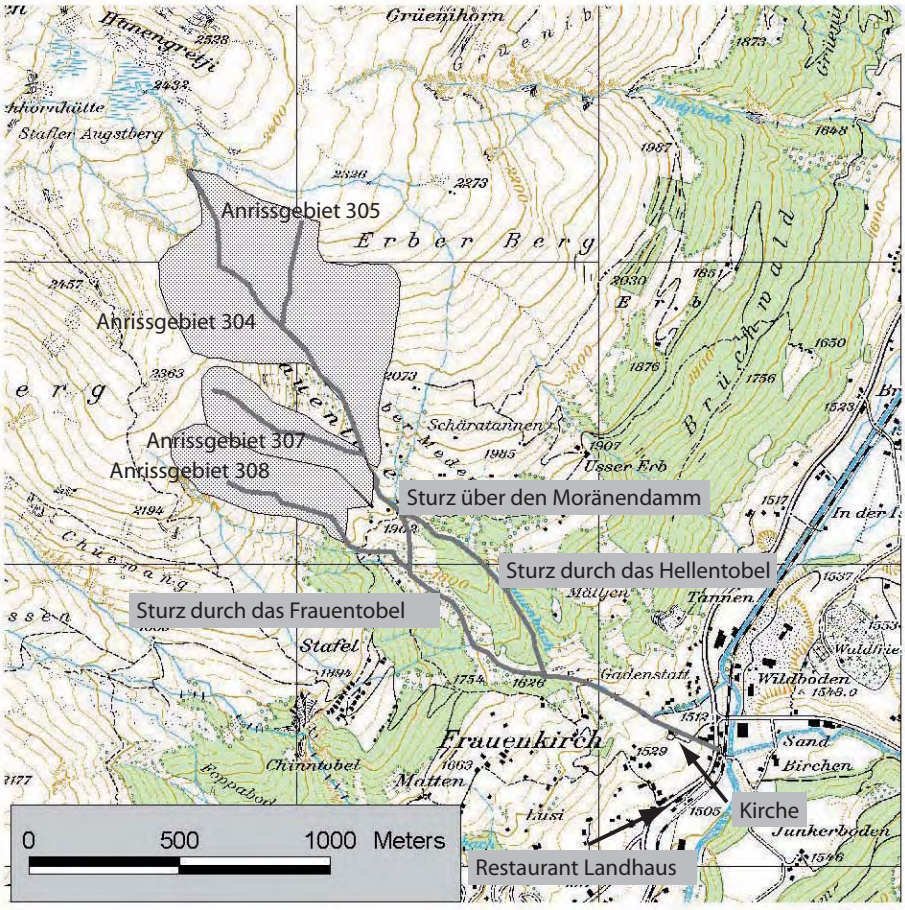


Abbildung 2.2: Anrissgebiete in Davos Frauentobel. © 2008 swisstopo (JD082774).

als repräsentativ für eine Lawine mit einer Jährlichkeit von 30 Jahren angenommen. Diese Lawine stiess etwa bis in die Höhe der Kirche vor (Abbildung 2.2). Für Lawinen mit einer geschätzten Jährlichkeit von mehr als 50 Jahren ist nur das Ereignis von 1968 bekannt. Diese Lawine hat sich gleichmässig auf dem Schuttkegel ausgebreitet, was die Reichweite verringert haben dürfte. Eine Extremlawine dürfte also noch weiter vorstossen. Die Lawine von 1968 ist nordöstlich der Kirche bis über die Kantonsstrasse vorgestossen (Zerstörung eines Hauses mit Todesopfer) und unterhalb des Bahnhofes Frauenkirch im Gebiet zwischen der Kantonsstrasse und dem Landwasser zum Stehen gekommen. Die geschätzte Jährlichkeit dieser Lawine beträgt 100 Jahre.

Aufgrund dieser Aufzeichnungen im Lawinenkataster wurden die Szenarien mit einer Jährlichkeit von 30, 100 und 300 Jahren angenommen. Das jeweils als massgeblich erachtete Anrissgebiet setzt sich aus den Anrissgebieten 304 und 305 zusammen, wobei auch die Gebiete 307 und 308 in die Betrachtungen einbezogen werden. Die dafür gewählten Anrisshöhen sind in Tabelle 2.1 dargestellt.

Tabelle 2.1: Beispiele für Jährlichkeit und Anrisshöhen für die Modellierung von Lawinen im Frauentobel.

Szenario (Jährlichkeit)	**Anrisshöhe [m]**
30 Jahre	1.00
100 Jahre	1.30
300 Jahre	1.50

Neben der Anrisshöhe wurde auch die Anrissfläche den Szenarien angepasst. Für die übrigen Modellannahmen (z.B. Reibungsparameter) wurde auf die Geländeanalyse beziehungsweise auf die obigen Ausführungen zu Sturzbahn und Auslauf abgestützt. Diese Szenarien sind das Endergebnis der Ereignisanalyse und sind zugleich Grundlage für die Wirkungsanalyse.

2.2.2 Wirkungsanalyse

2.2.2.1 Grundlagen

Die Grundlagen für die Wirkungsanalyse sind der Ereigniskataster und die Ereignisszenarien unterschiedlicher Jährlichkeit. Die Wirkung dieser Szenarien im Sinne von Intensität und räumlicher Ausdehnung wurde mit dem Lawinensimulationsprogramm AVAL-2D bestimmt.

2.2.2.2 Bestimmung der Intensitätszonen

Das Ergebnis dieser Modellierungen sind die Ausdehnungen der Ereignisszenarien. Die modellierten Lawinenszenarien konnten in die Intensitätsklassen gering (0-3 kPa), mittel (3-30 kPa) und stark ($>$ 30 kPa) unterteilt werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 2.3 dargestellt und zeigt die Intensitätszonen für die Szenarien 30-jährlich, 100-jährlich und 300-jährlich.

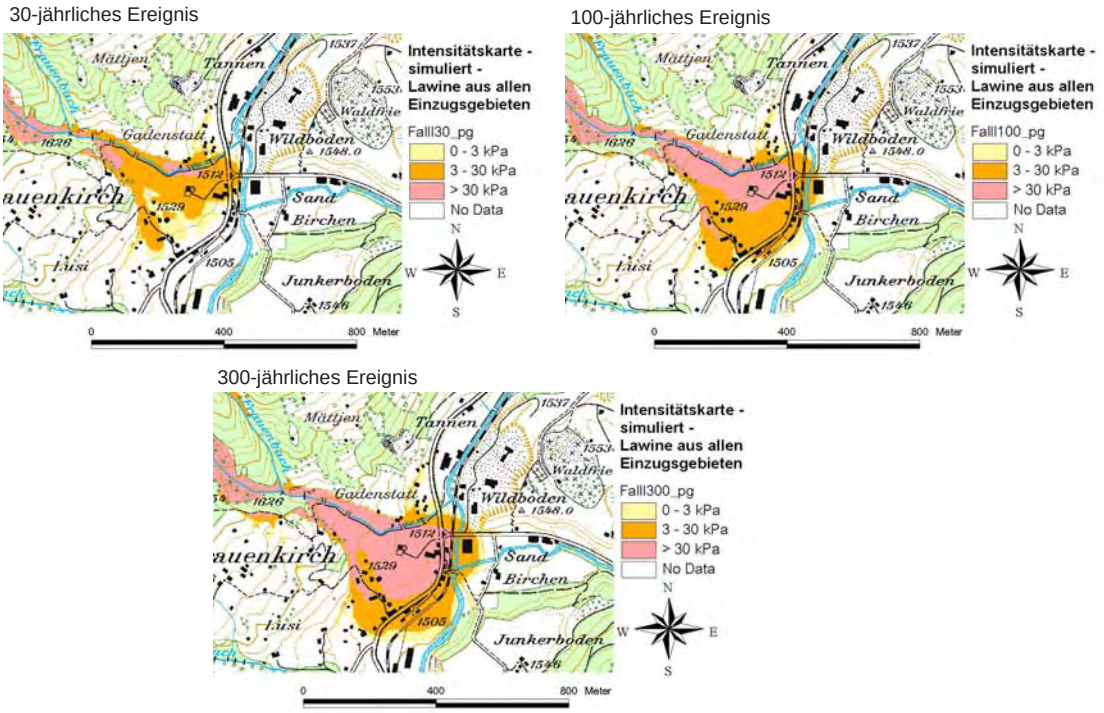


Abbildung 2.3: Intensitätskarten der Szenarien 30, 100, 300 für die Frauentobel-Lawine als Ergebnis der Modellierung mit AVAL-2D. Die farbig hinterlegten Flächen geben Intensitätsklassen an, die einen Wertebereich des Lawinendrucks wiedergeben. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.2.2.3 Interpretation der Ergebnisse

Die erste Analyse zeigte, dass durch das 30-jährliche Szenario schon einige Gebäude randlich erreicht werden. Die Lawine stösst bis etwa Höhe Kirche vor.

Sowohl beim 100-jährlichen als auch beim 300-jährlichen Szenario sind praktisch alle Gebäude und Verkehrswege mit mittlerer oder starker Intensität betroffen. Das 100-jährliche Ereignis stösst nordöstlich der Kirche mit starker Intensität bis in den Bereich der Kantonsstrasse vor und überschreitet sie im Bereich des Bahnhofs. Für das Extremereignis «300-jährliche Lawine» wurde angenommen, dass es das Ereignis von 1968 überschreitet und im Bereich des Bahnhofs bis zum Landwasser vorstösst. Damit deckten sich die Ergebnisse der Modellierung etwa mit den Beobachtungen aus dem Lawinenkataster.

Die erste Grobanalyse deutete an, dass alle Szenarien, aber insbesondere das 100-jährliche für die dargestellte Risikosituation massgebend sein dürften. Genauere Aussagen liessen sich jedoch erst nach Bestimmung der Risiken machen.

Im nächsten Schritt wurde untersucht, welche Objekte durch diese Szenarien betroffen sind.

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Die potentiell gefährdeten Objekte im betroffenen Perimeter wurden nummeriert und anhand der Objektkategorien klassifiziert und bestimmt (Abbildung 2.4 und Tabelle 2.2). Für die Festlegung der Personenbelegung und der Beurteilung der Gebäude war eine Geländebegehung notwendig.

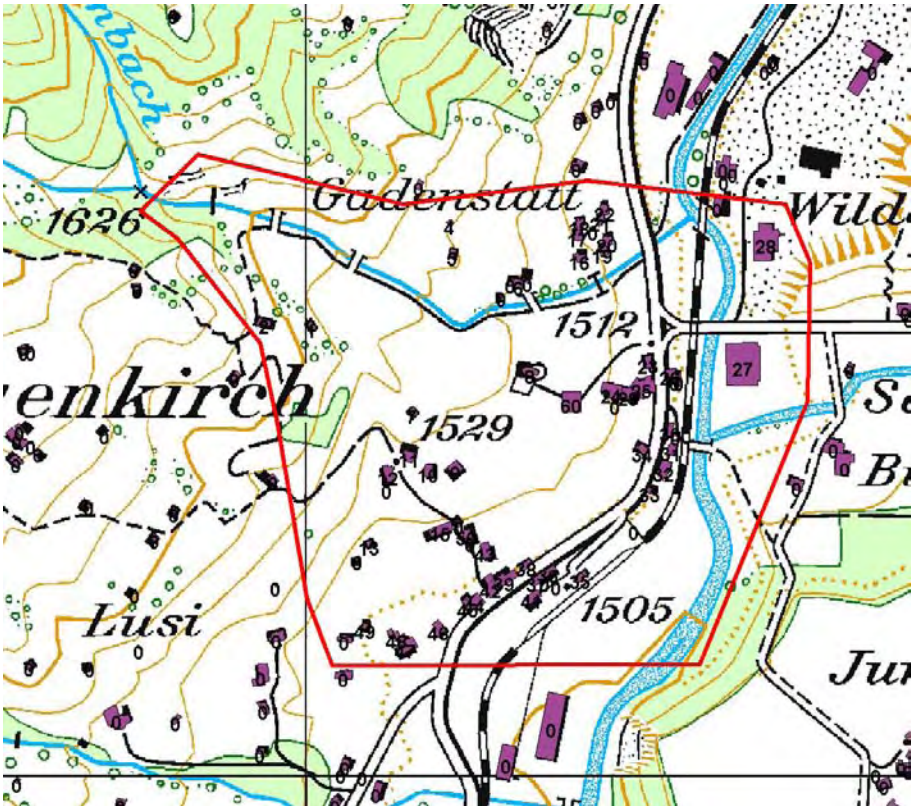


Abbildung 2.4: Kartenausschnitt mit den potentiell betroffenen Objekten der Frauentobel Lawine. Die mit «0» bezeichneten Objekte wurden nicht in die Betrachtung einbezogen. © 2008 swisstopo (JD082774).

Da keine genauen Daten vorhanden waren, wurden die Werte der Objekte anhand der Standardwerte aus EconoMe bewertet. Das gesamte Schadenpotential der Sachwerte beträgt 51 Millionen CHF.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Für die Abschätzung der Belegung wurde pro Wohneinheit (entspricht einem Briefkasten) mit einer durchschnittlichen Belegung der Objekte gemäss Bundesamt für Statistik gerechnet; demnach entspricht 1 Wohneinheit einer Belegung von 2.24 Personen [11]. Insgesamt sind damit 188 Personen exponiert. Diese Werte werden in der Konsequenzenanalyse als eine von zwei möglichen Belegungsarten gewählt.

Tabelle 2.2: Übersicht über die betroffenen Objekte im Auslaufbereich der Frauentobel Lawine.

Anzahl	Objekt
24	Wohnhäuser
1	Kirche
1	Schule
2	Hotels
1	Bahnhof
2	Öffentliche Gebäude
15	Ställe (teilweise mit Vieh)
3	Garage
822 m	Kantonsstrasse
528 m	Bahnlinie RhB

Um auch den Umgang mit wechselnder Personenbelegung aufzuzeigen, wurden in diesem Beispiel Expositionssituationen unterschieden. In Abbildung 2.5 sind die verschiedenen Expositionssituationen mit Hilfe eines Ereignisbaumes dargestellt. Der Zeitraum erstreckt sich vom 1. November bis zum 30. April und beträgt damit insgesamt 179 Tage.

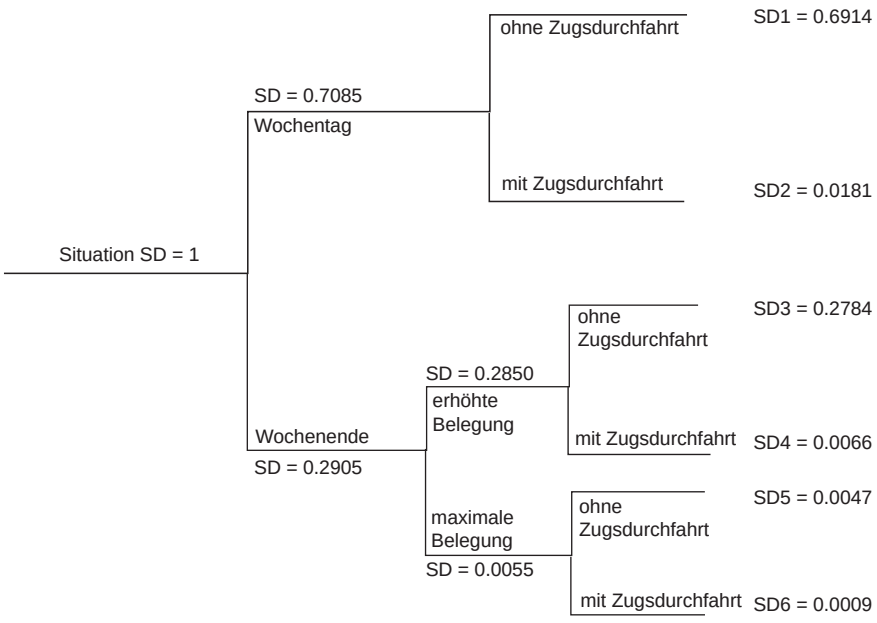


Abbildung 2.5: Darstellung der Expositionssituationen mit Hilfe eines Ereignisbaumes. Die Abkürzung «SD» (Situationsdauer) bezeichnet den Zeitanteil der Expositionssituationen.

Für die Belegung der einzelnen (fixen) Objekte ergeben sich unterschiedliche Zahlen, die in Tabelle 2.3 aufgelistet sind. Aus Vereinfachungsgründen wurde die Belegung verschiedener Wohngebäude zusammengefasst. Die Festlegung der Belegungszahlen in den verschiedenen Expositionssituationen erfolgte aufgrund von Abschätzungen und basiert nicht auf real erhobenen Daten.

Tabelle 2.3: Belegungszahlen für die fixen Objekte Davos Frauentobel. Unter «Total» in der letzten Zeile ist die Summe der exponierten Personen in der jeweiligen Expositionssituation («ES») aufgelistet. «WE» bedeutet Wochenende und «MAX» bezeichnet die Situation mit maximaler Belegung.

Nr.	**Objekt**	**Woche**		**WE**		**Max**	
		ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6
versch.	WE	2.24	2.24	4	4	8	8
25.42	Hotel	10	10	20	20	100	100
15	Schule	10	10	0	0	0	0
8	Kirche	2	2	4	4	50	50
27	Reithalle	2	2	5	5	100	100
35	Bahnhof	2	2	3	3	15	15
37	Geschäft	4	4	10	10	15	15
	Total	167	169	267	332	899	899

Für die variablen Objekte, wie Objekte auf der Strasse und der Bahnlinie sowie die dazugehörigen Personen, wurden ebenfalls unterschiedliche Belegungszahlen und Frequenzen angenommen, die in Tabelle 2.4 dargestellt sind.

Im vorliegenden Fallbeispiel wurde das Werkzeug EconoMe für die Berechnung der Risiken verwendet. Dabei wurde für jede Expositionssituation ein eigenes Projekt definiert, in dem schliesslich die Belegungszahlen gemäss den Tabellen 2.3 und 2.4 verändert wurden. Mit diesen Grundlagen wurde in der Konsequenzenanalyse das Schadenausmass bestimmt.

Tabelle 2.4: Belegungszahlen der variablen (mobilen) Objekte für die unterschiedlichen Expositionssituationen. Die Abkürzungen haben folgende Bedeutung: β (Strasse) = Anzahl Insassen Auto, v (Strasse) = Geschwindigkeit Fahrzeuge, DTV = durchschnittlicher täglicher Verkehr, β (Zug) = Anzahl Insassen Zug, v (Zug) = Geschwindigkeit Zug, Fz = Frequenz Züge pro Tag. Für dieses Beispiel wurde die Frequenz, der Besetzungsgrad und die Geschwindigkeit verändert, um einen Kolonnenverkehr zu simulieren.

Parameter	**Woche**		**WE**		**MAX**	
	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6
β (Strasse) [-]	1.6	1.6	3	3	4	4
v (Strasse) [km/h]	50	50	45	45	10	10
DTV [-]	2600	2600	4000	4000	7000	7000
β (Zug) [-]	0	50	0	90		200
v (Zug) [km/h]	0	50	0	50	0	50
Fz [-]	0	35	0	35	0	35

2.4 Konsequenzenanalyse

Für die Berechnung des Schadenausmasses wurden in der Konsequenzenanalyse zwei Fälle unterschieden:

1. **Durchschnittliche Belegung:** Es wurde die durchschnittliche Belegung der Gebäude und der Fahrzeuge verwendet, ohne Expositionssituationen auszuscheiden.
2. **Berechnung mit Expositionssituationen:** Im zweiten Fall wurden die ausgeschiedenen Expositionssituationen berücksichtigt und das Schadenausmass für jede Situation bestimmt.

Das Schadenausmass wurde für beide Fälle für die fixen und die variablen (mobilen) Objekte bestimmt:

Fixe Objekte (Gebäuden) und Personen in fixen Objekten: Für die Bestimmung des Schadenausmasses wurde anhand der Intensitätskarten und der Lage der fixen Objekte überprüft, ob das Objekt betroffen ist und welche Intensität für ein bestimmtes Szenario angenommen wird. Dementsprechend erfolgte die Zuordnung. Da für die Faktoren räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Schadenempfindlichkeit und Letalität wenig gesicherte Grundlagen bestehen, wurden die verwendeten Werte in erster Näherung aus EconoMe übernommen (Tabelle 4.1, Seite 34ff).

Variable (mobile) Objekte sowie Personen in variablen und mobilen Objekten: In diesem Schritt muss überprüft werden, welcher Streckenabschnitt der Strasse bzw. Bahnlinie in welcher Intensitätszone liegt. Diese Angaben konnten direkt in EconoMe vorgenommen werden. Damit wurden in einem Schritt einerseits das Schadenausmass bezüglich Personen, andererseits das Schadenausmass Sachwerte der variablen Objekte berechnet. Die Berechnungsfaktoren wurden wegen mangelnder Grundlagen aus EconoMe übernommen (Tabelle 4.1, Seite 34ff).

2.4.1 Darstellung mit Durchschnittswerten

Wenn für alle Objekte Durchschnittswerte verwendet werden, stellt sich das Schadenausmass für die verschiedenen Szenarien gemäss Tabelle 2.5 dar. Das 300-jährliche Szenario lässt das grösste Schadenausmass erwarten.

Tabelle 2.5: Schadenausmass für die Szenarien 30-, 100- und 300-jährliches Ereignis. Es wurde keine Risikoaversion einbezogen.

Kategorie	**Sz30**	**Sz100**	**Sz300**
Gebäude [CHF]	2’409’276	7’954’454	8’977’522
Strassenverkehr [CHF]	170’195	961’571	860’771
Schienenverkehr [CHF]	1’663	500’623	2’363’403
Summe [CHF]	2’581’134	9’416’648	12’201’696
Personen [Tf]	2.47	10.01	11.32
Personen [CHF]	12’350’000	50’063’000	56’613’000
Gesamt	14’931’134	59’479’648	68’814’696

2.4.2 Darstellung mit Expositionssituationen

Die Ergebnisse dieser Berechnungen ergaben das wahrscheinliche Schadenausmass in den einzelnen Expositionssituationen und Szenarien (Tabelle 2.6). Die Tabelle zeigt für jeden Objekttyp (z.B. Gebäude), jede Expositionssituation und jedes Szenario das jeweilige Schadenausmass an. Daraus lässt sich ablesen, welche Situation und welches Szenario am meisten zum gesamten Schadenausmass beiträgt. Zusätzlich ist in dieser Tabelle auch das ungewichtete und gewichtete Schadenausmass getrennt voneinander dargestellt. Der Einfluss der Risikoaversion wird daraus deutlich.

Tabelle 2.6: Matrix mit Darstellung des Schadenausmasses aller Ereignisszenarien und Expositionssituationen sowie den Risikoanteilen der einzelnen Szenarien für Personen und Sachwerte. Für die Gewichtung des Schadenausmasses hinsichtlich Personen wurde die Aversionsfunktion PLANAT verwendet. Personen werden 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall bewertet (vgl. Teil A, Abbildung 3.5, Seite 36).
Bedeutung der Abkürzungen: p_i = Häufigkeit Szenario, Tf = Todesfälle, oA = ohne Aversion, mA = mit Aversion, oZ = ohne Berücksichtigung Zeitanteil Expositionssituation, mZ = mit Berücksichtigung Zeitanteil Expositionssituation, mon = monetarisiert, Sz = Szenario, R = Gesamtrisiko, Rp = Risiko Personen, RSw = Risiko Sachwerte, ES = Expositionssituation.

		sz 30						**sz100**						**sz300**					
pi		0.02333						0.00667						0.00333					
		ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6
Zeitanteil	1	0.69139	0.018107	0.278358	0.006558	0.004731	0.000855	0.69139	0.018107	0.278358	0.006558	0.004731	0.000855	0.69139	0.01810696	0.278358	0.006558426	0.004731	0.000855447
Schadenausmass Gebäude (S)		2'409'276	2'409'276	2'409'276	2'409'276	2'409'276	2'409'276	7'954'454	7'954'454	7'954'454	7'954'454	7'954'454	7'954'454	8'977'522	8'977'522	8'977'522	8'977'522	8'977'522	8'977'522
Schadenausmass Strassenverkehr		170'195	170'195	170'195	170'195	170'195	170'195	961'571	961'571	961'571	961'571	961'571	961'571	860'771	860'771	860'771	860'771	860'771	860'771
Schadenausmass Schienenverkehr			1'663		1'663		1'663		500'623		500'623		500'623		2'363'403		2'363'403		2'363'403
Summe Schadenausmass Tf oA oZ	Tf	2.15034	2.17612	3.28053	3.37312	10.8248	11.0305	8.45996	8.54939	12.3132	12.6307	44.7165	45.4221	9.6505	9.85944	15.0016	15.7433	52.6485	54.2968
Summe Schadenausmass Tf oA mZ	Tf	1.486724	0.039403	0.913161	0.022122	0.051214	0.009436	5.849134	0.154803	3.427475	0.082838	0.21156	0.038856	6.672262	0.178524485	4.175812	0.103251275	0.249088	0.046448031
Summe Schadenausmass Tf oA Sz	Tf	2.52						9.76						11.43					
Summe Schadenausmass Tf oA Sz mon	CHF	12'610'301						48'823'331						57'126'925					
Rp oA	CHF/a	294'240						325'489						190'423					
eff. Aversionsfaktor φ_{eff}		1.84504	1.862714	2.586754	2.644999	6.722579	6.824584	5.519435	5.566063	7.45241	7.605748	10	10	6.132532	6.238523261	8.727906	9.071448034	10	10
Summe Schadenausmass Tf mA oZ	Tf	3.967463	4.05349	8.485926	8.921897	72.77057	75.27857	46.6942	47.58644	91.76302	96.06592	447.165	454.221	59.182	61.50834578	130.9326	142.8145278	526.485	542.968
Summe Schadenausmass Tf mA mZ	Tf	2.743065	0.073396	2.362123	0.058514	0.344288	0.064397	32.28392	0.861646	25.54295	0.630041	2.115603	0.388562	40.91786	1.113729154	36.44609	0.936638576	2.490877	0.464480307
Summe Schadenausmass Tf mA Sz	Tf	5.18						59.3185519						79.41432304					
Summe Schadenausmass Tf mA Sz mon	CHF	25'892'924						296'592'760						397'071'615					
Rp mA	CHF/a	604'168						1'977'285						1'323'572					

Summe Schadenausmass Sw oA oZ	CHF	2'579'471	2'581'134	2'579'471	2'581'134	2'579'471	2'581'134	8'916'025	9'416'648	8'916'025	9'416'648	8'916'025	9'416'648	9'838'293	12'201'696	9'838'293	12'201'696	9'838'293	12'201'696
Summe Schadenausmass Sw oA mZ	CHF	1783421	46736.49	718015.8	16928.18	12203.85	2208.023	6164453	170506.9	2481845	61758.39	42183.01	8055.443	6802100	220935.6209	2738565	80023.9257	46546.39	10437.90335
Summe Schadenausmass Sw oA Sz	CHF	2579513.44						8928801.32						9898609.01					
Rsw	CHF/a	60'189						59'525						32'995					
R oA Sz	CHF/a	354'429						385'014						223'418					
R mA Sz	CHF/a	664'357						2'036'810						1'356'567					
R oA	CHF/a	**962'862**																	
R mA	CHF/a	**4'057'735**																	
Rp oA	Tf/a	**0.162030461**																	
Rp mA	Tf/a	**0.781005066**																	

2.5 Risikoermittlung

2.5.1 Kollektive Risiken

Durch Verknüpfung des Schadenausmass mit der Häufigkeit des Prozesses ohne jegliche Massnahmen konnte das kollektive Risiko für Personen bestimmt werden.

2.5.1.1 Darstellung mit Durchschnittswerten

Wurden als Belegung Durchschnittswerte berücksichtigt, dann verteilen sich die Risiken auf die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich wie in Abbildung 2.6 dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass das 30- und das 100-jährliche Ereignis massgeblich zum gesamten kollektiven Risiko beitragen.

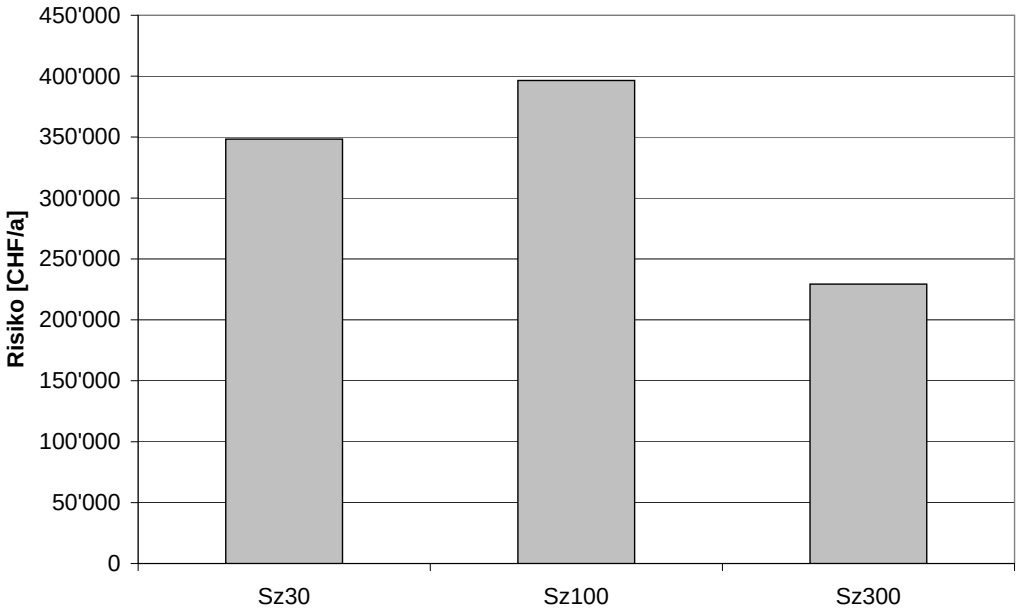


Abbildung 2.6: Verteilung der Risiken auf die Szenarien 30-,100-, 300-jährlich. Personenrisiken wurden mit 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall monetarisiert.

2.5.1.2 Darstellung mit Expositionssituationen

In Tabelle 2.6 und im Häufigkeits-Ausmass-Diagramm sind die Risiken unter Berücksichtigung der Expositionssituationen dargestellt (Abbildung 2.7). Das Schadenausmass wird dabei als ungewichtetes (ohne Aversion) und gewichtetes Schadenausmass (mit Aversion) dargestellt. Für die Gewichtung wurde die im Rahmen der PLANAT-Strategie vorgeschlagene Aversionsfunktion verwendet. Danach wird das Schadenausmass nach der folgenden Formel berechnet:

$$\varphi = A_j^{0.8} \qquad \text{mit } \varphi_{max} \leq 10 \qquad [\text{-}] \tag{2.1}$$

Das Risiko berechnet sich dann mit:

$$R_j = p_j \cdot \varphi \cdot A_j \qquad \text{[Tf/a]} \tag{2.2}$$

$$R_j = p_j \cdot A_j^{1.8} \qquad \text{[Tf/a]} \tag{2.3}$$

wobei:

φ = Aversionsfaktor
A_j = Anzahl Todesopfer im Szenario j
p_j = Häufigkeit Szenario j
R_j = Kollektives Risiko Personen [Tf/a]

Für die obere Begrenzung der Aversion (Plateau-Wert) wird ein Wert von $\varphi = 10$, entsprechend einer Anzahl Todesopfer von $A = 18$ vorgeschlagen. Die Graphik zu dieser Aversionsfunktion ist im Teil A (Abbildung 4.2, Seite 48) gezeigt. Obwohl der Einbezug der Risikoaversion schon eine Bewertung darstellt, erfolgt die Gewichtung aus methodischen Gründen bereits in der Risikoanalyse (vgl. auch Teil A, Abschnitte 3.4.2, Seite 21 und 4.4, Seite 45).

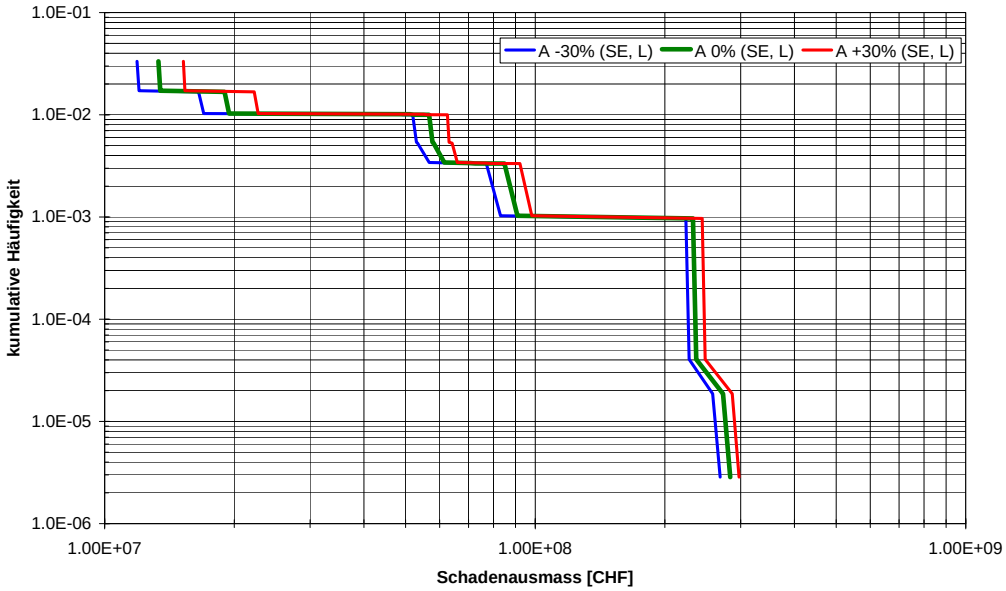


Abbildung 2.7: Häufigkeits-Ausmass Diagramm-für das gesamte Schadenausmass für den Ausgangszustand ohne jegliche Massnahmen und ohne Berücksichtigung der Aversion. Personenschäden wurden mit 5 Mio. CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert. Das Band gibt die Unsicherheit in Bezug auf die Änderung der Schadenempfindlichkeit der Kategorie Einfamilienhaus und der Letalität von Personen im Einfamilienhaus an. Es wurden die Standardwerte aus EconoMe um ± 30 % verändert.

Gesamthaft ergibt sich ein kollektives Risiko, ausgedrückt als jährlicher Schadenerwartungswert, in der Höhe von 962'862 CHF/a. Wird die Schadenempfindlichkeit für das Wohnhaus und die Letalität von Personen im Wohnhaus um ± 30 % verändert, dann ergibt sich ein kollektives Risiko von 879'661 CHF/a für die untere Grenze (-30 %) und 1'065'407 CHF/a für die obere Grenze (+30 %).

Verteilt auf die Szenarien ohne und mit Aversion stellt sich das Ergebnis wie in Abbildung 2.8 dar.

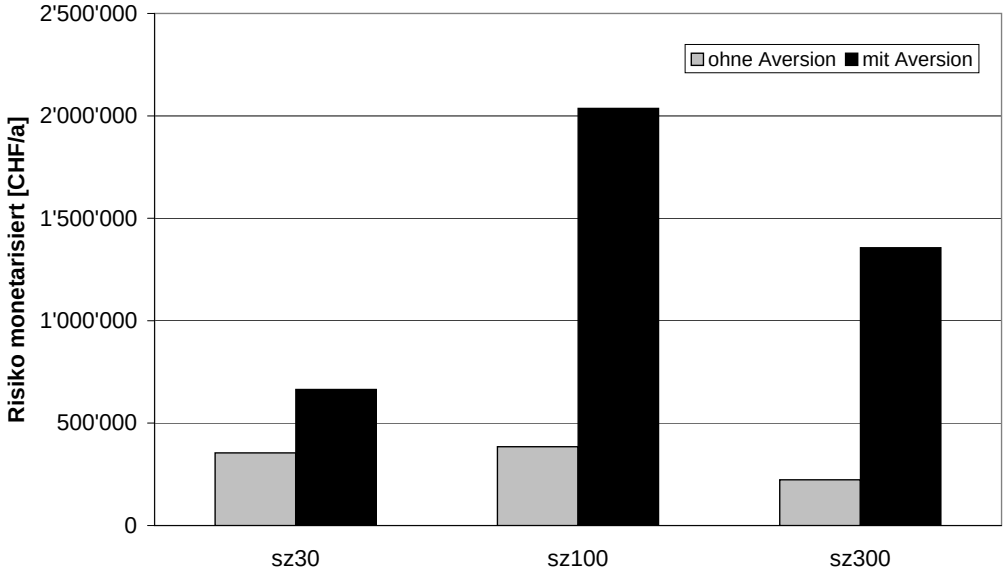


Abbildung 2.8: Verteilung der Risiken auf die Szenarien 30-, 100- und 300-jährliches Szenario. Es zeigt sich, dass bei Einbezug der Risikoaversion das 300-jährliche Szenarion einen grösseren Anteil an Gesamtrisiko erhält.

2.5.2 Individuelle Risiken

Das individuelle Risiko wurde für eine Person, die sich in Gebäude Nr. 11 während 18 h pro Tag aufhält, bestimmt. Es ergibt sich ein individuelles Risiko von $1.94 \cdot 10^{-3}$.

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Tabelle 2.6 und Abbildung 2.7 zeigen, dass das 30- und das 100-jährliche Szenario massgeblich zum Gesamtrisiko beitragen. Im graphischen Vergleich der Risiken (Abbildung 2.8) wird der Einfluss der Aversion auf den Anteil der jeweiligen Szenarien am Gesamtrisiko deutlich. Im Gegensatz zur Rechnung ohne Aversion, in dem das 30-jährliche Ereignis einen bedeutenden Anteil hat, bekommt in der Rechnung mit Aversion das 300-jährliche Ereignis grösseres Gewicht.

Der Anteil der einzelnen Expositionssituationen am Gesamtrisiko ist in Abbildung 2.9 illustriert. Es zeigt sich, dass insbesondere die Expositionssituationen ES1 (Wochentag) und ES3 (Wochenende) bedeutend zum Gesamtrisiko beitragen. Die Situationen «Zugsdurchfahrt» (ES2, ES4, ES6) und auch die Situation mit maximaler Belegung (ES5) tragen nur unterdurchschnittlich zum Gesamtrisiko bei. Die stark erhöhte Belegung vermag den kurzen Zeitanteil nicht aufzuwiegen.

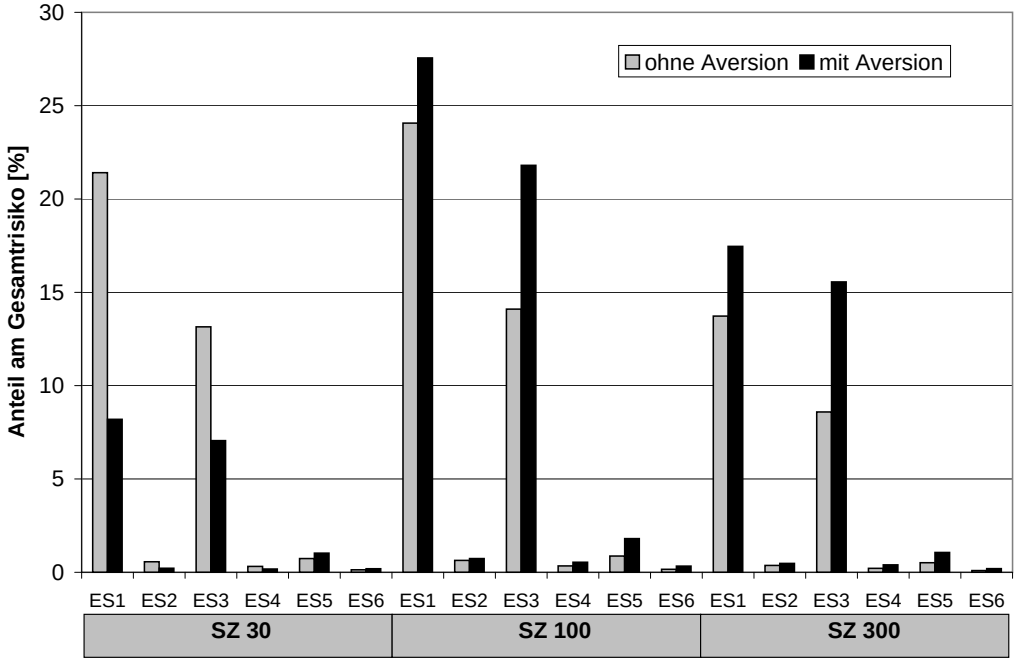


Abbildung 2.9: Anteil der Personenrisiken in den einzelnen Expositionssituationen am Gesamtrisiko. Vor allem die Situationen Wochentag ohne Zug (ES1) und Wochenende (ES3) tragen zum Gesamtrisiko bei. Unter Beibezug der Risikoaversion tragen vor allem die Situationen beim 300-jährlichen Ereignis stärker zum Gesamtrisiko bei.

Die Abbildung 2.9 zeigt, dass die Expositionssituationen unter den gegebenen Annahmen die Zusammensetzung der Risiken nicht massgebend beeinflussen. Die Wochensituation mit der durchschnittlichen Belegung macht den Grossteil der Risiken aus. Die eigentliche Maximalsituation («MAX») trägt praktisch nicht zum Gesamtrisiko bei. Daher wurde sie im Weiteren nicht mehr berücksichtigt. Die Massnahmenplanung wurde basierend auf den Durchschnittswerten durchgeführt.

2.6.2 Individuelle Risiken

In Teil A, Tabelle 4.2 (Seite 43) werden Grenzwerte für die individuellen Todesfälle vorgeschlagen. Diese Werte wurden in Anlehnung an die vorgeschlagenen Schutzziele in der PLANAT-Strategie weiter vereinfacht und müssen noch in Bezug auf die Resultate des Projekts «A2.1 Schutzziele» kritisch überprüft werden.

Der Vergleich mit dem berechneten Wert für eine Person im Gebäude Nr. 11 ergab, dass der Grenzwert überschritten ist und deshalb Massnahmen ergriffen werden müssen.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Um die Risiken zu senken, wurden für dieses Fallbeispiel verschiedene Massnahmen diskutiert bzw. für die Planung heranzogen. Es handelte sich dabei um keine reale Planung, sondern nur um ein Anschauungsbeispiel im Rahmen dieses Berichts.

2.7.1 Technische Massnahmen

Für den Schutz der exponierten Objekte wurden verschiedene technische Massnahmen in Betracht gezogen, die im Folgenden vorgestellt werden. Verschiedene Gebäude im betroffenen Perimeter besitzen bereits einen Objektschutz; dieser wurde bei der Beurteilung der Schadenempfindlichkeit der Gebäude einbezogen.

2.7.1.1 Variante 1: Verbau Gebiete 305, 307, 308

Der Verbau der Anrissgebiete 305, 307 und 308 kann als Vollverbau gelten: Lawinen aus den restlichen Anrissgebieten erreichen das zu schützende Gelände nicht mehr (Das Anrissgebiet 304 ist für einen Lawinenverbau schlecht geeignet, da Lawinen vom Gebiet 303, das weiter oben liegt, die Werke gefährden können). Die gesamte Verbaufläche ist 38ha. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass ausser für Extremsituationen keine temporären Massnahmen mehr notwendig sind. Es verbleibt ein sehr kleines Restrisiko. Der Nachteil dieser Variante ist, dass sie sehr teuer wäre. Es werden Investitionskosten in der Höhe von 20 Millionen CHF geschätzt, dazu kommen erhebliche Unterhaltskosten. Die Massnahme würde das Landschaftsbild nachhaltig beeinflussen.

2.7.1.2 Variante 2: Verbau Gebiet 308

Diese Variante ist als Einzelmassnahme wenig wirksam, da Lawinen aus Gebiet 308 normalerweise oberhalb des zu schützenden Gebietes anhalten. Bei aussergewöhnlichen Situationen bringt ein Verbau von Gebiet 308 wenig, da die Gefährdung durch die grossen Anrissgebiete weiterhin massgebend wäre. Im Kombination mit anderen Varianten wäre diese Variante prüfenswert. Die Massnahme würde das Landschaftsbild negativ beeinflussen. Es ist mit Investitionskosten von ca. 4 Mio. CHF zu rechnen.

2.7.1.3 Variante 3: Verbau Gebiet 305

Verbau eines hinteren Teilbereiches von Anrissgebiet 305. Das Lawinenkataster zeigt, dass bei allen bekannten grösseren Lawinenereignissen Anrissgebiete 305 und 304 beteiligt waren. Durch den Verbau des bezeichneten Gebietes soll verhindert werden, dass die Gebiete 304 und 305 gemeinsam anbrechen. Zudem wird von den einzelnen Anrissgebieten das Grösste teilverbaut. Mit dieser Massnahme soll den grössten Extremereignissen die Spitze gebrochen werden. Die Investitionskosten werden auf rund 4 Mio. CHF geschätzt. Diese Variante könnte in Kombination mit Variante 2 eine deutliche Risikoreduktion zu allerdings beträchtlichen Kosten bringen.

2.7.2 Raumplanerische Massnahmen

Für das untersuchte Gebiet ist bereits ein Gefahrenzonenplan vorhanden. Für die weitere Entwicklung wäre darauf zu achten, dass in den blauen Gefahrengebieten keine weiteren Baugebiete mehr ausgeschieden werden, wie in der Richtlinie 1984 gefordert [10]. Nutzungsbeschränkungen (z.B. Sperrung) bieten sich nur als kurzfristige Massnahme an; diese werden daher bei den organisatorischen Massnahmen erörtert. Da es sich um ein ganzjährig bewohntes Gebiet handelt, ist die

Einführung einer saisonalen Nutzung nicht möglich. Eine Umsiedelung wurde nicht in Betracht gezogen, da es sich um ein altes Siedlungsgebiet handelt und die Risiken nicht so hoch sind, dass der grosse Aufwand gerechtfertigt wäre.

2.7.3 Biologische Massnahmen - Schutzwald

Da sich die Anrissgebiete deutlich oberhalb der Waldgrenze befinden, sind keine Massnahmen zur Aufforstung möglich. Der vorhandene Wald spielt für die Reichweite der Lawinen praktisch keine Rolle, weswegen auch eine Schutzwaldpflege im eigentlichen Sinne nicht von Bedeutung ist. Der Schutzwald spielt für den untersuchten Fall eine untergeordnete Rolle.

2.7.4 Organisatorische Massnahmen

2.7.4.1 Variante 4: Sperrung und Evakuierung

Als organisatorische Massnahme wird die Sperrung der Kantonsstrasse und der Bahnlinie sowie die Evakuierung von Häusern als ein Paket zusammengefasst. Diese Massnahme wirkt vor allem auf Personenrisiken und nur untergeordnet für mobile Sachwerte auf Verkehrsachsen (d.h. Autos, Lokomotive und Rollmaterial).

2.7.4.2 Variante 5: Künstliche Lawinenauslösung

Die Analyse der topografischen Verhältnisse zeigte, dass künstliche Lawinenauslösung im Frauentobel unter bestimmten Voraussetzungen (u.a. Konzept Einsatztage, Absperrmassnahmen) angewendet werden kann. Um Grosslawinen zu vermeiden, sind der Situation angepasste, regelmässige Sprengeinsätze durchzuführen. Bei einer grossen Wahrscheinlichkeit von spontanen Grosslawinen (z.B. grosse Schneeakkumulation nach negativen Sprengungen) wurde empfohlen, auf die künstliche Auslösung zu verzichten und Sperrungen sowie Evakuierungen durchzuführen.

Für die Realisierung der künstlichen Auslösung wurde für dieses Fallbeispiel die Installation von Sprengmasten an verschiedenen Orten im Anrissgebiet als Variante geprüft. Daneben sind noch Auslösungen mit dem Minenwerfer 12 cm und bei guter Sicht Sprengungen aus dem Helikopter denkbar.

2.8 Wirksamkeit

2.8.1 Variante 2-3: Kombination Variante 2 und Variante 3

Wenn die Verbauvarianten 2 und 3 kombiniert werden, so wird angenommen, dass Lawinen nur noch aus dem Gebiet 304 kommen und im Auslaufbereich für eine Gefährdung sorgen können. Diese Situation wurde durch eine Modellierung mit AVAL-2D abgebildet. Aus diesen Modellierungen wurden Intensitätskarten erstellt, die in Abbildung 2.10 dargestellt sind.

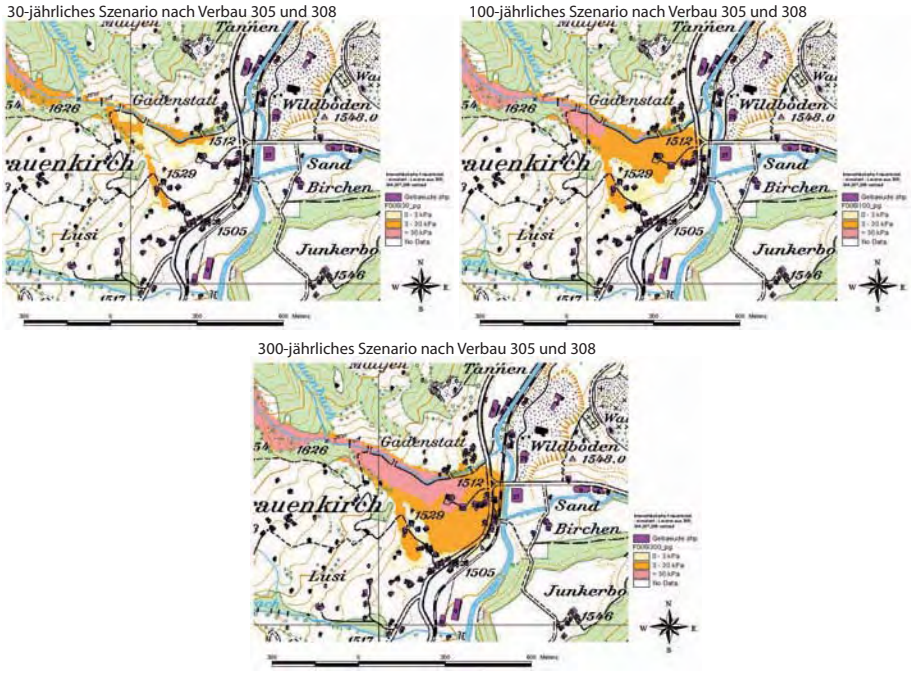


Abbildung 2.10: Intensitätskarten nach Verbau der Gebiete 308 und 305. © 2008 swisstopo (JD082774).

Durch eine Konsequenzenanalyse unter Einbezug der Intensitätskarten in Abbildung 2.10 wurden die verbleibenden Risiken bestimmt.

2.8.2 Variante 4: Sperrung und Evakuierung

Für die Bestimmung der Wirksamkeit dieser Massnahme wurde angenommen, dass die Trefferquote für eine Sperrung bei 95 % liegt. Es werden also nur 5 % des Schadenpotentials ohne Massnahmen als exponiert angenommen. Für den Teil Evakuierung wurde angenommen, dass nach der Evakuierung nur noch 50 % der ursprünglich anwesenden Personen exponiert sind. Mit diesem «Teilerfolg» der Evakuierung wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass

- wegen der kritischen Lage schon ein Teil der Leute freiwillig ihre Häuser geräumt hat, bzw.
- nicht alle Personen erreicht wurden oder wegen Gefährdung der für die Evakuierung zuständigen Personen die Evakuierung abgebrochen werden musste.

2.8.3 Variante 5: Künstliche Lawinenauslösung

Da die künstliche Lawinenauslösung eine temporäre Massnahme darstellt, deren Erfolg von zahlreichen, zum Teil sehr unsicheren Faktoren abhängig ist, konnte die Wirkung der künstlichen Lawinenauslösung nicht mit Hilfe von Intensitätskarten dargestellt werden. Als stark vereinfachte Annahme wurde hier angenommen, dass bei erfolgreicher, regelmässiger künstlicher Lawinenauslösung die Risiken für Personen und Sachwerte pauschal um 50 % reduziert werden kann. Die Erfolgsquote für die künstliche Auslösung beträgt also 50 %. Es verbleibt also noch ein Restrisiko von etwa 50 % im Vergleich zur Situation ohne Massnahmen.

2.9 Kosten

Die jährlichen Kosten der Massnahmen (Tabelle 2.7) wurde auf Basis folgender Annahmen und unter Beizug der Formel aus Teil A, Abschnitt 5.6, Seite 57 berechnet.

Tabelle 2.7: Annahmen für die Kosten der Massnahmen.

	Investitions-kosten [CHF]	**Betriebs-kosten** [CHF/a]	**Unterhalts-kosten** [CHF/a]	**Laufzeit** Jahre	**Jährliche Kosten** [CHF/a]
Anrissverbau 305, 308	8'000'000		80'000	80	260'000
Evakuierung und Sperrung	100'000		10'000	10	21'000
künstliche Lawinenauslösung	500'000	25'000	20'000	20	75'000

2.10 Massnahmenbewertung

2.10.1 Bewertung nach Grenzkostenkriterium

Für die Bewertung der Massnahmen wurden die Massnahmen bzw. Massnahmenkombinationen entsprechend ihrer Wirksamkeit und den zugehörigen Kosten in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen. Der Ausgangspunkt ist das Ausgangsrisiko ohne jegliche Massnahmen. In Tabelle 2.8 ist die Kostenwirksamkeit der einzelnen Massnahmen dargestellt.

Tabelle 2.8: Restrisiko, jährliche Kosten der Massnahmen und Kostenwirksamkeit bezogen auf das Ausgangsrisiko für die gewählten Varianten.

Massnahme	**Restrisiko** [CHF/a]	**Kosten** [CHF/a]	**N-K-Verhältnis**
Ausgangsrisiko	962'862	0	0
Kombination Varianten 2 und 3	198'978	260'000	2.94
Evakuierung und Sperrung	305'255	21'000	31.31
künstliche Lawinenauslösung	487'838	75'000	6.33

Das Risiko-Kosten-Diagramm stellt sich für die verschiedenen Massnahmenkombinationen wie folgt dar (Abbildung 2.11):

Abbildung 2.11 zeigt, dass die Kombination 4, Evakuierung und Sperrung mit künstlicher Auslösung, unter den gemachten Annahmen das Grenzkostenkriterium erfüllt. Die anderen Massnahmen scheiden aus Gründen der schlechteren Kostenwirksamkeit aus. Die übrigen Massnahmen genügen zwar einzeln bzw. in Kombination dem Kriterium Kostenwirksamkeit > 1, aber nur die Kombination der jeweils kosten-effizientesten Massnahmen führt gemäss Grenzkostenkriterium zur ökonomisch optimalen Lösung. Darin wird der Unterschied zwischen der Massnahmenopti-

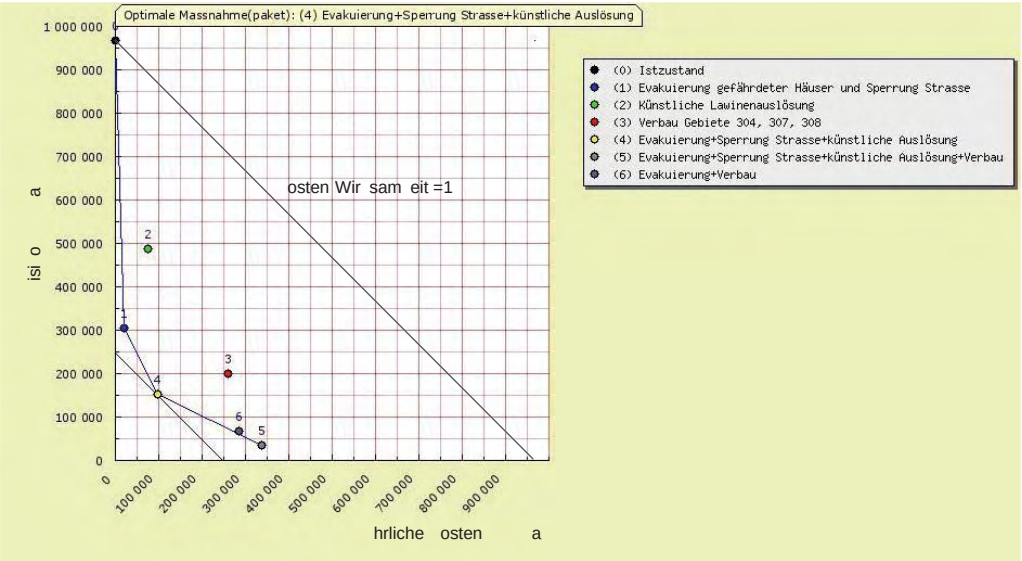


Abbildung 2.11: Risiko-Kosten-Diagramm mit den Massnahmenvarianten. Die erste kostenwirksamste Massnahme stellt Massnahme 1 dar (Evakuierung und Sperrung Verkehrswege). Wird diese Massnahme mit der künstlichen Auslösung ergänzt, ergibt sich Massnahmenkombination 4. Gemäss Grenzkostenkriterium stellt die Massnahmenkombination 4 die optimale Variante dar. Die Graphik wurde mit RiskPlan erstellt.

mierung mittels Grenzkostenkriterium und der blossen Berücksichtigung der Kostenwirksamkeit einer Massnahmenkombination deutlich.

2.10.2 Bewertung bezüglich Akzeptanz

Obwohl die Daten verändert wurden, konnte aus diesem Beispiel auf das reale Projekt rückgeschlossen werden. Dieses wurde von der betroffenen Bevölkerung akzeptiert. Die vorgeschlagene Lösung wurde über verschiedene Kanäle kommuniziert. Zudem wurde die betroffene Bevölkerung vor der Umsetzung informiert und die Konsequenzen dieser Massnahme, wie temporäre Sperrung und zeitweiser Hausaufenthalt wurden erläutert und diskutiert. Diese Kommunikation und Information war sehr entscheidend für die mögliche Umsetzung. Seit der Einführung im Jahr 2002 konnten schon mehrfach erfolgreiche Sicherungsaktionen durchgeführt werden.

2.11 Weitere Einflussfaktoren

Im vorliegenden Beispiel ist vor allem die Verfügbarkeit der Verkehrsachsen relevant. Da zum einen die Bahnlinie der Rhätischen Bahn im Auslaufgebiet der Lawine liegt und zum anderen auch die Kantonsstrasse gefährdet ist, betrifft eine temporäre Sperrung beide Verkehrsachsen. Da die Strasse und die Bahnlinie die Zufahrt zum Skigebiet Rinerhorn darstellt, ist bei einer längeren Sperrung mit einem Einnahmenausfall der Bergbahnen und der zugehörigen Restaurantbetriebe zu rechnen. Zudem stellt die Strasse die Zufahrt zu den Fraktionen Glaris und Monstein für die einheimische Bevölkerung dar. Die Kosten eines Sperrtags wurden im vorliegenden Beispiel nicht quantifiziert, dürften aber beträchtlich sein.

Ein weiterer Faktor, der einschränkend auf die Verwendung von organisatorischen Massnahmen wirkt, sind die zahlreichen anderen Lawinenzüge, die bei einer kritischen Lawinensituation vom Gemeindelawinendienst beurteilt werden müssen. Die personellen Anforderungen für die Mitglieder des Gemeindelawinendienst sind daher sehr hoch. Dieser Aspekt muss ebenfalls in Betracht gezogen werden, hat er doch einen wesentlichen Einfluss auf den Erfolg von organisatorischen Massnahmen.

2.12 Realisierte Massnahmen

Die vorgeschlagene Kombination wurde in ähnlicher Form (Minenwerfer und Helisprengung statt Sprengmasten) in die Praxis umgesetzt.

Kapitel 3

Fazit

Abschliessend wird versucht, den theoretischen Anspruch aus dem Risikokonzept mit der Darstellung des Fallbeispiels zu vergleichen und Schlüsse hinsichtlich der Anwendbarkeit des Risikokonzepts und dessen Grenzen zu ziehen.

Das Fallbeispiel Davos Frauentobel zeigt auf, dass das Risikokonzept für die Planung von Schutzmassnahmen angewendet werden kann. Die Risiken wurden mit dem Tool EconoMe ermittelt. Da keine gesicherten Daten zu Objektwerten und den Parametern der Risikogleichung (z.B. Schadenempfindlichkeit) vorlagen, wurde auf die allgemeinen Werte von EconoMe abgestützt. Die Eingangsdaten sowie die Eigenschaften der Objekte wurden im Feld erhoben, wodurch sich eine relativ hohe Genauigkeit ergibt. Es muss jedoch festgehalten werden, dass eine detaillierte Risikoanalyse eine Einzelbeurteilung bleibt.

Es bestehen erhebliche Unsicherheiten bei der Beurteilung von Risiken. Die erste, wahrscheinlich bedeutenste Unsicherheit betrifft die Szenarien und die dazugehörigen Intensitätskarten. Werden die Intensitätszonen vergrössert bzw. verkleinert oder wird die Häufigkeit der Szenarien geändert, hat dies einen erheblichen Einfluss auf das Risiko.

Die zweite Unsicherheit betrifft die Parameter in der Konsequenzenanalyse. Dies sind zum einen die Schadenempfindlichkeit von Objekten und die Letalität von Personen und zum anderen die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Prozesses. Die Sensitivität dieser Parametern deutet jedoch darauf hin, dass diese Unsicherheit nicht entscheidend ist.

Schliesslich betrifft die dritte Unsicherheit die Wirksamkeit von Massnahmen. Während sie bei richtlinien-konform ausgeführten technischen Massnahmen noch einigermassen sicher beurteilt werden kann, ist die Beurteilung bei organisatorischen Massnahmen schon wesentlich schwieriger. Es können daher vielfach nur sehr grobe Annahmen getroffen werden. Da die Ergebnisse dieser Beurteilung jedoch in Zahlen ausgedrückt wird, besteht die Gefahr, dass eine fehlende Genauigkeit vorgetäuscht wird. Es ist daher sehr wichtig, dass bei einer risikobasierten Massnahmenplanung die Unsicherheiten klar dokumentiert werden.

Abschliessend bleibt festzuhalten, dass andere Entscheidungsfaktoren wie Akzeptanz, Umsetzbarkeit, Einschränkung Verfügbarkeit Verkehrswege adäquat, transparent und nachvollziehbar berücksichtigt werden müssen.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für einen detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess Lawine zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Lawine nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude[1]								
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.03	0.50	1.00	0.05	0.30	0.40
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Mehrfamilienhaus[2]	550000.00	Stück	0.03	0.40	0.80	0.05	0.15	0.20
Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox[3]	60000.00	Stück	0.03	0.40	0.80	0.05	0.30	0.40
Hotel - Gästehaus	492.00	m^3	0.03	0.40	0.80	0.05	0.15	0.20
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m^3	0.03	0.20	0.60	0.05	0.30	0.40
Einkaufszentrum	540.00	m^3	0.03	0.40	0.80	0.05	0.30	0.40
Schule/Kindergarten	580.00	m^3	0.03	0.40	0.80	0.05	0.30	0.40
Spital	850.00	m^3	0.03	0.20	0.80	0.05	0.30	0.40
Kirche	720.00	m^3	0.03	0.20	0.40	0.05	0.30	0.40
Bahnhof	530.00	m^3	0.03	0.30	0.80	0.05	0.30	0.40
Stationsgebäude Mechanische Aufstiegshilfe	500.00	m^3	0.03	0.30	0.80	0.05	0.30	0.40
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m^3	0.03	0.30	0.80	0.05	0.30	0.40
Öffentliche Gebäude	810.00	m^3	0.03	0.20	0.80	0.05	0.30	0.40
Stall	180.00	m^3	0.03	0.80	1.00	0.05	0.30	0.40
Schuppen / Remise	80.00	m^3	0.05	1.00	1.00	0.05	0.50	0.90

[1] Alle mit Einheit m^3: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

[2] I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

[3] Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und entspr. numeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Lawine nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte[4]								
Kraftwerk		Stück	0.03	0.60	1.00	0.05	0.30	0.40
ARA		Stück	0.0010	0.20	0.60	0.05	0.30	0.40
Deponie		Stück	0.0010	0.10	0.20	0.20	0.50	0.80
Campingplatz		Stück	0.0010	0.20	0.60	0.20	0.50	0.80
Schutzbauwerk		Stück	0.0010	0.20	0.60	0.00	0.00	0.00
Wasserreservoir		Stück	0.0010	0.10	0.20	0.05	0.30	0.40
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.10	0.20	0.40	0.20	0.50	0.80
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m'	0.005	0.10	0.20	0.05	1.00	1.00
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m'	0.005	0.10	0.20	0.05	1.00	1.00
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m'	0.005	0.10	0.20	0.05	1.00	1.00
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m'	0.005	0.10	0.20	0.05	1.00	1.00
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m'	0.005	0.10	0.20	0.05	1.00	1.00
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m'	0.005	0.70	1.00	0.05	0.30	0.40
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m'	0.005	0.70	1.00	0.05	0.30	0.40
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m'	0.005	0.70	1.00	0.05	0.30	0.40

[4]grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separtes Objekt z.B als Wohneinheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Lawine nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m’	0.005	0.70	0.90	0.05	0.30	0.40
Schienenverkehr								
Einspur	6300.00	m’	0.005	0.30	0.70	0.05	0.10	0.20
Doppelspur	10400.00	m’	0.005	0.30	0.70	0.05	0.10	0.20
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m’	0.005	0.50	1.00	0.05	0.20	0.40
Brücke Doppelspur	420000.00	m’	0.005	0.50	1.00	0.05	0.20	0.40
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0.50	0.50	1.00			
Durchtrennung Kabelanalage innerhalb des Kabelkanals (pro Schadenstelle)	21000.00	Anz.	0.50	0.50	1.00			
Frei wählbares Objekt		m’	0.50	0.50	1.00			
Mechanische Aufstiegshilfe								
Sklilift		m’	0.10	0.40	1.00	0.20	0.50	0.80
Sessellift		m’	0.005	0.40	1.00	0.05	0.10	0.20
Gondelbahn		m’	0.005	0.30	0.80	0.05	0.10	0.20
Luftseilbahn		m’	0.005	0.20	0.60	0.05	0.10	0.20
Standseilbahn Zahnradbahn		m’	0.005	0.10	0.40	0.05	0.20	0.30
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) $\leq$ 60 kV	400000.00	Mast	0.005	0.30	1.00			
Hochspannungsleitung $>$ 60 kV	1000000.00	Mast	0.005	0.30	1.00			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Lawine nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m'	0.005	0.50	1.00			
Strom unter Terrain		m'	0.00	0.00	0.00			
Wasser auf Terrain		m'	0.50	0.80	1.00			
Wasser unter Terrain	800.00	m'	0.00	0.00	0.00			
Gas auf Terrain		m'	0.50	0.80	1.00			
Gas unter Terrain	600.00	m'	0.00	0.00	0.00			
Telekommunikation auf Terrain		m'	0.005	0.50	1.00			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m'	0.00	0.00	0.00			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m'	0.00	0.00	0.00			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.00	0.03	0.10			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.00	0.05	0.30			
Schutzwald	1000.00	a	0.10	0.60	1.00			
Nutzwald	200.00	a	0.10	0.60	1.00			
Rebberg	6000.00	a	0.05	0.20	1.00			
Gemüsekultur	5000.00	a	0.05	0.10	1.00			
Obstplantagen		a	0.05	0.20	1.00			
Parkanlage		a	0.05	0.05	0.30	0.20	0.50	0.80
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.05	0.05	0.30	0.00	0.00	0.00
Friedhof		a	0.05	0.10	0.30	0.20	0.50	0.80
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.05	0.10	0.30	0.20	0.50	0.80

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Lawine nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien(Jährlichkeit)					
			30	100	300			
alle Objekte			0.10	0.50	0.80			

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS HOCHWASSER

Cornelia Winkler, André Gauderon, Michael Bründl

Ufersicherung an der Aare in der Stadt Bern (Flussbau AG SAH)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Hochwasser anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzprojekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Hochwasser charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses «Hochwasser»

Als Hochwasser wird der Zustand in einem Gewässer bezeichnet, bei dem der Wasserstand oder der Abfluss einen bestimmten (Schwellen-)Wert erreicht oder überschritten hat [53]. Hinsichtlich der Auswirkungen wird Hochwasser in die Kategorien

- Überschwemmung,
- Ufererosion und
- Übermurung

unterteilt. Der Prozess «Übermurung» wird separat in «Teil B, Prozess Murgang» (Seite 1ff) behandelt. In diesem Kapitel geht es um die risikobasierten Umgang mit dem Prozess Überschwemmung.

Der Prozess Überschwemmung kann hinsichtlich seiner Charakteristik weiter unterschieden werden [47]:

Statische Überschwemmung: Das Wasser fliesst sehr langsam und der Anstieg des Wasser ausserhalb des Gerinnes verläuft meist auch sehr langsam. Der massgebende Schadenparameter ist die maximale Überschwemmungstiefe. Für das Ausmass der Schäden ist die Anstiegsgeschwindigkeit des Wassers, die Mächtigkeit der Feststoffablagerungen und die Überschwemmungsdauer massgebend.

Dynamische Überschwemmung: Der Prozess ist durch hohe Fliessgeschwindigkeiten gekennzeichnet (Abbildung 1.1(a)). Er tritt daher entlang von geneigtem Gelände auf. Die Gefährdung erfolgt vor allem durch den Strömungsdruck. Durch seine Wucht kann eine dynamische Überschwemmung Menschen und Material mit sich reissen und Bauwerke zerstören. Durch Ufer- und Tiefenerosion können entlang von Gewässern Verkehrswege, Gebäude, Infrastruktur und Brücken unterspült werden und damit einstürzen (Abbildung 1.1(b)). Das mitgeschleppte Geschiebe eines Hochwassers führt oft zu Beschädigungen an Kulturland und Bauten. Die massgebenden Schadenparameter sind die mittlere Fliessgeschwindigkeit und die Wassertiefe. Nach Abfluss des Wasser bleiben meist grobkörnige Ablagerungen zurück. Der Prozess ist weniger auf das Gerinne beschränkt und kann sehr grosse Fläche betreffen [53].

(a) (b)

Abbildung 1.1: Hochwasserschäden an Gebäuden und Schäden durch Ufererosion an Verkehrswegen. Foto: M. Auer (a); M. Phillips (b).

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hochwasser

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Die Beurteilung der Gefährdung erfolgt auf Basis früherer Ereignisse, der Einträge im Ereigniskatastern, lokalem Expertenwissen, Geländeanalysen und der Analyse der klimatischen Bedingungen (Niederschlagsregime, Temperaturverteilungen, Windverhältnisse, typische Wetterlagen). Besondere Aufmerksamkeit ist den hydrologischen und hydraulischen Eigenschaften eines Gewässers zu schenken [47]. Die hydrologischen Eigenschaften werden durch Faktoren wie Abflussregime und Hochwassertypen definiert. Unter die hydraulischen Eigenschaften sind die Kapazität des Abflussgerinnes, das Geschiebepotential und das Gerinnegefälle zu zählen. Schliesslich muss auch der Feststoffhaushalt beurteilt werden. Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist die Analyse von Schwachstellen wie Durchlässe, Brücken, enge Kurven oder Gefällsbrüche im Längsprofil. Der Beurteilung der Funktion von bestehenden Schutzbauten ist ebenfalls Beachtung zu schenken.

Schliesslich sind basierend auf diesen Analysen die massgebenden Szenarien festzulegen. In der Praxis der Gefahrenkartierung werden solche Szenarien für Jährlichkeiten von 30, 100 und 300 Jahren formuliert [47]. Um auch die Auswirkungen des Überlastfalls abzubilden, wird meist auch ein Extremereignis durch einen extremen Hochwasserabfluss approximiert (EHQ). Darüber hinaus können auch Szenarien mit kürzeren Jährlichkeiten (z.B. 1 bis 10 Jahre) sinnvoll sein. Die Wahl der für die Risikobeurteilung als relevant erachteten Szenarien muss mit dem Auftraggeber abgesprochen werden und ist entsprechend zu begründen.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Für statische Überschwemmungen wird die Intensität über die Überflutungshöhe und die Überflutungsdauer, bei dynamischen Überschwemmungen zusätzlich über die Fliessgeschwindigkeit und den Geschiebegehalt des Wassers definiert. Die Wirkungsanalyse erfolgt in den meisten Fällen durch eine hydraulische Modellierung. Damit kann die Ausbreitung und die Intensität von Überschwemmungen entsprechend den Anfangsbedingungen dargestellt werden. Das Ergebnis dieser Analysen (Wirkungsanalyse) sind Intensitätskarten, die Aussagen zu Fliessgeschwindigkeit und Überflutungshöhe ermöglichen.

Für den Prozess Hochwasser werden in Anlehnung an die Empfehlungen des Bundes [47] die folgenden Intensitäten festgelegt (Tabelle 1.1):

Tabelle 1.1: Definition Intensitätsklassen für den Prozess Hochwasser. Der Parameter h bezeichnet die Wassertiefe und v die Fliessgeschwindigkeit des Wassers [47].

Intensitätsklasse	**Kriterien**
schwache Intensität	$h < 0.5\,m$ oder $v \cdot h < 0.5\,\frac{m^2}{s}$
mittlere Intensität	$2\,m > h > 0.5m$ oder $2\,\frac{m^2}{s} > v \cdot h > 0.5\,\frac{m^2}{s}$
starke Intensität	$h > 2\,m$ oder $v \cdot h > 2\,\frac{m^2}{s}$

Die Bestimmung der Intensitätszonen aus den Berechnungsmodellen sollte, wenn immer möglich, mit den Erfahrungen vergangener Ereignisse verglichen bzw. überprüft werden (Dokumente, Zeugenaussagen, Erfahrung von Experten etc.). Werden Differenzen zwischen den Simulationsergebnissen und den Erfahrungen festgestellt, dann sollten die Ergebnisse kritisch überprüft und gegebenenfalls manuell angepasst werden.

Bei der manuellen Korrektur der Simulationsergebnisse sind auch mögliche Ungenauigkeiten der Modellierung in Bezug auf die Inputdaten zu berücksichtigen. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, sollten die manuellen Korrekturen im Bericht dokumentiert werden. Diese finale Überprüfung ist für die Ermittlung des Risikos von entscheidender Bedeutung.

Die Ergebnisse der Ereignis- und Wirkungsanalyse werden kartographisch dargestellt, als Resultat der Gefahrenanalyse erhält man somit Intensitätskarten für den Prozess Hochwasser.

1.2.2 Expositionsanalyse

Überflutungen können Gebäude, Infrastrukturen, Verkehrswege, ober- und unterirdische Leitungen, Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Grün- und Erholungsflächen betreffen. Grundsätzlich stehen bei Überflutungen Personenschäden nicht im Vordergrund, dennoch müssen sie mit einbezogen werden. Da Überflutungen jedoch eine relative lange Vorwarnzeit haben, ist mit einem Zusammentreffen von Überflutung und grossen Menschenansammlungen im Allgemeinen nicht zu rechnen. Eine Ausscheidung von Expositionssituationen ist daher in der Regel nicht notwendig.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Überflutungen betreffen in ihrer Wechselwirkung mit Objekten meist nur den unteren, bodennahen Bereich des Objekts. Bei Gebäuden ist für den Schaden sehr entscheidend, ob das Wasser in das Gebäude eindringen kann oder nicht. Der Schaden ergibt sich daher vor allem aus dem Schäden der Objekte im Keller, im Erdgeschoss und allenfalls im Hochparterre (eventuell 1. Stock). Da die lokale Position des Gebäudes (Erhöhungen) und die Öffnungen des Gebäudes sehr entscheidend für die Schäden und damit die Risiken sind, ist die Definition einer einheitlichen Schadenempfindlichkeit für ein Objekt sehr problematisch und dürfte nur in erster Näherung eine aussagekräftige Grösse liefern. Für genaue Risikoanalysen ist eine detaillierte Analyse und Situationsbeurteilung unabdingbar. Allerdings ist diese Analyse wegen der Vielzahl möglicher betroffener Objekte sehr aufwendig. Da die Schäden an Gebäuden im Wesentlichen von der Dauer der Überschwemmung und der Trocknung beeinflusst werden, sind diese Gesichtspunkte ebenfalls einzubeziehen. Die Schadenkosten hängen auch davon ab, mit welchen Mitteln die Trocknung erfolgen kann. Häufig stellen die Trocknungskosten einen bedeutenden Teil der Kosten dar (D. Aller, mündl. Mitteilung). Die Ergebnisse des Projekts B5 «Verletzlichkeit» zeigen anhand von Fallbeispielen auf, wie stark die Unsicherheit bezüglich Schadenempfindlichkeit bei Hochwasser sein können [74].

Der Parameter «Letalität» ist nur von untergeordneter Bedeutung, da Personenschäden nicht im Vordergrund stehen. Die gängigen Werte sind daher sehr tief. Da nur sehr wenige Ereignisse mit Personenschäden (Todesopfer) bekannt sind, ist die Definition von Letalitätswerten sehr schwierig und es muss auf grobe Schätzungen zurück gegriffen werden.

Da Überflutungen flächige Prozesse sind, darf für das betroffene Gebiet eine hohe räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit angenommen werden. Die Werte sind häufig knapp unter bzw. gleich 1. Die Erfahrungen zeigen jedoch, dass praktisch nie alle potentiell möglichen Gebäude auch effektiv betroffen werden (D. Aller, mündl. Mitteilung).

Die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit müssen für den Einzelfall überprüft und angepasst werden. Als erste Annäherung können jedoch die entsprechenden Werte aus EconoMe übernommen werden. Die Unsicherheit sollte jedoch in der Risikobestimmung klar dargestellt werden.

1.3 Risikobewertung beim Prozess Hochwasser

s.a. Teil A, S. 39ff

Da beim Prozess Hochwasser vor allem Sachwerte betroffen sein können, müssen diese bewertet werden. Die Bewertung von Personenrisiken (v.a. individuelle Risiken) ist von untergeordneter Bedeutung.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung beim Prozess Hochwasser

s.a. Teil A, S. 49ff

Die heute möglichen und gebräuchlichen Massnahmen zur Reduktion von Hochwasserrisiken können gemäss Tabelle 1.2 typisiert werden. Dabei fehlen mit Ausnahme der Umsiedlung die raumplanerischen Massnahmen, welche, wie im Teil A dargelegt, nicht nach diesem Verfahren beurteilt werden. Ebenso sind in diesem Zusammenhang der sachgerechte Gewässerunterhalt sowie die Schutzwaldpflege in das Gesamtkonzept einzubeziehen [15]. Grundsätzlich gilt, dass jeder der aufgelisteten Massnahmentypen eine relevante Wirkung entfalten kann, dass aber diese Wirkung für den Einzelfall zu quantifizieren ist.

Tabelle 1.2: Gliederung der Hochwasserschutzmassnahmen.

Technische Massnahmen	**Biologische Massnahmen**
Wasserrückhalt (z.B. Speicher)	Ufersicherung
Geschiebebewirtschaftung	**Organisatorische Massnahmen**
Sohlenstabilisierung	Mobiler Hochwasserschutz
Ufersicherung	Evakuierung und Sperrung
Hochwasserschutzdamm	Intervention und Rettung
Gerinneausbau (z.B. Verbreiterung, Kanal)	**Raumplanerische Massnahmen**
Brückenverkleidung, Hubbrücken	Umsiedelung
Hochwasserentlastung (z.B. Sollbruchstelle)	Nutzungsbeschränkung
Objektschutz	

Anmerkung: Weitere mögliche Massnahmen sind im Teil B «Murgang» zu finden.

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im Rahmen des Projekt A3 «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von Hochwasserschutzdämmen und -mauern, Brücken und Ufersicherungen entwickelt [61]. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares sowie transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung jeglicher baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Hochwasserbereich nur wenige gesicherte Grundlagen. Solche Massnahmen sind deshalb immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Gleichung 5.1 (Teil A, Seite 57) bestimmt. Für die Investitionskosten existieren gegenwärtig keine Richtwerte; diese müssen im Einzelfall bestimmt werden. Ebenso gibt es für die Bestimmung der jährlichen Betriebs- und Unterhalts- und Reparaturkosten keine allgemeinen Werte. Die Werte müssen daher im Einzelfall erhoben und dokumentiert werden.

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dies jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60).

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen) die Kurve berührt (Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60).

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Im Hochwasserschutz sind neben einer ökonomischen Beurteilung von Schutzmassnahmen auch die Bedeutung von Massnahmen auf die Tier- und Pflanzenwelt sowie die Bedeutung des Gewässers als Erholungsraum in den Entscheid einzubeziehen. Neben der ökonomischen ist daher auch die technische und ökologische Verhältnismässigkeit zu beurteilen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse auf dem aktuellen Stand bezüglich einwirkenden Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die Entwicklung eines Raumes nicht abgebildet. Da die Wirkung von Massnahmen gegen Hochwasser die zeitliche Gültigkeit einer Risikoanalyse überschreitet, ergeben sich mit zunehmender Laufzeit Differenzen zwischen der Schutzwirkung von Massnahmen und dem sich daraus ergebenden Nutzen. Diese Entwicklung kann mit Hilfe von zusätzlichen Szenarien in den Massnahmenentscheid einbezogen werden.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Lonza, Gemeinden Gampel und Steg, Kanton Wallis

2.1 Einleitung

Die Lonza entwässert das Lötschental und mündet auf rund 620 m ü. M. in die Rhone. Grössere Teile des Siedlungsgebietes der Gemeinden Gampel und Steg sowie Industrie- und Landwirtschaftsflächen sind durch die Hochwasser der Lonza gefährdet. Aus diesem Grund wurde bereits in den Jahren 1998 bis 2000 ein Hochwasserschutzkonzept erarbeitet [40]. Dieses Konzept schlägt folgende Schutzmassnahmen vor: Mobile Überflutbarmachung der Dorfbrücke zwischen Gampel und Steg, Sohlenabsenkung des Bachbettes der Lonza im Siedlungsbereich um rund 1 m, Holzfang im «Klösterli» sowie Geschieberückhalt im «Schlüchu» mit einer Kapazität von rund 30‘000 m^3 [30]. Diese Massnahmen wurden durch die beiden Gemeinden in den Jahren 2004/05 realisiert und sind zum aktuellen Zeitpunkt in Betrieb. Die Abbildung 2.1 zeigt die Intensitätskarte der Lonza-Hochwasser in der aktuellen Situation für das EHQ.

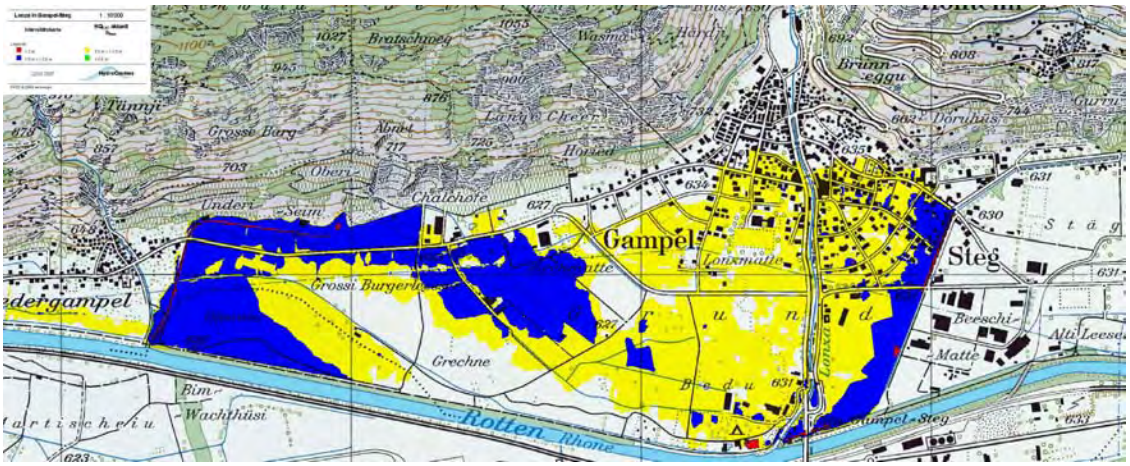


Abbildung 2.1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet der Lonza in den Gemeinden Gampel und Steg. Die Intensitätskarte «EHQ–Aktuelle Situation» zeigt die maximalen Überschwemmungshöhen. Massstab 1:25‘000, Kartennord ↑. © 2008 swisstopo (JD082774).

Diese Fallstudie geht einen Schritt zurück und nimmt den Zustand vor Ausführung der oben beschriebenen Massnahmen (also vor 2004) als Ausgangszustand. Dieser Ausgangszustand wird als «Situation vor jeglichen Massnahmen» (Kurzbezeichnung «VOR») bezeichnet. Der Zustand heute (2008) wird als «Aktuelle Situation» (Kurzbezeichnung «AKTUELL») beschrieben. Die verbleibenden Risiken sollen mit weiteren Massnahmen gesenkt werden. Der Zustand nach Ausführung der weiter geplanten Massnahmen wird als «nach Variante 1» (Kurzbezeichnung «NACH») umschrieben. In den folgenden Abschnitten wird eine risikobasierte Massnahmenplanung für die Zustände «VOR» zu «AKTUELL» und «AKTUELL» zu «NACH» beschrieben. Die Massnahmen zur Bewältigung von «AKTUELL» zu «NACH» werden im Abschnitt 2.7ff genauer betrachtet.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Grundlagen

Die Gefahrenanalyse basierte auf der Auswertung des Ereigniskatasters, auf Feldaufnahmen und Geländeanalysen im Untersuchungsgebiet sowie auf Berichten zum Hochwasserschutz der Lonza in Gampel und Steg:

- Hochwasserschutzkonzept Lonza (2000). Bericht Nr. VS 1527, Geoplan AG, Dezember 2000.
- Studie über die Hochwassergefährdung durch die Lonza in Gampel und Steg (1995), VAW Bericht Nr. 4094, VAW, August 1995.

2.2.2 Ereignisanalyse

Die Ereignisanalyse identifizierte und spezifizierte die zu berücksichtigenden Hochwassergefahren. Dazu dienten die Auswertung des Ereigniskatasters, sowie die Berechnung von Hochwasserabflüssen und die Bestimmung der zugehörigen Ganglinien. Zusammen mit der Analyse der geologischen Verhältnisse konnten die massgebenden Geschiebefrachten bei Hochwasserabflüssen in der Lonza abgeschätzt werden.

Als massgebende Ereignisszenarien werden ein HQ100, ein HQ300 sowie ein Extremhochwasser EHQ (T = 1000 Jahre) festgelegt.

2.2.2.1 Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR»

In allen drei Jährlichkeiten (100-, 300- und EHQ (1000-jährlich)) ist mit Ausuferungen der Lonza zu rechnen. Davon sind sowohl Siedlungsgebiete als auch Landwirtschafts- und Industrieflächen betroffen.

2.2.2.2 Aktuelle Situation «AKTUELL»

Durch die realisierten Massnahmen wurde das Siedlungsgebiet von Gampel und Steg gegen ein 100-jährliches Hochwasser der Lonza geschützt. Erst im 300-jährlichen Fall und bei Extremhochwasser EHQ ist mit Überschwemmungen im Siedlungsgebiet zu rechnen.

2.2.3 Wirkungsanalyse

Die Intensitätskarten der Hochwasserszenarien HQ 100 und EHQ für die Situation vor jeglichen Massnahmen sowie den aktuellen Zustand wurden durch das Büro HydroCosmos [39] erstellt und sind in Abbildung 2.2 ersichtlich. Dabei wurden in einem ersten Schritt die austretenden Wassermengen aus der Lonza mit dem Programm Dupiro berechnet. Anschliessend wurden die Fliesshöhen auf den überschwemmten Flächen und Strassen mit dem Programm Dunamic 2D simuliert. Diese Simulation bildet die Grundlage zur Ausarbeitung der Intensitätskarten.

2.2.3.1 Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR»

Die Hochwassersituation ohne Massnahmen ist in Abbildung 2.2(a) und (b) ersichtlich. Grosse Teile des Siedlungsgebietes beider Gemeinden sind bereits ab einem HQ100 schwach bis mittel gefährdet. Auf den Landwirtschafts- und Industrieflächen ist grösstenteils mit schwachen bis mittleren Intensitäten zu rechnen. Lokal können starke Intensitäten auftreten.

2.2.3.2 Aktuelle Situation «AKTUELL»

Im HQ100 sind die Siedlungsgebiete in beiden Gemeinden hochwassersicher. Einzig bei der Gewerbe- und Industriezone «Lampertij» und dem Campingplatz Rhone ist auch beim HQ100 noch mit Überschwemmungen zu rechnen (Abbildung 2.2(c)). Bei Extremhochwasser EHQ liegt das Siedlungsgebiet von Gampel und Steg mehrheitlich in der schwachen Intensität, einzig am östlichen Rand auf dem Gemeindegebiet von Steg ist mit mittleren Intensitäten zu rechnen (Abbildung 2.2(d)). Die landwirtschaftlichen Flächen zwischen Gampel und Niedergampel sind sowohl im HQ100 als auch im EHQ mit schwacher und mittlerer Intensität betroffen.

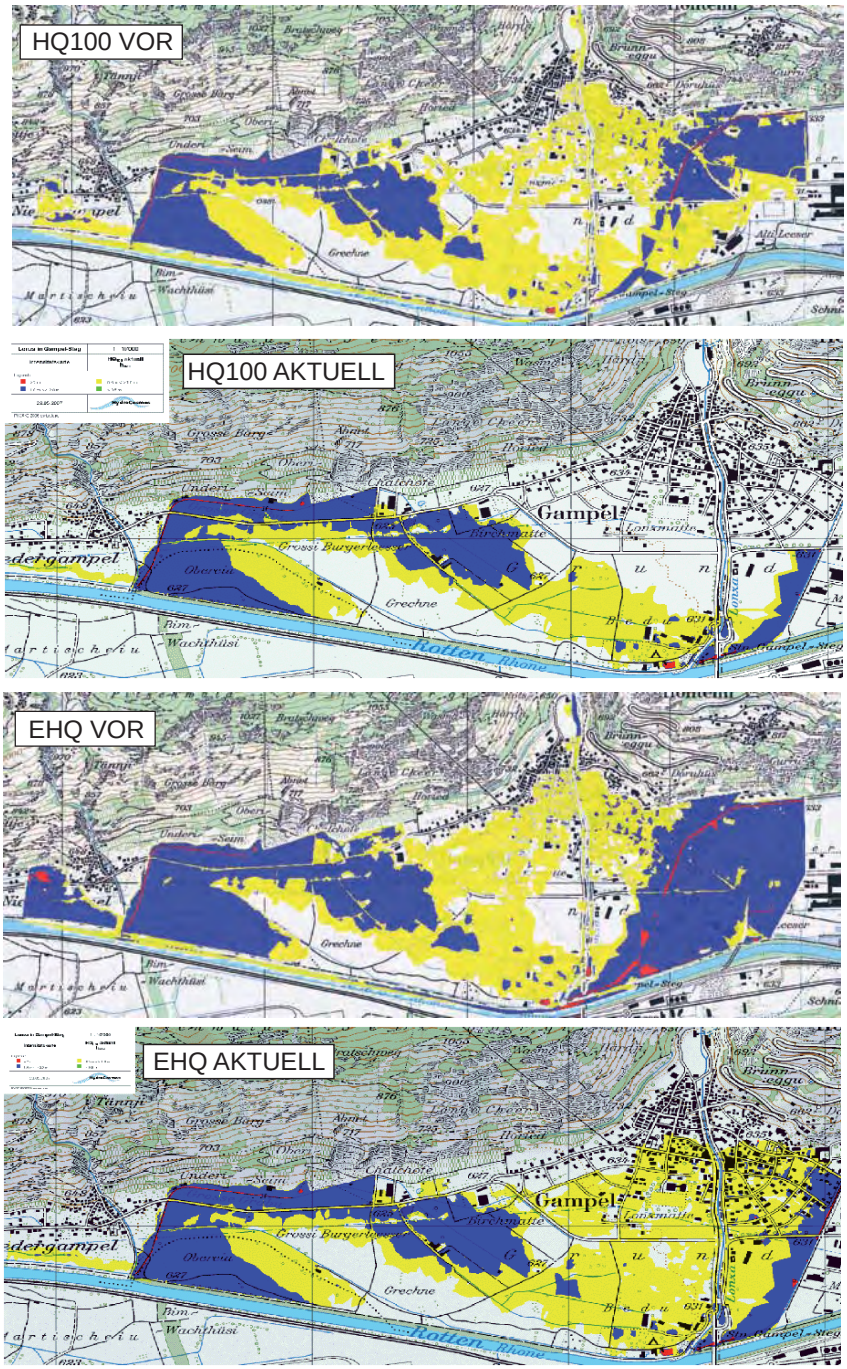


Abbildung 2.2: Intensitätskarten Lonza vor jeglichen Massnahmen (VOR) und im aktuellen Zustand (AKTUELL) für das HQ100 sowie für das EHQ. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.3 Expositionsanalyse

Die Sachwerte, die bei Hochwassergefahr exponiert sind, konnten in den Intensitätskarten HQ100 und EHQ ausgemacht werden. Die Anzahl der potentiell betroffenen Personen und die Sachwerte wurden in Anlehnung an die Werte in «EconoMe» [8] festgelegt (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Sachwerte und Klassierungen der einzelnen Objekte, die in der Analyse berücksichtigt wurden. Die Sachwerte stellen effektive erhobene Werte für den aktuellen Zustand dar («AKTUELL»).

Objekt	**Personen**	**Einheiten**	**Schadenpotential**	
	[Anzahl]	[Anzahl]	Personen [CHF]	Gebäude [CHF]
EFH	228	102	1'142'400'000	66'300'000
MFH	1'006	449	5'028'800'000	246'950'000
sonst. Gebäude	55	52	275'000'000	79'716'240
Gesamt	1'289	603	6'446'200'000	392'966'240

Objekt	**Personen**	**Einheiten**	**Schadenpotential**	
	[Anzahl]	[Anzahl]	Personen [CHF]	Gebäude [CHF]
Tankstelle	2	1	10'000'000	800'000
Camping	50	1	250'000'000	4'000'000
Gesamt	52	2	260'000'000	4'800'000

Objekt	**Besetzungs-grad**	**DTV**	**Länge**	**Schadenpotential** Strassen [CHF]
Kantonsstrassen	1.6	9'000	680	2'788'000
Gemeindestrassen	1.6	250	7'910	18'193'000
Gesamt			8'590	20'981'000

Objekt	**Masten**	**Schadenpotential**
	[Anzahl]	Leitungen [CHF]
Strom	8	12'000
Telekommunikation	34	51'000
Gesamt	42	63'000

Objekt	**Fläche**	**Schadenpotential**
	[are]	Fläche [CHF]
Intensive Flächen	2'000	3'200'000
Extensive Flächen	6'000	8'400'000
Gesamt	8'000	11'600'000

	Schadenpotential	
	Personen [CHF]	Sachwerte [CHF]
Total	6'706'200'000	430'410'240

Die Sachwerte wurden gemäss dieser Klassierung (Tabelle 2.1) im Feld aufgenommen. Dabei wurden alle Objekte berücksichtigt, die vom EHQ betroffen sind. Die Basiswerte der Objekte wurden aus EconoMe übernommen. Gab es bei den Objekten Abweichungen vom Basiswert, so wurde der effektive Wert verwendet. In Abbildung 2.3 ist das Schadenpotential des EHQ der aktuellen Situation nach Objektkategorien ersichtlich.

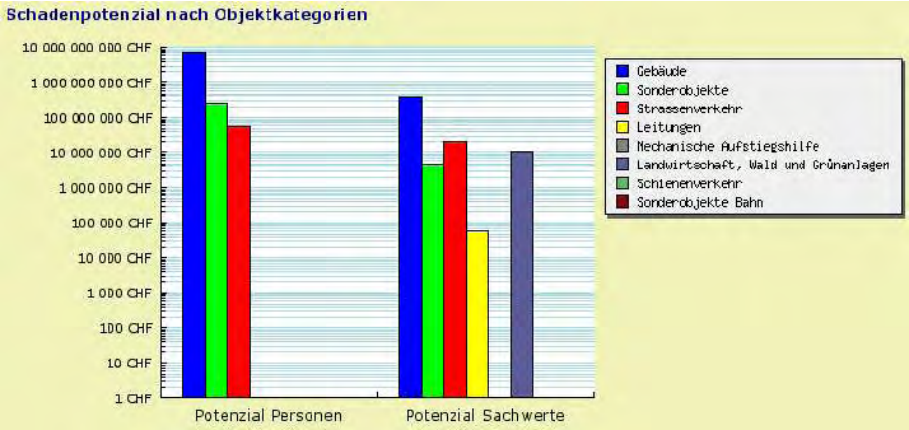


Abbildung 2.3: Schadenpotential nach Objektkategorien aufgelistet für das EHQ «AKTUELL» (aus EconoMe, [8]).

2.3.1 Schadenpotential vor jeglichen Massnahmen «VOR»

Vor jeglichen Massnahmen umfasste das Schadenpotential der Sachwerte für das EHQ ca. 630 Mio. CHF. Rund 590 Mio. CHF machten Gebäude aus, die restlichen 40 Mio. CHF setzten sich aus Strassen (20 Mio.), Landwirtschaftsflächen (15 Mio.) und dem Campingplatz (4 Mio.) zusammen.

2.3.2 Schadenpotential Aktuelle Situation «AKTUELL»

Das Schadenpotential der Sachwerte für das EHQ beträgt aktuell ca. 430 Mio. CHF. Der weitaus grösste Teil macht die Objektkategorie «Gebäude» mit rund 390 Mio. CHF aus, gefolgt von Strassen mit 20 Mio. CHF, landwirtschaftlichen Flächen mit 10 Mio. CHF und dem Campingplatz mit 4 Mio. CHF. Das Schadenpotential für Personen beträgt rund 6'700 Mio. CHF bei einer Monetarisierung von 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall.

2.4 Konsequenzenanalyse

Die Konsequenzenanalyse überlagert das vorhandene Schadenpotential aus Kapitel 2.3 mit dem Gefahrenprozess Hochwasser. Für die 3 Szenarien (HQ100, HQ300 und EHQ) wurden somit die Schadenausmasse bestimmt. Bei der vorliegenden Analyse wurden die Verletzlichkeiten der Objekte aus EconoMe übernommen.

2.4.1 Situation vor jeglichen Massnahmen «VOR»

Tabelle 2.2 zeigt die Schadenausmasse der 3 Szenarien für die Situation vor jeglichen Massnahmen nach Objektklassen aufgeteilt.

Das Gesamt-Schadenausmass setzt sich zu 95 % und mehr aus den Schadenausmassen von Gebäuden (EFH, MFH, Hotel, Einkaufszentren, etc. . .) sowie dem Sonderobjekt «Campingplatz Rhone»

Tabelle 2.2: Konsequenzenanalyse vor jeglichen Massnahmen («VOR»): Schadenausmass nach Objektkategorien und Szenario aufgeteilt (aus EconoMe).

Kategorie	**Szenario 100**		**Szenario 300**		**EHQ**	
	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]
Gebäude	24'256'006	90.8	36'710'298	92.7	43'742'194	92.5
Sonderobjekte	2'008'000	7.5	2'008'300	5.1	2'008'300	4.2
Strassenverkehr	324'300	1.2	541'100	1.4	812'500	1.7
Leitungen	4'950	<0.1	7'200	<0.1	7'650	<0.1
Landwirtschaft, Wald Grünanlagen	92'796	0.3	224'825	0.6	578'062	1.2
Personen	19'561	0.1	104'328	0.3	131'417	0.3
Gesamt	26'704'600	100.0	39'596'100	100.0	47'280'100	100.0

zusammen. Leitungen, landwirtschaftliche Flächen sowie Personenschäden tragen nur marginal zum Gesamtschadenausmass bei.

2.4.2 Aktuelle Situation «AKTUELL»

In Tabelle 2.3 ist das Schadenausmass für die aktuelle Situation dargestellt. Auch bei der aktuellen Situation machen Gebäude sowie das Sonderobjekt Campingplatz über 95 % des Schadenausmasses in jedem Szenario aus.

Tabelle 2.3: Konsequenzenanalyse vor Massnahmen («AKTUELL»): Schadenausmass nach Objektkategorien und Szenario aufgeteilt (aus EconoMe).

Kategorie	**Szenario 100**		**Szenario 300**		**EHQ**	
	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]
Gebäude	2'036'758	47.7	12'961'123	85.1	22'002'439	90.6
Sonderobjekte	2'008'300	47.1	2'008'300	13.2	2'008'300	8.3
Strassenverkehr	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Leitungen	6'300	0.1	6'750	<0.1	10'350	<0.1
Landwirtschaft, Wald Grünanlagen	189'855	4.4	211'678	1.4	212'260	0.9
Personen	26'758	0.6	34'546	0.2	43'367	0.2
Gesamt	4'267'971	100.0	15'222'397	100.0	24'276'716	100.0

2.5 Risikoermittlung

Durch die Verknüpfung der Schadenausmasse aus Abschnitt 2.4 mit den Häufigkeiten der Szenarien (100-, 300-, EHQ (1000-jährlich)) konnten die kollektiven Risiken ermittelt werden. Tabelle 2.4 zeigt die kollektiven Risiken für die Situation vor jeglichen Massnahmen («VOR») sowie die aktuelle Situation («AKTUELL»).

Zusammen mit den jährlichen Kosten der bereits realisierten Massnahmen, die 245‘000 CHF betragen (Investitionskosten 10 Mio. CHF, jährliche Unterhaltskosten 20‘000 CHF), konnte das Nutzen-Kosten-Verhältnis der bereits realisierten Massnahmen bestimmt werden. Zu den Ergebnissen ist zu bemerken, dass das Endergebnis stark von den Annahmen in der Risikoanalyse abhängt und die Unsicherheiten damit einen unmittelbaren Einfluss auf das Nutzen-Kosten-Verhältnis haben. Das berechnete Nutzen-Kosten-Verhältnis liegt daher im Bereich von «1» und die getroffenen Massnahmen können als «gerade noch wirtschaftlich» bezeichnet werden.

Tabelle 2.4: Risikobeiträge pro Szenario und Gesamtrisiko für den Zustand ohne jegliche Massnahmen («VOR») und den aktuellen Zustand («AKTUELL»), sowie Ermittlung des Nutzen-Kosten Verhältnisses mittels der jährlichen Massnahmenkosten.

	Risikobeitrag [CHF/a]			**Gesamt**
	Szenario 100	Szenario 300	EHQ	
«VOR»	178’031	92’391	47’280	317’702
«AKTUELL»	28’496	35’490	24’267	88’253
Risikoreduktion	149’535	56’901	23’013	229’449
Massnahmenkosten [CHF/a]				245’000
Nutzen-Kosten-Verhältnis [-]				0.9

Die Aufteilung des Risikos der Situation vor jeglichen Massnahmen sowie des aktuellen Zustands auf die verschiedenen Objektkategorien aus Abschnitt 2.3 ist in Tabelle 2.5 ersichtlich.

Die individuellen Risiken sind für fast alle betroffenen Objekte $<1\cdot10^{-6}$. Einzig für eine Industriehalle liegt das individuelle Risiko zwischen $1\cdot10^{-6}$ und $1\cdot10^{-5}$.

Tabelle 2.5: Risikoverteilung nach Objektkategorien für alle 3 Szenarien für den Zustand vor jeglichen Massnahmen («VOR») und den aktuellen Zustand («AKTUELL»).

Kategorie	**«VOR»**		**«AKTUELL»**	
	[CHF/a]	[%]	[CHF/a]	[%]
Gebäude	291’099	91.6	65’909	74.7
Sonderobjekte	20’080	6.3	20’121	22.8
Strassenverkehr	4’237	1.3	0	0.0
Leitungen	57	<0.1	68	0.1
Landwirtschaft, Wald Grünanlagen	1’721	0.5	1’971	2.2
Personen	505	0.2	182	0.2
Gesamt	317’702	100.0	88’253	100.0

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Situation vor jeglichen Massnahmen

91 % des Gesamtrisikos machen Gebäude aus, 6 % gehen zu Lasten der Sonderobjekte Campingplatz und Tankstelle. Leitungen, landwirtschaftliche Flächen sowie Personenrisiken tragen nur marginal zum Gesamtrisiko bei. Die individuellen Risiken liegen bis auf eine Industriehalle für alle Objekte unter dem Grenzwert von $1 \cdot 10^{-6}$ (vgl. Teil A, Tabelle 4.2, Seite 43).

2.6.2 Aktuelle Situation «AKTUELL»

Die Gebäude tragen deutlich am meisten zum Gesamtrisiko bei (rund 75 %). Etwas weniger als der restliche Viertel machen die Sonderobjekte Tankstelle und insbesondere der Campingplatz aus. Auf Leitungen, landwirtschaftliche Flächen sowie Personen fallen sehr wenig Risiken an. Massnahmen, die darauf abzielen, die Risiken der Kategorie Gebäude zu vermindern, versprechen somit das grösste Risikoverminderungspotential.

Die individuellen Risiken sind für fast alle betroffenen Objekte unter dem Grenzwert von $1 \cdot 10^{-6}$ (vgl. Teil A, Tabelle 4.2, Seite 43). Einzig für eine Industriehalle liegt das individuelle Risiko zwischen $1 \cdot 10^{-6}$ und $1 \cdot 10^{-5}$. Die individuellen Risiken aufgrund der Hochwassergefahr sind somit für alle Objekte unter den Grenzwerten für das individuelle Todesfallrisiko.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Die bereits realisierten Massnahmen, die in Abschnitt 2.1 beschrieben sind, wurden nicht weitergehend betrachtet. Es wird in den folgenden Kapiteln vom aktuellen Zustand als Ausgangssituation ausgegangen und es werden nur die Massnahmen untersucht, die noch nicht ausgeführt wurden.

Im Rahmen der Studie zur Restrisikobewältigung Hochwasser Lonza Steg [30] wurden Massnahmenvarianten geprüft, um den verbleibenden Restrisiken mit maximalem Schutz aber minimalem Kostenaufwand zu begegnen.

Geprüft wurden Massnahmen, die einen Ausbruch von Wasser aus dem Gerinne verhindern (Erhöhung der Ufermauern, Absenkung der Sohle), sowie Massnahmen, die im Überlastfalls das Wasser entlang der Kantonsstrasse ableiten (Terrainerhöhung, Dammbalkensysteme, mobile Schlauchsperren) [30]. Die Schaffung von zusätzlichen Retentionsräumen ist in diesem Beispiel aus Platzgründen nicht möglich. Die einzelnen Varianten werden nachfolgend genauer erläutert [30]:

Variante 1: Erhöhung der Ufermauern (0.3 - 1.8 m), Erhöhung Uferböschung (0.5 m), mobile Schlauchsperren entlang Kantonsstrasse;
Wirkung: linksufrig kein Ausbruch, rechtsufrig Ableitung des Überlastfalls entlang der Kantonsstrasse;
Investitionskosten: 1.17 Mio. CHF.

Variante 2: Erhöhung der Ufermauern (0.3 - 1.8 m), Erhöhung Uferböschung (1.0 m), mobile Schlauchsperren entlang Kantonsstrasse;
Wirkung: linksufrig Ausbruch des Überlastfalls möglich, rechtsufrig Ableitung des Überlastfalls entlang der Kantonsstrasse;
Investitionskosten: 0.92 Mio. CHF.

Variante 3: Erhöhung der Ufermauern (0.3 - 1.0 m), Erhöhung Uferböschung (1.0 m), mobile Schlauchsperren entlang Kantonsstrasse;
Wirkung: linksufrig Ausbruch des Überlastfalls möglich, rechtsufrig Ableitung des Überlastfalls entlang der Kantonsstrasse;
Investitionskosten: 1.00 Mio. CHF.

Variante 4: Erhöhung der Ufermauern (0.3 - 1.8 m), Erhöhung Uferböschung (1.0 m), Terrainerhöhung (0.5 - 1.0 m), mobile Schlauchsperren entlang Kantonsstrasse;
Wirkung: linksufrig kein Ausbruch, rechtsufrig Ableitung des Überlastfalls entlang der Kantonsstrasse;
Investitionskosten: 1.70 Mio. CHF.

Variante 5: Sohlenabsenkung (1.0 m), Erhöhung der Ufermauern (0.3 - 0.9 m);
Wirkung: linksufrig kein Ausbruch, rechtsufrig kein Ausbruch;
Investitionskosten: 3.27 Mio. CHF.

Beim Variantenentscheid wurde nicht nur das Kostenwirksamkeitskriterium beigezogen sondern es wurden auch qualitative Kriterien wie Personalaufwand und Einbettung ins Orts- und Landschaftsbild berücksichtigt. Die Bestvariante aus dieser Überprüfung ist die Variante 1, die linksufrig auf Seite von Steg keinen Ausbruch von Wasser aus dem Gerinne erlaubt, und rechtsufrig auf Gemeindegebiet von Gampel den Überlastfall entlang der Kantonsstrasse ableitet (Abbildung 2.4). Die Variante 1 wurde mit den Annahmen aus EconoMe überprüft und nachgerechnet.

2.8 Wirksamkeit

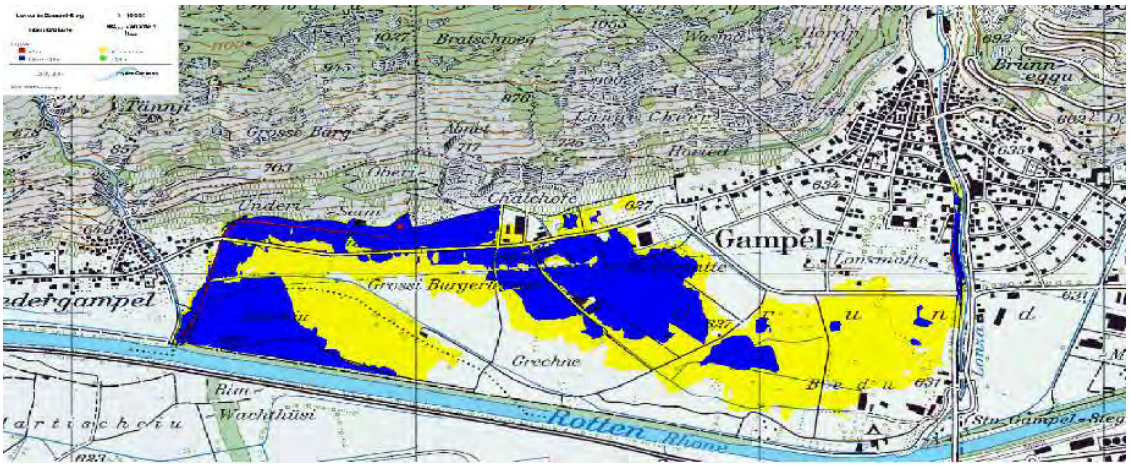


Abbildung 2.4: Intensitätskarte EHQ nach Realisierung der Variante 1. © 2008 swisstopo (JD082774).

Die Wirksamkeit der Variante 1 wurde mittels neu modellierter Intensitätskarten bestimmt. Die neue Intensitätskarte für die Variante 1 für das EHQ ist in Abbildung 2.4 abgebildet.

Durch die Massnahme wird praktisch das ganze Siedlungsgebiet von Gampel und Steg hochwassersicher. Entlang der Kantonsstrasse ist aufgrund der Ableitung des Überlastfalls über die Strasse mit mittleren bis starken Intensitäten zu rechnen. In Steg wird zudem die Industriezone ebenfalls hochwassersicher. Für die Landwirtschaftszone zwischen Gampel und Niedergampel ergeben sich nur geringfügige Verbesserungen. Hingegen werden der Campingplatz an der Rhone sowie die etwas nördlich davon gelegenen Industriehallen ebenso von Überschwemmungen geschützt (Abbildung 2.4). Das Schadensausmass nach Massnahmen zeigt Tabelle 2.6.

Tabelle 2.6: Konsequenzenanalyse nach Massnahmen (nach Variante 1, «NACH»): Schadenausmass nach Objektkategorien und Szenario aufgeteilt.

Kategorie	**Szenario 100**		**Szenario 300**			**EHQ**
	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]
Gebäude	0	0.0	1’585’162	87	1’607’842	87
Sonderobjekte	0	0.0	0	0.0	0	0.0
Strassenverkehr	0	0.0	32’800	1.8	32’800	1.8
Leitungen	0	0.0	4’050	0.2	4’050	0.2
Landwirtschaft, Wald Grünanlagen	0	0.0	168’463	9.2	171’053	9.3
Personen	0	0.0	31’900	1.8	31’900	1.7
Gesamt	0	0.0	1’822’375	100.0	1’847’645	100.0

Das Schadensausmass kann durch die Variante 1 im 300- und EHQ-Fall auf rund 1.8 Mio. CHF, im 100-jährlichen auf 0 CHF gesenkt werden.

Tabelle 2.7 zeigt die verbleibenden Risiken nach den Massnahmen der Variante 1. Der Risikobeitrag des HQ100 ist 0 CHF/a (Schutzziel HQ100), das HQ300 trägt mehr als doppelt so viel zum Gesamtrisiko bei als das EHQ. Das gesamte Kollektivrisiko nach den Massnahmen beläuft sich auf 6’100 CHF/a.

Tabelle 2.7: Risikobeiträge pro Szenario und Gesamtrisiko für den Zustand nach Variante 1 («NACH»).

	Risikobeitrag			**Gesamt**
	Szenario 100	Szenario 300	EHQ	
Risiko nach Variante 1 («NACH») [CHF/a]	0	4’252	1’848	6’100

2.9 Kosten

Die Investitionskosten der Variante 1 werden von Geoplan AG auf rund 1.3 Mio. CHF geschätzt. Die jährlichen Unterhaltskosten betragen 10‘000 CHF, die jährlichen Betriebskosten 0 CHF. Die einmaligen Investitionskosten von 1.3 Mio. CHF werden dabei in jährliche Kosten umgerechnet[1].

[1] Der Zinssatz p ist 2 %, die Lebensdauer der Massnahme 50 Jahre.

Dazu kommen die jährlichen Unterhaltskosten sowie die jährlichen Betriebskosten. Die so ermittelten jährlichen Massnahmenkosten betragen 49‘000 CHF/a.

2.10 Massnahmenbewertung

Mit EconoMe wurde die Kostenwirksamkeit der Massnahme bestimmt. Die Gegenüberstellung der mit der Massnahme erzielten jährlichen Risikoverminderung und der jährlichen Kosten der Massnahme ergab das Nutzen-Kosten-Verhältnis. Für die Variante 1 beträgt das Verhältnis 1.7 (vgl. Tabelle 2.8).

Tabelle 2.8: Risikobeiträge vor und nach Massnahmen, sowie Nutzen-Kosten-Verhältnis aus Quotient von Risikoreduktion [CHF/a] und Massnahmenkosten [CHF/a].

	Risikobeitrag [CHF/a]			**Gesamt**
	Szenario 100	Szenario 300	EHQ	
«VOR»	28’496	35’490	24’267	88’253
«AKTUELL»	0	4’252	1’848	6’100
Risikoreduktion	28’496	31’238	22’419	82’153
Massnahmenkosten [CHF/a]				49’000
Nutzen-Kosten-Verhältnis [-]				1.7

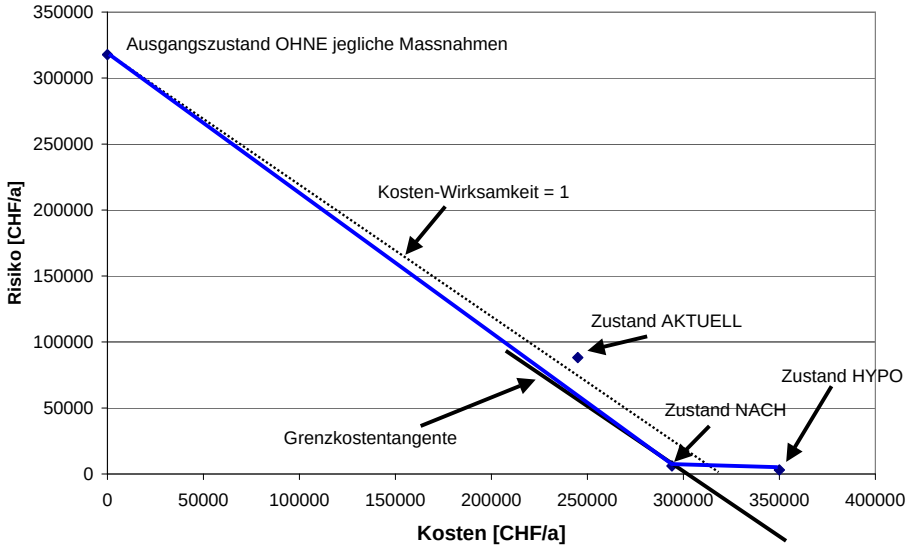


Abbildung 2.5: Risiko-Kosten Kurve für alle Massnahmen. Es ist der Ausgangszustand («VOR»), der aktuelle Zustand («AKTUELL»), der Zustand nach Realisierung der Massnahmen («NACH») und ein hypothetischer Zustand («HYPO») nach der Realisierung einer weiteren möglichen Massnahme (notwendig für RK-Kurve) dargestellt. Auch wenn nur wenige Varianten für die Erstellung der Kurve zur Verfügung standen, zeigt die Lage der Grenzkostentangente, dass die Variante 1 dem Grenzkostenkriterium standhält. Zum Vergleich ist gestrichelt die Gerade mit Kostenwirksamkeit = 1 eingetragen.

Werden nun alle Massnahmen mit den zugehörigen Kosten ab dem Zustand «ohne jegliche Massnahmen» («VOR») in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen, dann zeigt sich, dass Variante 1 dem Grenzkostenkriterium standhält (Abbildung 2.5). Zur genaueren Überprüfung müssten die weiteren Varianten 2-5 eingetragen werden. Die Analyse des Diagramms lässt vermuten, dass ausgehend vom Zustand «VOR» schon zu einem früheren Zeitpunkt sehr wahrscheinlich kostenwirksamere Varianten möglich gewesen wären, als die Massnahmen, die zum Zustand «AKTUELL» geführt hat. Der Zustand «HYPO» wurde in das Diagramm aufgenommen, um die Risiko-Kosten-Kurve vollständig zeichnen zu können (Annahme: Restrisiko: 3000 CHF/a, Kosten: 350'000 CHF/a). Die Grenzkostentangente mit einer Steigung von -1 berührt in diesem Fall die Kurve bei Variante 1.

2.11 Weitere Einflussfaktoren

Weitere Einflussfaktoren wie partizipative Verfahren oder gesellschaftlicher- und/oder politischer Druck waren bei der vorliegenden Analyse nicht entscheidungsrelevant.

Kapitel 3

Fazit

Das Fallbeispiel hat gezeigt, dass das Risikokonzept grundsätzlich anwendbar ist und eine risikoorientierte Massnahmenplanung erlaubt. Die Risiken konnten mit dem Tool EconoMe ermittelt werden. Näherungsweise wurde auf die allgemeinen Werte von EconoMe abgestützt.

Um die Methodik der risikobasierten Massnahmenplanung nach dem Risikokonzept darzustellen, wurde die Massnahmenplanung beginnend vom Zustand «ohne jegliche Massnahmen» («VOR») zurück verfolgt. Dabei zeigte sich, dass die aktuelle Planung von Massnahmen (nach Variante 1, «NACH») dem Grenzkostenkriterium standhält. Obwohl die Risiko-Kosten-Kurve nur mit wenigen Punkte gezeichnet wurde, sind die ökonomischen Kriterien erfüllt. Das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Variante 1 ist gemäss den getroffenen Annahmen 1.7. Organisatorische Massnahmen wurden nicht berücksichtigt.

Es muss jedoch erwähnt werden, dass es sich nicht um ein «optimales Projekt» handelt, um eine risikobasierte Massnahmenplanung voll umfänglich darzustellen. Dies liegt vor allem in der fehlenden Dokumentation um die einzelnen Schritte zwischen den Situation «VOR» und «NACH» genauer nachzuvollziehen. Es zeigt sich jedoch, dass die gewählte Massnahmenkombination vom Zustand «VOR» zum Zustand «AKTUELL» eine vernünftige Lösung darstellt. Da die Massnahmenplanung in den kommenden Jahren zunehmend nach risikobasierten Kriterien erfolgen wird, ist zu erwarten, dass in den nächsten Jahren bessere Anschauungsbeispiele zur Verfügung stehen werden.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für einen detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess Überschwemmung zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Überschwemmung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude[1]								
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.020	0.20	0.30	0.000010	0.00010	0.0020
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Mehrfamilienhaus[2]	550000.00	Stück	0.006	0.15	0.25	0.000003	0.00003	0.0006
Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox[3]	60000.00	Stück	0.020	0.50	0.60	0.000010	0.00010	0.0030
Hotel - Gästehaus	492.00	m^3	0.100	0.30	0.40	0.000003	0.00003	0.0006
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m^3	0.100	0.30	0.40	0.000100	0.00100	0.0010
Einkaufszentrum	540.00	m^3	0.100	0.30	0.40	0.000100	0.00100	0.0010
Schule/Kindergarten	580.00	m^3	0.006	0.15	0.25	0.000003	0.00003	0.0006
Spital	850.00	m^3	0.100	0.30	0.40	0.000100	0.00100	0.0010
Kirche	720.00	m^3	0.006	0.15	0.40	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Bahnhof	530.00	m^3	0.100	0.30	0.40	0.000003	0.00003	0.0006
Stationsgebäude Mechanische Aufstiegshilfe	500.00	m^3	0.100	0.30	0.40	0.000003	0.00003	0.0006
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m^3	0.006	0.30	0.40	0.000003	0.00003	0.0006
Öffentliche Gebäude	810.00	m^3	0.100	0.30	0.40	0.000003	0.00003	0.0006
Stall	180.00	m^3	0.050	0.30	0.40	0.000010	0.00010	0.0010
Schuppen / Remise	80.00	m^3	0.020	0.30	0.60	0.000010	0.00010	0.0010

[1] Alle mit Einheit m^3: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

[2] I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

[3] Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und numeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Überschwemmung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte[4]								
Kraftwerk		Stück	0.100	0.20	0.50	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
ARA		Stück	0.010	0.20	0.30	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Deponie		Stück	0.010	0.10	0.30	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Campingplatz		Stück	0.500	0.80	1.00	0.000100	0.00100	0.0100
Schutzbauwerk		Stück	0.001	0.20	0.80	0	0	0
Wasserreservoir		Stück	0.010	0.20	0.50	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.010	0.20	0.30	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m’	0	0.01	0.10	0	$1 \cdot 10^{-8}$	0.0010
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m’	0	0.01	0.10	0	$1 \cdot 10^{-8}$	0.0100
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m’	0	0.10	0.30	0	$1 \cdot 10^{-8}$	0.1000
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m’	0	0.50	1.00	0	$1 \cdot 10^{-8}$	0.3000
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m’	0.100	0.60	1.00	0	$1 \cdot 10^{-8}$	0.3000
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m’	0	0.01	0.30	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m’	0	0.01	0.10	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m’	0	0	0.01	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$

[4] grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separtes Objekt z.B als Wohneinheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Überschwemmung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m'	0	0	0.01	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Schienenverkehr								
Einspur	6300.00	m'	0.500	0.80	1.00	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Doppelspur	10400.00	m'	0.500	0.80	1.00	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m'	0	0	0.50	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Brücke Doppelspur	420000.00	m'	0	0	0.50	0	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0	0	0.50			
Durchtrennung Kabelanalage innerhalb des Kabelkanals (pro Schadenstelle)	21000.00	Anz.	0.500	0.50	1.00			
Frei wählbares Objekt		m'	0.500	0.50	1.00			
Mechanische Aufstiegshilfe								
Sklilift		m'	0	0.30	0.50	0	0	0
Sessellift		m'	0	0.30	0.70	0	0	$1 \cdot 10^{-8}$
Gondelbahn		m'	0	0.20	0.70	0	0	$1 \cdot 10^{-8}$
Luftseilbahn		m'	0	0.20	0.70	0	0	$1 \cdot 10^{-9}$
Standseilbahn Zahnradbahn		m'	0.300	0.50	1.00	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-8}$
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) $\leq$ 60 kV	400000.00	Mast	0	0.01	0.10			
Hochspannungsleitung $>$ 60 kV	1000000.00	Mast	0	0.01	0.10			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Überschwemmung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m'	0	0.30	0.80			
Strom unter Terrain		m'	0.100	0.30	0.50			
Wasser auf Terrain		m'	0	0.30	0.50			
Wasser unter Terrain	800.00	m'	0	0.01	0.10			
Gas auf Terrain		m'	0	0.30	0.50			
Gas unter Terrain	600.00	m'	0	0.01	0.10			
Telekommunikation auf Terrain		m'	0	0.30	0.80			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m'	0.100	0.30	0.50			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m'	0	0.01	0.10			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.001	0.03	0.50			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.001	0.05	0.50			
Schutzwald	1000.00	a	0	0.10	0.40			
Nutzwald	200.00	a	0	0.20	0.40			
Rebberg	6000.00	a	0.100	0.20	0.40			
Gemüsekultur	5000.00	a	0.100	0.10	0.30			
Obstplantagen		a	0.100	0.20	0.50			
Parkanlage		a	0.200	0.30	0.60	$1 \cdot 10^{-9}$	0.00100	0.3000
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.200	0.30	0.60	$1 \cdot 10^{-9}$	0.00100	0.3000
Friedhof		a	0.200	0.30	0.60	$1 \cdot 10^{-9}$	0.00100	0.3000
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.200	0.30	0.60	$1 \cdot 10^{-9}$	0.00100	0.3000

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Überschwemmung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**						**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität						Intensität		
			schwach	mittel	stark				schwach	mittel	stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien (Jährlichkeit)								
			30	100	300						
alle Objekte			1.00	1.00	1.00						

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS MURGANG

Hans Romang, Michael Bründl

Chummerbach Davos, Ereignis vom 15.8.98 (K. Eberle, Gemeinde Davos)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Murgänge anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzprojekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Murgang charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses «Murgang»

Ein Murgang (auch Mure oder Rüfe genannt) ist ein breiartiges, oft schnell fliessendes Gemenge aus Wasser und Feststoffen (Sand, Kies, Steine, Blöcke, Holz) mit einem hohen Feststoffanteil von circa 30 bis 60 %. Murgänge treten in sehr steilen Wildbachgerinnen mit einer Neigung von mindestens 25 bis 30 % auf. Sie können das Gerinne verlassen und sich dabei seitlich ausbreiten [53].

Ein Murgang vermag grosse Geschiebe- und Geröllmassen (Blöcke von mehreren m^3 Volumen, Baumstämme, Autos usw.) umzulagern (Abbildung 1.1(a)). Dadurch besitzen Murgänge ein erhebliches Zerstörungspotential und können neben Gebäuden, Verkehrsachsen (Abbildung 1.1(a)) und Infrastruktur auch Personen in Gebäuden gefährden [53].

(a) (b)

Abbildung 1.1: Murgänge haben ein grosses Zerstörungspotential für Gebäude und können Personen auf Verkehrswegen betreffen. Foto: Gemeinde Susch (a); M. Bründl (b).

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Murgang

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Die Gefährdung wird aufgrund von Spuren früherer Ereignisse, der Einträge im Ereigniskataster, der Analyse im Gelände, der Erhebung des Geschiebepotentials und des Gerinnegefälles beurteilt [53]. Die Ereignisdokumentation ist das wichtigste Instrument zur Analyse vergangener Murgangereignisse. Darin sind Prozesstyp, Ausmass, Ursache, Wirkungsbereich sowie die Schäden dokumentiert. Extremereignisse spielen eine massgebende Rolle, um sich einen Überblick über die Gefahrensituation durch Murgänge im Projektperimeter zu verschaffen. Der Einbezug lokaler Erfahrungen ist ebenfalls sehr hilfreich, da Murgänge häufig ähnliche Ereignisverläufe nehmen, was in Erfahrungsberichten dokumentiert sein kann.

In der Geländeanalyse wird die Disposition u.a. durch Erhebung der 'stummen Zeugen' ermittelt. Das Ergebnis wird in der Karte der Phänomene dargestellt.

Da Murgänge durch langandauernde oder heftige Niederschläge, Hagelschlag oder eine intensive Schneeschmelze ausgelöst werden, ist die Häufigkeit und die mögliche Intensität dieser Prozesse zu beurteilen. In diesem Zusammenhang müssen die saisonale Niederschlagsverteilung, die vorherrschende Windsysteme und die typischen Wetterlagen berücksichtigt werden.

Die Auswertung dieser Grundlagen erlaubt, zusammen mit allfälligen weiteren Informationen und entsprechend dem aktuellen Stand des Wissens, die Festlegung der massgebenden Ereignisszenari-

en als Resultat der Ereignisanalyse. In der Praxis der Gefahrenkartierung werden solche Szenarien für Jährlichkeiten von 30, 100 und 300 Jahren formuliert [47]. Wenn sich die Auswirkungen eines noch selteneren Ereignisses von denen des 300-jährlichen Ereignisses deutlich unterscheiden, kann es Sinn machen, auch ein Szenario mit einer Jährlichkeit grösser als 300 Jahre vorzuschlagen (analog EHQ). Ebenso können Szenarien mit kürzeren Jährlichkeiten (z.B. 1 bis 10 Jahre) sinnvoll sein. Die Wahl der für die Risikobeurteilung als relevant erachteten Szenarien muss mit dem Auftraggeber abgesprochen werden und ist entsprechend zu begründen.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

Die Abschätzung der Intensität wird heute vermehrt unter Zuhilfenahme von dynamischen Modellen durchgeführt. Da aber die Prozesskenntnisse bei Murgängen noch weniger weit fortgeschritten sind als in anderen Bereichen, ist die Bedeutung der Modellierungen geringer als etwa bei den Lawinen. Die Intensität von Murgängen wird vorläufig durch die Grössen Geschwindigkeit und Übermurungshöhe definiert. In Anlehnung an die Empfehlungen des Bundes [47] werden die folgenden Intensitätsklassen festgelegt (Tabelle 1.1):

Tabelle 1.1: Definition Intensitätsklassen für den Prozess Murgang. Der Parameter h bezeichnet die Mächtigkeit der Murgangablagerung und v die Fliessgeschwindigkeit des Murgangs [47].

Intensitätsklasse	**Kriterien**
schwache Intensität	nicht definiert
mittlere Intensität	$h < 1\,m$ oder $v < 1\,\frac{m}{s}$
starke Intensität	$h > 1\,m$ und $v > 1\,\frac{m}{s}$

Sofern Berechnungsmodelle verwendet werden, sollten die Ergebnisse mit den Erfahrungen vergangener Ereignisse (Dokumente, Zeugenaussagen, Erfahrung von Experten etc.) sowie mit der realen Situation im Gelände verglichen bzw. überprüft werden. Werden Differenzen festgestellt, sind diese zu plausibilisieren und gegebenenfalls sind die Modellresultate anzupassen.

Bei der manuellen Korrektur der Simulationsergebnisse sind auch mögliche Ungenauigkeiten der Modellierung in Bezug auf die Inputdaten zu berücksichtigen. Um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten, sollten die manuellen Korrekturen im Bericht dokumentiert werden. Diese finale Überprüfung ist für die Ermittlung des Risikos von entscheidender Bedeutung.

Die Ergebnisse der Ereignis- und Wirkungsanalyse werden kartographisch dargestellt. Aus der Gefahrenanalyse resultieren somit Intensitätskarten für den Prozess Murgang.

1.2.2 Expositionsanalyse

Murgänge können durch ihre Zerstörungskraft Gebäude, Infrastruktur, Verkehrswege, ober- und unterirdische Leitungen, Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Grün- und Erholungsflächen betreffen. Ebenso können Personen innerhalb und ausserhalb von Gebäuden durch Murgänge gefährdet sein. Können in einem gefährdeten Gebiet zahlreiche Personen anwesend sein, dann ist die Ausscheidung von Expositionssituationen zu beurteilen. Mit der Ausscheidung von Expositionssituationen können Risikospitzen besser abgebildet werden.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Da Murgänge hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit und ihres Feststoffanteils grosse Unterschiede aufweisen können, bestehen bezütlich den Parametern Schadenempfindlichkeit und Letalität erhebliche Unsicherheiten. Die Ergebnisse des Projekts B5 «Verletzlichkeit» zeigen anhand von Fallbeispielen auf, wie gross diese Unsicherheiten sein können [74].

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit ist ebenfalls mit grossen Unsicherheiten behaftet, da Murgänge neben dem Gerinne auch seitlich davon gelegene Gebiete betreffen können. Murgänge zu verschiedenen Zeiten können auf dem Ablagerungskegel unterschiedliche Gebiete betreffen. Die Wahrscheinlichkeit mit der ein Gebiet durch einen Murgang betroffen werden kann, wird durch den Faktor räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit $p(rA)$ in der Berechnung des Schadenausmasses modellhaft abgebildet. Die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit müssen für den Einzelfall überprüft und angepasst werden. Als erste Annäherung können jedoch die entsprechenden Werte aus EconoMe übernommen werden. Die Unsicherheit sollte jedoch in der Risikobestimmung klar dargestellt werden.

1.3 Risikobewertung beim Prozess Murgang

s.a. Teil A, S. 39ff

Da beim Prozess Murgang Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen Personen- und Sachrisiken bewertet werden. Bei den Personen sind jeweils die individuellen und die kollektiven Risiken zu beurteilen.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung beim Prozess Murgang

s.a. Teil A, S. 49ff

Die heute möglichen und gebräuchlichen Massnahmen zur Reduktion von Murgangrisiken können gemäss Tabelle 1.2 typisiert werden. Dabei fehlen, mit Ausnahme der Umsiedlung, die raumplanerischen Massnahmen, welche, wie im Teil A dargelegt, nicht nach diesem Verfahren beurteilt werden. Grundsätzlich gilt, dass jeder der aufgelisteten Massnahmentypen eine relevante Wirkung entfalten kann, dass aber diese Wirkung für den Einzelfall zu quantifizieren ist.

Anmerkung: Massnahmen zur Hangstabilisierung spielen bei der Murgangauslösung ebenfalls eine wichtige Rolle. Sie werden aber bei den Rutschprozessen behandelt. Eine weitere mögliche Überschneidung betrifft die Massnahmen, welche bei den Hochwasserrisiken behandelt werden.

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im PLANAT-Projekt «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von

Tabelle 1.2: Gliederung der Schutzmassnahmen bei Murgängen.

Technische Massnahmen	**Biologische Massnahmen**
Konsolidierungssperren	Schutzwaldpflege
Längsverbau, Sohlensicherung	**Organisatorische Massnahmen**
Geschiebesammler	Warnsysteme
Geschieberückhalt offen (z.B. Murbremsen)	Evakuierung und Sperrung
Holzrückhalt	Intervention und Rettung
Leit- / Ablenkdämme	**Raumplanerische Massnahmen**
Kanal	Umsiedelung
Objektschutz	Nutzungsbeschränkung

Sperren, Sperrentreppen und von Geschieberückhaltebauwerken in Wildbächen entwickelt [61]. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares und transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung jeglicher baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwahr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Wildbachbereich kaum gesicherte Grundlagen. Sie sind immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Gleichung 5.1 (Teil A, Seite 57) bestimmt. Für die Investitionskosten existieren gegenwärtig keine Richtwerte; diese müssen im Einzelfall bestimmt werden. Ebenso gibt es für die Bestimmung der jährlichen Betriebs- und Unterhalts- und Reparaturkosten keine allgemeinen Werte. Die Werte müssen daher im Einzelfall erhoben und dokumentiert werden.

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60).

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach dem Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Neben den ökonomischen Kriterien sind weitere, auch sogenannte «weiche» Faktoren in den Entscheid einzubeziehen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse auf dem aktuellen Stand bezüglich einwirkenden Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die zeitliche Entwicklung eines Raumes nicht abgebildet. Da die Wirkung von Massnahmen gegen Murgänge die zeitliche Gültigkeit einer Risikoanalyse überschreitet, ergeben sich mit zunehmender Laufzeit Differenzen zwischen der Schutzwirkung von Massnahmen und dem sich daraus ergebenden Nutzen. Diese Entwicklung kann im Einzelfall nach Absprache mit dem Auftraggeber in den Massnahmenentscheid einbezogen werden. In jedem Fall ist darauf zu achten, dass der Einbezug einer Entwicklung klar als solche gekennzeichnet wird.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Chummerbach, Landschaft Davos, Kanton Graubünden

2.1 Einleitung

Als Fallbeispiel für den Prozess Murgang wird der Chummerbach in der Fraktion Glaris der Landschaft Davos gewählt. Der für die Beurteilung massgebende Raum umfasst das gesamte Einzugsgebiet und den Kegel des Chummerbaches bis zum Vorfluter Landwasser.

Der Chummerbach trat am 15.8.1998 über die Ufer und verursachte an Gebäuden, Bahn, Strasse und Kulturland Schäden von knapp 4 Mio. CHF. Nach diesem Ereignis wurde in einer Studie abgeklärt, ob und welche Schutzmassnahmen zu treffen sind [59, 60]. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf dieser Studie. Es wird von einem unverbauten Zustand ausgegangen. Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zeigt Abbildung 2.1.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

2.2.1.1 Topographie

Der Chummerbach ist NW - SE - orientiert und entwässert ein Gebiet von 5.94 km^2. Den höchsten Punkt des Gebietes bildet die Amselfluh (2771 m ü. M.), den tiefsten die Einmündung ins Landwasser (1472 m ü. M.). Das Hauptgerinne ist sehr regelmässig ausgeprägt (keine markanten Richtungsänderungen, keine Gefällsknicke) und verläuft zum grössten Teil im Lockermaterial. 80 % der Fläche des Gebietes liegen zwischen 1900 und 2550 m ü. M. , die mittlere Höhe beträgt rund 2300 m ü. M. . Über 80 % der Fläche ist zwischen 10 und 40 % geneigt, der Mittelwert liegt bei ca. 25 %.

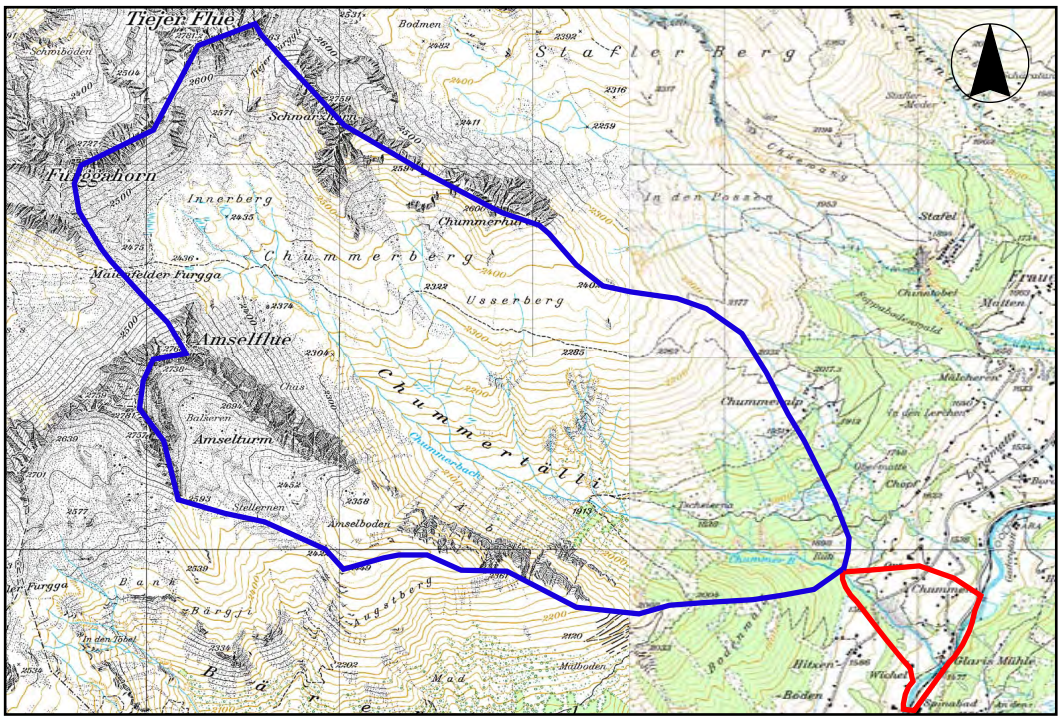


Abbildung 2.1: Untersuchungsgebiet Fallbeispiel Chummerbach, Davos-Glaris, Kanton Graubünden. Die blaue Linie deutet das Einzugsgebiet an, die rote Linie den Beurteilungsperimeter für die risikobasierte Massnahmenplanung. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.2.1.2 Geologie - Geomorphologie - Vegetation

Der Chummerbach verläuft entlang markanter geologischer und geomorphologischer Wechsel. Rechtsseitig stehen Kalkeinheiten an (vorwiegend Ladinien (mittlere Trias) der Silvretta - Decke), die steile Felswände («Amselfluh») und ausgedehnte Schutthalden aufbauen. Das Gebiet ist kaum zerrunst, was auf die hohe Durchlässigkeit des Schuttes und wohl auch des felsigen Untergrundes hinweist (Karsterscheinungen sind in südwestlich anschliessenden Gebieten bekannt). Linksseitig hingegen ist das Gebiet deutlich flacher und grossflächig mit Moränen überdeckt. Nur stellenweise ist der Fels aufgeschlossen (z.B. «Roter Graben»). Anstehend sind die Einheiten der Silvretta-Decke aus dem späten Perm und der frühen Trias: Quarzporphyr, Buntsandstein, Verrucano, etc. Das recht dichte Gerinnenetz und die Rutsch- und Kriechbewegungen besonders im vorderen Teil (unterhalb «Chummeralp») weisen auf schlecht durchlässige Boden- und Untergrundverhältnisse oder geringes Speichervermögen hin.

Wald stockt beidseitig bis auf eine Höhe von rund 1950 m ü. M. oder auf knapp 10 % der Fläche (gemäss LK25 0.52 km^2). Das übrige Gebiet besteht linksufrig aus extensiv genutzten Alpweiden und ist rechtsufrig infolge der geologischen und geomorphologischen Verhältnisse eher spärlich bewachsen.

2.2.1.3 Niederschlag

Aus den Daten des hydrologischen Atlas der Schweiz kann für ein 2.33-jährliches Ereignis ein 24 h Niederschlagswert von 48 mm und für ein 100-jährliches Ereignis ein 24 h Niederschlagswert von 106 mm abgeleitet werden.

2.2.1.4 Ereigniskataster

Ein Ereignis wird aus dem Jahre 1937 überliefert (mündl. Mitteilung G. Conrad, Alt-Revierförster, Glaris). Dieses Ereignis dürfte jedoch kleiner als das von 1998 gewesen sein. Weitere Ereignisse konnten nicht eruiert werden. Massgebend für die Beurteilung war das Ereignis vom 15.8.1998, welches eingehend untersucht wurde (Bericht Tiefbauamt GR, Fluss- und Wildbachverbau). Ein 2-stündiger Niederschlag (ca. 50 mm/h) löste murgangartige Abflüsse aus, welche rund 50'000 m^3 Geschiebe auf dem Kegel abgelagerten. Ein Ereignis dieser Grössenordung darf im Chummerbach als (sehr) selten bezeichnet werden.

2.2.1.5 Abflussbestimmung

Mit verschiedenen Methoden wurden die Abflusswerte für die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich bestimmt. Für das HQ_{100} wurden folgende Werte ermittelt (Tabelle 2.1):

Tabelle 2.1: Berechnete Abflusswerte für das HQ_{100} nach verschiedenen Methoden.

Abfluss [m^3/s]	**Methode**
14.97	Kölla, 1986
13.1	Laufzeitverfahren (Forster, 1992)
21	Statistische Analyse
20-40	Ereignis 15.8.1998
16-18	massgebender Wert HQ_{100}

Der Höchsthochwasserabfluss wurde nach der Methode von Melli-Müller (Böll, 1997) mit 32.5 m^3/s bestimmt. Für die Abschätzung des HQ_{300} wurde der HQ_{100}-Wert mit dem Faktor 1.3 multipliziert und ein Bereich von **21-25 m^3/s** festgelegt. Der Abfluss für das 30-jährliche Ereignis wurde auf der Basis der Abschätzung nach Kölla für das HQ_{20} und des Wertes für das HQ_{100} auf 12-13 m^3/s festgesetzt.

2.2.1.6 Feststoffpotential

Das Feststoffpotential wurde nach dem Verfahren von Lehmann [46] beurteilt (Tabelle 2.2). Für das Ereignis 1998 wurde die Feststofffracht am Kegelhals anhand der geomorphologischen Spuren auf 42'000 m^3 geschätzt. Die in der Tabelle gezeigten Abschätzungen liegen damit in einem realistischen Bereich. Für die Szenarien sind leicht erhöhte Werte im Sinne einer Sicherheitsreserve angebracht.

Tabelle 2.2: Geschätzte und berechnete Abfluss- und Feststoffmenge für die Szenarien 30-, 100- und 300-jährliches Ereignis.

Jährlichkeit	**Abfluss** [m^3/s]	**Faktor zu** $\mathbf{HQ_{100}}$	**Geschiebefracht** [m^3]	**Bemerkungen**
30	13	0.7	20'000	gutachtlich reduziert
100	18	1.0	36'000	Mittelwert, erhöht
300	24	1.3	45'000	abgerundet

Das Schwemmholzpotenzial ist im Chummerbach weniger gross als in anderen Bächen. Nur ein kleiner Teil der Bacheinhänge ist bewaldet. Diese können allerdings im Ereignisfall leicht destabilisiert werden. Da sich die bewaldeten Partien zudem in der Nähe des Kegelhalses und somit nahe der Schwachstellen befinden, war die Holzproblematik bei der Gefahrenbeurteilung zu berücksichtigen.

2.2.1.7 Beurteilungsszenarien

In Anlehnung an die Empfehlungen zur Berücksichtigung der Hochwassergefahren für raumwirksame Tätigkeiten [47] wurden die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich als massgebende Szenarien festgelegt.

Szenario 30-jährliches Ereignis: Ein Murgang wird aufgrund des doch eher flachen Gefälles ausgeschlossen. Es wurde mit fluvialem Geschiebetransport gerechnet. Die entsprechenden Grössen sind HQ_{30} = 12 – 13 m^3/s und die Geschiebefracht = 20'000 m^3. Mit einer Verklausung der Brücken wurde nicht gerechnet.

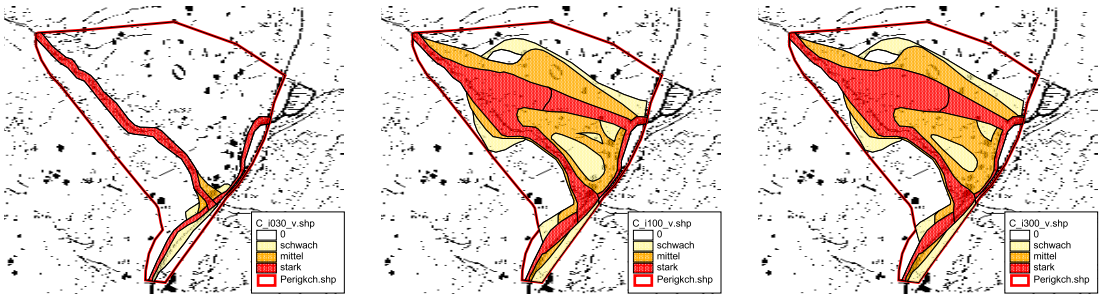
Szenario 100-jährliches Ereignis: Es wurde mit einem Murgang mit einer Gesamtkubatur von 40'000 – 45'000 m^3 gerechnet, der in mehreren Schüben (von max. 15'000 m^3, meist kleiner) abfliesst. Eine Verklausung der Hitzenbodenbrücke und ein nachfolgender Ausbruch links ist sehr wahrscheinlich. Es jedoch auch möglich, dass ein Teil der Massen (max. 50 %) bis zur Einmündung ins Landwasser vorstösst und hier infolge Rückstau und / oder Verklausung der Brücke zum Ausbruch führt. Weiter sind auf dem Kegel / im Gerinne Erosionsprozesse wie beim Ereignis von 1998 zu erwarten.

Szenario 300-jährliches Ereignis: Es wurde mit einem Murgang von 50'000 – 60'000 m^3 gerechnet. Sowohl bei der Hitzenbodenbrücke wie auch bei der unteren Brücke / der Einmündung ins Landwasser sind grössere Ausbrüche wahrscheinlich. Weiter sind auf dem Kegel / im Gerinne Erosionsprozesse wie beim Ereignis von 1998 zu erwarten.

2.2.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wurden für die festgelegten Szenarien die Gefahrenbereiche bestimmt. Diese Abgrenzung erfolgte für die verschiedenen Szenarien rein gutachtlich im Gelände. Wichti-

ge Grundlagen dafür war eine Analyse der Schwachstellen im Gerinne, das Ereignis 1998 sowie detaillierte Geländearbeit. Es resultierten Intensitätskarten für das 30-, 100- und 300-jährliche Szenario (Abbildung 2.2). Ein Extremszenario wurde nicht gesondert ausgeschieden, da im Vergleich zum 300-jährlichen Szenario keine wesentliche Veränderung der Gefahrensituation erwartet wurde.



(a) *Szenario 30-jährlich* (b) *Szenario 100-jährlich* (c) *Szenario 300-jährlich*

Abbildung 2.2: Intensitätskarten Fallbeispiel Chummerbach. Ausgangssituation für ein 30-, (a), 100-, (b) und 300-jährliches Szenario (c). © *2008 swisstopo (JD082774).*

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Die potentiell betroffenen Objekte im Beurteilungsperimeter wurden nummeriert und anhand der Objekteigenschaften klassifiziert und bestimmt. Die Festlegung der Personenbelegung wurde anhand von Abschätzungen aus einer Geländebegehung vorgenommen. Es sind folgende Objekte exponiert (Tabelle 2.3 und 2.4):

Tabelle 2.3: Exponierte Verkehrswege und Flächenobjekte im Beurteilungsperimeter Chummerbach.

Anzahl	Typ
700 m	Bahnlinie RhB
700 m	Kantonsstrasse
800 m	Erschliessungs-, Gemeindestrassen
1100 m	Forstwege u.ä.
2000 are	Landwirtschaftsfläche

Tabelle 2.4: Exponierte Gebäude in Beurteilungsperimeter Chummerbach.

Nr.	Typ/Nutzung	Bauart/Material	Anzahl Personen
1	Viehstall	Beton, Mauerwerk und Holz	0
2	Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	6
3	Schuppen	Holz	0
4	kleines Ferienhaus	Holz	2
5	Schuppen	Beton und Holz	0
6	Viehstall, unbenutzt	Holz	0
7	Viehstall, unbenutzt	Holz	0
8	Viehstall, unbenutzt	Mauerwerk und Holz	0
9	Trafostation	Beton und Holzverschalung	0
10	Ferienhaus[a]	Mauerwerk und Holz	4
11	Viehstall	Mauerwerk und Holz	0
12	Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	6
13	Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	8
14	Schuppen	Holz	0
15	Sägerei	Holz	2
16	Wohnhaus und Stall	Mauerwerk und Holz	8
17	Wohnhaus und Stall	Mauerwerk und Holz	6
18	Schuppen	Mauerwerk und Holz	1
19	Schuppen	Mauerwerk und Holz	1
20	Restaurant und Wohnhaus	Mauerwerk	15[b]
21	Restaurant und Wohnhaus	Mauerwerk und Holz	6
	Summe Personen		65

[a] wurde durch Ereignis zerstört, konnte aber wieder aufgebaut werden;
[b] Personenzahl schwankt stark; der mittlere Wert wird mit 15 Personen angenommen.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen in Gebäuden

Wie in Tabelle 2.4 dargestellt, sind im Beurteilungsperimeter im Mittel 65 Personen exponiert. Die grössten Schwankungen in der Personenanzahl waren im Restaurant auszumachen. Die Personenzahl kann zwischen 6 im Minimum und 50 Personen im Maximum schwanken. Um diese Schwankung zu berücksichtigen, könnten Expositionssituationen ausgeschieden werden. Da im konkreten Fall das Gebäude vor allem durch Überflutung gefährdet ist und die Gefährdung von Personen in Gebäuden sehr klein ist, wurde in diesem Fallbeispiel darauf verzichtet. Es wurde daher mit einem mittleren Belegung von 15 Personen in diesem Gebäude gerechnet. In den übrigen Gebäuden wurde die Anzahl von Personen gemäss Tabelle 2.4 angenommen.

Da in den exponierten Gebäuden nicht immer alle Personen anwesend sind, wurde eine Präsenzzeit von 18 Stunden pro Tag während 365 Tagen angenommen. Daraus errechnete sich eine Präsenzwahrscheinlichkeit $p(pr)$ von 0.75, die für alle Gebäude angenommen wurde.

2.3.3 Ermittlung der exponierten Personen auf Verkehrswegen

Neben den Personen in Gebäuden sind auch Personen auf der Bahnlinie der RhB sowie auf der Kantons- bzw. Gemeindestrasse exponiert. Die Präsenzwahrscheinlichkeit dieser Personen ergab sich aus der Frequenz von Fahrzeugen auf der Strasse bzw. von Zügen, der Länge des gefährdeten Abschnitts und der Geschwindigkeit des Fahrzeugs im gefährdeten Abschnitt. Zusätzlich musste bei Zügen die Zuglänge berücksichtigt werden. Die massgebenden Faktoren für die Berechnung des Schadenausmasses (mit Ausnahme von Schadenempfindlichkeit und Letalität) sind in Tabelle 2.5 dargestellt.

Tabelle 2.5: Massgebende Faktoren zur Bestimmung des Schadenausmasses auf Strasse und Schiene für das Beispiel Chummerbach.

Parameter	**Anzahl/Wert**
β (Kantonsstrasse) [-]	2
β (Gemeindestrasse) [-]	1
v (Kantonsstrasse) [km/h]	60
v (Gemeindestrasse) [km/h]	30
DTV (Kantonsstrasse) [-]	2000
DTV (Gemeindestrasse) [-]	150
β (Bahn) [-]	50
v (Bahn) [km/h]	50
Fz (Bahn) [-]	32

2.3.4 Schadenpotential im Beurteilungsperimeter

Das Schadenpotential für Sachwerte wird auf rund 22 Millionen CHF geschätzt (ohne Personen). Werden die exponierten Personen mit 5 Millionen CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert, dann beträgt das Schadenpotential rund 347 Millionen CHF. Als Grundlage für die Quantifizierung der Objekte wurde auf die Durchschnittswerte aus EconoMe abgestützt [8].

2.4 Konsequenzenanalyse

Die Berechnung des Schadenausmasses erfolgte für vier Objektgruppen:

1. Schadenausmass fixe Objekte (Gebäude)
2. Schadenausmass für Personen in Gebäuden
3. Schadenausmass Sachwerte Verkehrsachsen (Strasse und Schiene)
4. Schadenausmass Personen auf Verkehrswegen (Strasse und Schiene)

Fixe Objekte und Personen in Gebäuden: Für die Bestimmung des Schadenausmasses wurde anhand der Intensitätskarten und der Lage der fixen Objekte überprüft, ob das Objekt betroffen ist und welche Intensität für ein bestimmtes Szenario angenommen wurde. Dementspre-

chend erfolgte die Zuordnung. Die für die Bestimmung des Schadenausmasses notwendigen Faktoren räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen in Gebäuden, Schadenempfindlichkeit und Letalität wurden in Anlehnung an die Werte in EconoMe übernommen (Tabelle 4.1, Seite 32ff).

Mobile Objekte auf Verkehrsachsen sowie Personen in mobilen Objekten: In diesem Schritt wurde überprüft, welcher Streckenabschnitt der Strasse bzw. Bahnlinie in welcher Intensitätszone liegt. Damit wurde in einem Schritt einerseits das Schadenausmass bezüglich Personen, andererseits das Schadenausmass Sachwerte der variablen Objekte berechnet. Da keine gesicherten Grundlagen zur Verfügung standen, wurden die Berechnungsfaktoren in Anlehnung an die Werte in EconoMe verwendet und aufgrund der lokalen Gegebenheiten überprüft (Werte EconoMe, siehe Tabelle 4.1, Seite 32ff).

Das Schadenausmass für die drei Szenarien ist in Tabelle 2.6 dargestellt.

Tabelle 2.6: Schadenausmass für die Szenarien 30-, 100- und 300-jährliches Ereignis. Es wurde keine Risikoaversion einbezogen.

Kategorie	**Sz30**	**Sz100**	**Sz300**
Gebäude [CHF]	113’000	1’351’000	2’019’000
Verkehrswege [CHF]	1’315’000	2’081’000	2’233’000
Landwirtschaft [CHF]	0	278’000	339’000
Summe Sachwerte [CHF]	1’428’000	3’710’000	4’591’000
Personen [Tf]	0	0	0
Personen [CHF]	225	550’000	2’475’000
Gesamt [CHF]	1’428’225	4’260’000	7’066’000

2.5 Risikoermittlung

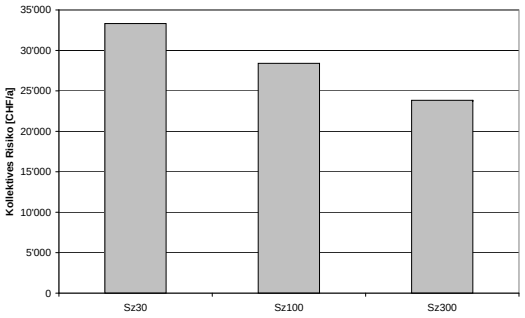
2.5.1 Kollektive Risiken

Durch die Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit der Szenarien konnte das kollektive Risiko bestimmt werden. Die Personenschäden wurden dazu mit 5 Millionen Franken bewertet. Die Abbildung 2.3(b) zeigt das Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm. Das gesamte kollektive Risiko unter den gemachten Annahmen beträgt rund 86’000 CHF/a.

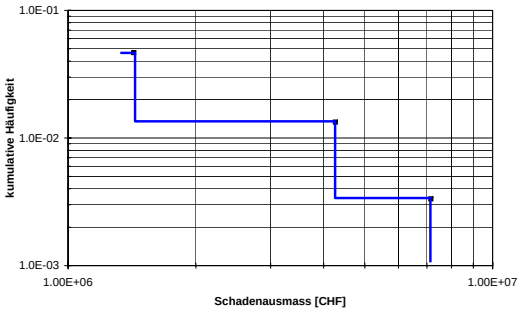
2.5.2 Individuelle Risiken

Die individuellen Risiken wurden für folgende Objekte berechnet:

- Wohnhaus (Ferienhaus) Nr. 10
- Schreinerei und Wohnhaus Nr. 21
- Benutzer/in Gemeindestrasse



(a) Verteilung der Risiken auf die Szenarien 30-, 100-, 300-jährlich. Personenrisiken werden mit 5 Mio. CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert.



(b) Darstellung der kollektiven Risiken im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm.

Abbildung 2.3: Darstellung der kollektiven Risiken für das Fallbeispiel Chummerbach. Abbildung (a) zeigt den Beitrag der einzelnen Szenarien zum kollektiven Risiko; Abbildung (b) zeigt das Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm.

Für die Personen in den beiden Gebäuden wurde eine Präsenz von 18 Stunden pro Jahr angenommen. Für die Benützer/in der Gemeindestrasse in einem Fahrzeug wurden 10 Durchfahrten pro Tag gerechnet. Damit ergeben sich für diese Personen folgende individuelle Risiken (Tabelle 2.7):

Tabelle 2.7: Individuelle Risiken verschiedener Personen im Kegelbereich des Chummerbachs. Für die Personen in Gebäuden wurde eine Anwesenheit von 18h pro Tag angenommen, für die Benützer/in der Gemeindestrasse 10 Durchfahrten pro Tag.

Aufenthaltsort	**individuelles Risiko**
Wohnhaus Nr. 10	$4.5 \cdot 10^{-6}$
Schreinerei und Wohnhaus Nr. 21	$1.5 \cdot 10^{-4}$
Benutzer/in Gemeindestrasse	$2.3 \cdot 10^{-5}$

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Die Tabelle 2.6 zeigt, dass das Schadenausmass vom 30-jährlichen Szenario zum 300-jährlichen Szenario um rund den Faktor 5 zunimmt. Die Verteilung der Risiken stellt sich hingegen umgekehrt dar (Abbildung 2.3(a) und (b)). Das 30-jährliche Szenario trägt am meisten zum Gesamtrisiko bei; in abnehmender Folge tragen das 100-jährliche und das 300-jährliche Szenario bei. Die Sachschäden an den Verkehrswegen im 30-jährlichen Szenario machen über 90 % des Schadenausmasses in diesem Szenario aus. Das hohe Schadenausmass ergibt sich v.a. wegen der erwarteten Schäden an der Bahnlinie. Dies ist bereits ein Indiz, dass der Sicherung der Bahnlinie eine besondere Bedeutung beizumessen ist.

Wird das Schadenpotential dem berechneten Schadenausmass gegenüber gestellt, dann ergibt sich folgendes Bild: Bei den Gebäuden beträgt der Anteil Schadenausmass zu Schadenpotential 38 %, bei den Verkehrswegen 44 % und bei den landwirtschaftlichen Flächen 19 %.

Das kollektive Risiko für Personen ist sehr tief und beträgt 0.0024 Todesfälle pro Jahr. Dies bedeutet, dass theoretisch rund alle 400 Jahre mit einem Todesfall gerechnet werden muss, wenn keinerlei Massnahmen ergriffen werden.

Die Personenrisiken (rund 12'000 CHF/a) verhalten sich zu den Sachrisiken (rund 73'000 CHF/a) im Verhältnis 1:6. Die Sachrisiken haben also einen wesentlichen Anteil am Risiko.

2.6.2 Individuelle Risiken

Die Tabelle 2.7 stellt die individuellen Risiken für drei überdurchschnittlich gefährdete Personengruppen dar. Der Vergleich mit den Schutzzielen für unfreiwillige Risiken von $1 \cdot 10^{-5}$ (vgl. Teil A, Tabelle 4.2, Seite 43) zeigt, dass das Schutzziel für Benutzer/innen der Gemeindestrasse (unter den gemachten Annahmen) und einer Person im Gebäude Nr. 21 über den Grenzwerten liegt. Für eine Person im Gebäude Nr. 10 liegt der Wert unter den Grenzwerten.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Um die Risiken zu senken, wurden für dieses Projekt verschiedene Massnahme ausführlich diskutiert. Die folgenden Ausführungen lehnen sich an die Massnahmenstudie Chummerbach an, die im Nachgang des Ereignisses erarbeitet wurde [60].

2.7.1 Raumplanerische Massnahmen

Bei der Planung der Massnahmen wurde davon ausgegangen, dass die raumplanerische Massnahmen auf jeden Fall getroffen werden, das heisst dass Gefahrenzonen in der notwendigen Grösse ausgeschieden und entsprechende Verbote oder Auflagen erlassen werden.

2.7.2 Biologische Massnahmen

Wie in Abschnitt 2.2.1.1 bereits erwähnt, liegen 80 % des Einzugsgebietes zwischen 1900 und 2550 m ü. M. und damit an bzw. über der Waldgrenze. Die Einsatzmöglichkeiten von biologischen Massnahmen sind sehr eingeschränkt. In der Massnahmenplanung wurden biologische Massnahmen daher nicht in die Betrachtung einbezogen. Trotzdem ist die regelmässige Bewirtschaftung des Gerinnes und der bestockten Einhänge durch den Forstdienst der Gemeinde Davos zur Verminderung des Schwemmholzpotenzials sehr wichtig.

2.7.3 Organisatorische Massnahmen

Die Einsatzmöglichkeiten von organisatorischen Massnahmen zur Reduktion der Risiken lassen sich wie folgt umschreiben bzw. charakterisieren:

1. Die Ereignisse von 1998 haben gezeigt, dass die auslösenden Faktoren (kleinräumiger, heftiger Niederschlag) sehr kurzfristig und räumlich sehr differenziert auftreten. Die Voraussetzungen für eine vorgängige Warnung sind daher relativ schlecht.
2. Die Entfernung zwischen Auslösegebiet und gefährdeten Objekten ist relativ kurz, so dass der Einsatz von Warnanlagen nicht in Frage kommt.
3. Der Anteil der Personenrisiken am Gesamtrisiko beträgt nur ca. ein Sechstel. Es stehen also Sachrisiken im Vordergrund, die mit organisatorischen Massnahmen nicht wirksam reduziert werden können.
4. Die klassische Anwendung von Warnanlagen für die Sicherung von Verkehrswegen ist für den vorliegenden Fall wenig wirksam, da die Personenrisiken entlang der Verkehrswege Bahnlinie und Kantonsstrasse nur von untergeordneter Bedeutung sind. Einzig in Bezug auf die individuellen Risiken auf den Gemeindestrassen spielen Personenrisiken eine bedeutendere Rolle. Wegen der kurzen Vorwarnzeiten spielen organisatorische Massnahmen nur eine untergeordnete Rolle.

Aus diesen Gründen würde für das vorliegende Fallbeispiel auf eine nähere Evaluierung von organisatorischen Massnahmen verzichtet.

2.7.4 Technische Massnahmen

Als technische Massnahmen wurden verschiedene Varianten gesprüft.

2.7.4.1 Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel: Stabilisierung der Gerinnesohle und der Einhänge, Verhindern weiterer Erosion wie 1998.
- Wildbachsperren ab Kote 1960 (Einmündung Seitenbach Chummerberg) bis Kote 1770 (Beginn Felsstrecke).
- Längsverbau / Ufersicherung Kote 1960 bis 1890 vor allem rechtsufrig. Linksufrig bei Kurve Kote 1910.
- Stabilisierung Einmündung der zwei wichtigsten Seitengerinne links: Bach Chummerberg und Roter Graben.
- Erwartete Wirkung: Die Sperren reduzieren die zu erwartende Geschiebefracht am Kegel und nehmen allenfalls Einfluss auf den massgebenden Prozess (Geschiebetransport oder Murgang).

Für die Beurteilung wurde voraus gesetzt, dass über den gesamten Zeitraum die Bauwerke den Anforderungen nach Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit entsprechen, dass also die entsprechenden Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Sämtliche Varianten mit nur genügendem oder schlechtem Bauwerkszustand fielen deshalb für die Beurteilung der Wirksamkeit weg. Als Extremszenario wurde ein mangelhafter Zustand simuliert und die Folgen aufgezeigt.

2.7.4.2 Variante 2: Längsverbau im Mittellauf

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel: Stabilisierung der Einhänge, Verhindern weiterer Erosion mit nachfolgenden Hangbewegungen wie 1998.
- Längsverbau mit Holzkasten ab Kote 1720 bis Kote 1620. Im oberen Teil linksufrig, unten ein kürzeres Stück rechtsufrig.
- Gerinnegestaltung mit Bagger: Den Stromstrich möglichst geradlinig und in der Mitte der zum Teil sehr breiten Gerinnesohle führen.
- Erwartete Wirkung: Der Längsverbau schützt den Hangfuss vor Unterspülung und verhindert dadurch das Nachbrechen grosser Lockermaterialmassen.

Es wurde grundsätzlich angenommen, dass über den gesamten Zeitraum die Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Trotzdem ist infolge von Alterungsprozessen einerseits und starken Belastungen durch Hangprozesse andererseits eine gewisse Verschlechterung des Zustandes denkbar, der vielleicht nicht sofort erkannt wird oder repariert werden kann. Deshalb wurde zwar ein guter Zustand als wahrscheinlichste Variante betrachtet, den Verschlechterungen aber ebenfalls Bedeutung beigemessen.

2.7.4.3 Variante 3: Geschiebesammler

Verbauungskonzept:

- Rückhalt eines Grossteils der bei einem 100-jährlichen Ereignis am Kegelhals zu erwartenden Feststofffracht.
- Geschiebesammler am Kegelhals, Volumen 30'000 m^3.
- Sohlen- und Ufersicherung vom Geschiebesammler bis zur Einmündung ins Landwasser.
- Erwartete Wirkung: Geschiebe und Schwemmholz wird zurückgehalten, bis das maximale Fassungsvermögen des Sammlers erschöpft ist.

Für die Beurteilung wurden verschiedene Ereignisgrössen, zwei verschiedene Grade der Vorverfüllung, verschiedene Annahmen zum Verlandungsgefälle (6 und 12 %) und unterschiedliche Ausnützungen (75 und 100 %) des Sammlers in die Überlegungen einbezogen. Es wurde auch für die Massnahme ausdrücklich vorausgesetzt, dass über den gesamten Zeitraum das Bauwerk den

Anforderungen nach Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit entspricht, dass also die entsprechenden Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Ein Versagen des Bauwerkes wurde deshalb ausgeschlossen. Es wurde von einer Nutzungsdauer von 100 Jahren ausgegangen.

2.7.4.4 Variante 4: Objektschutz

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel 1: Abweisen / Umlenken der die Gebäude und damit auch die Personen bedrohenden Prozesse → Reduktion der Einwirkung;
- Verbauungsziel 2: Verstärken der Gebäudestruktur angemessen der möglichen Belastung → Reduktion der Schadenempfindlichkeit;
- Massnahmen: Ablenkdämme, Verstärkungen der Gebäudehülle, Kolkschutz, etc →Im Detail noch genauer festzulegen. Individuell auf die Gebäude und die zu erwartende Belastung auszurichten;
- Die Massnahmen werden risikoorientiert geplant. Geschützt werden jene Gebäude, die gemäss Risikoanalyse besonders gefährdet sind und / oder Personen beherbergen können.
- Erwartete Wirkung: Durch die baulichen Massnahmen wird verhindert, dass Wasser und Geschiebe das Gebäude erreichen oder in dieses eindringen können.

Welche Objekte berücksichtigt werden sollen, wurde durch die Gefahrenanalyse definiert, wobei das 300-jährliche Ereignis als massgebend betrachtet wurde. Es wurden folgende Ausgestaltungen berücksichtigt:

- Dämme: Rund 2 bis 3 m hohe Dämme aus Erdmaterial sollen die Prozesse von den Objekten fernhalten. Wichtig ist der Kolkschutz auf der Wasserseite;
- Abflussmulden: In Ergänzung zu den Dämmen können die natürlich vorgegebenen Fliesswege stärker ausgeformt werden. Es bleibt jedoch zu berücksichtigen, dass im Ereignisfall praktisch unberechenbare Wechsel von Erosion und Ablagerung zu anderen Fliesswegen führen können;

  Als Spezialfall zu dieser Massnahme könnte auch der Abtrag der Geländerippe rechtsufrig im untersten Teil vorgesehen werden, um so die Wasser-/ Geschiebemassen zusätzlich von den Gebäuden linksufrig wegzulenken;
- Gebäude: Hier sind je nach Belastung die Wasserdichtigkkeit der Gebäudehülle im unteren Bereich (bei eher langsam fliessendem Wasser), zusätzlicher Kolkschutz entlang des Fundamentes (in schnell fliessendem Wasser) bis hin zu Verstärkungen der gesamten Gebäudestruktur inklusive Dach (bei drohender Übermurung) vorzusehen.

2.7.4.5 Variante 5: Geschiebesammler maximal

Verbauungskonzept:

- Verbauungsziel: Rückhalt sämtlicher bei einem 100-jährlichen Ereignis am Kegelhals zu erwartenden Feststofffracht inkl. einer Sicherheitsmarge von rund 10 %;
- Geschiebesammler am Kegelhals, Volumen 50'000 m^3;
- Sohlen- und Ufersicherung von Geschiebesammler bis zur Einmündung ins Landwasser.
- Erwartete Wirkung: Geschiebe und Schwemmholz wird zurückgehalten, bis das maximale Fassungsvermögen des Sammlers erschöpft ist.

Für die Beurteilung wurde von unterschiedlicher Vorverfüllung des Geschiebesammlers ausgegangen. Weiter wurden in den Unterszenarien zwei Verlandungsgefälle (6 % und 12 %) sowie unterschiedliche Ausnützungen (75 und 100 %) einbezogen.

Es wurde davon ausgegangen, dass über den gesamten Zeitraum die Bauwerke den Anforderungen nach Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit entsprechen, dass also die entsprechenden Leistungen für Unterhalt und Erneuerung erbracht werden. Ein Versagen des Bauwerkes wurde deshalb ausgeschlossen. Es wurde von einer Nutzungsdauer von 100 Jahren ausgegangen.

2.8 Wirksamkeit

Für die Beurteilung der Wirksamkeit (also der Risikoreduktion) wird für alle Massnahmenvarianten eine Gefahrenbeurteilung und eine Konsequenzenanalyse unter Berücksichtigung der Massnahmen durchgeführt. Diese Beurteilung ist ebenfalls wie die vorhergehenden Schritte der Studie von Romang [60] entnommen. Es werden im Folgenden die Ausgangsrisiken und die reduzierten Risiken gegenüber gestellt.

2.8.1 Variante 1: Sperrenverbau im Mittellauf

Die Sperren haben alleine Einfluss auf die bewegte Geschiebefracht. Auf die Prozessart (Geschiebetransport oder Murgang) konnte kein entscheidender Einfluss postuliert werden. Der Chummerbach ist und bleibt murfähig. Es wurde auch kein markanter Einfluss auf die Prozesse im Unterlauf vermutet. Entsprechend konnte auf der Gefahrenbeurteilung für den unverbauten Zustand basiert werden, indem lediglich die entsprechenden Werte für die bewegten Feststoffe korrigiert wurden.

Die Wirksamkeit von Variante 1, ausgedrückt als Risikoverminderung, ist in Tabelle 2.8 dargestellt.

Tabelle 2.8: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 1.

Kategorie	$\mathbf{R}_o$	$\mathbf{R}_{var1}$	**Risikoverminderung**	
Gebäude [CHF/a]	18'360	17'387	973	5.3 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	24'754	27'250	52.4 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	2'356	630	21.1 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	44'497	28'853	39 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0024	0	0.0 %
Personen [CHF/a]	11'920	11'920	0	0.0 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	56'417	28'852	34 %

2.8.2 Variante 2: Längsverbau im Mittellauf

Der Längsverbau beeinflusst die bewegte Geschiebefracht. Die Prozessart (Geschiebetransport oder Murgang) wird dadurch etwas verändert, indem das Einrutschen von Lockermaterialmassen als wichtiger Murgangbildungsprozess im Chummerbach unwahrscheinlicher wird. Murgänge erreichen deshalb den Kegel seltener (nur 300-jährliches Ereignis). Im Wesentlichen konnte auf die Gefahrenbeurteilung für den unverbauten Zustand abgestützt werden, indem lediglich die entsprechenden Werte für die bewegten Feststoffe korrigiert wurden.

Die Beeinflussung der Geschiebefracht fällt recht bescheiden aus (auch bei den Extremszenarien). Dies ist die Folge davon, dass gemäss Gefahrenbeurteilung im Chummerbach die meisten Feststoffe aus der Sohle und nicht aus den Einhängen mobilisiert werden. Entscheidender für die Gefahrenbeurteilung ist, dass postuliert wird, durch die Stabilisierung der Einhänge würden seltener Murgänge gebildet.

Die reduzierten Geschiebemengen führen zu einer veränderten Gefahrenbeurteilung und tragen so zu einer Reduzierung der Risiken bei. Die Risiken nach Massnahmenrealisierung sehen wie folgt aus (Tabelle 2.9):

Tabelle 2.9: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 2.

Kategorie	$\mathbf{R}_o$	$\mathbf{R}_{var2}$	**Risikoverminderung**	
Gebäude [CHF/a]	18'360	13'054	5'306	28.9 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	42'123	9'881	19.0 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	1'257	1'729	57.9 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	56'434	16'916	23 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0014	0.0010	43 %
Personen [CHF/a]	11'920	6'806	5'114	43 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	63'240	22'029	26 %

2.8.3 Variante 3: Geschiebesammler

Der Geschiebesammler reduziert die Geschiebefracht. Durch das Abschlussbauwerk werden Murgänge zurückgehalten. Auf dem Kegel ist deshalb nicht mehr mit dieser Gefährdung zu rechnen.

Der Geschiebesammler fängt eine 30-jährliche Geschiebefracht auf. Es ist daher für dieses Szenario mit keiner Gefährung mehr zu rechnen. Das 100-jährliche Szenario wird stark reduziert, was zu einer Anpassung der Intensitätskarte führt (Abbildung 2.4(a)). Die Geschiebefracht des 300-jährlichen Szenarios wird auf eine Grösse reduziert, die in etwa dem Extremszenario 1 der Massnahmenvariante 1 entspricht. Also wurde diese Intensitätskarte exkl. Murganggefährdung übernommen. Aufgrund dieser veränderten Gefahrenbeurteilung ergibt sich folgende Risikoreduktion (Tabelle 2.10):

Tabelle 2.10: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 3.

Kategorie	$\mathbf{R}_o$	$\mathbf{R}_{var3}$	**Risikoverminderung**	
Gebäude [CHF/a]	18'360	13'054	5'306	28.9 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	42'123	9'881	19.0 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	1'257	1'729	57.9 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	56'434	16'916	23 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0014	0.0010	43 %
Personen [CHF/a]	11'920	6'806	5'114	43 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	63'240	22'029	26 %

2.8.4 Variante 4: Objektschutz

Eine Beurteilung der einzelnen Szenarien, wie dies bei den anderen Varianten gemacht wurde, erschien für diese Variante kaum hilfreich. Zwar konnten sowohl die Einwirkungen als auch die Zustände / das Verhalten der Massnahmen definiert werden. Die Wahrscheinlichkeiten der Zustände allerdings waren einerseits mangels Erfahrungswerten kaum abzuschätzen, andererseits dürften sie aber auch - abgesehen von extremen Annahmen - in einem recht engen Bereich sein. Deshalb wurde hier vorgezogen, die Auswirkungen der Massnahmen pragmatisch abzuschätzen und direkt in die Risikoanalyse einfliessen zu lassen.

Die Gefahrenbeurteilung ändert sich durch die Ablenkdämme. Die Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung zum 100-jährlichen Ereignis sind in Abbildung 2.4(b) dargestellt. Auf die Darstellung des 300-jährlichen Ereignisses wurde verzichtet. Die Änderungen lassen sich sinngemäss aus der Intensitätskarte zum 100-jährlichen Szenario ableiten.

Basierend auf der Gefahrenbeurteilung nach Massnahmen der Variante 4 präsentieren sich die Risiken gemäss Tabelle 2.11:

Tabelle 2.11: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 4.

Kategorie	$\mathbf{R}_o$	$\mathbf{R}_{var4}$	**Risikoverminderung**	
Gebäude [CHF/a]	18'360	7'252	11'108	60.5 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	52'003		0.0 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	2'986		0.0 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	62'242	11'108	15 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0.0007	0.0017	71.4 %
Personen [CHF/a]	11'920	3'409	8'511	71.4 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	65'651	19'618	23 %

2.8.5 Variante 5: Geschiebesammler maximal

Der Geschiebesammler reduziert die Geschiebefracht und damit die Gefährdung sehr stark. Die Intensitätskarten zum 30- und 100-jährlichen Szenario fallen weg. Für das 300-jährliche Szenario kann die Intensitätskarte Ausgangszustand 30-jährliches Szenario verwendet werden (Abbildung 2.2(a)).

Im ungünstigeren Extremszenario 2 ist mit einer Gefährdung zu rechnen, die etwa dem 100-jährlichen Szenario bei der Massnahmenvariante 3 entspricht. Diese Intensitätskarte wurde hier übernommen (Abbildung 2.4(a)). Das Extremszenario 1 ist ohne weitere Bedeutung.

Dem entsprechend präsentieren sich die Risiken gemäss Tabelle 2.12:

Tabelle 2.12: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 5.

Kategorie	$\mathbf{R}_o$	$\mathbf{R}_{var5}$	**Risikoverminderung**	
Gebäude [CHF/a]	18'360	0	18'360	100.0 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	4'940	47'063	90.5 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	0	2'986	100.0 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	4'940	68'409	93 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0	0.0024	100.0 %
Personen [CHF/a]	11'920	0	11'920	100.0 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	4'940	80'329	94 %

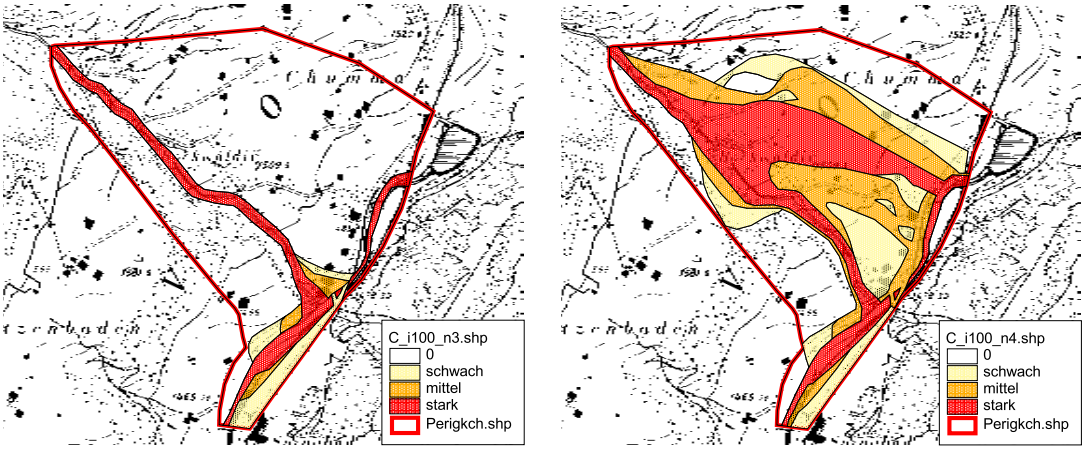
2.8.6 Variante 6: Kombination Geschiebesammler und Objektschutz

Diese Massnahme stellt eine Ergänzung der Variante 3 mit der Variante 4 dar. Somit muss basierend auf der Restgefährdung nach Variante 3 die weitere Reduzierung der Gefährdung durch die Massnahmen zum Objektschutz beurteilt werden. Durch die Kombination der Massnahmen wird die Risikoverminderung nochmals grösser als bei Variante 3. Allerdings entspricht sie nicht der Summe der Werte je Variante. Gewisse Wirkungen sind redundant vorhanden. Beispielsweise reduzieren sowohl der Geschiebesammler durch die Reduktion der Geschiebefracht als auch die

Ablenkdämme durch die Umleitung der Fliesswege die Intensität der Einwirkung auf die Gebäude. Die Risiken unter Berücksichtigung der Massnahmen stellt sich wie folgt dar (Tabelle 2.13):

Tabelle 2.13: Ausgangsrisiko und Risikoverminderung Variante 6.

Kategorie	$\mathbf{R}_o$	$\mathbf{R}_{var6}$	**Risikoverminderung**	
Gebäude [CHF/a]	18'360	1'933	16'427	89.47 %
Verkehrswege [CHF/a]	52'003	17'333	34'671	66.67 %
Landwirtschaft [CHF/a]	2'986	472	72'878	84.21 %
Summe Sachwerte [CHF/a]	73'349	19'737	53'612	73 %
Personen [Tf/a]	0.0024	0	0.0024	100.0 %
Personen [CHF/a]	11'920	0	11'920	100.0 %
Gesamt [CHF/a]	85'269	19'737	65'532	77 %



(a) *Szenario 100-jährlich nach Variante 3* (b) *Szenario 100-jährlich nach Variante 4*

Abbildung 2.4: Intensitätskarten Fallbeispiel Chummerbach nach der Variante 3 (a) und der Variante 4 (b). *© 2008 swisstopo (JD082774).*

2.9 Kosten

Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgte nach der Methode, die im Teil A erläutert wird (Abschnitt 5.6, Seite 57ff). Dabei wurde ein Zinssatz von 2 % angenommen. Für die einzelnen Massnahmenvarianten werden die einzelnen Faktoren zur Bestimmung der jährlichen Kosten im Folgenden dargestellt.

2.9.1 Variante 1

Die Investitionskosten $I(0)$ für rund 30 Sperren à 100'000 CHF betragen 3'000'000 CHF. Die Kosten für Unterhalt und Reparatur wurden gestützt auf die jährlichen Ausgaben der Gemeinde

Davos für den Gewässerunterhalt abgeschätzt. Gemäss K. Eberle, Gemeindeing. Davos, summieren sich diese Ausgaben pro Jahr auf rund 500'000 CHF. Wird dieser Betrag gewichtet auf alle Bäche umgelegt, kann die Grössenordnung der Aufwendungen für den Unterhalt einer Verbauung wie Variante 1 angenähert werden. Die einzurechnende Summe beträgt somit 30'000 bis 50'000 CHF/a. Diese Werte entsprechen jährlich 1 bis 1.5 % des Investitionsvolumens und liegen damit im Vergleich zu gebräuchlichen Werten im Lawinenbereich sowie vereinzelt dokumentierten Erfahrungen im Wildbachbereich in einer plausiblen Grössenordnung.

Zusammen mit den Kapital- und den Abschreibungskosten ergaben sich über eine Laufzeit von 100 Jahren und einem Restwert $L(n)$ von 0 CHF jährliche Kosten $K(j)$ zwischen 90'000 und 110'000 CHF. Die jährliche Kosten wurden schliesslich auf **100'000 CHF/a** festgelegt.

2.9.2 Variante 2

Die Investitionskosten $I(0)$ für 550 m Holzkasten mit einem Volumen von 10 m^3/m' und einem Anteil von 20 % Holz à 450 CHF/m^3 betrugen 500'000 CHF. Die Unterhaltskosten $K(u)$ und die Reparaturkosten $K(r)$ wurden zusammen auf 10'000 CHF/a (entsprechend 2 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt. Mit einem Restwert von $L(n)$ von 0 CHF und einer Laufzeit von 50 Jahren errechneten sich jährliche Kosten $K(j)$ in Höhe von **25'000 CHF/a**.

2.9.3 Variante 3

Die Investitionskosten $I(0)$ für den Geschiebesammler und den Vollverbau im Unterlauf betrugen 2'200'000 CHF (je rund 1 Mio. CHF). Die Schätzungen der Kosten für Unterhalt und Reparatur unterlagen den folgenden Annahmen:

- Die jährlichen Kosten des Geschiebesammlers werden dominiert durch die episodisch anfallenden maschinellen Entleerungen, welche den Betriebskosten zugerechnet werden. Aufgrund der Gefahrenbeurteilung wurden folgende Kubaturen in die Kostenschätzung einbezogen: 1 x 30'000 m^3, 2 x 15'000 m^3, 4 x 7'500 m^3. Total 90'000 m^3 in 100 Jahren. Die Entleerungskosten wurden anhand von Vergleichswerten anderer Geschiebesammler (Frauen- und Suzibach) in der Landschaft Davos aus dem Jahr 1998 ermittelt. Hier resultierte jeweils ein Aufwand von 22 CHF/m^3. Es ergeben sich jährliche Betriebskosten $K(b)$ von rund 20'000 CHF/a.

  Nicht berücksichtigt wurde die Möglichkeit, dass bei entsprechender Qualität und Nachfrage das Geschiebe zu reduzierten Kosten oder gratis abgeholt wird.

- Die weiteren Unterhalts- und Reparaturkosten am Geschiebesammler wurden auf 5'000 CHF/a (entsprechend 0.5 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt.

- Die Verbauungen im Unterlauf sind relativ grossen erosiven Belastungen ausgesetzt. Die Unterhalt- und Reparaturkosten $K(r)$ wurden auf 10'000 CHF/a (entsprechend 1 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt.

Mit der Annahme eines Restwertes $L(n)$ von 200'000 CHF (begründet durch die i.d.R. sehr hohe Lebensdauer von Geschiebesammlern) und einer Laufzeit n von 100 Jahren ergaben sich jährliche Kosten $K(j)$ in Höhe von **75'000 CHF/a**.

2.9.4 Variante 4

Die Investitionskosten für Ablenkdämme und Geländegestaltung betrugen insgesamt 200'000 CHF. Dazu kommen Gebäudeverstärkungen, Landentschädigungen und anderes, so dass die gesamten Investionskosten $I(0)$ auf 400'000 CHF geschätzt wurden.

Für den Unterhalt und die Reparatur wurden sowohl private Ausgaben (ein Teil der Unterhaltsaufwendungen entfallen auf die privaten Gebäudebesitzer, während bei der Erstinvestition davon ausgegangen wird, dass sämtliche Kosten im Sinne eines Schutzprojektes von der öffentlichen Hand übernommen werden) als auch öffentliche Kosten berücksichtigt. Insgesamt wurden $K(u)$ + $K(r)$ auf total 5'000 CHF/a (entsprechend rund 1 % pro Jahr der Investitionssumme) geschätzt. Der Restwert $L(n)$ worde mit 0 CHF und die Laufzeit n mit 50 Jahren angenommen.

Die jährlichen Kosten wurden damit auf 17'000 CHF geschätzt. Für die weitere Beurteilung wird auf einen gerundeten Betrag von **15'000 CHF/a** abgestützt.

2.9.5 Variante 5

Die Investitionskosten für den Geschiebesammler und den Vollverbau im Unterlauf $I(0)$ betrugen 3'000'000 CHF. Die Kosten für Unterhalt und Reparatur wurden analog nach Variante 3 bestimmt. Infolge des grösseren Rückhaltevolumens des Sammlers ist aber mit höheren Betriebskosten (Leerung) zu rechnen (plus 5'000 CHF/a). Weiter wurde der Restwert auf 300'000 CHF erhöht. Es resultierten bei einer Laufzeit von 100 Jahren jährlichen Kosten von rund **95'000 CHF/a**.

2.9.6 Variante 6

Diese Variante ergibt sich aus der Kombination der Varianten 3 und 4. Die jährlichen Kosten konnten von dort übernommen werden. Sie betrugen für Variante 3 75'000 CHF/a und für Variante 4 15'000 CHF/a. Damit ergaben sich jährliche Kosten $K(j)$ von 90'000 CHF/a. Da jedoch wegen der Wirkung des Geschiebesammlers weniger Objektschutzmassnahmen ergriffen werden mussten, reduzierten sich die jährlichen Kosten auf **80'000 CHF/a**.

Die jährlichen Kosten für alle Massnahmen sind in Tabelle 2.14 zusammengefasst:

Tabelle 2.14: Zusammenstellung der Kosten für Massnahmenvarianten im Fallbeispiel Chummerbach.

Variante	$I(0)$	$K(b)$	$K(u)$ + $K(r)$	$L(n)$	n	$K(j)$
1	3'000'000	0	40'000	0	100	100'000
2	500'000	0	10'000	0	50	25'000
3	2'200'000	20'000	15'000	200'000	100	75'000
4	400'000	0	5'000	0	50	15'000
5	3'000'000	25'000	15'500	300'000	100	95'000
6	Kombination Varianten 3 und 4					80'000

2.10 Massnahmenbewertung

Die bestimmte Wirksamkeit und die berechneten Kosten der verschiedenen Massnahmenkombinationen (Tabelle 2.14) wurden schliesslich in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen (Abbildung 2.5).

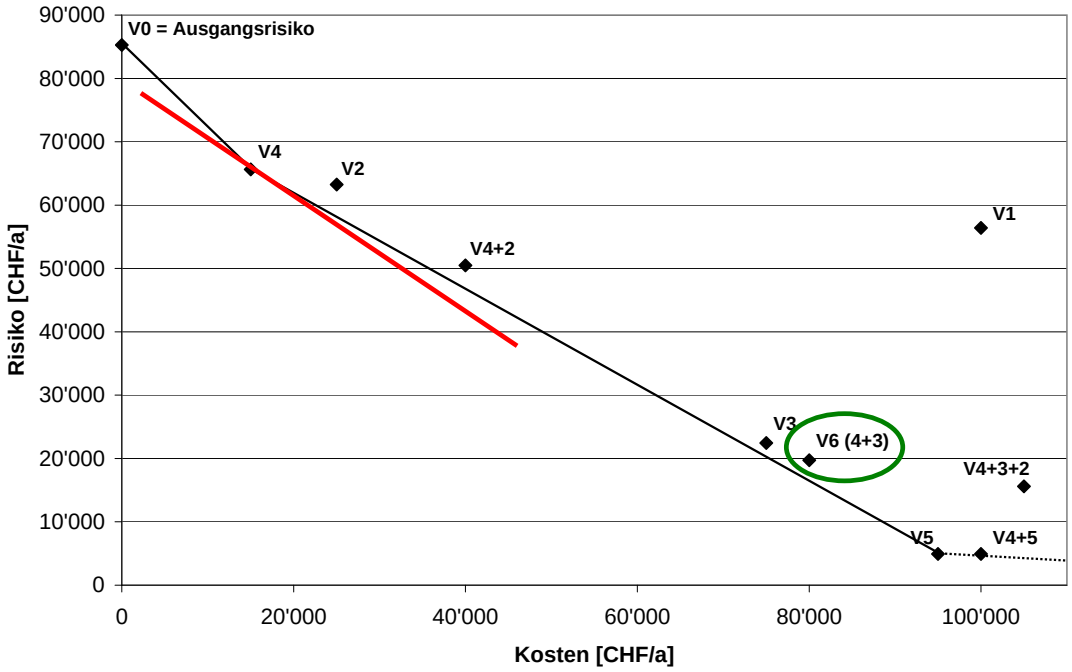


Abbildung 2.5: Risiko-Kosten-Diagramm der Massnahmen und Massnahmenkombinationen für das Fallbeispiel Chummerbach. Nach Anlegen der Grenzkostentangente würde Variante 4 realisiert. Der grüne Kreis deutet die favorisierte und realisierte Lösung an.

Die Abbildung 2.5 zeigt, dass, ausgehend vom Ausgangszustand, die Variante 4 (Objektschutz) die kostenwirksamste Massnahme darstellt. Ausgehend von der Variante 4 werden die weiteren Massnahmenkombinationen dargestellt. Die theoretisch kostenwirksamste Massnahme ist die Kombination Variante 4 und Variante 5 (Geschiebesammler maximal), dicht gefolgt von der Variante 6 (4+3). Die Ergänzung dieser Kombinationen mit weiteren Varianten (z.B. Variante 2: Längsverbau im Mittellauf) vermag nur noch wenig Risiko zu reduzieren bei weiter zunehmenden Kosten. Werden die Massnahmenvarianten in dieser Art dargestellt, ist immer zu beachten, dass sich diese Reihung aufgrund verschiedener Annahmen und damit Unsicherheiten ergibt. So liegen die Unterschiede zwischen den Kombinationen 4+5 und 4+3 im Bereich der Unsicherheiten und sind nicht signifikant. Dies wird noch deutlicher, wenn auch bei 4+5 die kombinierte Wirkung (mit teilweiser Redundanz) berücksichtigt und nicht die blosse Aufreihung betrachtet wird. Schliesslich ist in Bezug auf die Schäden an den Verkehrswegen zu erwähnen, dass Unterbruchskosten, z.B. für die Bahnlinie, nicht berücksichtigt wurden. Diese dürften im vorliegenden Fall jedoch nicht unerheblich sein.

2.11 Realisierte Massnahmen

Aufgrund der verschiedenen Studien im Nachgang des Ereignisses von 1998 wurde die Massnahmenkombination Geschiebesammler und Objektschutz (Variante 6) realisiert. Obwohl gemäss Abbildung 2.5 die Kombination 4+5 theoretisch besser abschneidet, können wie erwähnt beide Kombinationen (4+5 sowie 4+3) als gleichwertig betrachtet werden.

Bei der Realisierung haben neben den hier präsentierten technischen und ökonomischen Aspekten weitere Faktoren eine Rolle gespielt. Zum einen sind in der Gemeinde Davos praktisch alle Wildbäche verbaut. Zudem wird häufig auf Geschiebesammler gesetzt. Eine andere Strategie oder gar ein Verzicht auf Verbaumassnahmen beim Wildbach mit dem grössten Feststoffpotenzial in der Gemeinde wäre ohne zwingende Gründe nicht plausibel gewesen. Zum anderen erfolgte die Planung und der Verbau nach einem Schadenereignis. Hier spielen immer andere Gründe als rein technische oder ökonomische Argumente eine wichtige Rolle.

Trotzdem wurde gesamthaft betrachtet eine vernünftige Variante gewählt. Dies umso mehr, als zum damaligen Zeitpunkt die hier nun angewendeten Konzepte und Methoden des Risikomanagements erst in den Anfängen steckten.

Kapitel 3

Fazit

Abschliessend wird versucht, den theoretischen Anspruch aus dem Risikokonzept mit der Darstellung des Fallbeispiels zu vergleichen und Schlüsse hinsichtlich der Anwendbarkeit des Risikokonzepts und dess Grenzen zu ziehen.

Das Fallbeispiel hat gezeigt, dass das Risikokonzept grundsätzlich anwendbar ist und eine risikoorientierte Massnahmenplanung erlaubt. Gestützt auf die sehr guten Grundlagen zu den Prozessen und dem Schadenpotenzial, dem begrenzten Projektperimeter sowie der ausführliche Massnahmenplanung kann im Chummerbach von einer relativ hohen Genauigkeit ausgegangen werden. Das Beispiel illustriert insbesondere, dass ein breites Variantenstudium machbar ist und verständliche und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen liefert.

Bei der Analyse von Massnahmenkombinationen als zentrales Element der risikoorientierten Planung muss den redundanten Wirkungen besondere Beachtung geschenkt werden. In den meisten Fällen wird sich der Sicherheitsgewinn durch eine zusätzliche Massnahme wegen dem Effekt der vorrangig gewählten oder erstellten Massnahme reduzieren. Deshalb sollten Massnahmenkombinationen, welche Redundanzen nicht beachten und das Grenzkostenkriterium gerade erfüllen, besonders kritisch betrachtet werden. Es ist zu vermuten, dass die Kombinatioen in der Realität mit Redundanzen nicht mehr wirtschaftlich ist.

Im Beispiel Chummerbach liegen die sinnvollen Kombinationen 4+3 und 4+5 sehr nahe beeinander. Angesichts der immer vorhandenen Unschärfen sind sie als gleichwertig zu betrachten. Weiter liegen die Kosten-Wirksamkeiten nahe bei 1. Die Wirtschaftlichkeit ist damit nicht unbestritten. Die risikoorientierte Planung und das Grenzkostenkriterium ermöglichen deshalb in diesem Fall in erster Linie eine Vorselektion der Massnahmen. Der entgültige Variantenentscheid sollte neben dem Grenzkostenkriterium weitere Aspekte einbeziehen. Auch diese sollten transparent dargestellt werden, damit plausibel und nachvollziehbar entschieden werden kann.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für einen detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess Murgang zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude[1]								
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.02	0.40	0.60	0	0.010	0.10
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Mehrfamilienhaus[2]	550000.00	Stück	0.006	0.30	0.50	0	0.003	0.03
Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox[3]	60000.00	Stück	0.02	0.50	0.80	0	0.100	0.50
Hotel - Gästehaus	492.00	m^3	0.10	0.30	0.50	0	0.003	0.03
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m^3	0.10	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Einkaufszentrum	540.00	m^3	0.10	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Schule/Kindergarten	580.00	m^3	0.006	0.30	0.50	0	0.003	0.03
Spital	850.00	m^3	0.10	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Kirche	720.00	m^3	0.006	0.20	0.30	0	0.010	0.10
Bahnhof	530.00	m^3	0.10	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Stationsgebäude Mechanische Aufstiegshilfe	500.00	m^3	0.10	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m^3	0.006	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Öffentliche Gebäude	810.00	m^3	0.10	0.30	0.50	0	0.010	0.10
Stall	180.00	m^3	0.05	0.20	0.50	0	0.010	0.10
Schuppen / Remise	80.00	m^3	0.02	0.50	1.00	0	0.100	0.20

[1] Alle mit Einheit m^3: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

[2] I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

[3] Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und numeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte[4]								
Kraftwerk		Stück	0.10	0.30	0.60	0	0.001	0.01
ARA		Stück	0.10	0.40	0.80	0	0.010	0.10
Deponie		Stück	0.01	0.20	0.40	0	0.010	0.10
Campingplatz		Stück	0.50	1.00	1.00	0	0.700	1.00
Schutzbauwerk		Stück	0.001	0.20	0.50	0	0	0
Wasserreservoir		Stück	0.01	0.30	0.60	0	0.500	0.80
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.01	0.50	1.00	0	0.500	0.80
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m’	0	0.10	0.30	0	0.100	0.30
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m’	0	0.20	0.50	0	0.500	0.80
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m’	0	0.50	0.80	0	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m’	0	0.50	1.00	0	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m’	0.10	0.80	1.00	0	0.700	0.90
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m’	0	0.50	1.00	0	0.700	0.90
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m’	0	0.50	0.80	0	0.700	0.90
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m’	0	0.10	0.80	0	0.700	0.80

[4] grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separtes Objekt z.B als Wohneinheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m'	0	0.10	0.30	0	0.100	0.30
Schienenverkehr								
Einspur	6300.00	m'	0.50	0.60	1.00	0	0.001	0.01
Doppelspur	10400.00	m'	0.50	0.60	1.00	0	0.001	0.01
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m'	0	0	0.80	0	0.001	0.01
Brücke Doppelspur	420000.00	m'	0	0	0.80	0	0.001	0.01
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0	0.50	1.00			
Durchtrennung Kabelanalage innerhalb des Kabelkanals (pro Schadenstelle)	21000.00	Anz.	0.50	0.50	1.00			
Frei wählbares Objekt		m'	0.50	0.50	1.00			
Mechanische Aufstiegshilfe								
Sklilift		m'	0	0.70	0.90	0	0.000	0.00
Sessellift		m'	0	0.50	0.90	0	1*10-8	0.80
Gondelbahn		m'	0	0.50	0.90	0	1*10-8	0.70
Luftseilbahn		m'	0	0.30	0.90	0	1*10-9	0.90
Standseilbahn Zahnradbahn		m'	0.30	0.70	1.00	0	0.010	0.20
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) $\leq$ 60 kV	400000.00	Mast	0	0.10	0.30			
Hochspannungsleitung $>$ 60 kV	1000000.00	Mast	0	0.10	0.30			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m'	0	0.10	1.00			
Strom unter Terrain		m'	0.10	0.50	1.00			
Wasser auf Terrain		m'	0	1.00	1.00			
Wasser unter Terrain	800.00	m'	0	0.50	1.00			
Gas auf Terrain		m'	0	1.00	1.00			
Gas unter Terrain	600.00	m'	0	0.50	1.00			
Telekommunikation auf Terrain		m'	0	0.50	1.00			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m'	0	0.50	1.00			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m'	0.10	0.50	1.00			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.001	0.03	1.00			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.001	0.05	1.00			
Schutzwald	1000.00	a	0	0.50	0.90			
Nutzwald	200.00	a	0	0.60	1.00			
Rebberg	6000.00	a	0	0.35	1.00			
Gemüsekultur	5000.00	a	0	0.10	1.00			
Obstplantagen		a	0.10	0.60	1.00			
Parkanlage		a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00
Friedhof		a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.20	0.50	1.00	0	0.700	1.00

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Murgang/Ufererosion nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien (Jährlichkeit)					
			30	100	300			
alle Objekte			0.00	0.50	0.80			

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

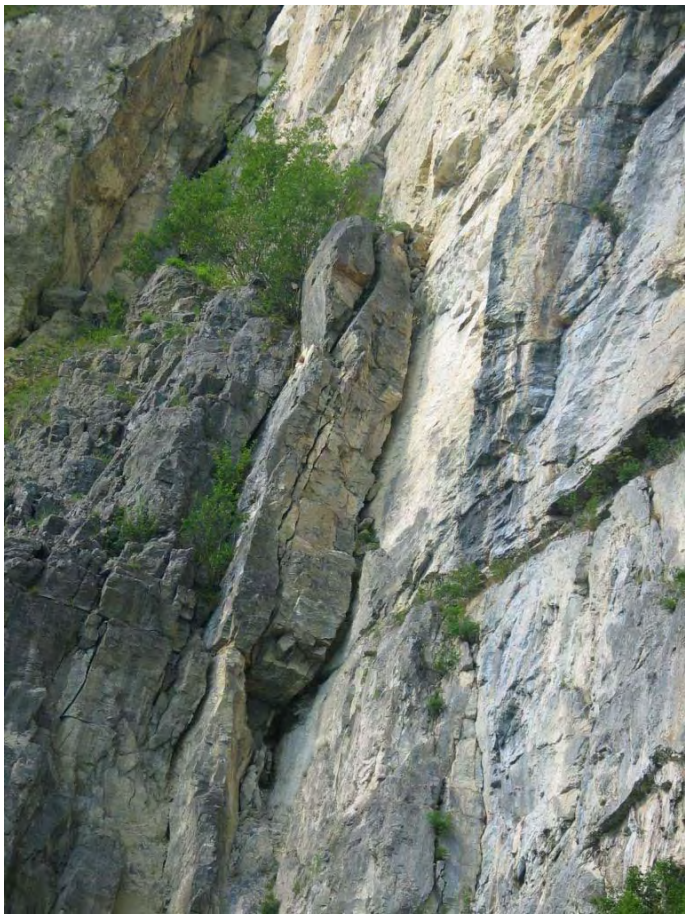
Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS STURZ

Cornelia Winkler, Ulrich Burchard, Michael Bründl



Absturzgefährdete Felsoberfläche an der Axenstrasse bei Sisikon UR (Foto: W. Gerber, WSL)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Sturzprozesse vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzobjekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt werden Sturzprozesse charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung von Sturzprozessen

Sturzprozesse sind schnelle Massenbewegungen, bei welchen das längs Trennflächen (Schicht-, Schieferungs-, Kluft- oder Bruchflächen) aus dem Gebirgsverband ausgebrochene Material der Schwerkraft folgend, häufig weitgehend in der Luft, hinab stürzt. Dabei lassen sich verschiedene Bruchformen unterscheiden (Abbildung 1.1).

Sturzprozesse werden in verschiedene Kategorien eingeteilt:

Stein- und Blockschlag: Von Steinschlag wird bei Stürzen von Steinen mit einem Durchmesser kleiner als 50 cm gesprochen. Blockschlag bezeichnet Stürze von Blöcken mit einem Durchmesser grösser als 50 cm. Die Sturzgeschwindigkeiten liegen im Bereich von 5 bis 30 m/s [45].

Felssturz: Beim Felssturz löst sich ein mehr oder weniger fragmentiertes grösseres Gesteinspaket aus dem Felsverband und stürzt ab. Das Volumen liegt in der Regel zwischen 100 und 100'000 m^3 pro Ereignis. Die Transportgeschwindigkeiten liegen meist zwischen 10 und 40 m/s [45].

Bergsturz: Beim Bergsturz handelt es sich um ein plötzliches Ausbrechen von Gesteinsmassen mit einem Volumen von über 1 Mio. m^3. Der Bewegungsmechanismus wird durch die Topographie und die ausgeprägte Interaktion und durch die starke Fragmentierung der Komponenten innerhalb der Sturzmasse bestimmt. Charakteristisch für Bergstürze sind auch die hohen Transportgeschwindigkeiten von über 40 m/s und die sehr grossen Transportdistanzen von oft mehreren Kilometern [45].

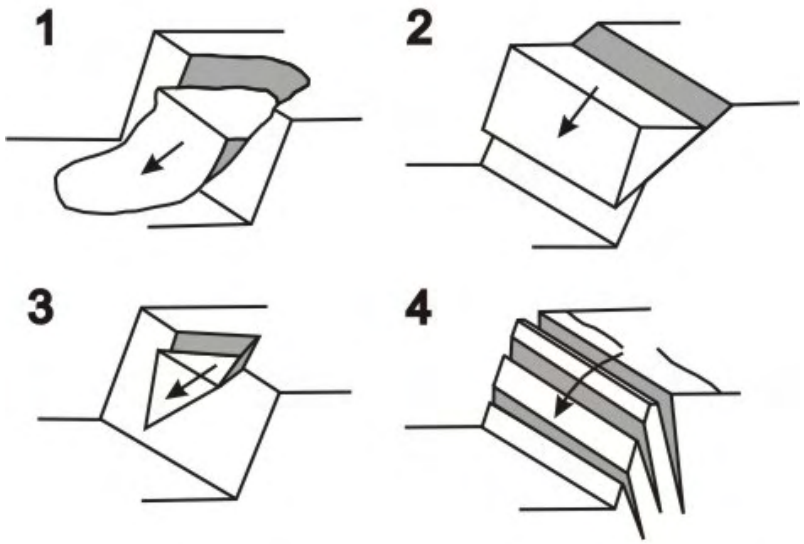


Abbildung 1.1: Bruchformen bei Sturzprozessen. 1 = Rotationsanbruch in zertrümmertem Felsmaterial ohne klare Struktur; 2 = Translationsanbruch in Fels mit klar strukturierten Diskontinuitäten (Schichtflächen, Schieferung); 3 = Keilanbruch in Fels entlang von zwei sich schneidenden Diskontinuitätsflächen, sogenannte «Prismen»; 4 = Kippbewegung (Hakenwurf) in Festgestein mit steil abfallenden Trennflächen. Quelle: [53].

Sturzprozesse können in drei Teilbereiche unterteilt werden: Ausbruchgebiet, Transit- und Ablagerungsgebiet. Sturzprozesse haben durch ihre hohen Geschwindigkeiten eine hohe Zerstörungskraft (Abbildung 1.2). So kann bereits ein Steinschlag mit einem kleineren Stein für eine Person tödlich sein. Grössere Steine und Blöcke haben auf ihrer Sturzbahn generell eine hohe Zerstörungskraft, die erst beim Ausrollen kurz vor dem Stillstand abnimmt. Bei Felsstürzen führen die grossen Massen zu Überschüttungen und zu Zerstörungen und Geländeveränderungen auf grösseren Flächen [53].

1.2 Risikoanalyse bei Sturzprozessen

siehe auch Teil A, S. 9ff

(a) (b)

Abbildung 1.2: Sturzprozesse haben ein grosses Zerstörungspotential. Foto: K. Louis (a); U. Thali (b).

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Die Ereignisanalyse basiert auf verschiedenen Informationsquellen. Einerseits geben historische Quellen und/oder Ereigniskataster Hinweise auf frühere Ereignisse. Diese können mit Erfahrungen lokaler Anwohner (Förster, Weg-, Strassenmeister, Anwohner) ergänzt werden. In weiteren Arbeitsschritten werden die topographische Karte und die geologische Karte analysiert. Mit einer Luftbildanalyse (Fotogeologie) können die sensiblen Gebiete ausgeschieden und die grossen zusammenhängenden Formen der Tektonik und Geomorphologie kartiert werden. Entsprechend den geologischen Gegebenheiten (Gesteinsart, Orientierung und Einfallen von Schichtflächen) werden die geotechnischen Eigenschaften im Ausbruchgebiet bestimmt oder abgeschätzt. Dabei müssen die lokalen Dispositionssituationen heraus gearbeitet werden, die zur Auslösung von Ereignissen führen können. Anschliessend werden auf der Basis des digitalen Höhenmodells (DHM25) Hangneigungsklassen berechnet und in der Grundlagenkarte klassiert dargestellt.

Alle oben genannten Grundlagen dienen als Basis für die Geländearbeiten. Bei der Geländeanalyse werden mittels geologischer und geomorphologischer Kartierung alle Phänomene aufgenommen, die im Zusammenhang mit Sturzprozessen eine Bedeutung haben und in der Grundlagenkarte (Karte der Phänomene) dargestellt. Als Ergebnis der Ereignisanalyse werden die massgebenden Szenarien festgelegt. Diese müssen mit dem Auftraggeber besprochen werden und sind entsprechend zu begründen.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Die Intensität bei Sturzprozessen wird durch die Aufprallenergie definiert. Für Sturzprozesse wer-

den für schwache, mittlere und starke Intensitäten folgende Schwellenwerte festgelegt (Tabelle 1.1):

Tabelle 1.1: Energiewerte für Sturzereignisse nach Empfehlungen [45]

Gefahrenart Prozess	**Mass der möglichen Wirkung**	**schwache Intensität**	**mittlere Intensität**	**starke Intensität**
Block- und Steinschlag	Kinetische Energie (Translation+ Rotation)	E < 30kJ	30 kJ < E < 300 kJ	E > 300 kJ
Fels- und Bergsturz	kinetische Energie Masse und Volumen	wird übertroffen	wird übertroffen	E > 300 kJ

Die Intensitäten werden meist mit Hilfe von Computersimulationen ermittelt. Eine wesentliche Voraussetzung für die Simulation ist die möglichst genaue Kenntnis der geologischen und geomorphologischen Situation aus der Ereignisanalyse, da anhand dieses Wissens das Modell kalibriert werden muss. Bei der Anwendung muss die Sensitivität der Modellparameter bekannt sein. Die gewählten Parameter müssen sorgfältig dokumentiert werden, damit eine Nachvollziehbarkeit gewährleistet ist.

Es sind verschiedene Modelle im Einsatz. Beispiele für Modelle sind ROFMOD (Fa. GEOTEST AG), das Modell ROCKFOR [23, 22] oder STONE [35]. Einen Vergleich der Modelle zeigt Kuhn [44].

1.2.2 Expositionsanalyse

Sturzprozesse können Gebäude, Infrastrukturen, Verkehrswege, oberirdische Leitungen, Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Grün- und Erholungsflächen im Anriss, Transit- und Ablagerungsraum treffen. Grundsätzlich sind bei diesen spontanen Prozessen, die ohne grosse Vorwarnzeit eintreten können, alle Kategorien des Schadenpotentials betroffen. Da Sturzprozesse eine grosse zerstörerische Kraft haben, sind die Schadenempfindlichkeiten bei den meisten Objektklassen hoch. Die Letalitäten bei Personen im Wirkungsbereich der Prozesse sind ebenfalls hoch.

Expositionssituationen mit Ansammlungen von Menschen in Bereichen mit mittlerer und starker Intensität können die Risiken extrem ansteigen lassen und es macht Sinn, situativ Expositionsanalysen durchzuführen. So beispielsweise, wenn ein Schulhaus oder Kindergarten am Hangfuss steht und bergseitig grosse Fensterfronten aufweist.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse sind, neben den Angaben aus der Expositionsanalyse, die Parameter Schadenempfindlichkeit, Letalität und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit die massgebenden Faktoren für die Berechnung des Schadenausmasses. Bezüglich der Einwirkung von Sturzprozessen auf Objekte gibt es nur wenige aussagekräftige empirische Daten zur **Schadenempfindlichkeit**. Damit verbunden sind auch Aussagen über die **Letalität** von Personen, über die, wegen der geringen Anzahl von Beobachtungen, wenig gesicherte Aussagen möglich sind. Die Ergebnisse des Projekt B5 «Verletzlichkeit» [74] zeigen anhand von Fallbeispielen auf, wie gross die Unsicherheit sein kann.

Dem Parameter **räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit** kommt insbesondere bei Stein- und Blockschlag eine entscheidende Bedeutung zu. Wegen der grossen räumlichen Variabilität der Ablagerung von Steinen oder Blöcken sind meist grosse Bereiche exponierter Flächen potentiell betroffen. Da die Steine bzw. Blöcke im Ereignisfall jedoch im Vergleich zur potentiellen Fläche nur einen sehr kleinen Bereich betreffen, ist die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit sehr klein. Dabei ist die Topographie oberhalb der exponierten Objekte entsprechend auf Kanalisierungseffekte hin zu überprüfen.

Die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit müssen für den Einzelfall überprüft und angepasst werden. Als erste Annäherung können jedoch die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit aus EconoMe übernommen werden. Die Unsicherheit sollte jedoch in der Risikobestimmung klar dargestellt werden.

1.3 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Da bei den Sturzprozessen Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen sowohl Personen- als auch Sachrisiken bewertet werden. Bei den Personen sind jeweils die individuellen und die kollektiven Risiken zu beurteilen.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Die heute möglichen und gebräuchlichen Massnahmen zur Reduktion von Risiken infolge von Sturzprozessen können gemäss Tabelle 1.2 typisiert werden. Dabei fehlen mit Ausnahme der Umsiedlung die raumplanerischen Massnahmen, welche wie im Teil A dargelegt, nicht nach diesem Verfahren beurteilt werden. Grundsätzlich gilt, dass jeder der aufgelisteten Massnahmentypen eine relevante Wirkung entfalten kann, dass aber diese Wirkung für den Einzelfall zu quantifizieren ist.

Tabelle 1.2: Gliederung der Schutzmassnahmen bei Sturzprozessen.

Technische Massnahmen	**Biologische Massnahmen**
Felsabtrag	Schutzwald, -pflege
Abdeckung, Verankerung, Unterfangung	**Organisatorische Massnahmen**
Flexible Steinschlagnetze	Warnsysteme
Starre Brems- und Auffangbauwerke (Dämme, Mauern)	Evakuierung und Sperrung
Galerie	Intervention und Rettung
Objektschutz	**Raumplanerische Massnahmen**
	Umsiedelung
	Nutzungsbeschränkung

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im Rahmen des Projekt A3 «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von Steinschlagnetzen, Sicherungen von Anbruchgebieten, Rückhaltedämmen und Schutzwald entwickelt. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares und transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung jeglicher baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Bereich der Sturzprozesse kaum gesicherte Grundlagen. Solche Massnahmen sind deshalb immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Gleichung 5.1 (Teil A, Seite 57) bestimmt. Für die Investitionskosten existieren gegenwärtig keine Richtwerte; diese müssen im Einzelfall bestimmt werden. Ebenso gibt es für die Bestimmung der jährlichen Betriebs- und Unterhalts- und Reparaturkosten keine allgemeinen Werte. Die Werte müssen daher im Einzelfall erhoben und dokumentiert werden.

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Mass-

nahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Damit Massnahmen bewertet werden können, müssen sie vor einer ökonomischen Prüfung nach den Kriterien der Grenzkosten oder der Kostenwirksamkeit folgende Bedingungen erfüllen:

- Die Tragsicherheit und Funktionalität muss für das Bemessungsereignis erfüllt sein;
- Die Gebrauchtauglichkeit muss nachgewiesen sein;
- Die Massnahme muss auf eine optimale Lebensdauer ausgelegt sein;
- Aufgaben der Kontrolle, Unterhalt und Reparatur müssen verbindlich geregelt sein.

Auf der Basis dieser Grundlagen kann die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen werden. Dabei stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Neben den ökonomischen Kriterien sind weitere, auch sogenannte «weiche» Faktoren in den Entscheid einzubeziehen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse i.d.R. auf dem aktuellen Stand bezüglich dem einwirkenden Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die zeitliche Entwicklung eines Raumes nicht abgebildet.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Meiggerli, Gemeinde Saas-Balen, Kanton Wallis

2.1 Einleitung

Am 14. März 2007 ereignete sich im Gebiet «Meiggerli» (Abbildung 2.1) ein Blockschlag, bei welchem ein ca. 8-10 m^3 grosser Block ins Bachbett der Vispa stürzte. Da in diesem Gebiet Block- und Steinschlagereignisse relativ häufig vorkommen und mit einer Feriensiedlung, einem Baudepot, dem Wanderweg und der Kantonsstrasse mehrere Schadenobjekte im potentiellen Sturzraum liegen, wurde zuerst eine Steinschlagstudie mit Gefahrenkarte und in der Folge eine Vorstudie für die Massnahmenplanung ausgearbeitet. Die Ergebnisse dieser Vorstudie [13, 32] werden im Folgenden als Fallbeispiel skizziert.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

Die Ereignisanalyse identifiziert und spezifiziert die zu berücksichtigenden Steinschlaggefahren. In diesem Fall dienten dazu die Auswertung des Ereigniskatasters sowie die Bestimmung der gefügeanalytischen und geomechanischen Eigenschaften der Felswand nach der Methode «Matterrock». Die Grundlage für diese Untersuchungen waren eine Begehung und Kartierungen im Gelände. Die Gefahrenpotenziale wurden aufgrund der verschiedenen Ablösemechanismen, ihrer Blockgrösse und ihrer Gefährlichkeit, d.h. ihrer Ablösewahrscheinlichkeit beschrieben.

Bestehende Schutzmassnahmen im Untersuchungsperimeter waren ein 4-5 m hoher Bruchsteinmauerkeil zum Schutz eines Strommastes und eine 125 m lange und 4.5 m hohe Zyklopenmauer entlang des rechten Vispaufers als Hochwasserschutz des Baudepots. Diese Mauer stellt wegen ihrer Höhe und Steilheit auch einen wirksamen Schutz gegen Blockschläge dar, da die Stürzblöcke dadurch im Bachbett der Vispa bleiben. Bei Blockstürzen von Blöcken bis 50 m^3 können die auf die Mauer einwirkenden Energien über 20'000 kJ betragen, so dass mit einer starken Beschädigung der Mauer gerechnet werden muss. Die massgebenden Szenarien sind 10, 30, 100 und 300 Jahre.

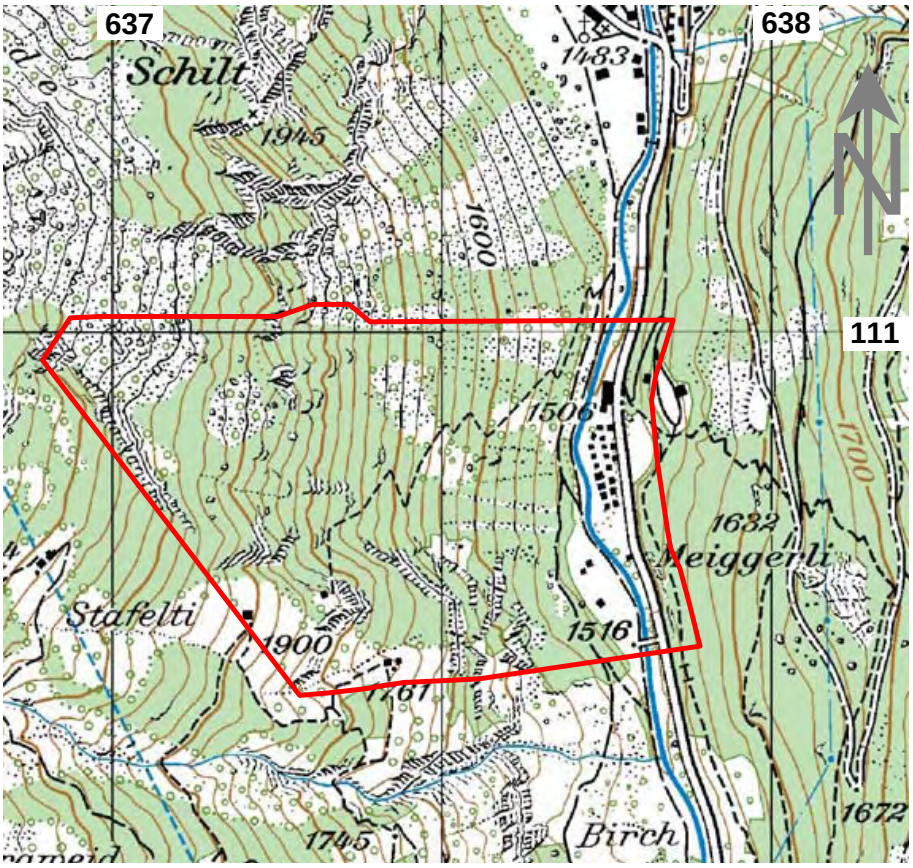


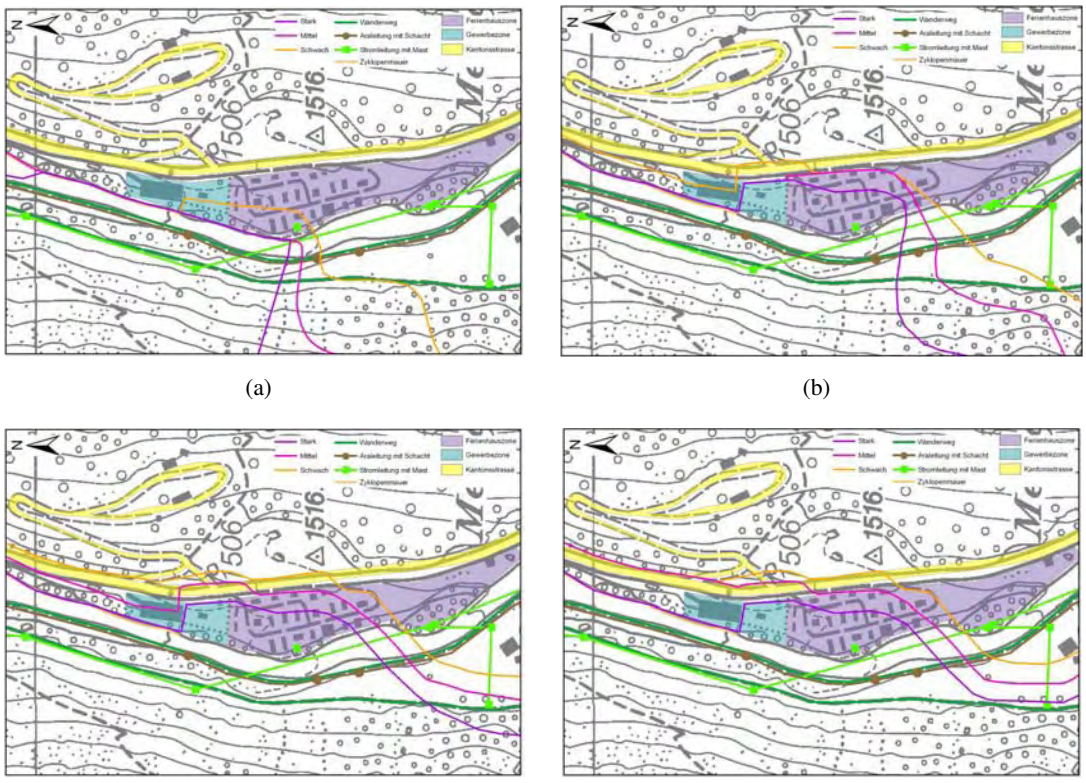
Abbildung 2.1: Übersicht mit Lage des Projektperimeters (rote Umrandung), Ausschnitt Landeskarte Blatt Simplon/St. Niklaus 1:25'000, reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (JA062249).

2.2.2 Wirkungsanalyse

Sturzbahnanalysen wurden mit dem Programm RocFall der Firma Rocscience Inc. (Kanada) durchgeführt. Für die Berechnungen wurde das Gelände kartiert. Mit der Nachsimulation des Ereignisses vom 14.03.2007 wurden die Eingangsparameter für weitere Simulationen geeicht. Diese Simulationen bildeten die Grundlage zur Ausarbeitung der Intensitätskarten.

Die Intensitätskarten der Szenarien 10, 30, 100 und 300 Jahre wurden für die aktuelle Situation durch das Büro BURCHARD GMBH erstellt (Abbildung 2.2).

Die Feriensiedlung und ein Teil des Baudepots ist im 10-jährlichen Szenario in schwacher Intensität gefährdet. Im 30-, 100- und 300-jährlichen Szenario ist ein Grossteil der Feriensiedlung und des Baudepots bereits durch starke Intensität gefährdet. Die Kantonsstrasse ist ebenfalls im 30-jährlichen Szenario bereits mit schwacher Intensität gefährdet, im 100- und 300-jährlichen Fall mit mittlerer Intensität.



(a) (b)

(c) (d)

Abbildung 2.2: Intensitätskarten für die Szenarien 10- (a), 30- (b), 100- (c) und 300-jährlich (d) im Ausgangszustand. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Die Objekte, die der Steinschlaggefahr ausgesetzt sind, sind in den Intensitätskarten ersichtlich. In der Risikoanalyse wurden verschiedene Objekte berücksichtigt (Tabelle 2.1).

Aktuell beträgt das Schadenpotential für Sachwerte 5.5 Mio. CHF. Davon machen die Gebäude rund 3.6 Mio. CHF, die Strassen 1.4 Mio. CHF, die Leitungen 0.4 Mio. CHF und die Freifläche des Baudepots 0.1 Mio. CHF aus.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Im Untersuchungsperimeter sind durchschnittlich 52.5 Personen exponiert. 52 Personen befinden sich in den Gebäuden und 0.5 Personen auf der Strasse. Für die Ermittlung der exponierten Personen in der Feriensiedlung wurden folgende Annahmen verwendet: Die durchschnittliche Belegung der Ferienchalets beträgt 40 % (Annahme aufgrund Statistiken für Hotellerie). Es sind 10 Chalet à 6 Betten und 14 Chalet à 4 Betten gefährdet. Insgesamt sind also 116 Betten exponiert. Bei einer durchschnittlichen Belegung von 40 % sind durchschnittliche 46.4 Personen exponiert. Dies entspricht einer durchschnittlichen Belegung eines Ferienchalets mit 1.9 Personen.

Tabelle 2.1: Klassierungen der einzelnen Objekte, die in der Risikoanalyse berücksichtigt wurden. Die Kategorien wurden in Anlehnung an EconoMe gewählt [8].

Kategorie	**Typ**
Gebäude	Wohneinheit in Einfamilienhaus (a 2.24 Personen gemäss BFS);
	Frei wählbares Gebäude / Ferienhaus;
	Industrie-/Gewerbegebäude / Büro und Halle Baudepot;
Sonderobjekte	Freifläche des Baudepots;
Strassenverkehr	Kantonsstrasse, 12m Breite;
	Frei wählbares Strassenverkehrsobjekt / Forststrasse / Wanderweg entlang der Vispa;
Leitungen	Abwasser unter Terrain / Ara-Leitung;
	Freileitung (Strom) inkl. Masten / Stromleitung mit Masten;

2.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse wird das vorhandene Schadenpotential mit dem Gefahrenprozess Steinschlag überlagert. Für die 4 Szenarien (10, 30, 100 und 300 Jahre) wurden somit die Schadensausmasse bestimmt. Bei der vorliegenden Analyse wurden die Werte für Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit in Anlehnung an die Werte in EconoMe übernommen. Das Schadenausmass aufgeteilt nach Szenarien präsentiert sich wie folgt (Tabelle 2.2):

Tabelle 2.2: Schadenausmass für die aktuelle Situation. Schadenausmass nach Objektkategorien und Szenarien aufgeteilt.

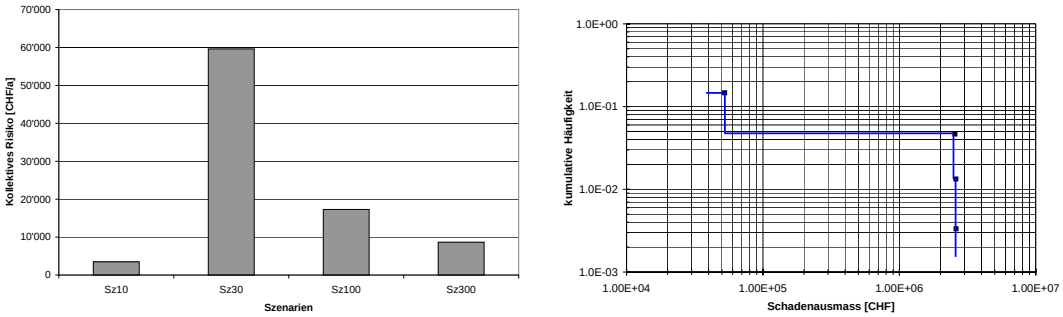
Kategorie	**Sz10**		**Sz30**		**Sz100**		**Sz300**	
	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]	[CHF]	[%]
Gebäude	2'935	5.6	58'577	2.3	67'572	2.6	67'572	2.6
Sonderobjekte	480	0.9	2'000	0.1	2'000	0.1	2'000	0.1
Strassenverkehr	11'113	21.2	13'460	0.5	20'200	0.8	24'893	1.0
Leitungen	75	0.1	75	0.0	75	0.0	150	0.0
Personen	37'800	72.1	2'481'490	97.1	2'506'040	96.5	2'508'820	96.4
Gesamt	52'403	100.0	2'555'602	100.0	2'595'887	100.0	2'603'435	100.0

Das Gesamt-Schadenausmass setzt sich zu 95 % und mehr aus den Schadenausmassen von Personen in Gebäuden zusammen. Die übrigen Schäden tragen nur marginal zum Gesamtschadenausmass bei.

2.5 Risikoermittlung

2.5.1 Kollektive Risiken

Aus der Verknüpfung der vorher aufgezeigten Schadenausmasse mit den Häufigkeiten der Szenarien (10, 30, 100 und 300 Jahre) konnten die kollektiven Risiken ermittelt werden. Abbildung 2.3 zeigt die kollektiven Risiken für die aktuelle Situation.



(a) (b)

Abbildung 2.3: Verteilung der kollektiven Risiken auf die Szenarien (a) und das Wahrscheinlichkeits-Ausmass Diagramm der Risiken für das Fallbeispiel Meiggerli (b).

Es wird deutlich, dass vor allem das 30-jährliche Szenario zum Gesamtrisiko beiträgt. Die übrigen Szenarien tragen nur zu einem wesentlichen geringeren Teil zum Gesamtrisiko bei. Das gesamte kollektive Risiko beträgt 89'108 CHF/a.

2.5.2 Individuelle Risiken

Für die Ermittlung des individuellen Risikos wurde für das Wohnhaus eine Präsenzwahrscheinlichkeit von 0.8, für das Baudepot von 0.5 und für die Ferienhäuser von 0.05 (2-3 Wochen pro Jahr) angenommen. Das individuelle Risiko liegt somit für die Bewohner des Wohnhauses bei $2.4 \cdot 10^{-4}$und für die Benutzer des Baudepots bei $5.0 \cdot 10^{-5}$. In den Ferienhäusern variieren die Risiken zwischen $3.0 \cdot 10^{-5}$ in der vordersten Reihe an der Vispa und $5.0 \cdot 10^{-11}$ in der südöstlichsten Ecke der Feriensiedlung entlang der Kantonsstrasse.

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

96 % des Gesamtrisikos machen Personenrisiken aus und nur 4 % gehen zu Lasten der Sachwerte. Die Analyse der Resultate zeigt, dass im 10-jährlichen Fall nur bei jedem 100. -150. Ereignis mit einem Todesfall gerechnet werden muss. Hingegen ist im 30, 100 und 300-jährlichen Szenario bei jedem 2. Ereignis mit einem Todesfall zu rechnen.

Risikoaversion wurde in der vorliegenden Analyse nicht berücksichtigt.

2.6.2 Individuelle Risiken

Die Bewertung der individuellen Risiken erfolgte nach dem Grenzwertkriterium (vgl. Teil A, Tabelle 4.2, Seite 43). Die individuellen Risiken liegen im Wohngebäude und Baudepot sowie in 13 Ferienhäusern über dem Grenzwert von 10^{-5}. Die übrigen Ferienhäuser liegen unter dem Grenzwert von 10^{-6}.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Mögliche Schutzmassnahmen im Gebiet Meiggerli wurden im Rahmen der Vorstudie detailliert abgeklärt [13].

2.7.1 Raumplanerische Massnahmen

In der **Variante D** wird die räumliche Verlegung der Feriensiedlung auf die freie Fläche im «Tannbord» linksufrig der Vispa empfohlen, was allerdings eine Umzonung von der Landwirtschaftszone 2. Priorität in die Ferienhauszone und einen Landerwerb notwendig machen würde. Auch müsste eine neue Zufahrt mit einer Brücke (28 t) über die Vispa erstellt werden.

Bei der Variante D sind folgende baulichen Massnahmen notwendig:

- Aufhebung der Ferienhauszone zwischen Kantonsstrasse und Vispa, Abriss und Neuaufbau der Ferienhäuser an einem sicheren Standort;
- Uferschutzmauer mit Steinschlagschutznetz im Bereich Baudepot und Wohnhaus;
  - Neubau Uferschutzmauer: Baudepot: Länge = 25 m, Wohnhaus: Länge = 25 m;
  - Steinschlagschutznetz: Baudepot: Länge = 65 m, Wohnhaus: Länge = 25 m;
- Aufschüttung auf ARA-Leitung: Länge = 330 m;
- Aufschüttung auf oberer Flurstrasse (nur im Bereich Baudepot): Länge = 90 m;
- Verlegung Wanderweg;
- Betonschutzkeil bei Strommast;

2.7.2 Technische Massnahmen

2.7.2.1 Variante A: Langer Schutzdamm

Bei der Realisierung eines Schutzdammes im Hang oberhalb der oberen Flurstrasse, welcher den gesamten Gefahrenbereich für die Feriensiedlung und das Baudepot abdeckt, würden unterhalb des Dammes keine weiteren Massnahmen mehr notwendig sein, um die Risiken noch weiter zu reduzieren.

Bei der Variante A sind folgende baulichen Massnahmen notwendig:

- Schutzdamm, Höhe = 8 m, Länge = 300 m;

2.7.2.2 Variante B: Kurzer Schutzdamm

Bei der Realisierung eines Schutzdammes im Hang oberhalb der oberen Flurstrasse, welcher nur den Gefahrenbereich für die Feriensiedlung abdeckt, würden unterhalb des Dammes für die Feriensiedlung keine weiteren Massnahmen mehr notwendig sein, um einen Schutz zu gewährleisten. Hingegen müssen für die anderen gefährdeten Objekte Objektschutzmassnahmen durchgeführt werden.

Bei der Variante B sind folgende baulichen Massnahmen notwendig:

- Schutzdamm, Höhe = 8 m, Länge = 180 m;
- Uferschutzmauer mit Steinschlagschutznetz im Bereich Baudepot;
  - Neubau Uferschutzmauer: Länge = 25 m;
  - Steinschlagschutznetz: Länge = 65 m;
- Aufschüttung auf ARA-Leitung: Länge = 160 m;
- Aufschüttung auf oberer Flurstrasse (nur Bereich Baudepot): Länge = 80 m;
- Verlegung Wanderweg;
- Betonschutzkeil bei Strommast;

2.7.2.3 Variante C: Ufermauer mit Netz

Falls der Schutzdamm nicht realisiert werden kann, müssen zur Erreichung des Schutzzieles im Gefahrenbereich mehrere Massnahmenvarianten kombiniert durchgeführt werden.

Bei der Variante C sind folgende baulichen Massnahmen notwendig:

- Uferschutzmauer mit Steinschlagschutznetz im Bereich Baudepot und Feriensiedlung
  - Neubau Uferschutzmauer: Länge = 165 m
  - Steinschlagschutznetz: Länge = 205 m
- Aufschüttung auf ARA-Leitung: Länge = 330 m
- Aufschüttung auf oberer Flurstrasse (Bereich Baudepot und Feriensiedlung): Länge = 240 m
- Verlegung Wanderweg
- Betonschutzkeil bei Strommast

2.7.3 Biologische Massnahmen

Die Umsetzung biologischer Massnahmen ist im vorliegenden Perimeter nicht möglich. Aufgrund der vorhandenen Gefahrenpotenziale ist ein funktionstüchtiger Schutzwald nicht realistisch.

2.7.4 Organisatorische Massnahmen

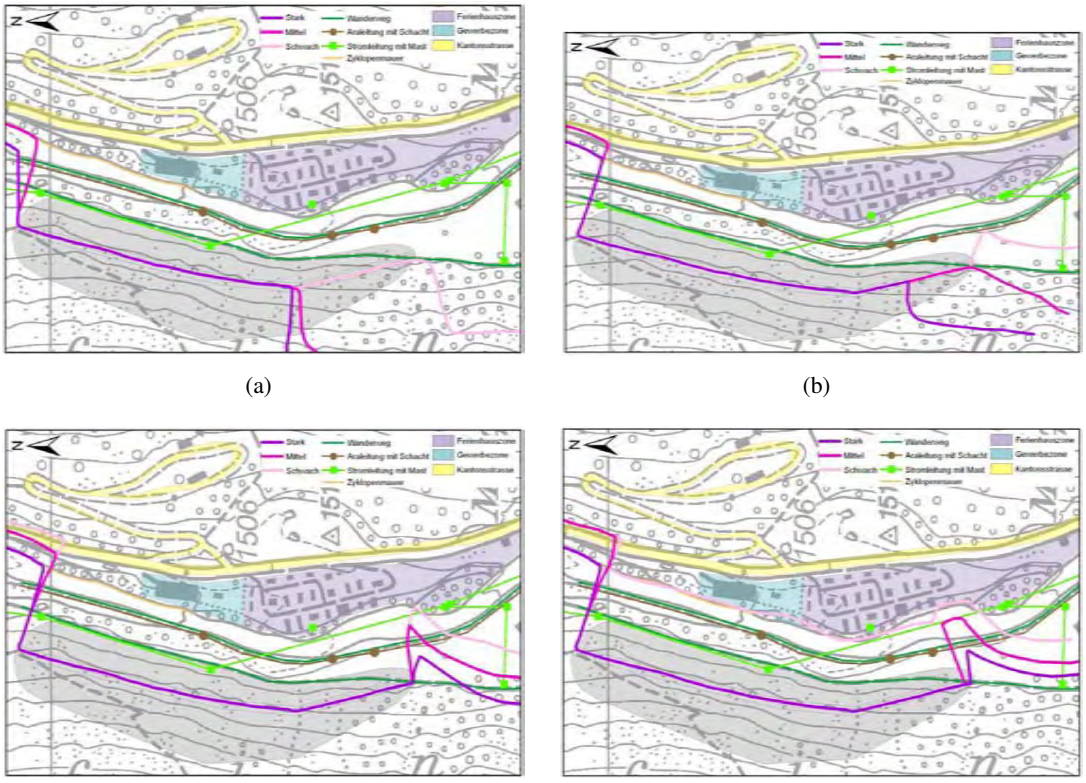
Die Gefahrenpotenziale sind grossflächig im ganzen Perimeter verteilt und eine rechtzeitige Erkennung der Gefährdung von Einzelblöcken mit entsprechender Vorwarnung ist nicht möglich. Allerdings ist die vorsorgliche Sperrung des Wanderweges entlang der Vispa während der Zeit der Schneeschmelze und bei Starkniederschlägen möglich. Diese organisatorischen Massnahmen wurden dieses Jahr bereits erfolgreich ausgeführt.

2.8 Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der verschiedenen Varianten wurde durch die Erstellung von Intensitätskarten nach den jeweiligen Massnahmen für die Szenarien 10, 30, 100 und 300 Jahre hergeleitet. Die Intensitätskarten 10, 30, 100 und 300 Jahre wurden ebenfalls nach den verschiedenen geprüften Massnahmenvarianten A – Langer Schutzdamm, B – Kurzer Schutzdamm, C – Uferschutzmauer mit Netz und D – Verlegung Feriensiedlung erstellt. Sie sind in den folgenden Abschnitten dargestellt (Abbildungen 2.4 bis 2.7).

2.8.1 Variante A

Die Intensitätskarten nach Variante A stellen sich wie folgt dar (Abbildung 2.4):



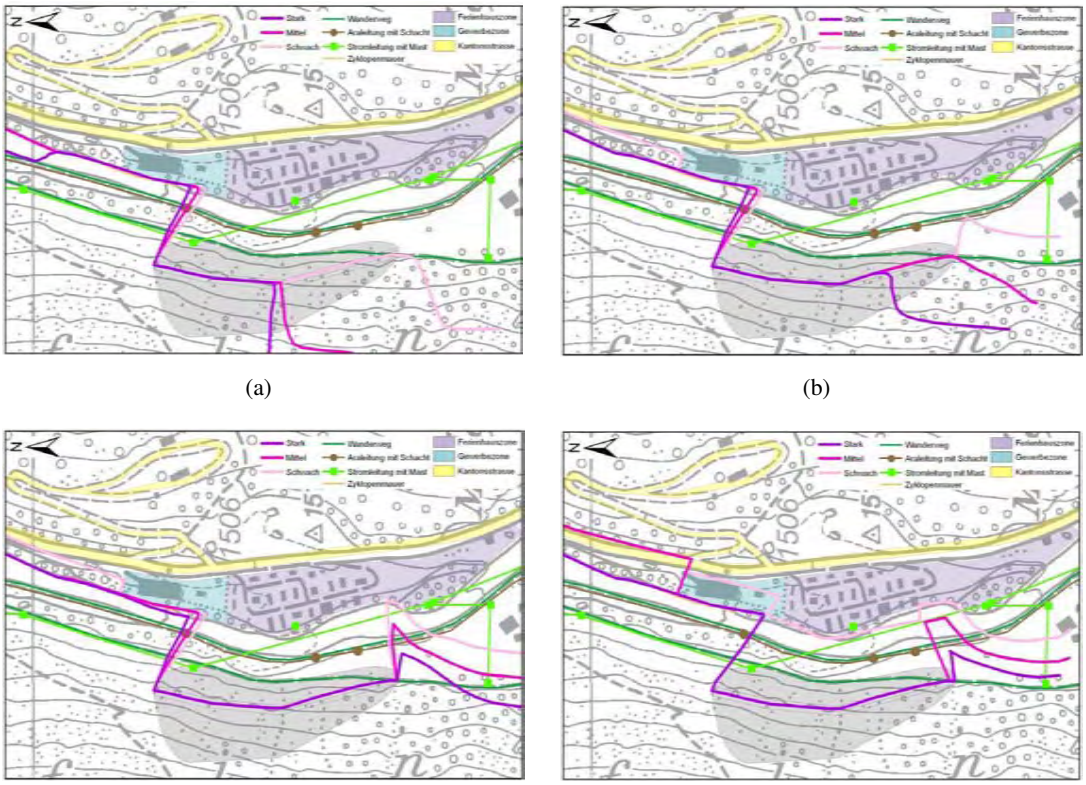
(a) (b)

(c) (d)

Abbildung 2.4: Intensitätskarten für die Szenarien 10- (a), 30- (b), 100- (c) und 300-jährlich (d) nach Variante A. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.8.2 Variante B

Die Intensitätskarten nach Variante B stellen sich wie folgt dar (Abbildung 2.5):



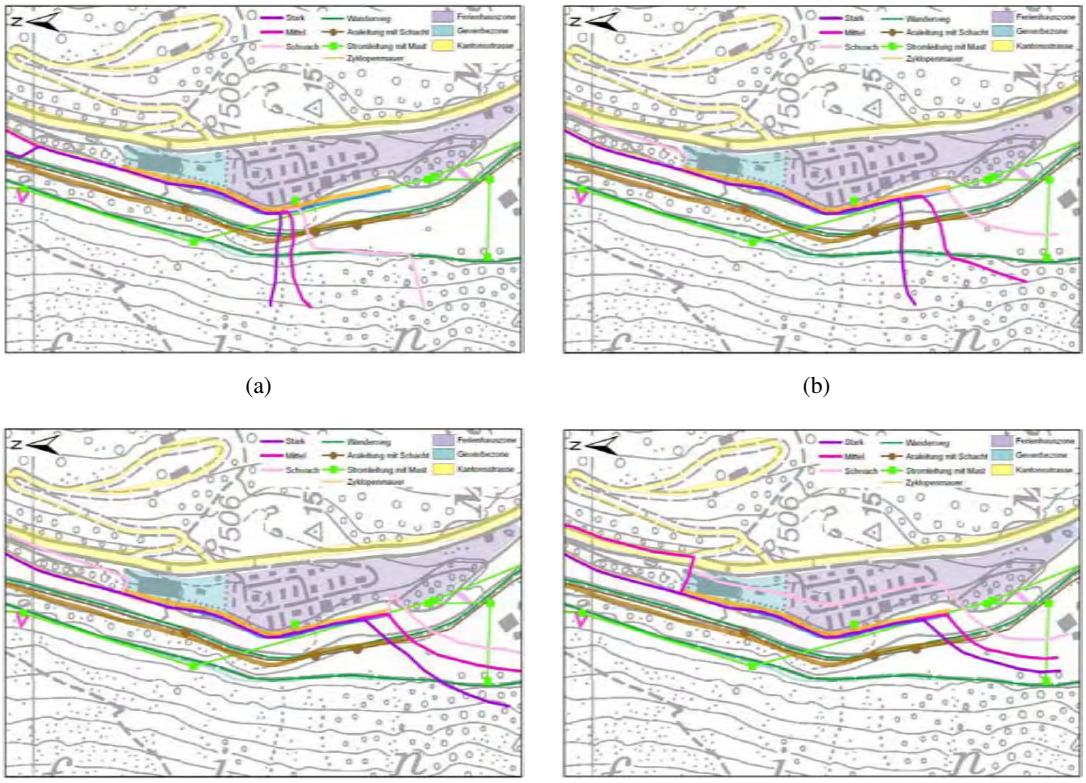
(a) (b)

(c) (d)

Abbildung 2.5: Intensitätskarten für die Szenarien 10- (a), 30- (b), 100- (c) und 300-jährlich (d) nach Variante B. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.8.3 Variante C

Die Intensitätskarten nach Variante C stellen sich wie folgt dar (Abbildung 2.6):



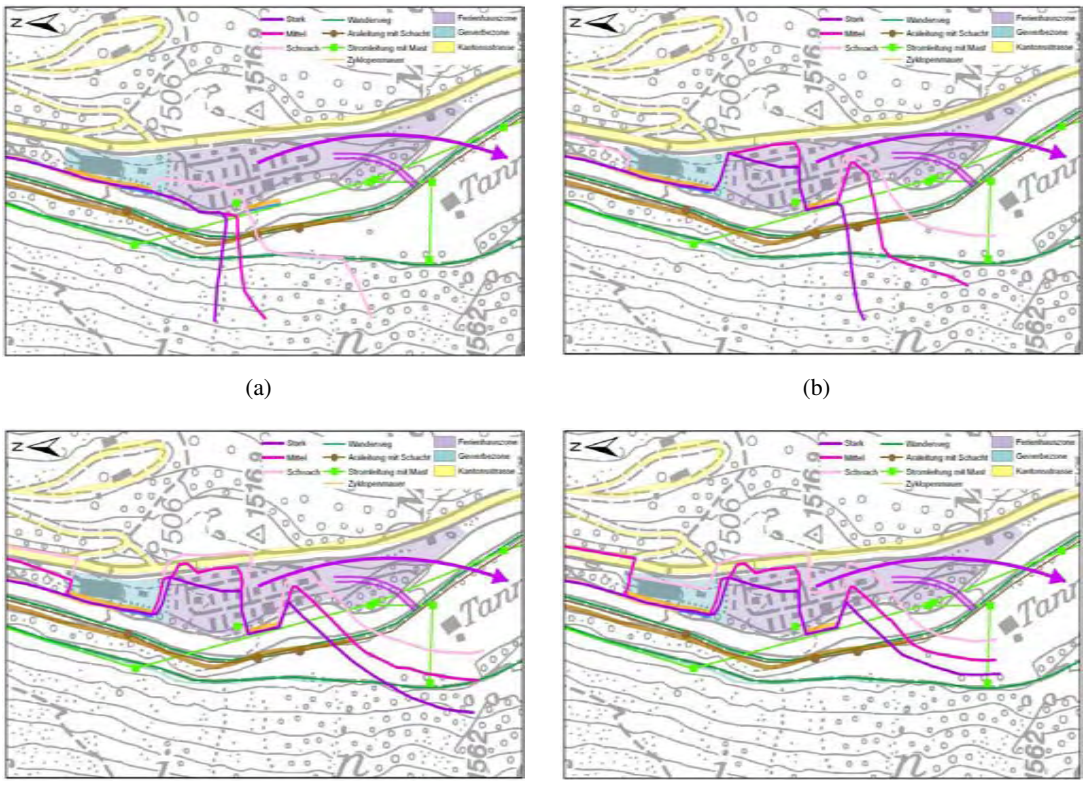
(a) (b)

(c) (d)

Abbildung 2.6: Intensitätskarten für die Szenarien 10- (a), 30- (b), 100- (c) und 300-jährlich (d) nach Variante C. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.8.4 Variante D

Die Intensitätskarten nach Variante D stellen sich wie folgt dar (Abbildung 2.7):



(a) (b)

(c) (d)

Abbildung 2.7: Intensitätskarten für die Szenarien 10- (a), 30- (b), 100- (c) und 300-jährlich (d) nach Variante D. © 2008 swisstopo (JD082774).

Aus der Überlagerung der exponierten Objekte mit den Intensitätskarten nach Massnahmen (Varianten A bis D) konnte die Wirksamkeit der Massnahme, d.h. die Reduktion der Risiken bestimmt werden. Die Resultate sind in Tabelle 2.3 dargestellt.

Tabelle 2.3: Zusammenstellung der Restrisiken und der Risikoreduktionen nach den Massnahmenvarianten A, B, C und D (nach EconoMe).

	Variante A Langer Schutzdamm	**Variante B** Kurzer Schutzdamm	**Variante C** Uferschutzmauer mit Netz	**Variante D** Verlegung Feriensiedlung
Ausgangsrisiko [CHF/a]	89'108	89'108	89'108	89'108
Restrisiko [CHF/a]	224	3'024	4'926	3'447
Risikoreduktion [CHF/a]	88'884	86'084	84'182	85'661

2.9 Kosten

Die Tabelle 2.4 zeigt die Zusammenfassung der Kostenschätzungen ($\pm 25\,\%$) der vier Varianten A-D.

Tabelle 2.4: Zusammenstellung der einmaligen Investitionskosten und der ungerechneten jährlichen Kosten der verschiedenen Massnahmenvarianten A, B, C und D.

	Variante A Langer Schutzdamm	**Variante B** Kurzer Schutzdamm	**Variante C** Uferschutzmauer mit Netz	**Variante D** Verlegung Feriensiedlung
Investitionskosten [CHF]	2'380'000	1'360'000	880'000	2'930'000
Jährliche Kosten [CHF/a]	71'500	41'500	29'600	63'900

2.10 Massnahmenbewertung

Die Risikoreduktion und die berechneten Kosten der verschiedenen Varianten wurden schliesslich in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen (Abbildung 2.8).

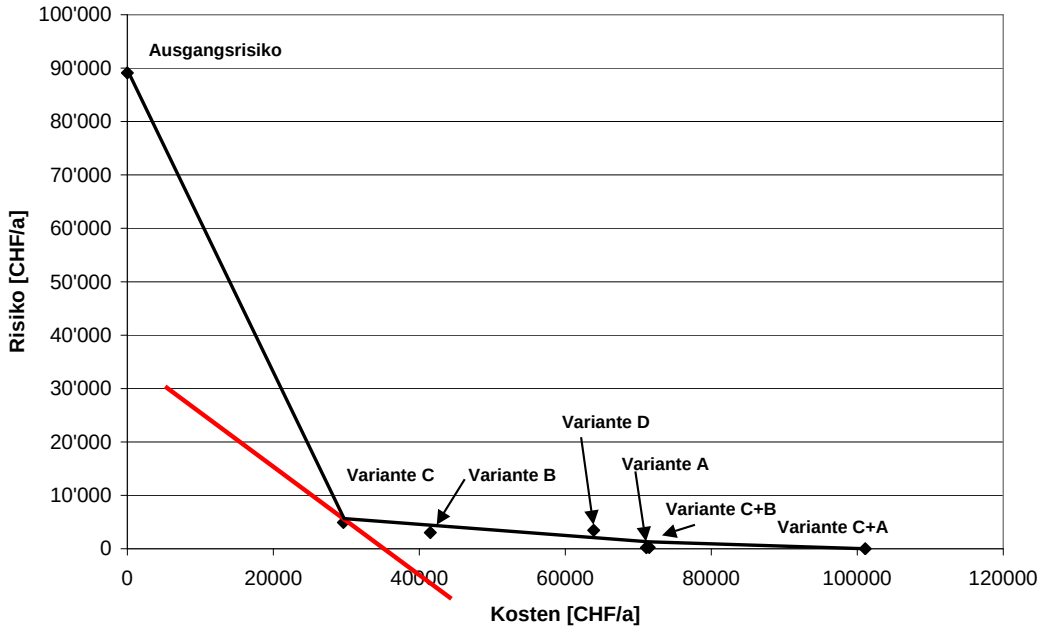


Abbildung 2.8: Risiko-Kosten-Diagramm der Massnahmenvarianten bzw. deren Kombinationen für das Fallbeispiel Meiggerli. Gemäss Grenzkostentangente würde Variante C favorisiert.

Die Abbildung 2.8 zeigt, dass ausgehend vom Ausgangszustand die Variante C (Uferschutzmauer mit Netz) die kostenwirksamste Massnahme darstellt. Wurde die Variante C mit der Variante B (kurzer Schutzdamm) ergänzt, dann ergab sich die Massnahmenkombination C+B. Eine Verlängerung des kurzen Schutzdamms zum langen Schutzdamm (Variante A) führte zur Massnahmenkombination C+A. Die Variante D wurde nicht in Betracht gezogen, da das Nutzen-Kosten-Verhältnis

schlechter als das der anderen Massnahmen war. Eine Ergänzung der Variante C mit Variante D kam aus Redundanzgründen nicht in Betracht. Das Anlegen der Grenzkostentangente (Steigung -1) zeigt, dass Variante C nach ökonomischen Kriterien favorisiert wird.

Wurden die einzelnen Varianten nach Ihrem Nutzen-Kosten-Verhältnis beurteilt, dann zeigte sich, dass Variante C das beste Verhältnis aufwies, gefolgt von Variante B, Variante D und Variante A (Tabelle 2.5). Demnach wurde ebenfalls Variante C favorisiert.

Tabelle 2.5: Zusammenstellung des Risikoreduktionen und Kosten der verschiedenen Massnahmenvarianten A, B, C und D sowie deren Nutzen-Kosten-Verhältnis.

	Variante A Langer Schutzdamm	**Variante B** Kurzer Schutzdamm	**Variante C** Uferschutzmauer mit Netz	**Variante D** Verlegung Feriensiedlung
Risikoreduktion [CHF/a]	88'884	86'084	84'182	85'661
Jährliche Kosten [CHF/a]	71'500	41'500	29'600	63'900
N-K-Verhältnis [-]	1.2	2.1	2.8	1.3

2.11 Weitere Einflussfaktoren

Die verschiedenen Varianten wurden zudem einer detaillierten Bewertung von folgenden Kriterien unterzogen:

Technische Anforderungen: Bautechnische Schwierigkeiten, Bauzeit, Etapierung, Werkleitungen, Behinderungen während Bauzeit, Geologie / Baugrundverhältnisse;

Touristische Aspekte: Auswirkung auf Tourismus in Bauphase und Endzustand, Integration des Bauwerks in der Landschaft;

Naturgefahren: Personengefährdung während Bauphase und bei Unterhalt, Kosten/Nutzen-Verhältnis nach EconoMe 1.0;

Umwelt: Integration des Bauwerks in die Landschaft, Flächen und Qualitätsverlust, Gewässerschutz, Lärm, Staub, Erschütterungen während der Bauphase, Heimatschutz, Kulturhistorischer Aspekt, Bodenschutz, Abfälle, Stoffe, Materialbewirtschaftung;

Raumplanung / Nutzungen: Bauzonen, Baugebiet, Natur- und Landschaftschutzzonen, Landwirtschaftszone, Erschliessungen;

Kosten: Baukosten, Jährliche Unterhaltskosten;

Das Ergebnis dieser Bewertung ist in Tabelle 2.6 dargestellt.

2.12 Realisierte Massnahmen

In der Vorstudie wurde den zuständigen Behörden die Variante C als bauliche Massnahme oder die Variante D als raumplanerische Massnahme zur Ausführung empfohlen. Zurzeit ist der Entscheid noch offen.

Tabelle 2.6: Ergebnisse der Bewertung der Varianten A–D anhand verschiedener Kriterien. Die Rangierung gibt an, wie eine Variante in Bezug auf das Kriterium abschneidet.

Hauptkriterium		**Variantenbewertung**			
	Gew	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
Technische Anforderungen	3	-2.14	-1.54	-1.00	-0.93
Rangierung		4.	3.	2.	1.
Touristische Aspekte	5	-1.08	-2.71	-1.75	-0.17
Rangierung		2.	3.	4.	1.
Naturgefahren	5	-2.03	-0.77	1.29	0.51
Rangierung		4.	3.	1.	2.
Umwelt	3	-1.90	-1.60	-1.10	-0.23
Rangierung		4.	3.	2.	1.
Raumplanung/Nutzungen	2	0.00	-0.62	-2.15	-3.15
Rangierung		1.	2.	3.	4.
Kosten	5	-4.41	-2.46	-1.35	-3.38
Rangierung		4.	2.	1.	2.
Gesamtbewertung		-2.16	-1.75	-1.07	-1.09
Rangierung		4.	3.	1.	2.

Kapitel 3

Fazit

Das Fallbeispiel «Meiggerli» zeigt eine risikobasierte Massnahmenplanung für den Prozess Sturz nach dem Risikokonzept auf. Unter den möglichen Schutzmassnahmen standen vier Varianten zur Diskussion. Die transparente Herleitung der Wirksamkeit der einzelnen Massnahmenvarianten mit der Herleitung und Erstellung der von Hand gezeichneten Intensitätskarten nach jeder Variante schafft eine sehr gute Entscheidungsgrundlage und gewährleistet eine nachvollziehbare Entscheidungsfindung. Die ökonomische Bewertung der verschiedenen Varianten mit Hilfe des Grenzkostenkriteriums ergibt in diesem spezifischen Fall das gleiche Ergebnis wie eine Beurteilung nach Nutzen-Kosten-Verhältnis. Die zusätzliche Beurteilung nach weiteren Kriterien wie touristische Aspekte, Umwelt etc. (s.a. Tabelle 2.6) bestätigt die Massnahmenbewertung nach ökonomischen Kriterien.

Die Erfahrungen der ausführenden Ingenieurbüros zeigt jedoch, dass der Aufwand für das Variantenstudium mit Herleitung und Erstellung der Intensitätskarten nach jeder Variante beträchtlich ist. So erforderte die Beurteilung durch den zuständigen Geologen etwa 14 Stunden und die nachfolgende Risikoberechnung und -bewertung mit Hilfe des Online-Berechnungsinstruments EconoMe mit entsprechender Dokumentation 15 Stunden. Zusammen ergibt das etwa 30 Stunden. Bei einem Stundenansatz von 160 CHF ergibt dies Kosten in Höhe von rund 5'000 CHF. Stellt man diesen Aufwand der gerechneten Investitionssumme der Variante C gegenüber, ergibt dies einen Kostenanteil von rund 0.5 %. Unterstellt man, dass sich durch dieses Variantenstudium die (ökonomisch) «sinnvollere» Variante herausgestellt hat, so kann der Aufwand dem Unterschied in der Investitionssumme zur nächst besseren Variante (Variante B, kurzer Schutzdamm, $\Delta\,\mathrm{I}(0) = 480'000$ CHF) oder dem Unterschied in den jährlichen Kosten zur nächst besseren Variante gegenüber gestellt werden. In Bezug auf die jährlichen Kosten hat sich der Zusatzaufwand von 5'000 CHF bereits nach einem halben Jahr ausgezahlt.

Das Variantenstudium in dieser Phase findet auf der Stufe Vorstudie statt. Gewöhnlicherweise liegt die Ungenauigkeit der Eingangsdaten auf dieser Stufe im Bereich von $\pm$ 20–25 %. Für das Variantenstudium stehen in der Praxis meist wenige Mittel bereit und die Zeitressourcen sind knapp bemessen. Dieses Beispiel zeigt jedoch eindrücklich auf, dass es sich gerade in dieser Phase lohnt, mehr Zeit und Geld zu investieren. Unter dem Aspekt, dass Schutzmassnahmen eine geschätzte Lebensdauer im Bereich von 50 bis 100 Jahren haben, dürfte im Hinblick auf die Übernahme der Schutzmassnahmen durch die nachfolgende Generation eine Änderung im Ablauf und in der Mit-

telbereitstellung für die Planung von Schutzprojekten angezeigt sein. Es sind hier noch weitere Erfahrungen zu sammeln und gegebenenfalls die nötigen Schritte einzuleiten.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für einen detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess Sturz zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Sturz nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude[1]								
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.03	0.30	0.60	0.001	0.01	0.30
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Mehrfamilienhaus[2]	550000.00	Stück	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox[3]	60000.00	Stück	0.03	0.50	0.90	0.01	0.10	0.60
Hotel - Gästehaus	492.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m^3	0.01	0.30	0.60	0.001	0.020	0.10
Einkaufszentrum	540.00	m^3	0.01	0.30	0.60	0.001	0.020	0.10
Schule/Kindergarten	580.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Spital	850.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Kirche	720.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Bahnhof	530.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Stationsgebäude Mechanische Aufstiegshilfe	500.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Öffentliche Gebäude	810.00	m^3	0.01	0.10	0.20	0.001	0.002	0.10
Stall	180.00	m^3	0.01	0.50	0.80	0.01	0.10	0.50
Schuppen / Remise	80.00	m^3	0.01	0.80	0.90	0.10	0.40	0.60

[1] Alle mit Einheit m^3: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

[2] I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

[3] Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und numeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Sturz nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte[4]								
Kraftwerk		Stück	0.01	0.10	0.30	0.001	0.002	0.10
ARA		Stück	0.01	0.30	0.60	0.001	0.002	0.10
Deponie		Stück	0.01	0.20	0.50	0.01	0.10	0.60
Campingplatz		Stück	0.50	0.80	1.00	0.01	0.10	0.60
Schutzbauwerk		Stück	0.001	0.20	0.60	0.00	0.00	0.00
Wasserreservoir		Stück	0.01	0.20	0.50	0.001	0.002	0.10
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.10	0.70	1.00	0.01	0.10	0.60
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m'	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00

[4] grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separtes Objekt z.B als Wohneinheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Sturz nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m’	0.10	0.50	1.00	0.10	0.80	1.00
Schienenverkehr								
Einspur	6300.00	m’	0.30	0.50	1.00	0.10	0.50	0.80
Doppelspur	10400.00	m’	0.30	0.50	1.00	0.10	0.50	0.80
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m’	0.10	0.50	1.00	0.10	0.50	0.80
Brücke Doppelspur	420000.00	m’	0.10	0.50	1.00	0.10	0.50	0.80
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0.50	0.50	1.00			
Durchtrennung Kabelanalage innerhalb des Kabelkanals (pro Schadenstelle)	21000.00	Anz.	0.00	0.50	1.00			
Mechanische Aufstiegshilfe								
Skilift		m’	0.10	0.70	0.90	0.10	0.80	1.00
Sessellift		m’	0.10	0.70	0.90	0.10	0.80	1.00
Gondelbahn		m’	0.10	0.70	0.90	0.10	0.50	0.80
Luftseilbahn		m’	0.01	0.50	0.90	0.10	0.50	0.80
Standseilbahn Zahnradbahn		m’	0.30	0.70	1.00	0.10	0.80	1.00
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) $\leq$ 60 kV	400000.00	Mast	0.10	0.70	1.00			
Hochspannungsleitung $>$ 60 kV	1000000.00	Mast	0.10	0.70	1.00			
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m’	0.50	1.00	1.00			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Sturz nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Strom unter Terrain		m’	0.00	0.00	0.00			
Wasser auf Terrain		m’	0.10	0.50	1.00			
Wasser unter Terrain	800.00	m’	0.00	0.00	0.00			
Gas auf Terrain		m’	0.10	0.50	1.00			
Gas unter Terrain	600.00	m’	0.00	0.00	0.00			
Telekommunikation auf Terrain		m’	0.10	0.50	1.00			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m’	0.00	0.00	0.00			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m’	0.00	0.00	0.00			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.10	0.30	0.50			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.20	0.50	0.70			
Schutzwald	1000.00	a	0.10	0.30	1.00			
Nutzwald	200.00	a	0.20	0.50	1.00			
Rebberg	6000.00	a	0.50	1.00	1.00			
Gemüsekultur	5000.00	a	0.60	1.00	1.00			
Obstplantagen		a	0.20	0.50	1.00			
Parkanlage		a	0.50	1.00	1.00	0.10	0.80	1.00
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.50	1.00	1.00	0.10	0.80	1.00
Friedhof		a	0.50	1.00	1.00	0.10	0.80	1.00
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.50	1.00	1.00	0.10	0.80	1.00

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Sturz nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
			Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien (Jährlichkeit)					
			30	100	300			
alle Objekte			0.01	0.03	0.05			

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS SPONTANE RUTSCHUNG / HANGMUREN

Bernhard Krummenacher, Daniel Tobler

Rutschung Feldweid, Gemeinde Entlebuch im August 2005 (Foto: Schweizer Luftwaffe)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen spontane flachgründige Rutschungen und Hangmuren vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzobjekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt werden die gekoppelten Prozesse der spontanen Rutschungen und der Hangmuren charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung von Rutschprozessen

Die Prozessfamilie der Hangbewegungen ist äusserst vielfältig und bedarf daher einer kurzen Beschreibung der einzelnen Typen. Die nachfolgenden Erläuterungen mit den Blockbildern zeigen die Prozessformen im aktiven Zustand. Im Gelände sind die Formen jedoch oft überwachsen und in kombinierter Form unter der Vegetation verborgen. Viele Formen haben ein so grosses Ausmass, dass sie nur im Luftbild oder vom Gegenhang aus erkennbar sind.

Rutschungen können sich an mässig bis steil geneigten Hängen vor allem zwischen $10\,^{\circ}$ und $40\,^{\circ}$ ereignen. Sie sind in ihrer Erscheinung (Grösse, Tiefe, Form der Gleitfläche) vielfältig und laufen je nach Untergrundstruktur, Gesteinsbeschaffenheit und Beteiligung von Wasser sehr unterschiedlich ab. Die beiden Hauptformen sind Rotations- und Translationsrutschungen. Die meisten

Hangrutschungen sind Kombinationen dieser beiden Typen. Zur Auslösung einer Rutschbewegung kommt es, wenn das Verhältnis zwischen den rückhaltenden und den treibenden Kräften einen kritischen Wert (≤ 1) erreicht hat. Die rückhaltende Grösse ist im Wesentlichen die Scherfestigkeit. Die treibenden Kräfte hingegen setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen (u.a. Porenwasserdruck). Die Scherfestigkeit wird vor allem durch innere Einflüsse (u.a. Verwitterung) und durch erhöhten Wasserdruck (Dauerregen, Gewitterregen, Schneeschmelze) im Hang verändert. Natürliche oder anthropogene äussere Einflüsse (z.B. Überlastung eines Hanges oder Anschneiden des Hangfusses) erhöhen die Rutschtendenz.

1.1.1 Einteilung der Rutschungen im weiteren Sinne

Für die Beurteilung der Rutschungen wurde vom BWG in Ergänzung zu den Richtlinien von 1997 [45] eine Studie an die AGN, Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren der Schweizerischen Fachgruppe für Ingenieurgeologie, SFIG, in Auftrag gegeben. Diese Studie zeigt eine Möglichkeit, die komplexen Rutschprozesse differenziert zu beurteilen [17].

Rutschungen im weiteren Sinne lassen sich gemäss Abbildung 1.2 in verschiedene Prozesse unterteilen.

Permanente Rutschungen: Rutschungen (meist tiefgründige Rotations- oder Translationsrutschungen), die sich kontinuierlich und gleichmässig über lange Zeiträume (Jahrhunderte, Jahrtausende) hangabwärts bewegen. Die Bewegungen erfolgen meist längs mehr oder weniger deutlich ausgebildeter, bestehender Gleitflächen.

Hangkriechen: Über längere Zeiträume anhaltende langsame Verformungen im Lockergestein oder Fels. Dabei finden bruchlose, kontinuierliche Verformungen auf zahlreichen Kleinsttrennflächen statt. Innerhalb von permanenten Rutschkörpern bilden sich meist Bereiche mit mehr oder weniger ausgeprägtem Hangkriechen.

Spontane Rutschungen: Lockergesteinsmassen, die infolge eines plötzlichen Verlustes der Scherfestigkeit unter Ausbildung einer Bruchfläche (= Gleitfläche) plötzlich und schnell abgleiten. Meist sind es flach- bis mittelgründige Translations- oder Rotationsrutschungen. Bei einem hohen Wasseranteil können daraus auch Hangmuren entstehen.

An der übersteilen Stirn einer permanenten Rutschung bilden sich oft spontane Rutschungen, die gelegentlich auch als sog. «Sekundärrutschungen» bezeichnet werden. Bei spontanen Rutschungen bilden sich stets neue Bruchflächen.

Hangmuren: Relativ rasch abfliessendes Gemisch aus Lockergestein (meist nur der Boden) und Wasser. Hangmuren (auch Fliessrutschung, Hautrutschung) sind eine spezielle Form von spontanen Rutschungen (ausgehend von Translations- oder Rotationsrutschungen; Abbildung 1.2(a)). Sie bilden sich an relativ steilen Hängen mit eher gering durchlässigen Quartärbildungen (Gehängelehm, tonige Moräne usw.). Kennzeichnend ist ein oberflächlich fliessendes Gemisch aus Boden, Lockergestein, Vegetation und Wasser, welches über weite Strecken verfrachtet werden kann. Das Volumen ist im allgemeinen beschränkt (Grössenordnung bis ca. 20'000 m^3). Hangmuren ereignen sich in der Regel bei sehr hohem Wassergehalt im Boden, bei Quellaustritten, nach intensiver Schneeschmelze oder nach heftigen oder langandauernden Niederschlägen. Dementsprechend hoch ist der Wasseranteil an der

bewegten Masse. Dieser hat auch hohe Prozessgeschwindigkeiten (1 bis 10 m/s) mit entsprechend zerstörerischer Wirkung zur Folge. Hangmuren entstehen lokal an relativ steilen Hängen (oft $> 20\,^{\circ}$), wobei bei starker Wassersättigung des Untergrundes bzw. hohem Wassereintrag und hohen Wasserdrücken auch Hänge mit geringeren Neigungen (bis gegen $20\,^{\circ}$) gefährdet sind (Abbildung 1.2).

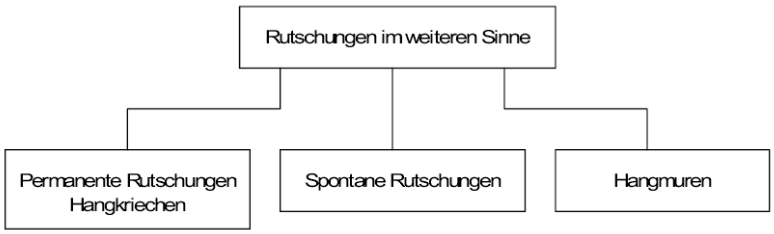


Abbildung 1.1: Schematische Übersicht über verschiedene Typen von Rutschungen. Quelle: [17].

1.1.2 Klassifikation nach der Form der Gleitfläche

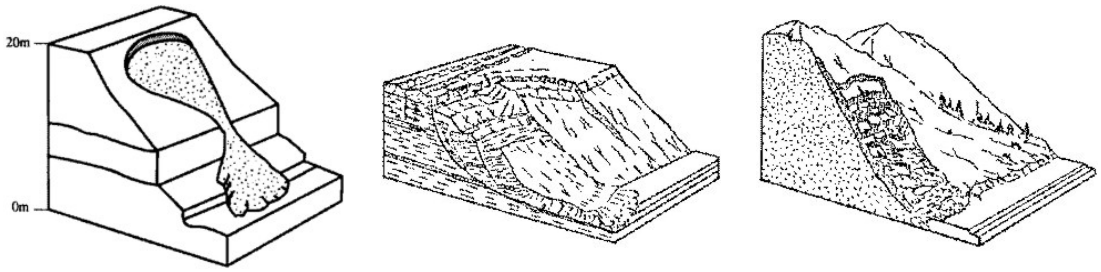
In Bezug auf die Gleitfläche lassen sich Rutschungen wie bereits erwähnt in Rotations- und Translationsrutschungen unterteilen.

Rotationsrutschung: Die Gleitfläche ist kreisförmig und fällt in der Ausbruchnische nahezu vertikal ein (Abbildung 1.2(b)).

Translationsrutschungen: Bei Translationsrutschungen gleiten Schichten oder Schichtpakete auf einer bestehenden Schwächezone ab (oft Schicht-, Schieferungs-, Kluft- oder Bruchflächen) (Abbildung 1.2(c)).

Die Gleitfläche kann in verschiedenen Tiefen liegen (in m unter Terrain):

- 0 – 2 m flachgründig
- 2 – 10 m mittelgründig
- $>$ 10 m tiefgründig



(a) *Hangmure* (b) *Rotationsrutschung* (c) *Translationsrutschung*

Abbildung 1.2: Blockbilder Hangmure, Rotationsrutschung und Translationsrutschung (aus Empfehlung Naturgefahren BAFU 1997).

1.2 Risikoanalyse beim Prozess der spontanen flachgründigen Rutschungen und Hangmuren

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Wie bei allen anderen gefährlichen Naturprozessen erfolgt die Gefahrenbeurteilung einerseits auf der Basis von früheren Ereignissen anhand der Analyse der Einträge im Ereigniskataster, andererseits auf Geländebegehungen. Die Untersuchungen gliedern sich in verschiedene Arbeitsschritte. Neben der Auswertung der vorhandenen Gutachten und Ereignisaufzeichnungen werden mit Hilfe einer Luftbildanalyse (Fotogeologie) die sensiblen Gebiete ausgeschieden und die grossen zusammenhängenden Formen der Tektonik und Geomorphologie kartiert (siehe Grundlagenkarten).

Für die Bewertung/Analyse der Hangmurengefärdung werden entsprechend den geologischen Gegebenheiten (Innere Reibung, Durchlässigkeit) die geotechnischen Eigenschaften (Innere Reibung, Durchlässigkeit) abgeschätzt und die für den Anbruch von flachgründigen Rutschungen relevanten Hangneigungen den entsprechenden lithologischen Einheiten zugeordnet. Anschliessend werden auf der Basis des digitalen Höhenmodells (DHM25) Hangneigungsklassen berechnet und in der Grundlagenkarte klassiert dargestellt.

Alle oben genannten Grundlagen dienen als Basis für die Geländearbeiten. Bei der Geländeanalyse werden mittels geologischer- und geomorphologischer Kartierung alle rutschrelevanten Phänomene aufgenommen und in der Grundlagenkarte (Karte der Phänomene) dargestellt.

Als Ergebnis der Ereignisanalyse werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber die massgebenden Szenarien festgelegt. Die Wahl muss entsprechend begründet werden.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Für Rutschprozesse und Hangmuren wird die Intensität als Geschwindigkeitskriterium bzw. als Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht definiert. Basis für die Bestimmung der Bemessungsparameter Geschwindigkeit und Mächtigkeit sind Messungen im Gelände über längere Zeiträume und geologisch- geotechnische Analysen, bzw. Analogieschlüsse zu dokumentierten Ereignissen.

In den Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten» [45], sind die entsprechende Werte für schwache, mittlere und starke Intensitäten tabellarisch zusammengestellt (Tabelle 1.1)

Tabelle 1.1: Kriterien zur Beurteilung der Intensität von Rutschprozessen gemäss Empfehlungen 1997 [45].

Prozess	**schwache Intensität**	**mittlere Intensität**	**starke Intensität**
Rutschung	v:$\leq$ 2 cm/Jahr	v:dm/Jahr (> 2cm/Jahr)	starke Differential-bewegungen; $v > 0.1$ m/Tag bei oberflächlichen Rutschungen; Verschiebungen > 1 m pro Ereignis
Hangmure potentiell	$M < 0.5$ m	0.5 m < M < 2 m	$M > 2$ m
Hangmure real	–	$h < 1$ m	$h > 1$ m
Ansenkung, Dolinen	–	Dolinen	–

M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht;
h = Mächtigkeit der Ablagerung durch Hangmure;
v = langfristige durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit.

Die AGN schlägt vor, für die Beurteilung der Intensität von Hangmuren zusätzlich zu den zwei bestehenden Intensitätskriterien (Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht M und Mächtigkeit der Ablagerung h) den Staudruck q_f [26] als drittes Kriterium einzuführen.

Der Staudruck ist definiert als das Produkt der Dichte mit der quadrierten Geschwindigkeit und dem Anströmwinkel α:

$$q_{f,\alpha} = \rho_f \cdot {v_f}^2 \cdot \sin^2 \alpha \tag{1.1}$$

wobei:

q_f = Staudruck [kN/m^2];
ρ_f = Dichte [t/m^2];
v_f = Fliessgeschwindigkeit [m/s];
α = Anströmwinkel auf Hindernis (90 $^\circ$ entspricht senkrechter Anströmung);

In Anlehnung an die Lawinenkunde können die Klassengrenzen der Intensität des Staudrucks analog zu demjenigen der Lawinen festgelegt werden. Zu diskutieren ist eine Verdoppelung dieser Werte, da die Druckverteilung bei Hangmuren eher dreiecks- denn rechtecksförmig (Lawinen) ist.

Weitere detaillierte Informationen zum Vorschlag AGN sind in der zitierten BWG Studie enthalten [17].

Tabelle 1.2: Einteilung der Intensitätsklassen bei Hangmuren.

Intensität	**schwach**	**mittel**	**stark**
Kriterium 1: Hangmure potentiell (Transitbereich)	$M < 0.5$ m	0.5 m $< M < 2$ m	$M > 2$ m
Kriterium 2: Hangmure real (Transitbereich)	–	$h < 1$ m	$h > 1$ m

M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht;
h = Mächtigkeit der Ablagerung durch Hangmure;
q_f = Staudruck.

1.2.2 Expositionsanalyse

Spontane Rutschungen und Hangmuren können Gebäude, Infrastrukturen, Verkehrswege, ober- und unterirdische Leitungen, Wald- und Landwirtschaftsflächen sowie Grün- und Erholungsflächen im Anriss, Transit- und Ablagerungsraum treffen. Da diese Prozesse eine grosse zerstörerische Kraft haben, sind sowohl die Schadenempfindlichkeiten bei den meisten Objektklassen als auch die Letalitäten bei Personen im Wirkungsbereich der Prozesse hoch.

Expositionssituationen mit Ansammlungen von Menschen in Bereichen mit mittlerer und starker Intensität können die Risiken extrem ansteigen lassen, weshalb es Sinn macht, situativ Expositionsanalysen durchzuführen. So beispielsweise, wenn ein Schulhaus oder Kindergarten am Hangfuss steht, bergseitig grosse Fensterfronten hat und der angrenzende Hang eine hohe Disposition für Hangmuren aufweist.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Bei der Konsequenzenanalyse wird für jedes Objekt im Prozessraum bestimmt, ob und in welchem Mass (Intensität) es durch Rutsch- und/oder Hangmurprozesse betroffen ist. Diese Prozesse wirken i.d.R. durch die beschränkte Mächtigkeit der bewegten Massen einige Meter hoch, was etwa der Höhe des Erdgeschosses entspricht. Es gibt aber auch Situationen, bei denen durch den Rückstau des Bodenmaterials grössere Höhen erreicht werden (Abbildung 1.3).

Da die lokale Position und die Bauart/Struktur des Gebäudes mit den bergseitigen Öffnungen entscheidend für die Schäden und damit die Risiken sind, ist die Definition einer einheitlichen **Schadenempfindlichkeit** für ein Objekt schwierig. Für eine grossräumige Untersuchung mit vielen Objekten ist es deshalb sinnvoll, die Schadenempfindlichkeiten generell hoch anzusetzen. Für eine genaue Risikoanalyse ist es jedoch unabdingbar, die lokale Situation genau zu untersuchen (Abbildung 1.4). Die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit müssen daher für den Einzelfall überprüft und angepasst werden. Als erste Annäherung können jedoch die Werte zu Schadenempfindlichkeit, Letalität und räumlicher Auftretenswahrscheinlichkeit aus EconoMe übernommen werden. Die Unsicherheit sollte jedoch in der Risikobestimmung klar dargestellt werden.

(a) (b)

Abbildung 1.3: Spontane Rotationsrutschung: Im Transit- und Auslaufbereich konnte die Hauswand des neuen Gebäudes dem Staudruck nur bedingt Stand halten. Ein Teil der Gebäudemauer wurde eingedrückt. Foto: GEOTEST AG (a,b).

(a) (b)

Abbildung 1.4: Die spontane Rutschungen, die durch den hohen Wasseranteil in Hangmuren übergegangen sind, zerstörten die Gebäude durch den Staudruck. Foto: GEOTEST AG (a,b).

Die Ergebnisse des Projekts B5 «Verletzlichkeit» zeigen anhand von Fallbeispielen auf, wie stark die Unsicherheiten bezüglich Schadenempfindlichkeit bei Rutschungen und Hangmuren sein können [74].

Dem Parameter **Letalität** ist eine grosse Beachtung zu schenken. Gebäuden mit schwacher Struktur, die dem Staudruck nicht Stand halten können, können mindestens bergseitig total zerstört werden. Personen, die sich in diesen Räumen aufhalten, können zu Tode kommen. Im Online-Tool EconoMe sind die Standardwerte der Letalität für mittlere und starke Intensitäten bei Hangmuren auf 0.8 bzw. 1 gesetzt [8].

Die **räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit** innerhalb des potentiellen gesamten Prozessraumes ist vergleichbar mit Lawinen und ist geprägt durch das «Ausfingern» des Prozesses im Auslaufbereich. Im Transitbereich, wo auch die Intensitäten höher sind, ist der Prozessraum durch die Geländeform meist enger begrenzt und deshalb auch der Parameter p_{rA} höher. Die Werte sind im

Berechnungsinstrument EconoMe für mittlere und starke Intensitäten bei Hangmuren auf 0.5 bzw. 0.8 gesetzt [8].

1.3 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Da bei den Prozessen der spontanen Rutschungen und Hangmuren Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen sowohl Personen- als auch Sachrisiken bewertet werden. Bei den Personen sind jeweils die individuellen und die kollektiven Risiken zu beurteilen.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Die heute möglichen und gebräuchlichen Massnahmen zur Reduktion von Rutschungsrisiken können gemäss Tabelle 1.2 typisiert werden. Dabei fehlen mit Ausnahme der Umsiedlung die raumplanerischen Massnahmen, welche wie im Teil A dargelegt nicht nach diesem Verfahren beurteilt werden. Grundsätzlich gilt, dass jeder der aufgelisteten Massnahmentypen eine relevante Wirkung entfalten kann, dass aber diese Wirkung für den Einzelfall zu quantifizieren ist.

Die Planung von Massnahmen gegen spontane flachgründige Rutschungen und Hangmuren erfordert die genaue Kenntnis des Aufbaus des Untergrundes mit allfälligen Gleithorizonten, der Bodenkennwerten und der Hangwasserverhältnisse. Der Interaktion mit anderen Prozessen, wie Wildbachprozesse, Erosion, Infiltration, Kollaps von Bachverbauungen, usw., ist Rechnung zu tragen.

Allgemein gilt, dass bei der Planung von Massnahmen die oben erwähnten Prozesse umfassender untersucht werden müssen, als dies in der Regel bei der Ausarbeitung einer Gefahrenkarte der Fall ist. Es müssen ausreichend Informationen hinsichtlich der Bestimmung von Intensität, Eintretenswahrscheinlichkeit und der Abgrenzung der Szenarien vorhanden sein (Bandbreite möglicher Entwicklungen des Hangsystems, inkl. «Extremfall»).

Tabelle 1.3: Gliederung der Schutzmassnahmen bei Rutschungen.

Technische Massnahmen	**Biologische Massnahmen**
Materialabtrag	Schutzwald
Entwässerung, Wasserfassung und -ableitung	Ingenieurbiologische Massnahmen
Stützmauern	Bodenverbesserung
Anker (-wände)	**Organisatorische Massnahmen**
Pfähle / Pfahlwände	Warnsysteme
Stabilisierung Hangfuss	Evakuierung und Sperrung
Objektschutz	Intervention und Rettung
	Raumplanerische Massnahmen
	Umsiedelung

Wie in Tabelle 1.2 dargestellt, lassen sich die wesentlichen technischen und biologischen Massnahmen in die folgenden Kategorien einteilen:

- Veränderung der Hangwasserverhältnisse (Drainagetechniken s.l.);
- Einbringen von Kräften, welche der treibenden Kraft entgegen gesetzt sind (z.B. Scherwiderstand) und die Bewegungen reduzieren;
- Massenveränderungen (Änderungen in Profil und Materialien).

Die Massnahmen werden oft kombiniert eingesetzt. Bei Massnahmenkombinationen bilden Entwässerungen fast immer einen Bestandteil davon. Massnahmen können auch zeitlich gestaffelt erfolgen. Unter dem Aspekt der Optimierung kann es sinnvoll sein, im Rahmen eines Gesamtkonzeptes die Wirkung einer Massnahmen-Etappe abzuwarten, bevor eine weitere realisiert wird.

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im Rahmen des Projekt A3 «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von Hangentwässerungen verschiedenster Art, Verankerungen und ähnlichen Bautypen, Injektionen und Ähnliche, Stützwerke und Schutzwald entwickelt [61]. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares und transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung jeglicher baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Bereich der Rutschprozesse kaum gesicherte Grundlagen. Solche Massnahmen sind deshalb immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

Die Wirkungsbeurteilung bei Hangmuren umfasst zwei Schritte:

1. Stabilitätsberechnungen wirksam/nicht wirksam;
2. Beurteilung der Flächenwirkung einer Massnahme bzw. des Massnahmenrasters bezüglich den minimal noch möglichen Ausbruchflächen. Verhindert der Verbau das Ausbrechen von Hangmuren < 1-2 Are, so kann die Massnahme als wirksam (++) betrachtet werden (Abbildung 1.5).

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Gleichung 5.1 (Teil A, Seite 57) bestimmt. Für die Investitionskosten existieren gegenwärtig keine Richtwerte; diese müssen für den Einzelfall bestimmt werden. Ebenso gibt es für die Bestimmung der jährlichen Betriebs- und Unterhalts- und Reparaturkosten keine allgemeinen Werte. Die Werte müssen ebenfalls für den Einzelfall erhoben und dokumentiert werden.

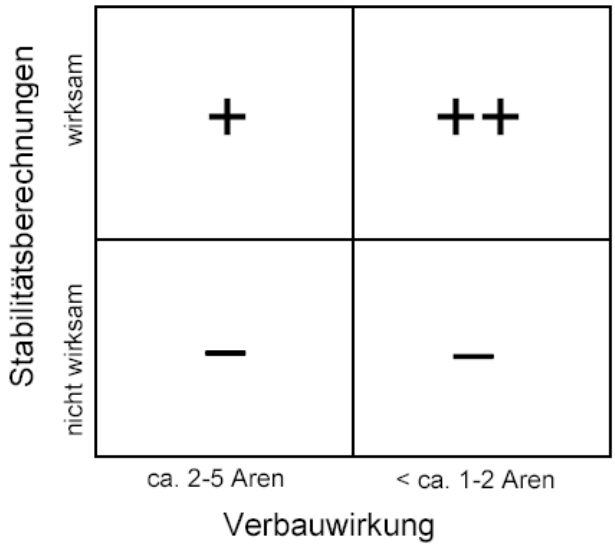


Abbildung 1.5: Beurteilung der Massnahmenwirkung bei Hangmuren aufgrund der Kriterien Stabilität und Verbauraster (++ = weitgehend wirksam, + = bedingt wirksam, kleine Ausbrüche sind noch möglich; - = unwirksam). Quelle: [61].

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach dem Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

Da es sich bei spontanen Rutschungen meist um relativ kleinräumige Phänomene handelt (Ausbrüche auf einer Fläche von 1 Are sind keine Seltenheit) und an diesen Standorten spezifische Bedingungen herrschen, drängen sich oft nur eine oder zwei Varianten oder Variantenkombinationen auf. In diesem Falle müssen pragmatische Lösungen gesucht werden. Die Kostenwirksamkeit muss jedoch trotzdem nachgewiesen werden, bei fehlenden Kombinationsvarianten muss u.U. mit der Zitierung von analogen, erfolgreichen Projekten der Nachweis untermauert werden.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Damit Massnahmen bewertet werden können, müssen sie vor einer ökonomischen Prüfung nach den Kriterien der Grenzkosten oder der Kostenwirksamkeit folgende Bedingungen erfüllen:

- Die Tragsicherheit und Funktionalität muss für das Bemessungsereignis erfüllt sein;
- Die Gebrauchstauglichkeit muss nachgewiesen sein;
- Die Massnahme muss auf eine optimale Lebensdauer ausgelegt sein;
- Aufgaben der Kontrolle, Unterhalt und Reparatur müssen verbindlich geregelt sein.

Auf der Basis dieser Grundlagen kann die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen werden. Dabei stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Neben den ökonomischen Kriterien sind weitere, auch sogenannte «weiche» Faktoren in den Entscheid einzubeziehen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse i.d.R. auf dem aktuellen Stand bezüglich einwirkenden Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die zeitliche Entwicklung eines Raumes nicht abgebildet.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Bantigental, Gemeinde Bolligen, Kanton Bern

2.1 Einleitung

Als Beispiel wird ein kleines Gebiet im Bantigental (Gemeinde Bolligen BE) verwendet, in dem im Jahre 2006 ein Wohnhaus durch eine Hangmure schwer beschädigt wurde.

Das N-S verlaufende Bantigental liegt nördlich des Bantigers im Kanton Bern. Das kleine Tal ist gekennzeichnet durch steile, teilweise bewaldete Abhänge mit anstehenden, aufgeschlossenen Sandsteinfelsen in den oberen Hangbereichen (Abbildung 2.1).

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

2.2.1.1 Grundlagen

Als Grundlagen dienten die geologischen Karten, sowie verschiedene Baugrundgutachten, welche aus dem Raum Bantigen vorliegen.

2.2.1.2 Geländebefunde

Das Untersuchungsgebiet umfasst zwei ständig bewohnte Wohnhäuser, die an einem gegen Osten abfallenden Hang liegen, welcher weiter oben im Wald von senkrecht abfallenden Sandsteinfelsen (ca. 10 – 15 m hoch) begrenzt ist. Darüber befindet sich die Hochebene der Stockeren (mit grossen Schäden durch den Orkan Lothar 1999 [86]). Oberhalb des südlichen Hauses bildet der Hang eine deutliche rinnenartige Mulde. Im oberen Teil ist die Mulde beidseitig von anstehendem Sandstein flankiert, der teilweise von geringmächtigem Verwitterungsmaterial überlagert wird. Die beiden Hangmuren- Ereignisse im Jahre 2006 haben die Mulde praktisch vollständig ausgeräumt. Heute

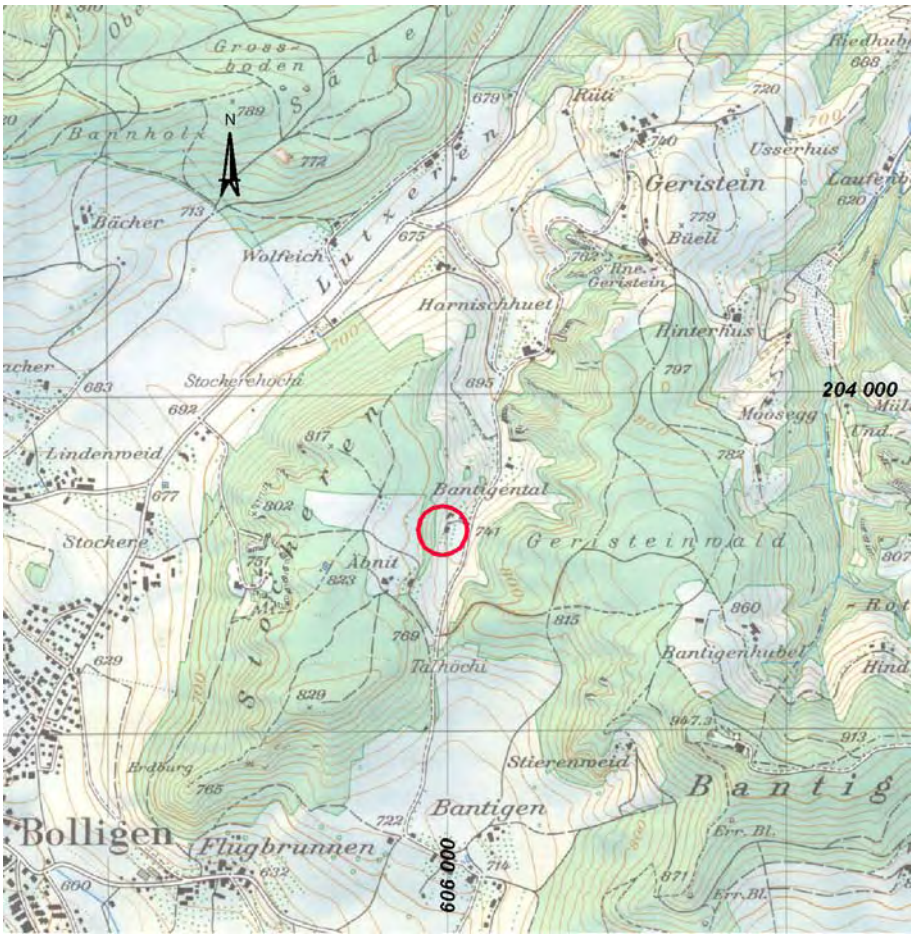


Abbildung 2.1: Ausschnitt Karte 1:25'000 mit Gebietsbegrenzung Beispiel Bantigental. © 2008 swisstopo (JD082774).

befinden sich nur noch kleine Lockermaterialdepots in der Rinne. Oberhalb der Sandsteinfluh bestehen offene Risse im Lockermaterial, welche teilweise bis zu 10 cm betragen. Diese Anzeichen deuten auf weitere mögliche Ereignisse hin.

In der Mulde im Anrissbereich der Hangmuren sammelt sich das Hangwasser aus dem gesamten überliegenden Einzugsgebiet und der Hochebene der Stockeren. Während lang andauernden Niederschlagsperioden oder bei der Schneeschmelze ist daher mit grossen Mengen anfallenden Wassers zu rechnen, welches über die Sandsteinfluh und die umliegenden Böschungen in diese Rinne gelangt. Bei einer Sättigung des Lockermaterials im Böschungsbereich der Rinne, wie auch oberhalb der Sandsteinfluh, können weiterhin kleine Lockermaterialpakete in die Rinne gleiten. Dadurch können sich über die Zeit beträchtliche Lockermaterialdepots in der Rinne aufbauen, die den Abfluss des Wassers behindern. Zudem befinden am Fusse der Felswand Sandsteinblöcke von 0.5 bis 1.0 m^3 Volumen. Auch diese Blöcke können bis in die Lockermaterialdepots abgleiten.

Es ist mit spontanen Rutschungen und Hangmuren und von Kubaturen von 50 m^3 und mehr zu rechnen.

2.2.1.3 Das Ereignis 2006

Am 4. März 2006, ereignete sich oberhalb eines Hauses eine Hangmure von ca. 500 m^3, welche bis zum Haus vordrang. Am 9. März 2006, erfolgte ein zweiter Schub mit erneut ca. 500 - 800 m^3 Volumen. Diese spontane Rutschung riss eine grosse Tanne sowie eine bereits früher umgefallene Buche mit. Dabei wurden die Einfahrt der Tenne zerstört und die bergseitige Hausmauer beschädigt. Der Holzstamm der Buche durchschlug die Hausmauer im 1. Stock und drang ins Haus ein. Die Ereignisse wurden durch Wasser ausgelöst. Bereits am 4.März 2006 fiel intensiver Regen und später setzte die Schneeschmelze ein. Von der Stockeren zufliessendes Oberflächenwasser wurde oberhalb der Sandsteinfluh kanalisiert und floss hier konzentriert in den oberen Bereich der Mulde. Die Durchnässung des vorhandenen ca. 5 m mächtigen Lockergesteinspakets löste die beiden Hangmuren aus. Der Prozess wurde zudem durch die mitgeführten grossen Bäume verstärkt.

Kausal von Bedeutung war die bereits mehrmals erwähnte Mulde. Sie kanalisierte den Wasserabfluss. Es ist wahrscheinlich, dass hier bereits früher Rutschungen stattgefunden haben.

2.2.1.4 Ereignisszenarien

Aufgrund der Analyse des Ereigniskatasters und den Geländebefunden wurden die Szenarien mit einer Jährlichkeit von 30, 100 und 300 Jahren angenommen. Bei allen Szenarien ist mit Anrissen der gesamten Lockermaterialmächtigkeit zu rechnen. D.h. die Anrisshöhe der Ereignisse beträgt oberhalb der Sandsteinfluh rund 0.7 m (Abbildung 2.2).

2.2.2 Wirkungsanalyse

2.2.2.1 Grundlagen

Die Grundlagen für die Wirkungsanalyse waren der Ereigniskataster und die Ereignisszenarien unterschiedlicher Jährlichkeit. Die Wirkung dieser Szenarien im Sinne von Intensität und räumlicher Ausdehnung wurde, basierend auf Erfahrungswerten, hauptsächlich anhand des Ereignisses 2006 abgeleitet.

2.2.2.2 Intensitätskarten

Die Intensitätskarten wurden gemäss den Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamer Tätigkeit» [45] mit den Klassen gering, mittel und schwach (Abbildung 2.3) dargestellt. Die Karten zeigen, dass die beiden Wohngebäude bereits beim 30-jährlichen Szenario mit geringer Intensität erreicht werden können. Sowohl beim 100- als auch beim 300-jährlichen Szenario sind beide Gebäude mit mittlerer Intensität betroffen (Abbildung 2.3).

(a) *Anrissstelle mit darüber liegender Sandsteinfluh.*

(b) *Detail der Anrissstelle, abgerutschtes Lockermaterial auf dem Fels.*

(c) *Rückstau durch das Gebäude.*

(d) *Zerstörung der Rückwand.*

Abbildung 2.2: Anrissstelle der Hangmure (a, b) und Auswirkungen am Gebäude (c, d). Foto: GEOTEST AG (a-d).

(a) (b) (c)

Abbildung 2.3: Intensitätskarten 30-jährlich (a), 100-jährlich (b) und 300-jährlich (c) vor Massnahmen. © 2008 swisstopo (JD082774).

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Bei den betroffenen Objekten handelt es sich um zwei ständig bewohnte Einfamilienhäuser. Es befinden sich keine weiteren Objekte im Prozessraum. Die Werte der Objekte wurden anhand der

Standardwerte aus EconoMe festgelegt. Das gesamte Schadenpotential der Sachwerte beträgt 1.3 Mio CHF.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Im Gebäude 1 halten sich 4 Personen auf, für das Gebäude 2 wurde die Annahme einer durchschnittlichen Belegung der Objekte gemäss Bundesamt für Statistik verwendet (1 Wohneinheit entspricht 2.24 Personen). Somit sind insgesamt 6.24 Personen exponiert. Werden die exponierten Personen mit 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall monetarisiert, dann beträgt das gesamte Schadenpotential der exponierten Personen 31.2 Mio. CHF.

2.4 Konsequenzenanalyse

Das Schadenausmass wurde anhand der Intensitätskarten und der Lage der fixen Objekte bestimmt. Dabei musste entschieden werden, ob das Objekt betroffen ist und welche Intensität für ein bestimmtes Szenario angenommen wurde. Dementsprechend erfolgte die Zuordnung. Die für die Bestimmung des Schadenausmasses notwendigen Faktoren räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, Schadenempfindlichkeit und Letalität wurden aus EconoMe übernommen (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.1: Schadenausmass in den Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich für das Fallbeispiel Bantigen.

Kategorie		**Sz30**	**Sz100**	**Sz300**
Gebäude	[CHF]	6’500	100’750	195’000
Personen	[Tf]	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$6.0 \cdot 10^{-3}$	$9.4 \cdot 10^{-3}$
Personen	[CHF]	156	30’056	46’800
Gesamt	[CHF]	6’656	130’806	241’800

2.5 Risikoermittlung

2.5.1 Kollektive Risiken

Durch Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit konnte das kollektive Risiko für Personen im Berechnungsprogramm EconoMe bestimmt werden.

Die Risiken ohne jegliche Massnahmen verteilten sich auf die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich. Für die Sachwerte ergab sich ein Risiko von 1473 CHF/a und für die Personenrisiken ein Wert von 360 CHF/a. Das Gesamtrisiko betrugt 1’833 CHF/a.

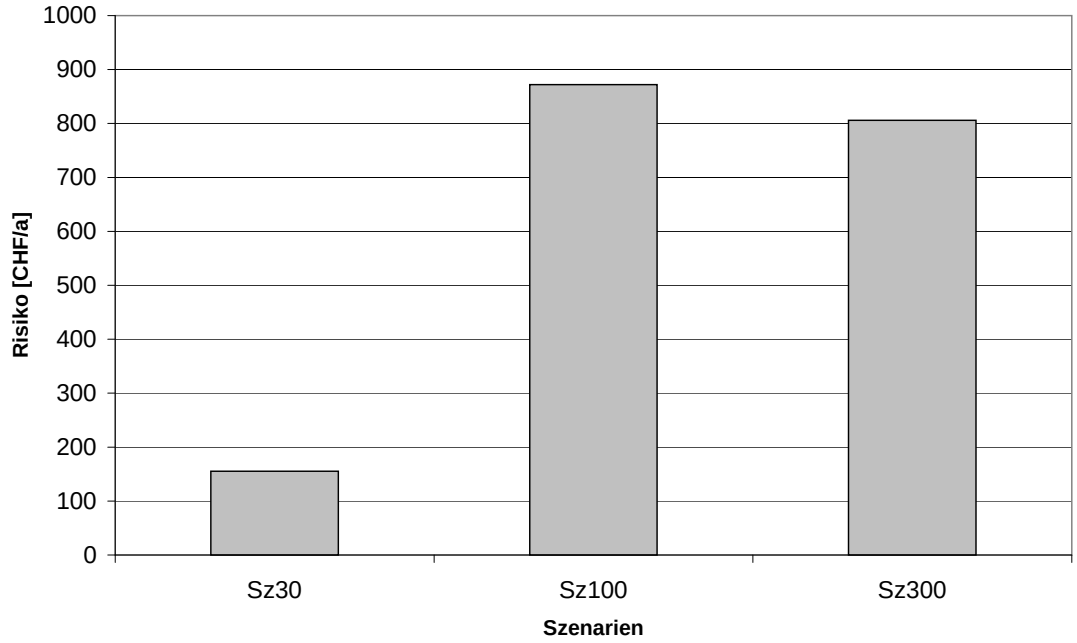


Abbildung 2.4: Verteilung der Risiken im Fallbeispiel Bantigen.

2.5.2 Individuelle Risiken

Das individuelle Risiko wurde für eine Person bestimmt, die sich in Gebäude 1 bzw. 2 während 18 h pro Tag aufhält. Es ergab sich ein individuelles Risiko von $1.1 \cdot 10^{-5}$ für eine Person im Gebäude 1 und $2.9 \cdot 10^{-6}$ für eine Person im Gebäude 2.

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Die Verteilung der kollektiven Risiken ist in Abbildung 2.4 dargestellt. Es zeigte sich, dass vor allem das 100-jährliche und das 300-jährliche Szenario zum Gesamtrisiko beitragen.

2.6.2 Individuelle Risiken

Das individuelle Risiko für eine Person in Gebäude 1 lag gemäss den Schutzzielen für unfreiwillige individuelle Risiken mit $1.1 \cdot 10^{-5}$ über dem definierten Grenzwert (vgl. Tabelle 4.2, Seite 43). Auch eine Person in Gebäude 2 hatte eine erhöhtes individuelles Risiko zu tragen. Aus Sicht des Individualrisikos bestand somit ein Schutzdefizit.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Um die Risiken zu senken, wurden für dieses Fallbeispiel folgende Massnahmen diskutiert bzw. für die Planung heranzogen.

2.7.1 Raumplanerische Massnahmen

Für das Untersuchungsgebiet besteht bereits eine lokale Gefahrenkarte. Die Gebäude liegen beide in der blauen Gefahrenzone. Ohne zusätzliche technische Massnahmen sollen hier keine weiteren Baugebiete mehr ausgeschieden werden.

2.7.2 Biologische Massnahmen

Die Rinne und die Anrisszone kann mittels Stecklingen und Hydrosaat begrünt werden. Diese Massnahme ist aber nur in Kombination mit technischen Bauwerken sinnvoll. Als alleinstehende Massnahme erzielt sie keine positive Wirkung betreffend der Gefahrensituation.

2.7.3 Organisatorische Massnahmen

Organisatorische Massnahmen im Sinne eines Frühwarndienstes wurden diskutiert, sind jedoch kaum realisierbar, da die Vorwarnzeiten zu kurz sind.

2.7.4 Technische Massnahmen

Bei den technischen Massnahmen wurden drei Varianten für das Gebäude 1 diskutiert:

Holzkastenverbau am Rinnenende oberhalb Gebäude 1: In der Rinne bestehen weitere kleine Lockermaterialdepots. Zur Stabilisierung dieser Materialpakete kann ein Holzkasten ca. 7 m oberhalb des Rinnenendes erstellt werden (Länge: 15 m, Höhe 3 m). Der Holzverbau muss seitlich gut in den bestehenden Böschungen abgestützt werden. So kann eine optimale Stabilität gewährleistet werden.

Damm am Rinnenende oberhalb Gebäude 1: Am Rinnenende kann ein 2 m hoher Damm erstellt werden. Dieser müsste aufgrund der geringen Platzverhältnisse bergseits mit Blockwurf geböscht werden. Die Länge der Schutzmassnahme beträgt 16 m.

Drainage im Anrissgebiet: Der oberste Teil der Rinne (ca. 1/3) verläuft auf dem glatten Fels. Weiter unten bestehen kleine Lockermaterialdepots, welche den anstehenden Fels überlagern. Die Entwässerung sollte bei diesen Lockermaterialdepots angesetzt werden (Distanz bis zum Rinnenende ca. 25 m). Die Sickerleitung sollte dabei auf dem Fels angebracht werden.

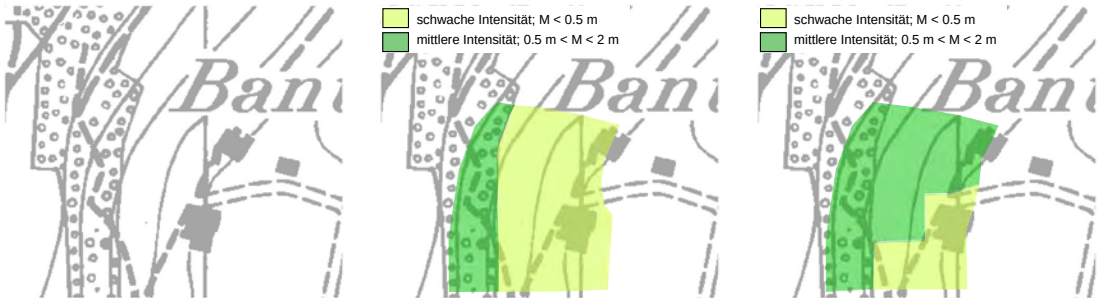
Weiter unten besteht die Gefahr der Auswaschung der Strassenkofferung durch Hangwasser. Das Einlegen eines Sickerstranges unmittelbar oberhalb des Gebäudes ist erforderlich. Dadurch kann das aus dem südwestlichen Hangbereich strömende Hangwasser gefasst und mit einem Schacht in die Drainageleitung der Rinne gelenkt werden.

Aufgrund der Geländebefunde reichen die einzelnen Massnahmen nicht aus, um die Gefahrensituation massgeblich zu verbessern. Es drängt sich eine Kombination dieser drei technischen Massnahmenvarianten auf.

2.8 Wirksamkeit

2.8.1 Konsequenzenanalyse nach Massnahmen

Bei der Beurteilung der Gefährdung nach Massnahmen werden nur die dauernd wirksamen Schutzbauten einbezogen. Damit können die Intensitätskarten nach Massnahmen dargestellt werden (Abbildung 2.5).



(a) (b) (c)

Abbildung 2.5: Intensitätskarten 30-jährlich (a), 100-jährlich (b) und 300-jährlich (c) nach Massnahmen. © 2008 swisstopo (JD082774).

Das Schadenausmass in den Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich reduziert sich dementsprechend. Die Ergebnisse der Konsequenzenanalyse nach Massnahmen sind in Tabelle 2.2 dargestellt.

Tabelle 2.2: Schadenausmass in den Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich für das Fallbeispiel Bantigen nach Massnahmen.

Kategorie	**Sz30**	**Sz100**	**Sz300**
Gebäude [CHF]	0	6'500	100'750
Personen [Tf]	0	$3.1 \cdot 10^{-5}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$
Personen [CHF]	0	156	16'900
Gesamt [CHF]	0	6'656	117'650

Das Gesamt-Schadenausmass nach den Massnahmen setzt sich zu 14 % aus dem Schadenausmass Personen und 86 % aus dem Schadenausmass Sachwerte zusammen. Es wird zudem klar vom 300 jährlichen Ereignis dominiert.

2.8.2 Risikoermittlung nach Massnahmen

Die Risiken verteilen sich auf die Szenarien 30-, 100- und 300-jährlich. Für die Sachwerte ergibt sich ein Risiko von 379 CHF/a und für die Personenrisiken ein Wert von 57 CHF/a. Vergleicht man

diese Werte mit denjenigen vor Massnahmen so kann für das 30- und das 100 jährliche Ereignis eine massive Reduktion festgestellt werden.

Das individuelle Todesfallrisiko sinkt für eine Person im Gebäude 1 auf einen Wert von $4{\cdot}10^{-8}$ und für eine Person im Gebäude 2 verbessert sich der Wert leicht auf $4{\cdot}10^{-6}$. Die Werte liegen damit unterhalb den Grenzwerten (Teil A, Tabelle 4.1 und 4.2, Seite 42f).

2.9 Kosten

Die Investitionskosten der Massnahmen betragen:

Tabelle 2.3: Investitionskosten Massnahmenkonzept Fallbeispiel Bantigen.

Massnahme	**Kosten** [CHF]
Holzkasten (20 m^3) inkl. Sickerleitung	12'000
Erddamm (24 m)	5'000
Entwässerung (80 m)	11'000
Projektierung/Bauleitung	16'500
Gesamt	44'500

Die jährlichen Unterhaltskosten wurden mit 500 CHF/a bestimmt, die Lebensdauer der Massnahme beträgt 50 Jahre. Betriebskosten fallen keine an. Damit errechneten sich jährliche Kosten in der Höhe von 1'835 CHF/a.

2.10 Massnahmenbewertung

Die Gegenüberstellung der mit der Massnahme erzielten jährlichen Risikoverminderung und der jährlichen Kosten der Massnahme ergab ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.8. Da für dieses Beispiel nur eine Massnahmenkombination möglich war, war es nicht möglich ein Risiko-Kosten-Diagramm zu zeichnen. Obwohl das Nutzen-Kosten-Verhältnis knapp keine Wirtschaftlichkeit des Projektes anzeigte, war es aufgrund des erhöhten individuellen Todesfallrisikos notwendig, die Massnahmen auszuführen.

2.11 Realisierte Massnahmen

Die beschriebene Massnahmenkombination wurde ausgeführt. So wurde ein Holzkasten gebaut, der Hang drainiert und oberhalb des Gebäudes 1 ein kleiner Damm errichtet.

2.12 Weitere Einflussfaktoren

Es wurden keine weiteren Einflussfaktoren für die Massnahmenbewertung berücksichtigt.

Kapitel 3

Fazit

Da die Prozesse der spontanen Rutschungen und Hangmuren oft auf sehr kleine Einzelgebiete (wenige Aren) beschränkt sind, zeigen sich bei der Anwendung des vorliegenden Risikokonzepts die Grenzen. Dabei können nicht alle Schritte mit den dazu erforderlichen Daten ausgeführt werden.

Das Fallbeispiel stellte ein in der Praxis klassisches, häufig zu bearbeitendes Problem dar. Es zeigte sich, dass beim Durcharbeiten der Schritte des Risikokonzepts wichtige Ergebnisse zu Stande kommen, die sonst nur implizit und ohne Dokumentation im Projektbericht erfasst werden.

Das Durcharbeiten der Schritte des Risikokonzepts erlaubt auch bei sehr kleinen Projekten eine nachvollziehbare und unmissverständliche Risikoanalyse und Risikobewertung.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für einen detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess spontane Rutschung/Hangmure zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude[1]								
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.05	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Mehrfamilienhaus[2]	550000.00	Stück	0.05	0.30	0.50	0.0003	0.003	0.03
Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox[3]	60000.00	Stück	0.10	0.50	0.80	0.0050	0.100	0.50
Hotel - Gästehaus	492.00	m^3	0.07	0.30	0.50	0.0005	0.003	0.03
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m^3	0.10	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Einkaufszentrum	540.00	m^3	0.10	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Schule/Kindergarten	580.00	m^3	0.07	0.30	0.50	0.0003	0.003	0.03
Spital	850.00	m^3	0.10	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Kirche	720.00	m^3	0.05	0.20	0.30	0.0010	0.010	0.10
Bahnhof	530.00	m^3	0.10	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Stationsgebäude Mechanische Aufstiegshilfe	500.00	m^3	0.10	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m^3	0.07	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Öffentliche Gebäude	810.00	m^3	0.05	0.30	0.50	0.0010	0.010	0.10
Stall	180.00	m^3	0.05	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Schuppen / Remise	80.00	m^3	0.02	0.50	1.00	0.0100	0.100	0.20

[1] Alle mit Einheit m^3: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

[2] I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

[3] Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und numeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte[4]								
Kraftwerk		Stück	0.10	0.20	0.40	0.0010	0.010	0.10
ARA		Stück	0.01	0.20	0.50	0.0010	0.010	0.10
Deponie		Stück	0.01	0.20	0.40	0.0050	0.100	0.50
Campingplatz		Stück	0.30	0.80	0.80	0.0500	0.700	1.00
Schutzbauwerk		Stück	0.001	0.20	0.40	0.0000	0.000	0.00
Wasserreservoir		Stück	0.01	0.30	0.60	0.0010	0.010	0.10
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.01	0.50	0.90	0.0500	0.700	1.00
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m’	0.10	0.20	0.30	0.0500	0.100	0.30
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m’	0.10	0.20	0.50	0.0500	0.500	0.80
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m’	0.10	0.50	0.80	0.0500	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m’	0.10	0.50	0.80	0.0500	0.700	0.90
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m’	0.10	0.60	0.90	0.0500	0.700	0.90
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m’	0.10	0.50	1.00	0.0500	0.700	0.90
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m’	0.10	0.50	0.80	0.0500	0.700	0.90
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m’	0.10	0.20	0.80	0.0500	0.700	0.80

[4] grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separtes Objekt z.B als Wohneinheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m'	0.10	0.20	0.30	0.0500	0.100	0.30
Schienenverkehr								
Einspur	6300.00	m'	0.40	0.70	1.00	0.0500	0.001	0.01
Doppelspur	10400.00	m'	0.40	0.70	1.00	0.0500	0.001	0.01
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m'	0	0	1.00	0.0500	0.001	0.01
Brücke Doppelspur	420000.00	m'	0	0	1.00	0.0500	0.001	0.01
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0	0.50	1.00			
Durchtrennung Kabelanalage innerhalb des Kabelkanals (pro Schadenstelle)	21000.00	Anz.	0.50	1.00	1.00			
Frei wählbares Objekt		m'	0.50	1.00	1.00			
Mechanische Aufstiegshilfe								
Sklilift		m'	0.10	0.70	0.90	0	0	0
Sessellift		m'	0.10	0.50	0.90	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.70
Gondelbahn		m'	0.10	0.50	0.90	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-8}$	0.70
Luftselbahn		m'	0.01	0.30	0.90	$1 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	0.90
Standseilbahn Zahnradbahn		m'	0.50	0.70	1.00	$1 \cdot 10^{-9}$	0.010	0.20
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) ≤ 60 kV	400000.00	Mast	0.01	0.10	0.30			
Hochspannungsleitung > 60 kV	1000000.00	Mast	0.01	0.10	0.30			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m'	0.05	0.10	1.00			
Strom unter Terrain		m'	0	0.50	1.00			
Wasser auf Terrain		m'	0.50	1.00	1.00			
Wasser unter Terrain	800.00	m'	0	0.50	1.00			
Gas auf Terrain		m'	0.50	1.00	1.00			
Gas unter Terrain	600.00	m'	0	0.50	1.00			
Telekommunikation auf Terrain		m'	0.50	0.50	1.00			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m'	0	0.50	1.00			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m'	0	0.50	1.00			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.01	0.03	1.00			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.03	0.05	1.00			
Schutzwald	1000.00	a	0.20	0.50	0.90			
Nutzwald	200.00	a	0.30	0.60	1.00			
Rebberg	6000.00	a	0.20	0.35	1.00			
Gemüsekultur	5000.00	a	0.10	0.10	1.00			
Obstplantagen		a	0.30	0.60	1.00			
Parkanlage		a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00
Friedhof		a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.30	0.50	1.00	0.0500	0.700	1.00

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Hangmure/spontane Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien (Jährlichkeit)					
			30	100	300			
alle Objekte			0.10	0.50	0.80			

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS PERMANENTE RUTSCHUNGEN

Bernhard Krummenacher, Guiseppe Franciosi

Permanente Rutschung Conters i.P. (B. Krummenacher, Geotest)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen permanente, tiefgründige Rutschungen vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzobjekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Auf Hintergründe zu den einzelnen Arbeitsschritten wird daher weitgehend verzichtet.

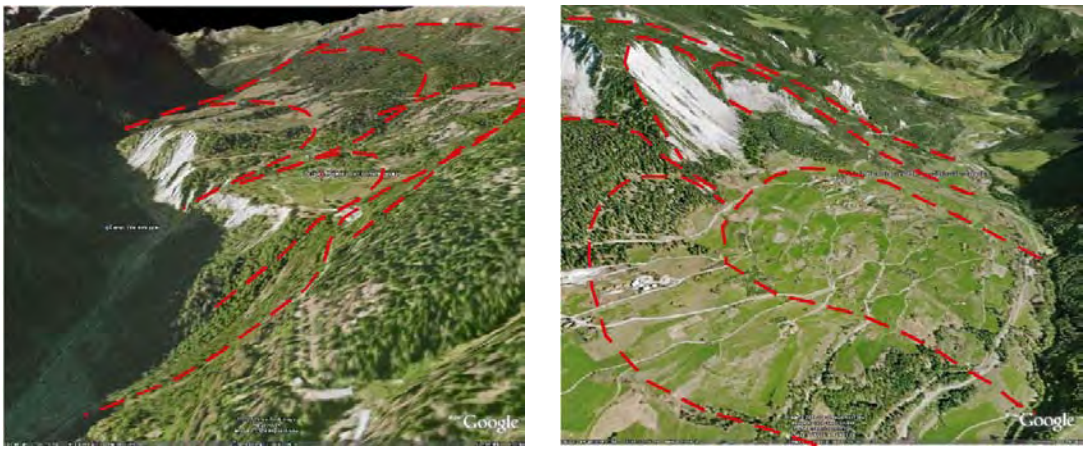
Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt werden die komplexen Prozesse der permanenten, tiefgründigen Rutschungen charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden kurz bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird das Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung der Prozesse der permanenten, tiefgründigen Rutschungen

Da permanente, tiefgründige Rutschungen (mächtiger als 10 Meter), wie der Name schon sagt, die dritte Dimension in einem Bereich erfassen, der nicht oder nur schwer zugänglich ist, ist auch das raum-zeitliche Verhalten oft nur grob erfassbar. In der Tiefe können sich verschiedene Bewegungen überlagern. Im Gelände sind die Formen an der Oberfläche weniger gut erkennbar als bei flach- und mittelgründigen Rutschungen. Oft sind aber den tiefgründigen Rutschungen flach- und mittelgründige Rutschungen überlagert. Um diese Prozesse differenziert erfassen zu können, sind Aufnahmen aus grösserer Distanz dringen nötig, so z.B. vom Gegenhang, aus Luft- und Satelitenbildern oder 3D-Ansichten in Google-Earth (Abbildung 1.1). Sehr gute Geländeanalysen können mit dem neuen DTM-AV von Swisstopo gemacht werden, indem im GIS ein «hillshade» erstellt

wird, das mit unterschiedlichen Beleuchtungsrichtungen und Überhöhungen dargestellt wird. Um die Mächtigkeit einer tiefgründigen Rutschung ermitteln zu können, sind direkte oder indirekte Messmethoden einzusetzen. Als indirekte Methoden eignen sich die geophysikalischen Methoden der Seismik und Geoelektrik, bei den direkten Methoden Bohrungen mit Instrumentierung, Kernaufnahme, Messung der Hangwasserverhältnisse und Inklinometerdaten.



(a) Permanente Rutschmasse Campo Vallemaggia (b) Permanente Rutschmasse Brienz, Albulatal

Abbildung 1.1: Übersichtsbilder permanenter Rutschungen. Aus der generellen Talform und der lokalen geomorphologischen Gross- Mittel- und Kleinformen kann die Rutschmasse und deren Mächtigkeit grob abgeschätzt werden. Die rot gestrichelten Linien zeigen die Grossbruchränder, d.h. die Begrenzungen der einzelnen Schollen der permanenten, tiefgründigen Rutschmassen. Aus: Google-Earth.

Einteilung im weiteren Sinne. Rutschungen im weiteren Sinne lassen sich gemäss Abbildung 1.2 in verschiedene Prozesse unterteilen.

Permanente Rutschungen: Rutschungen (meist tiefgründige Rotations- – oder Translationsrutschungen), die sich kontinuierlich und gleichmässig über lange Zeiträume (Jahrhunderte, Jahrtausende) hangabwärts bewegen. Die Bewegungen erfolgen meist längs mehr oder weniger deutlich ausgebildeter, bestehender Gleitflächen. Hinsichtlich der Beurteilung von Schutzmassnahmen ist die Klasse permanenter, tiefgründiger Rutschungen jedoch noch differenzierter zu betrachten. Eine Unterscheidung in tiefgründige (bis 20-30 m u. T.) und sehr tiefgründige (> 30 m u. T.) Rutschungen ist notwendig, weil die Einsatzmöglichkeiten baulich-technischer Massnahmen bei sehr tiefgründigen Rutschungen in vielen Fällen v.a. aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eingeschränkt sind. Zudem kann die Beherrschbarkeit sehr tiefgründiger Rutschungen technisch äusserst anspruchsvoll werden [61].

Hangkriechen: Über längere Zeiträume anhaltende langsame Verformungen im Lockergestein oder Fels. Dabei finden bruchlose, kontinuierliche Verformungen auf zahlreichen Kleinsttrennflächen statt. Innerhalb von permanenten Rutschkörpern bilden sich meist Bereiche mit mehr oder weniger ausgeprägtem Hangkriechen.

Spontane Rutschungen: Plötzlich und schnell ablgeitende Massen. Es sind Lockergesteinsmassen, die infolge eines plötzlichen Verlustes der Scherfestigkeit unter Ausbildung einer Bruchfläche (=Gleitfläche) plötzlich und schnell abgleiten. Meist sind es flach- bis mittelgründige Translations- oder Rotationsrutschungen. Bei einem hohen Wasseranteil können daraus auch Hangmuren entstehen.

An der übersteilen Stirn einer permanenten Rutschung bilden sich oft spontane Rutschungen, die gelegentlich auch als sog. «Sekundärrutschungen» bezeichnet werden. Bei spontanen Rutschungen bilden sich stets neue Bruchflächen.

Hangmuren : Relativ rasch abfliessendes Gemisch aus Lockergestein (meist nur der Boden) und Wasser.

Abbildung 1.2: Schematische Übersicht über verschiedene Typen von Rutschungen. Quelle: [17].

Das raum-zeitliche Verhalten von verschiedenen Rutschungsgtypen ist in Abbildung 1.3 dargestellt

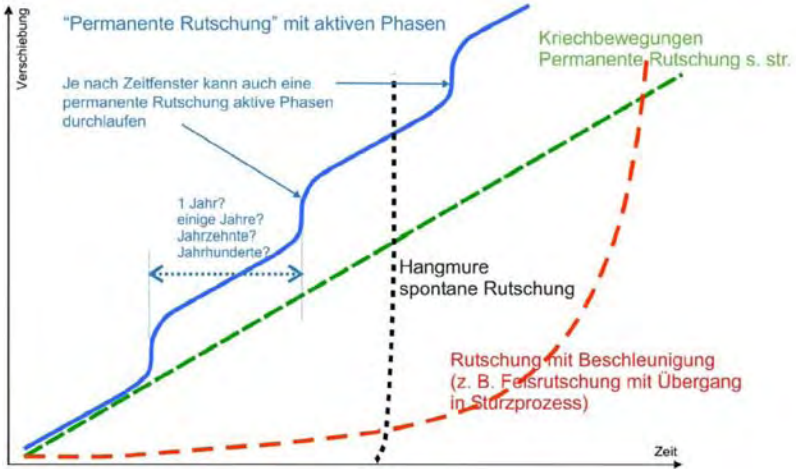


Abbildung 1.3: Raum-zeitliches Bewegungsverhalten von verschiedenen Typen von Rutschungen. Die grünen und die blauen Linie zeigen das Bewegungsbild von permanenten Rutschungen. Quelle: [61].

Bei tiefgründigen Rutschungen sind die Lage einer allfälligen Gleitfläche und das Bewegungsmuster im vertikalen Profil die entscheidenden Merkmale bei der Gefahrenbeurteilung. Inklinometermessungen in Bohrlöchern über eine längere Zeitperioden einerseits und die Messung der Hangwasserverhältnisse andererseits sind zwingend erforderlich, um eine exakte Interpretation der Bewegungen machen zu können. Abbildung 1.4 zeigt verschiedene Bewegungsbilder.

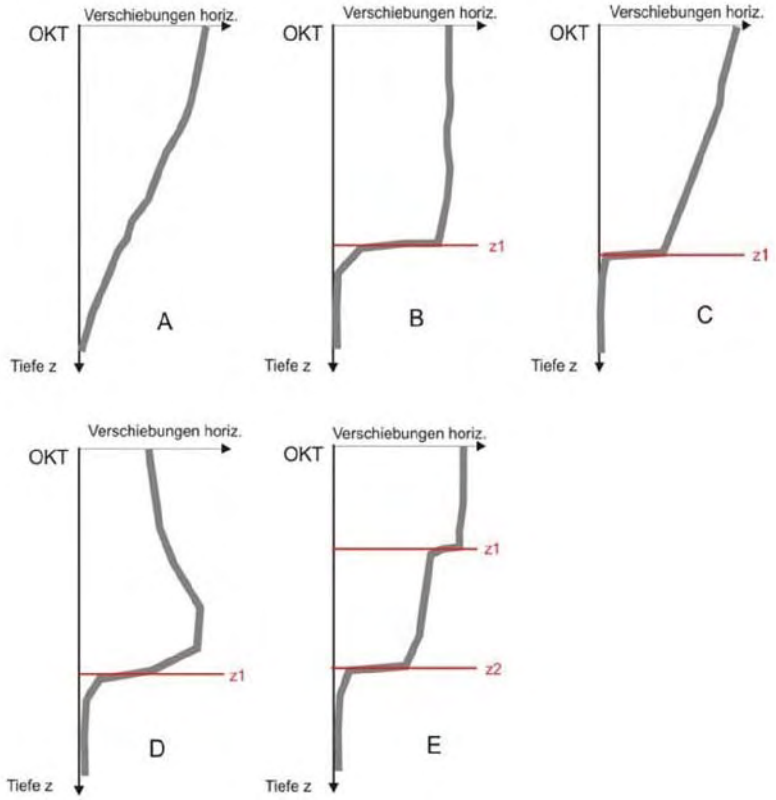


Abbildung 1.4: Beispiele möglicher Bewegungsbilder in Vertikalschnitten instabiler Hänge. A: gleichförmige Kriechbewegungen; B: gleichmässige Bewegungen oberhalb deutlich ausgebildeter Gleitfläche in Tiefe z1; C wie B, aber überlagert durch Kriechbewegungen; D: unregelmässige Bewegungen oberhalb einer Gleitfläche in Tiefe z1 mit Bewegungsmaxima unterhalb der Terrainoberfläche; E: Rutschkörper mit zwei deutlich ausgebildeten Gleitflächen z1, z2 Quelle: [61].

1.2 Risikoanalyse beim Prozess der permanenten, tiefgründigen Rutschungen

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Wie bei allen andern gefährlichen Naturprozessen erfolgt die Gefahrenbeurteilung einerseits auf der Basis von früheren Ereignissen mit der Analyse der Einträge im Ereigniskataster. Die Untersuchungen gliedern sich in verschiedene Arbeitsschritte. Neben der Auswertung der vorhandenen Gutachten und Ereignisaufzeichnungen werden mit Hilfe einer Luftbildanalyse (Fotogeologie) die sensiblen Gebiete ausgeschieden und die grossen zusammenhängenden Formen der Tektonik und Geomorphologie kartiert (siehe Grundlagenkarten).

Ein weiterer wichtiger Teil ist die Analyse von Daten aus der amtlichen Vermessung. Bei permanenten, tiefgründigen Rutschungen sind lange Messreihen von geodätischen Messpunkten als Grundlage für die Gefahrenbeurteilung zwingend erfoderlich. Ebenso sind die Analyse von Luftbildern aus verschiedenen Zeiträumen und neu auch Analysen von Radarinterferometrie - Messungen sehr hilfreich.

Da das Wasser die treibende Kraft von Rutschungen ist, ist der Analyse der Historie des Rutschverhaltens besondere Beachtung zu schenken (geodätische Messreihen korrelieren mit der Niederschlagsgeschichte, Schneeschmelze, Erosion am Hangfuss, Erdbeben, anthropogene Einflüsse, Landnutzung, usw.).

Entsprechend den geologischen Gegebenheiten werden die geotechnischen Eigenschaften (Innere Reibung und Durchlässigkeit) abgeschätzt oder anhand Bohrkernen bestimmt.

Bei der Geländeanalyse werden mittels geologischer- und geomorphologischer Kartierung alle Phänomene aufgenommen, die im Zusammenhang mit Rutsch- und Kriechprozessen eine Bedeutung haben, und in der Grundlagenkarte (Karte der Phänomene) dargestellt. Ebenfalls sind innerhalb der meist sehr grossräumigen permanenten Rutschkörpen auch Formen von flach- und mittelgründigen Rutschungen zu kartieren, sie können Hinweise auf Bewegungsaktivitäten in den tiefgründigen Rutschkörpern geben. Die Verschiebungsvektoren von Messpunkten müssen ebenfalls in der Grundlagenkarte dargestellt werden. Mir der synoptischen Darstellung all dieser Elemente kann das Prozessverständnis massiv erleichtert werden.

Als Ergebnis der Ereignisanalyse werden die massgebenden Szenarien festgelegt, welche mit dem Auftraggeber abgestimmt und entsprechend begründet werden müssen.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Für Rutschprozesse wird die Intensität als Geschwindigkeitskriterium definiert. Basis für die Bestimmung der Bemessungsparameter Geschwindigkeit sind Messungen im Gelände über längere Zeiträume und geologisch- geotechnische Analysen, bzw. Analogieschlüsse zu dokumentierten Ereignissen. Aus Schadenbildern alleine können bei fehlender zeitlicher Dokumentation keine verlässlichen Bewegungsgeschwindigkeiten abgeleitet werden.

In den Empfehlungen 1997 zur Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten [45], sind die entsprechende Werte für schwache, mittlere und starke Intensitäten tabellarisch zusammengestellt (Tabelle 1.1).

Tabelle 1.1: Kriterien zur Beurteilung der Intensität von Rutschprozessen gemäss Empfehlungen [45] auf S. 26.

Prozess	**schwache Intensität**	**mittlere Intensität**	**starke Intensität**
Rutschung	v:≤ 2 cm/Jahr	v:dm/Jahr ($>$2cm/Jahr)	starke Differential-bewegungen; $v > 0.1$ m/Tag bei oberflächlichen Rutschungen; Verschiebungen $>$ 1 m pro Ereignis
Hangmure potentiell	$M < 0.5$ m	0.5 m $< M < 2$ m	$M > 2$ m
Hangmure real	–	$h < 1$ m	$h > 1$ m
Ansenkung, Dolinen	–	Dolinen	–

M = Mächtigkeit der mobilisierbaren Schicht;
h = Mächtigkeit der Ablagerung durch Hangmure;
v = langfristige durchschnittliche Rutschgeschwindigkeit.

Für die Beurteilung der Rutschungen wurde vom BWG in Ergänzung zu den Richtlinien von 1997 [45] eine Studie an die AGN, Arbeitsgruppe Geologie und Naturgefahren der Schweizerischen Fachgruppe für Ingenieurgeologie, SFIG, in Auftrag gegeben. Diese Studie zeigt eine Möglichkeit, die komplexen Rutschprozesse differenziert zu beurteilen. Nachfolgend sind die wichtigsten Elemente dieser Studie [17] bezüglich der permanenten Rutschungen zusammengefasst.

Die AGN schlägt auf Basis der in den Richtlinien 1997 vorgegebenen Intensitätsstufen schwach, mittel und stark, vor, mit sog. Ver- und Entschärfungsparametern die Einstufung differenzierter vorzunehmen. Dazu wurde ein Flussdiagramm entwickelt, das als Entscheidungshilfe verwendet werden kann (Abbildung 1.5).

Weitere detaillierte Informationen zum Vorschlag AGN sind in der zitierten BWG Studie enthalten [17].

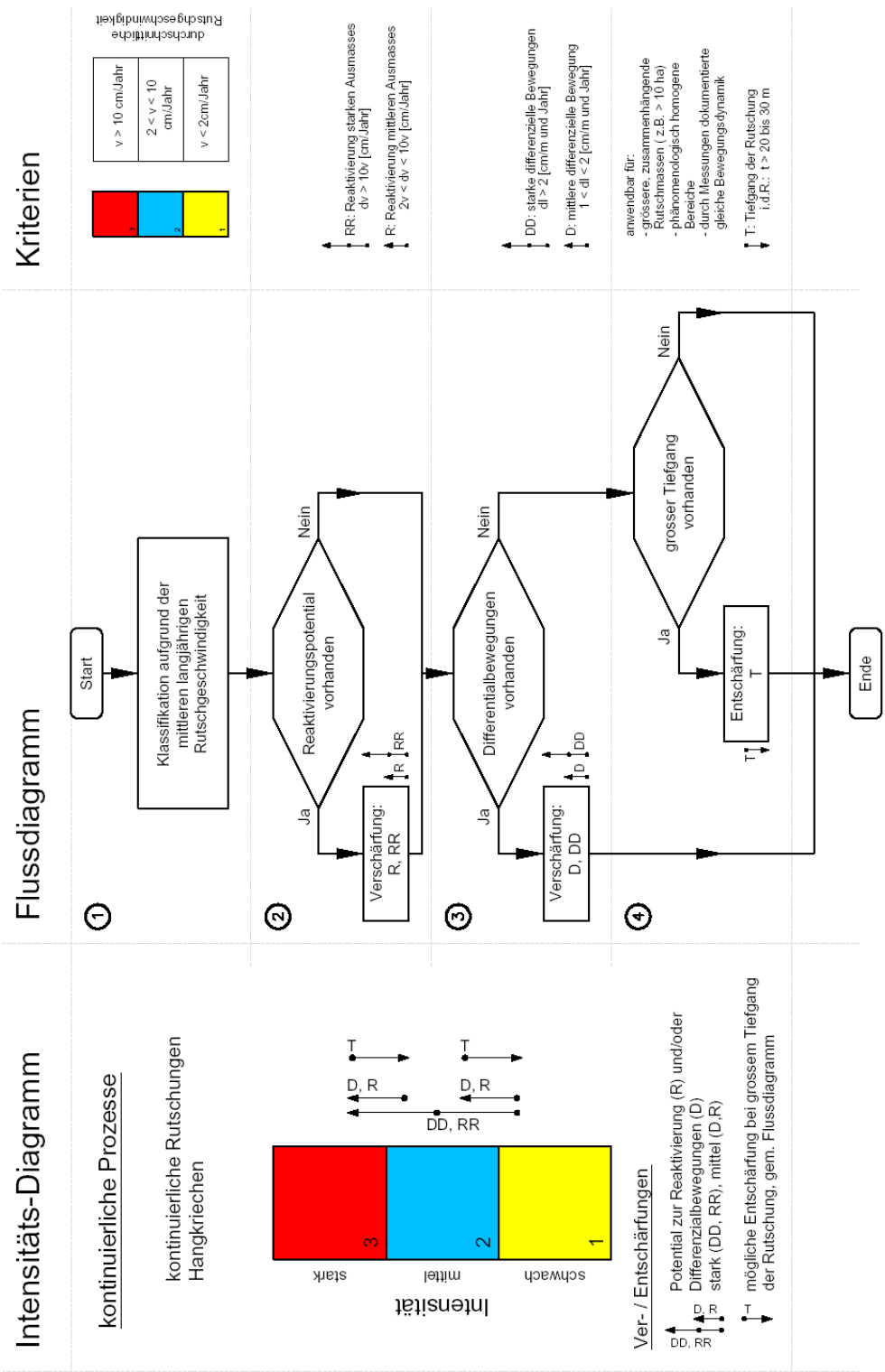


Abbildung 1.5: Flussdiagramm und Kriterien zur Beurteilung von permanenten Rutschungen; Quelle: [17]

1.2.2 Expositionsanalyse

Permanente Rutschungen können Gebäude, Infrastrukturen, Verkehrswege sowie ober- und unterirdische Leitungen beinträchtigen. Permanente Rutschungen sind immer in Bewegung und haben somit eine ausreichend grosse «Vorwarnzeit». Nach extremen Niederschlagsperioden z.T. noch in Verbindung mit der Schneeschmelze können permanente Rutschungen temporär und lokal oder als gesamter Rutschkomplex aktiviert werden. Zum Beispiel wurden bei der Schneeschmelze nach dem Jahrhundertwinter 1999 im Frühjahr 2000 zahlreiche permanente Rutschkörper aktiviert.

Da permanente Rutschungen in der Regel kleine Verschiebungsbeträge aufweisen und grossflächig auftreten, sind Objekte mit kleiner Ausdehnung nur geringen Kräften ausgesetzt und «schwimmen» in der Regel auf der Rutschmasse mit. Anders ist es an den Rändern der Rutschgebiete oder in Gebieten mit differenziellen Bewegungen. Hier können auf kurzen Distanzen sehr grosse differenzielle Bewegungen auftreten. Falls Objekte direkt auf diesen Scherbereichen liegen, ist die Schadenempfindlichkeit hoch. Da aber die Bewegungen relativ klein sind, können Personen in den Objekten rechtzeitig die Gefahrenstellen verlassen und somit ist die Letalität generell sehr gering bis vernachlässigbar.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Bei der Konsequenzenanalyse wird für jedes Objekt im Prozessraum bestimmt, ob und in welchem Mass (Intensität) es durch Rutschbewegungen betroffen ist. Expositionsanalysen können bei Bedarf (siehe oben) durchgeführt werden. Dies ist dann sinnvoll, wenn innerhalb des permanenten Rutsch-Perimeters Stellen vorhanden sind (übersteile Stirnbereiche), wo spontane Rutschungen möglich sind. Objekte in Bereichen mit differenziellen Bewegungen unterliegen Scherkräften, die sie stark beanspruchen und zur langsamen Zerstörung führen können (Abbildung 1.6).

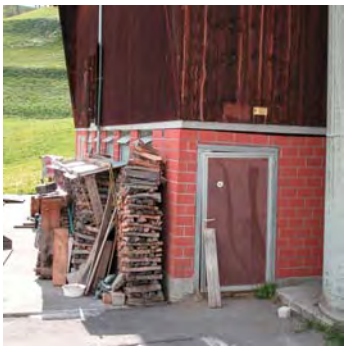
Da die lokale Position und die Bauart/Struktur des Gebäudes sehr entscheidend für die Schäden und damit die Risiken sind, ist die Definition einer einheitlichen Schadenempfindlichkeit für ein Objekt sehr schwierig und nicht empfehlenswert. Für Objekte im Bereich von differenziellen Scherbewegungen ist die Schadenempfindlichkeit generell hoch anzusetzen. In Bereichen mit kontinuierlichem Hangkriechen eher gering. Für eine genaue Risikoanalyse ist es jedoch unabdingbar die lokale Situation genau zu untersuchen.

1.3 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Da bei den permanenten Rutschungen in der Regel nur Sachwerte betroffen sind, müssen primär auch nur Sachrisiken bewertet werden. Wenn innerhalb einer grossflächigen permanenten Rutschmasse Bereiche mit einer Disposition zu spontanen Rutschungen und Hangmuren vorhanden sind, müssen diese Geländestellen mit den im Einflussbereich dieser Prozesse liegenden Objekte und Personen separat bewertet werden. Eine doppelte Bewertung (permanente und spontane Rutschungen) ist gegebenenfalls erforderlich.

(a) *Stützmauer im Bereich mit differenziellen Bewegungen. Die Mauer wird zerrissen und verschoben. Der Handlauf aus Stahl wird duktil verbogen (Verschiebung ca. 0.5 cm / Jahr).*



(b) *Gebäude auf Scherzone. Das Gebäude wird diagonal zerrissen, die Struktur kann den Scherkräften nicht standhalten. Seitenmauer und Decke werden gegenseitig verschoben, die Türe kann nicht mehr geschlossen werden.*

(c) *Gebäude auf Kriechhang innerhalb einer tiefgründigen permanenten Rustchmasse. Dank den duktilen Bauteilen aus Holz wird das Gebäude nicht zerrissen, sondern macht die Bewegung mit und steht schief.*

Abbildung 1.6: Auswirkungen von permanenten Rutschungen auf Gebäude. Beispiele aus Seewis, Prättigau, Graubünden.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Die Planung von Massnahmen gegen permanente Rutschungen erfordert die genaue Kenntnis des Aufbaus des Untergrundes mit allfälligen Gleithorizonten, den Bodenkennwerten und der Hangwasserverhältnisse. Der Interaktion mit anderen Prozessen wie Wildbachprozesse, Erosion, Infiltration, usw. ist ebenfalls Beachtung zu schenken. Im PLANAT-Projekt «PROTECT» [61] werden dazu ausführliche Erörterungen gegeben. Deshalb wird hier nur kurz auf die wichtigsten Grundsätze eingegangen.

Tabelle 1.2: Gliederung der Schutzmassnahmen bei Rutschungen.

Technische Massnahmen	**Biologische Massnahmen**
Materialabtrag	Schutzwald
Entwässerung, Wasserfassung und -ableitung	Ingenieurbiologische Massnahmen
Stützmauern	Bodenverbesserung
Anker(-wände)	**Organisatorische Massnahmen**
Pfähle / Pfahlwände	Warnsysteme
Stabilisierung Hangfuss	Evakuierung und Sperrung
Objektschutz	Intervention und Rettung
	Raumplanerische Massnahmen
	Umsiedelung

Allgemein gilt, dass bei der Planung von Massnahmen die oben erwähnten Untersuchungen umfassender an die Hand genommen werden müssen, als dies in der Regel bei der Ausarbeitung einer

Gefahrenkarte der Fall ist. Es müssen ausreichend Informationen hinsichtlich der Bestimmung von Gründigkeit, Bewegungsmuster und Intensität, sowie der Abgrenzung der Szenarien vorhanden sein (Bandbreite möglicher Entwicklungen des Hangsystems, inkl. «Extremfall»).

Die wesentlichen Massnahmenkategorien sind:

- Veränderung der Hangwasserverhältnisse (Drainagetechniken s.l.);
- Absenkung des Hangwasserspiegels und des Porenwasserdrucks in der Rutschmasse oder an der Gleitfläche (Entlastungsbohrungen, Schächte, usw.);
- Schutz vor Entlastung am Hangfuss.

Die Massnahmen werden oft kombiniert eingesetzt. Bei Massnahmenkombinationen bilden Entwässerungen fast immer einen Bestandteil davon. Massnahmen können auch zeitlich gestaffelt erfolgen. Unter dem Aspekt der Optimierung kann es sinnvoll sein, im Rahmen eines Gesamtkonzeptes die Wirkung einer Massnahmen-Etappe abzuwarten, bevor eine weitere realisiert wird.

1.4.1 Bestimmen der Wirksamkeit

Im Rahmen des Projekt A3 «PROTECT» wurde eine allgemeine Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen sowie spezifische Arbeitshilfen u.a. für die Beurteilung von Hangentwässerungen verschiedenster Art, Verankerungen und ähnlichen Bautypen, Injektionen und Ähnlichem, Stützwerke und Schutzwald entwickelt [61]. Die generelle Vorgehensweise soll ein einheitliches, nachvollziehbares und transparentes Vorgehen gewährleisten und kann bei der Beurteilung jeglicher baulicher und biologischer Massnahmen zur Gefahrenabwehr eingesetzt werden. Die spezifischen Arbeitsanleitungen führen schrittweise durch die Beurteilung und beziehen die Prozesse, die Schutzbauwerke und die Wechselwirkungen detailliert mit ein. Sie bieten deshalb eine wesentliche Unterstützung zur Analyse der Wirksamkeit solcher Bauwerke.

Nicht behandelt werden in dieser Anleitung organisatorische Massnahmen respektive allgemein nicht-strukturelle Massnahmen zur Risikoreduktion. Zur Abschätzung ihrer Wirksamkeit bestehen heute im Bereich der Rutschprozesse kaum gesicherte Grundlagen. Solche Massnahmen sind deshalb immer im Einzelfall zu beurteilen, möglichst unter Einbezug von Erfahrungen aus anderen Gebieten.

1.4.2 Berechnen der Kosten

Die Kosten von Massnahmen werden als jährliche Kosten gemäss Gleichung 5.1 (Teil A, Seite 57) bestimmt. Für die Investitionskosten existieren gegenwärtig keine Richtwerte; diese müssen im Einzelfall bestimmt werden. Ebenso gibt es für die Bestimmung der jährlichen Betriebs-, Unterhalts- und Reparaturkosten keine allgemeinen Werte. Die Werte müssen daher im Einzelfall erhoben und dokumentiert werden.

1.4.3 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach dem Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

Da es sich bei Rutschungen meist um grossräumige Phänomene handelt und an diesen Standorten spezifische Bedingungen herrschen, drängen sich oft nur eine oder zwei Varianten oder Variantenkombinationen auf. Es ist sehr schwierig bzw. auch zum Teil die Wirkung einer Einzelmassnahme auf den Prozess zu beurteilen. In diesem Falle müssen pragmatische Lösungen gesucht werden. Die Kostenwirksamkeit muss jedoch trotzdem nachgewiesen werden, bei fehlenden Kombinationsvarianten muss u.U. mit der Zitierung von analogen, erfolgreichen Projekten der Nachweis untermauert werden.

1.4.4 Bewertung von Massnahmen

Damit Massnahmen bewertet werden können, müssen sie vor einer ökonomischen Prüfung nach den Kriterien der Grenzkosten oder der Kostenwirksamkeit folgende Bedingungen erfüllen:

- Die Tragsicherheit und Funktionalität muss für das Bemessungsereignis erfüllt sein;
- Die Gebrauchstauglichkeit muss nachgewiesen sein;
- Die Massnahme muss auf eine optimale Lebensdauer ausgelegt sein;
- Aufgaben der Kontrolle, Unterhalt und Reparatur müssen verbindlich geregelt sein.

Auf der Basis dieser Grundlagen kann die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen werden. Dabei stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen) die Kurve berührt (Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60).

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

1.4.5 Weitere Einflussfaktoren

Neben den ökonomischen Kriterien sind weitere, auch sogenannte «weiche» Faktoren in den Entscheid einzubeziehen (Teil A, Abschnitt 5.4, Seite 52f).

Da eine Risikoanalyse i.d.R. auf dem aktuellen Stand bezüglich einwirkenden Prozess und dem vorhandenen Schadenpotential beruht, wird die zeitliche Entwicklung eines Raumes nicht abgebildet.

Das Vorgehen gemäss Risikokonzept wird im Folgenden anhand eines Beispiels aus der Praxis dargestellt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Ollon-Villars, Gemeinde Villars, Kanton Waadt

2.1 Einleitung

Eine der grössten permanenten Rutschungen in den Préalpes du Chablais befindet sich auf dem Gemeindegebiet von Villars sur Ollon. Der Untergrund besteht aus Kalken, Mergeln und tonigen Schiefern der Helvetischen Decken und den Penninischen Klippen, mit Überschiebungen von Flysch Decken. Die Geländeterrasse besteht aus tonreichen lokalen Moränen. Auf diesen Terrassen befinden sich die Siedlungen Villars, Chesières und Arveyes.

In diesen Terrassen (Abbildung 2.1) sind grosse Grund- und Hangwasservorkommen vorhanden. Sie fliessen von den Dolinen der Kalk- und Gips - Formationen in den Untergrund. Die undurchlässigen Schichten der Tonschiefer, Mergelkalke und Anhydritgesteine, die die Basis der quartären Moränenbedeckung bilden, wirken als Wasserstauer.

Die grössten Instabilitäten in der Terrasse von Villars liegen im Bereich von La Saussaz. Dieser Rutschbereich ist seit dem Rückzug des würmeiszeitlichen Rhonegletschers aktiv.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Grundlagen

Bereits in der geologischen Karte, Blatt Les Diablerets von 1940 (Prof. Lugeon), wurde das Gebiet von Villars sur Ollon als permanente tiefgründige Rutschung bezeichnet.

Das Rutschgebiet weist eine Fläche von 1.2 km^2 auf und hat eine maximale Mächtigkeit von 35 m. Die Gleitfläche befindet sich an der Grenze zwischen der Moräne und dem Tonschiefer der Arveyes Decke. Die Bewegungen zeigen eine klare Korrelation zu meteorologischen Bedingungen im Einzugsgebiet. Das Grundwasser ist stellenweise artesisch gespannt. Zwischen einzelnen Rutschpaketen bestehen differenzielle Bewegungen.

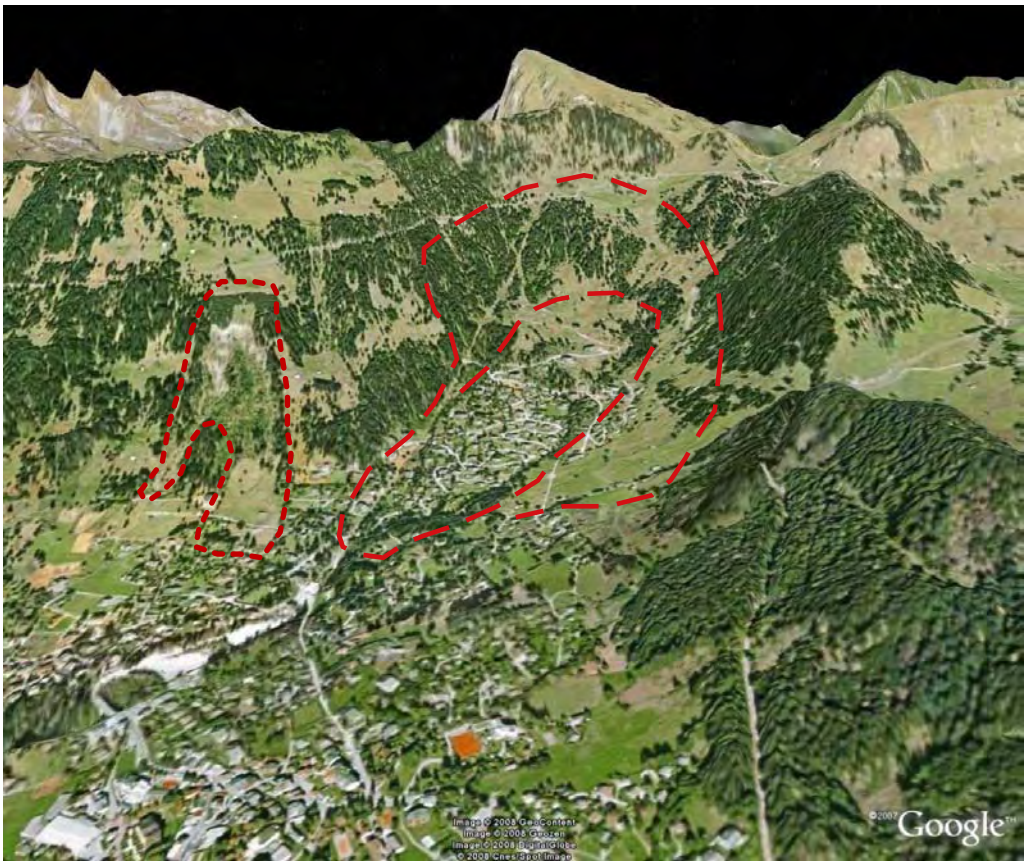


Abbildung 2.1: Geländeterrasse von Villars sur Ollon mit der permanenten Rutschung La Saussaz im Zentrum als 3D – Ansicht. Die rot gestichelte Linie zeigt die grossräumige Abgrenzung der permanenten Rutschmasse von Villar sur Ollon und La Saussaz. Quelle: Google Earth.

2.2.2 Geländebefunde

Mit der Kartierung der Phänomene konnten die verschiedenen Aktivitätsbereiche identifiziert werden. An der Oberfläche ist eine Vergesellschaftung von allen Phänomenen der tief-, mittel- und flachgründigen Rutschungen zu erkennen. An den linearen Strukturen der Strassen sind Bruchmechanismen durch Risse erkennbar. Im Gerinnenetz sind an Bruchrändern horizontale und vertikale Versätze im Gerinneverlauf erkennbar.

Die tiefgründigen Kriechbewegungen sind an der Oberfläche nicht klar abgebildet, da Bewegungen in den obersten, lockeren Deckschichten absorbiert werden. Die Folgeschäden (Risse) aus den Kriechbewegungen an Gebäuden und Strassen werden kontinuierlich ausgebessert, wodurch viele Spuren verwischt werden.

Die Inklinometermessungen in Bohrlöchern sowie die geodätische Vermessung von Fixpunkten zeigten periodische Reaktivierungen der Rutschmasse. Aus diesen Beobachtungen und Messresultaten konnten die Bereiche mit unterschiedlichen Bewegungsraten in der Intensitätskarte festgehalten werden.

2.2.3 Ereignisanalyse und -szenarien

Die periodisch auftretenden Einzelereignisse wie beispielsweise die Verschiebung eines Mastes der Gondelbahn im November 1979 oder die Absenkung eines Wasserreservoirs 1999 zeigten, dass grosse differenzielle Bewegungen stattfinden. Die photogrammetrischen Analysen über die Perioden 1974-1980 und 1980-1986 zeigten die Aktivitätsbereiche flächenhaft. Daraus konnte eine hohe Intensität der Massenbewegung für die mittlere Zone der Rutschmasse und eine mittlere bis schwache Intensität für die Fuss-Zone der Rutschung abgeleitet werden.

Das unterschiedliche Verhalten der Rutschmasse bezüglich der Intensitäten ergibt sich aus der lithologischen Zusammensetzung des Rutschkörpers mit unterschiedlichen Wassergehalten. Es entstehen aufgrund der sehr unterschiedlichen hydrogeologischen- und hydraulichen Verhältnisse immer wieder Situationen bei denen sich einzelne Schollen schneller bewegen und es zu differentiellen Bewegungen kommt. Die Entstehung solcher Situationen ist sehr eng mit dem Witterungsverlauf, der Niederschlagsvorgeschichte und der Schneeschmelze gekoppelt. Es liessen sich daher keine Szenarien mit definierten Häufigkeiten festlegen.

Die mittlere Tiefe der Gleitfläche liegt in ca. 25 m Tiefe (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Resultate der Erkundungsbohrungen im Rutschgebiet La Saussaz.

Bohrung	Höhe	Gleitebene	Wasserzustand	Gleitfläche
SC8	1475 m ü. M.	-12 bis - 16 m		
SC4	1476 m ü. M.	-26 bis - 32 m	Überdruck	-25 bis -29 m
SC2	1482 m ü. M.			-32 m ?
SC1	1510 m ü. M.	- 31 m	Arteser	-31 bis -33 m

2.2.4 Wirkungsanalyse

2.2.4.1 Grundlagen

Die Grundlagen für die Wirkungsanalyse waren primär der Ereigniskataster und die Szenarien bezüglich der Aktivität von differentiellen Scherbewegungen. Die Wirkung dieser Szenarien im Sinne von Intensität und räumlicher Ausdehnung wurde, basierend auf dem jüngsten Ereignis von 1999 mit 100 cm Verschiebung in einem Tag und dem Ereignis von 1979 mit Verschiebungswerten des Gondelbahn Mastes von 10 bis 30 cm definiert.

2.2.4.2 Intensitätskarten

Die Intensitätskarten wurden gemäss den Empfehlungen «Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamer Tätigkeit» [45] und den Empfehlungen der AGN 2004 [17] mit den Klassen stark, mittel und schwach dargestellt.

Zur Erstellung der Intensitätskarten wurden Daten der geodätischen Vermessung und Inklinometermessungen in Bohrlöchern über die Zeitperioden 1974-1980 und 1980-1986 verwendet. Diese Daten lieferten Punktinformationen zusammen mit den geomorphologischen Elementen, die in der

Karte der Phänomene erfasst wurden; damit konnten homogene Intensitätsbereiche zusammengefasst werden (Abbildung 2.2).

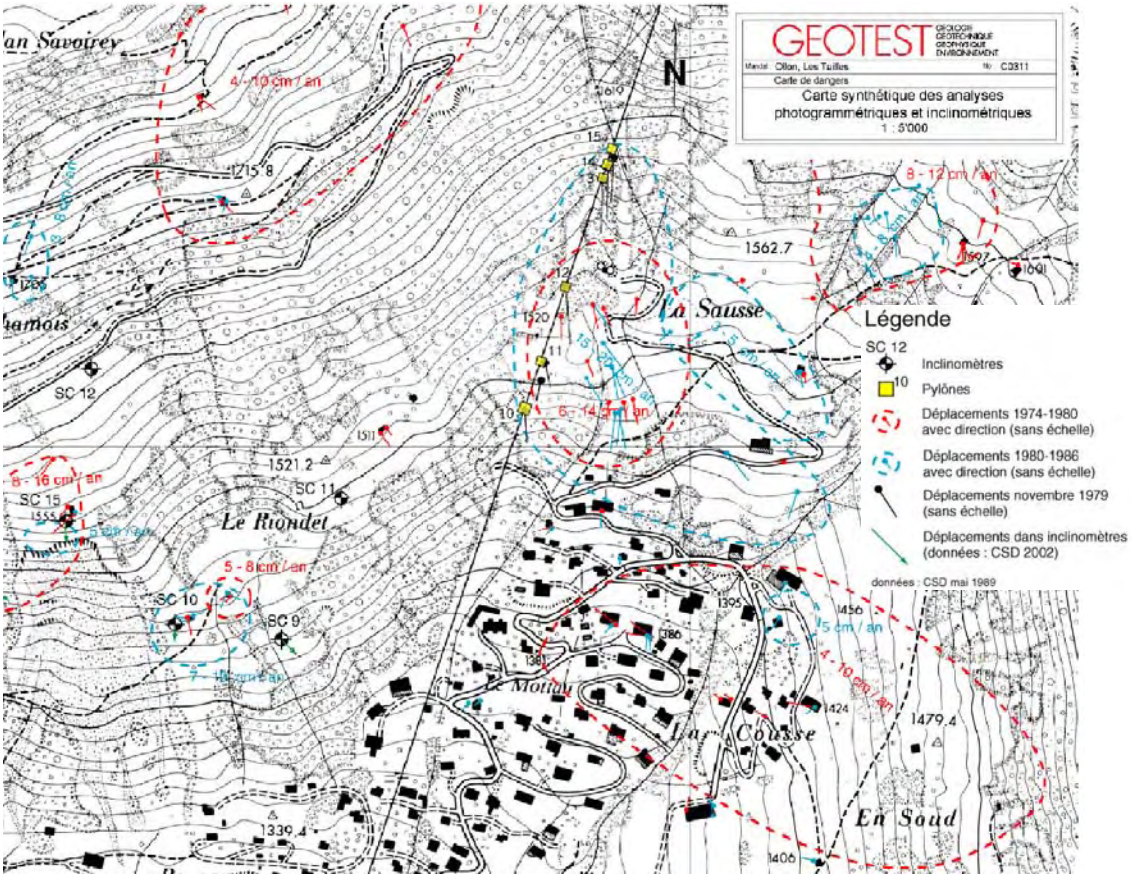


Abbildung 2.2: Ausschnitt aus der Karte mit zusammengefassten Intensitätsbereichen basierend auf Messdaten und geomorphologischen Phänomenen. Die Gebiete mit starker und mittlerer Intensität sind mit gestrichelten roten- und blauen Linien abgegrenzt.

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Im Perimeter mit Geländeinstabilitäten gibt es ein Wegnetz mit Erschliessungsstrassen, eine Gondelbahn sowie Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser. Insgesamt sind 110 Gebäude mit total 555 Wohneinheiten betroffen.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Die meisten exponierten Personen in La Saussaz befanden sich in Ferienwohnungen, die sowohl im Winter als auch im Sommer belegt sind. In einer Wohneinheit halten sich durchschnittlich 2.24 Personen auf. In den 555 Wohneinheiten von La Saussaz befinden sich somit rund 1'243

Personen, wobei für Ferienwohnungen ein ortsspezifischer Belegungsgrad angenommen werden musste.

2.4 Konsequenzenanalyse

Da die Letalität von Personen in einem Gebäude, das auf einem kontinuierlich rutschenden Hang steht, praktisch null ist, ergibt sich kein Schadenausmass für Personen.

Neben den Gebäuden wird die Gondelbahn durch den Rand des Rutschungsgebietes tangiert. Mehrere Masten der Anlage sind auf instabilem Terrain fundiert. Die Risiken für die Bahn und die Bahnbenutzer konnte direkt aus den Verschiebungsdaten der einzelnen Masten abgeleitet werden. Die Grenzwerte für Verschiebungen sind in den Betriebskonzessionen festgehalten.

In Geländebereichen, wo aus übersteilen kontinuierlich kriechenden Partien spontane Rutschungen auftreten können, mussten diese Stellen spezifisch untersucht und die Risiken lokal nach den Kriterien der spontanen Rutschungen ermittelt werden. In den dargestellten Kartenausschnitten waren jedoch keine spontanen Rutschungen ausgeschieden worden.

2.5 Risikoermittlung

2.5.1 Kollektive Risiken

Für die Risikoberechnung wurde der aktuelle Zustand der kontinuierlichen Rutschung berücksichtigt. Für das massgebende Szenario wurde eine Jährlichkeit von 300 Jahren angenommen. Das jährliche Gesamtrisiko beläuft sich auf 52’687 CHF.

2.5.2 Individuelle Risiken

Im untersuchten Beispiel ergab sich für Personen in Gebäuden und im freien Gelände kein individuelles Todesfallrisiko. In Geländebereichen, wo spontane Rutschungen auftreten können, bestehen für Personen sowohl ausserhalb als auch innerhalb von Gebäuden individuelle Todesfallrisiken, die spezifisch ermittelt werden mussten. Im vorliegenden Fall waren diese jedoch untergeordnet.

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Es wurden nur kollektive Sachrisiken für ein Objekt und ein Szenario berechnet. Auf eine Bewertung wurde daher verzichtet.

2.6.2 Individuelle Risiken

Da keine individuellen Risiken berechnet wurden, entfiel eine Bewertung.

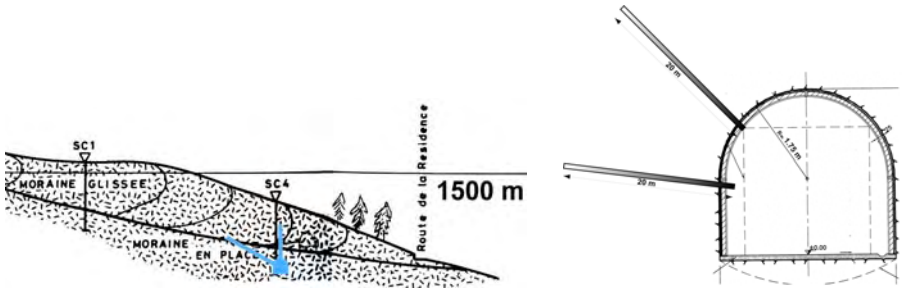
2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Technische Massnahmen. Einen definitive, langfristige Sanierung des Rutschung ist technisch sehr schwierig und aufwändig. Die bewegte Masse in La Saussaz ist so gross, dass eine mechanische Stabilisierung durch Verankerung, Dammbau oder Pfählung unmöglich ist.

Horizontale Drainagebohrungen, die im Jahr 1999 nach einem Rutschereignis erstellt wurden, können wegen der starken Bewegungen auseinander gerissen werden. Die Funktionstüchtigkeit kann nicht kontrolliert und garantiert werden. Diese Massnahme kann bei der Gefahrenbeurteilung (nach Massnahmen) somit nicht berücksichtigt werden, obwohl der hydraulische Überdruck im Grundwasser über der Rutschmasse gesenkt werden konnte.

Als wirksame und kontrollierbare Massnahme wurde ein tiefliegender Drainagetunnel vorgeschlagen. Diese Massnahme sieht folgendes System vor (Abbildung 2.3):

- Tunnel im stabilen Fels unterhalb der Gleitfläche der Rutschung;
- Ausgehend vom Tunnel werden Drainagebohrungen in den darüberliegenden wasserführenden Rutschkörper erstellt.



(a) (b)

Abbildung 2.3: Längsschnitt durch die Rutschung La Saussaz mit skizziertem Drainagetunnel und Bohrungen (a); Skizze Querschnitt Drainagetunnelprofil und Drainagebohrungen (b).

2.8 Wirksamkeit

Mit der Ausführung der geplanten Massnahmen des Drainagetunnels und der Drainagebohrungen vom Tunnel aus konnte das Gefahrenpotential nicht vollständig eliminiert werden. Die Intensität der permanenten Rutschung konnte jedoch vermindert werden. Die hydraulischen Gegebenheiten in der Rutschmasse konnten jedoch nicht vollumfänglich kontrolliert werden, deshalb kann eine Reaktivierung von Teilen der Rutschung nicht ausgeschlossen werden.

Nach Massnahmen ergibt sich ein Risiko von 919 CHF. Da keine Personenrisiken bestehen, handelt es sich ausschliesslich um Sachrisiken. Vergleicht man diesen Wert mit demjenigen vor Erstellung der Massnahme von CHF 52'687 so ergibt sich eine massive Risikoreduktion.

2.9 Kosten

Es war mit totalen Investitionskosten in Höhe von rund 15 Millionen CHF zu rechnen. Bei einer angenommenen Lebensdauer der Massnahme von 80 Jahren ergaben sich jährliche Kosten (inkl. Unterhalt und Amortisation) von 560'000 CHF.

2.10 Massnahmenbewertung

Die Gegenüberstellung der mit den aufwändigen technischen Massnahmen erzielten Risikoverminderung und der jährlichen Kosten der Massnahmen ergab ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von 0.1 (Tabelle 2.2). Dieses schlechte Verhältnis erklärt sich daher, weil die Massnahmen relativ teuer sind, aber nur Sachrisiken in die Berechnung eingehen.

Tabelle 2.2: Ausgangsrisiko, Restrisiko nach Massnahmen, jährliche Kosten der Massnahmen und Nutzen-Kosten-Verhältnis der Massnahmen.

Massnahme	**Risiko** [CHF/a]	**Kosten** [CHF/a]	**N-K-Verhältnis**
Ausgangssituation	52'687		
Drainagetunnel	919	560'000	0.1

2.11 Weitere Einflussfaktoren

Es wurden keine weiteren Einflussfaktoren für die Massnahmenbewertung berücksichtigt.

Kapitel 3

Fazit

Da permanente Rutschungen über lange Zeiträume aktiv sind, entstehen bei nicht angepasster Bauweise immer wieder Schäden an Gebäuden, Verkehrswegen und Infrastrukturanlagen. Da permanente Rutschgebiete in der Regel tiefliegende Gleitflächen haben, und die hydraulischen Bedingungen im Untergrund sehr inhomogen sind, ist es sehr schwierig, Risikoanalysen im Sinne des vorgeschlagenen Risikokonzepts durchzuführen und wirksame und gut kontrollierbare Massnahmen zur Stabilisierung der Rutschungen zu realisieren. Auch ist es praktisch nicht möglich, die Wirksamkeit einzelner Massnahmen zu beurteilen. Dies wirkt erschwerend auf die Bewertung von Massnahmen. Alle Arten von Massnahmen sind grundsätzlich sehr kostspielig und der Unterhalt ist aufwändig.

Personen sind in diesen Gebieten weder innerhalb noch ausserhalb von Gebäuden gefährdet.

Aus der Kombination dieser Fakten ergeben sich bei Risikoanalysen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen in der Regel auch schlechte Nutzen-Kosten-Verhältnisse. Für den Entscheid zur Realisierung von Massnahmen müssen demzufolge auch noch andere soziopolitische Kriterien zugezogen werden.

Kapitel 4

Richtwerte EconoMe

Für einen detaillierte Risikoanalyse müssen die Objekteigenschaften (Einheitswerte und Objekttypen), die Schadenempfindlichkeit von Objekten, die Letalität von Personen und die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Prozesse im Einzelfall beurteilt werden. Als erste Annäherung können die Standwerte aus EconoMe (www.econome.admin.ch) herangezogen werden. Diese Werte sind im Folgenden für den Prozess permanente Rutschung zusammengefasst.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Permanente Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009. Die Letalität in einer Intensität berechnet sich als Produkt von Schadenempfindlichkeit und Letalitätsfaktor der jeweiligen Intensität.

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Gebäude[1]								
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Einfamilienhaus	650000.00	Stück	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Wohneinheit (à 2.24 Personen) Mehrfamilienhaus[2]	550000.00	Stück	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Garage (Parkeinheit inkl. Fahrhabe), freistehende Garagenbox[3]	60000.00	Stück	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Hotel - Gästehaus	492.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Industrie-/Gewerbegebäude	280.00	m^3	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Einkaufszentrum	540.00	m^3	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Schule/Kindergarten	580.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Spital	850.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Kirche	720.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Bahnhof	530.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Stationsgebäude Mechanische Aufstiegshilfe	500.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Sportanlage (Gebäude)	370.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Öffentliche Gebäude	810.00	m^3	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Stall	180.00	m^3	0.001	0.005	1.00	0	0	0
Schuppen / Remise	80.00	m^3	0.001	0.005	1.00	0	0	0

[1] Alle mit Einheit m^3: Zur Bestimmung des Objektwertes wird die Fläche aus dem Parzellenplan bestimmt und die Höhe des Gebäudes wird im Gelände geschätzt (über Anzahl Stockwerke à 3m).

[2] I.d.R. pro Briefkasten = 1 Wohneinheit; Wenn einfach eruierbar, dann gelten 2 Studios oder 2Zi als eine Wohneinheit.

[3] Als Garage gilt eine freistehende bzw. angebaute Garagenbox. Tiefgaragenplätze sind nur bei den relevanten Prozessen zu berücksichtigen; sie müssen im Einzelfall beurteilt und numeriert werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Permanente Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Sonderobjekte[4]								
Kraftwerk		Stück	0.001	0.010	1.00	0	0	0
ARA		Stück	0.001	0.010	1.00	0	0	0
Deponie		Stück	0.000	0.001	0.10	0	0	0
Campingplatz		Stück	0.001	0.100	0.50	0	0	0
Schutzbauwerk		Stück	0.001	0.100	0.80	0	0	0
Wasserreservoir		Stück	0.100	0.500	1.00	0	0	0
Sendeanlage (Funk, TV, usw.)		Stück	0.010	0.200	0.80	0	0	0
Strassenverkehr								
Nationalstrasse, 25 m Breite	9500.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Kantonsstrasse, 12 m Breite	4100.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Gemeindestrasse, 8 m Breite	2300.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Feldweg, Waldweg (asphaltiert)	700.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Feldweg, Waldweg (mit Kiesbelag)	500.00	m’	0.001	0.010	0.80	0	0	0
Brücke:								
Einzelfahrzeuge (4m Breite)	16000.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Gemeindestrasse (8m Breite)	24000.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Kantonsstrasse (12m Breite)	36000.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0

[4]grossflächige Objekte die als Flächen mit den Intensitätskarten verschnitten werden müssen um die Anteile am Gesamtwert der Anlage zu bestimmen. Das Verwaltungsgebäude soll als separtes Objekt z.B als Wohneinheit erfasst werden.

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Permanente Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Autobahnbrücke (25m Breite)	75000.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Schienenverkehr								
Einspur	6300.00	m’	0.010	0.100	0.50	0	0	0
Doppelspur	10400.00	m’	0.010	0.100	0.50	0	0	0
Eisenbahnbrücke								
Brücke Einspur	280000.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Brücke Doppelspur	420000.00	m’	0.010	0.100	1.00	0	0	0
Sonderobjekte Bahn								
Schaltposten	650000.00	Stück	0	0	0.50			
Durchtrennung Kabelanalage innerhalb des Kabelkanals (pro Schadenstelle)	21000.00	Anz.	0	0	0.50			
Mechanische Aufstiegshilfe								
Sklilift		m’	0.100	0.500	1.00	0	0	0
Sessellift		m’	0.500	1.000	1.00	0	0	0
Gondelbahn		m’	0.500	1.000	1.00	0	0	0
Luftseilbahn		m’	0.500	1.000	1.00	0	0	0
Standseilbahn Zahnradbahn		m’	0.300	0.500	0.80	0	0	0
Leitungen								
Hochspannungsleitung (Mast) $\leq$ 60 kV	400000.00	Mast	0.010	0.100	1.00			
Hochspannungsleitung $>$ 60 kV	1000000.00	Mast	0.010	0.100	1.00			
Freileitung (Strom) inkl. Masten		m’	0.001	0.050	1.00			

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Permanente Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Strom unter Terrain		m’	0.010	0.100	1.00			
Wasser auf Terrain		m’	0.010	0.100	1.00			
Wasser unter Terrain	800.00	m’	0.100	0.500	1.00			
Gas auf Terrain		m’	0.010	0.100	1.00			
Gas unter Terrain	600.00	m’	0.100	0.500	1.00			
Telekommunikation auf Terrain		m’	0.001	0.050	1.00			
Telekommunikation unter Terrain	1500.00	m’	0.050	0.300	1.00			
Abwasser unter Terrain	1200.00	m’	0.100	0.500	1.00			
Landwirtschaft, Grünanlagen und Wald								
extensive Fläche (Weideland)	1400.00	a	0.010	0.100	0.50			
intensive Fläche (Ackerland und Mähwiesen)	1600.00	a	0.010	0.200	1.00			
Schutzwald	1000.00	a	0	0	0.40			
Nutzwald	200.00	a	0.010	0.100	0.60			
Rebberg	6000.00	a	0.001	0.100	1.00			
Gemüsekultur	5000.00	a	0.001	0.100	1.00			
Obstplantagen		a	0.001	0.100	1.00			
Parkanlage		a	0.001	0.100	1.00	0	0	0
Golfanlage (Aussenanlage)	6500.00	a	0.001	0.100	1.00	0	0	0
Friedhof		a	0.001	0.100	1.00	0	0	0
Sportanlage (Aussenanlage)		a	0.001	0.100	1.00	0	0	0

Tabelle 4.1: Richtwerte Prozess Permanente Rutschung nach EconoMe 1.0, Stand 23.02.2009 (Fortsetzung).

Objektklassen	**Basiswert**	**Einheit**	**Schadenempfindlichkeit**			**Letalitätsfaktor**		
	[SFr.]		Intensität			Intensität		
			schwach	mittel	stark	schwach	mittel	stark
Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA}			Szenarien (Jährlichkeit)					
			30	100	300			
alle Objekte			1.00	1.00	1.00			

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS ERDBEBEN

Blaise Duvernay, Nicole Bischof

Kobe, Japan 1995 (aus BWG 2002)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzmassnahmen bei Erdbeben vorgestellt. Es wird dabei auf der einen Seite die Vorgehensweise anhand des Risikokonzeptes erläutert und auf der anderen Seite die heutige Praxis bei der Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Bauten gemäss Merkblatt SIA 2018 dargelegt [71].

Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Teil A, Kapitel 1, Seite 1ff). Da es sich bei Erdbeben um einen flächigen Prozess handelt und die Annahmen und Grundlagen sich von denjenigen bei gravitativen Prozessen unterscheiden, wird auf die Eigenheiten etwas ausführlicher eingegangen. Dieses Kapitel erhebt nicht den Anspruch auf eine vollständige Darstellung eines Fallbeispiels. Vielmehr wird der Schwerpunkt auf die Darstellung der methodischen Schritte gelegt.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Erdbeben charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden bestimmte Eigenheiten der Schritte Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird die risikobasierte Beurteilung von bestehenden Gebäuden gemäss dem Merkblatt SIA 2018 «Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben» vorgestellt;
- Im vierten Abschnitt wird eine konkrete Anwendung des Merkblattes SIA 2018 dargestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses Erdbeben

Als Erdbeben werden grossräumige Erschütterungen des Erdbodens bezeichnet, die sich von einem Ursprungsort im Erdinnern ausgehend, dem Erdbebenzentrum oder Hypozentrum, über einen grossen Teil der Erdoberfläche und des Erdinnern oder die ganze Erde ausbreiten. Man unterscheidet:

- Die durch den Einsturz unterirdischer Hohlräume entstehenden, meist lokalen Einsturzbeben (auch durch die Wassermassen in neu errichteten Stauwerken);
- Die durch Vulkanausbrüche hervorgerufenen, ebenfalls lokalen, vulkanischen Beben oder Ausbruchsbeben;
- Die nach Brüchen oder Verschiebungen in der Erdkruste und im oberen Erdmantel sowie nach Gebirgsfaltungen (Faltungsbeben) auftretenden tektonischen oder Dislokationsbeben.

Letztere kommen am häufigsten vor und gehören zu den stärksten Erdbeben. Je nach Entfernung vom Erdbebenherd spricht man von Orts-, Nah- und Fernbeben. Die Stelle der Erdoberfläche unmittelbar über dem Herd ist das Epizentrum. Erdbeben treten besonders an den grossen Bruch- und Faltungszonen der Erdkruste und am Rand der Kontinentalplatten auf, also an der Umrandung des Stillen Ozeans, an den Rändern der Zone jüngerer Faltengebirge im Süden von Asien und Europa, ferner in Ostafrika.

Erdbebenereignisse in Europa werden durch eine ruckartige Entladung von Spannungen in der Erdkruste verursacht, die durch den Zusammenprall der afrikanischen mit der eurasischen Kontinentalplatte entstehen (Abbildung 1.1). In der Schweiz ist die Erdbebengefährdung als mittel eingestuft. Dieses bedeutet, dass starke Erdbeben auftreten können, aber deutlich seltener als in bekannten, hoch gefährdeten Gebieten, wie zum Beispiel der Türkei oder Italien (Abbildung 1.2). In der Schweiz ist mit einem regionalen Schadensbeben der Magnitude 6 ungefähr alle 100 Jahre und mit einem zerstörerischen, überregionalen Erdbeben der Magnitude 7 alle 1'000 Jahre zu rechnen.

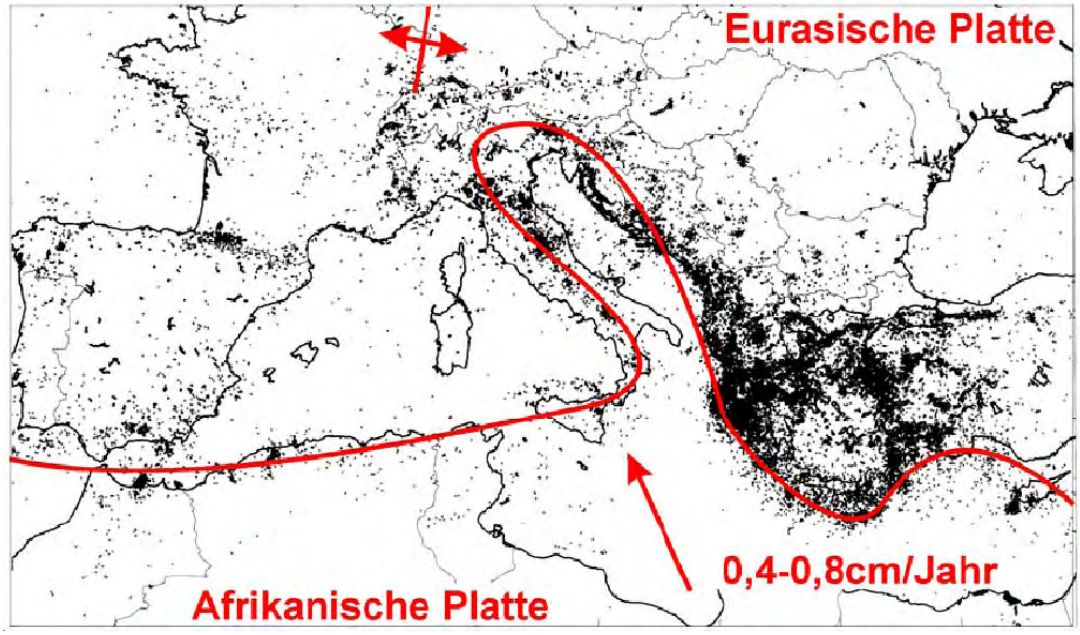


Abbildung 1.1: Instrumentell erfasste Epizentren von Erdbeben in Europa, ungefährer Verlauf der Plattengrenze zwischen der Eurasischen und Afrikanischen Platte sowie Richtung und Drift-Geschwindigkeit der Afrikanischen Platte relativ zur Eurasischen Platte. Im Rheingraben bei Basel bricht die Eurasische Platte auseinander (Riftzone) [54].

Erdbebenerschütterungen dauern üblicherweise einige Sekunden bis einige Zehner Sekunden. Sie wirken an der Oberfläche in allen Richtungen. Die Amplituden werden üblicherweise grösser in

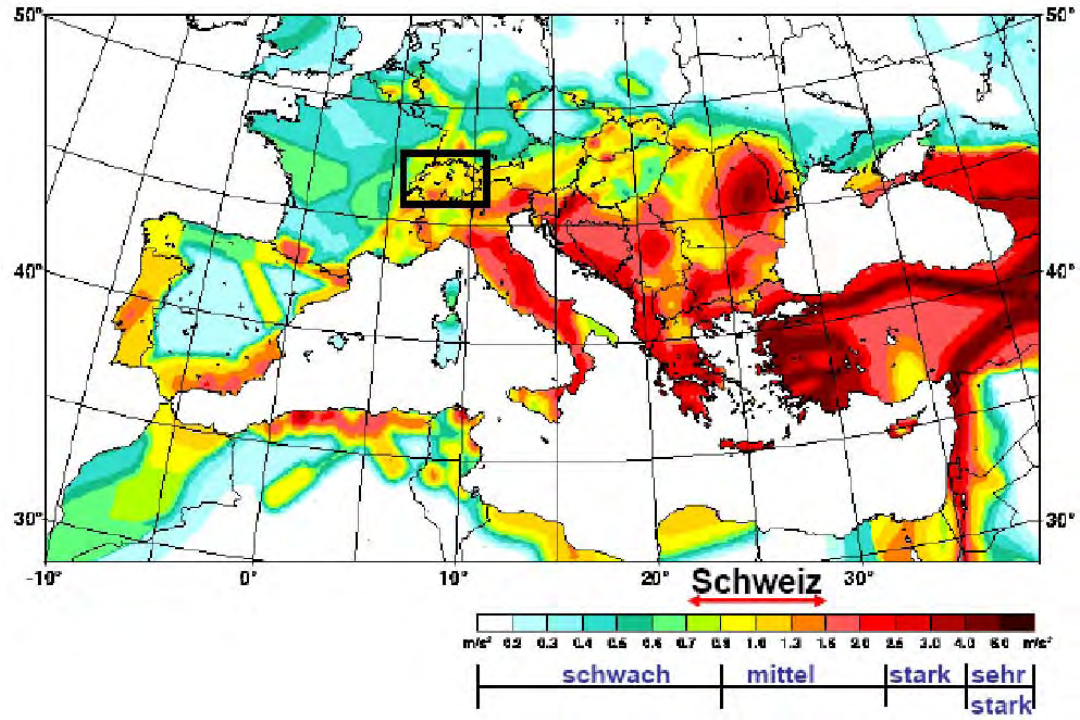


Abbildung 1.2: Erdbebengefährdung in Europa: Die Schweiz liegt im Bereich mittlerer Erdbebengefährdung (Quelle: SESAME-Projekt, nachbearbeitet).

der horizontalen Richtung als in der vertikalen Richtung. Die Bodenbewegungen haben bei grossen Erdbeben eine Amplitude von einigen Zentimetern bis einigen Zehner Zentimetern und die Bodenbeschleunigungen eine Amplitude von einigen Prozenten bis einige Zehner Prozenten der Erdbeschleunigung.

Zur Kennzeichnung der Stärke von Erdbeben dienen makroseismische Erdbebenskalen, wie die von C. F. Richter eingeführte Richter-Skala (Abbildung 1.3), die eine Einstufung der Erdbebenstärke nach Magnituden und damit der freigesetzten Energie gestatten. Bei jedem Magnitudengrad wird die freigesetzte Energie durch einen Faktor 30 multipliziert. Abbildung 1.4 zeigt die approximativen Dimensionen von Bruchflächen je nach Magnitude. Die Länge des Bruches erklärt warum Erdbeben mit einer grösseren Magnitude länger dauern und grössere Gebiete betreffen.

Abgesehen von der regionalen Gefährdung spielen die örtlichen Eigenschaften des Baugrundes bei den lokalen Auswirkungen von Erdbeben eine wichtige Rolle. So werden zum Beispiel die seismischen Wellen in weichen Lockergesteinsablagerungen massiv verstärkt (Abbildung 1.5(a)). In der Schweiz werden die grösseren lokalen Verstärkungen entlang von Seen und Flüssen sowie in den alpinen Tälern erwartet. Massenbewegungen, Bodensenkungen und Bodenverflüssigung können auch von Erdbeben ausgelöst werden (Abbildung 1.5(b)).

Richter Magnituden	Einteilung der Erdbebenstärke	Erdbebenauswirkungen	Häufigkeit der Ereignisse
Weniger als 2.0	Mikro	Mikroerdbeben, nicht spürbar.	ca. 8.000 Mal pro Tag
2.0-2.9	Extrem leicht	Generell nicht spürbar, jedoch gemessen.	ca. 1.000 Mal pro Tag
3.0-3.9	Sehr leicht	Oft spürbar, Schäden jedoch sehr selten .	ca. 49.000 Mal pro Jahr (vermutet)
4.0-4.9	Leicht	Sichtbares Bewegen von Zimmergegenständen, Erschütterungsgeräusche. Meist keine Schäden.	ca. 6.200 Mal pro Jahr (vermutet)
5.0-5.9	Mittel	Bei anfälligen Gebäuden ernste Schäden, bei robusten Gebäuden leichte oder keine Schäden.	ca. 800 Mal pro Jahr
6.0-6.9	Stark	Zerstörung im Umkreis von bis zu 70 Kilometern.	ca. 120 pro Jahr
7.0-7.9	Groß	Zerstörung über weite Gebiete.	ca. 18 pro Jahr
8.0-8.9	Sehr groß	Zerstörung in Bereichen von einigen hundert Kilometern	ca. 1 pro Jahr
9.0-9.9	Extrem groß	Zerstörung in Bereichen von tausenden Kilometern.	ca. alle 1 bis 20 Jahre
10.0+	Globale Katastrophe	Niemals registriert; siehe unten vergleichbares Energieäquivalent.	Extrem selten (Unbekannt)

Abbildung 1.3: Die Richterskala stuft die Erdbebenstärke nach Magnituden ein. Quelle: US Geological Survey(USGS).

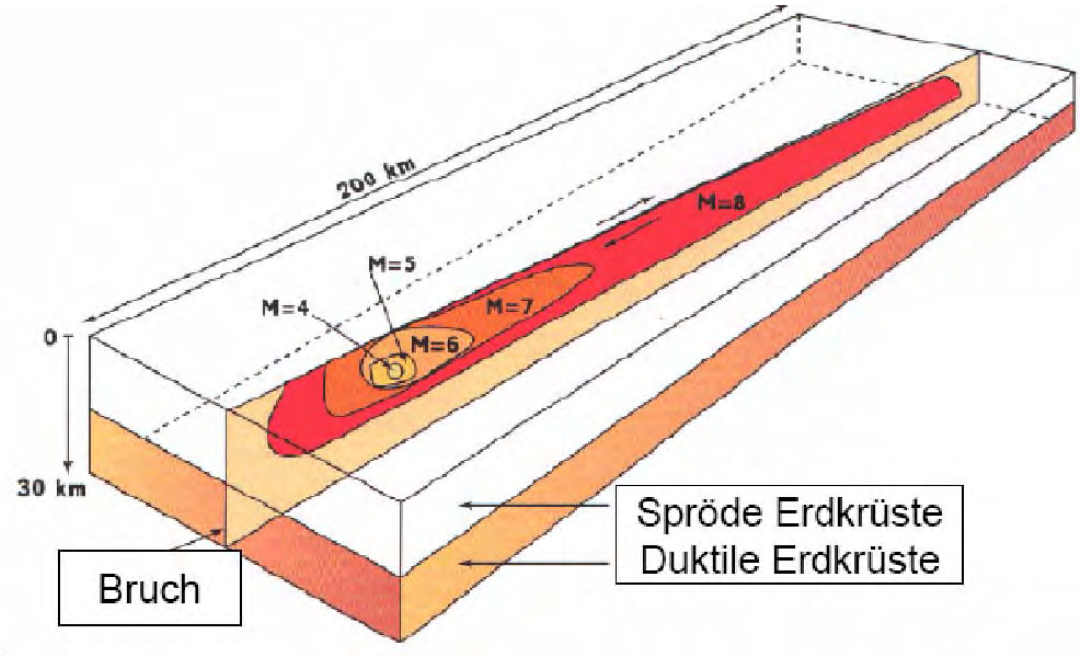
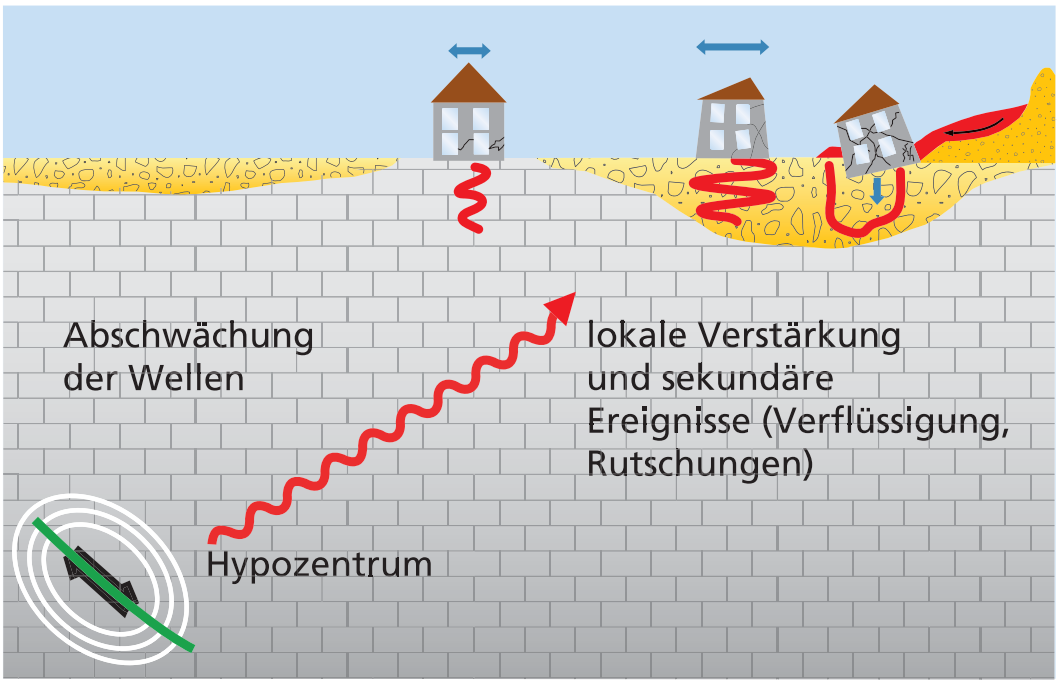


Abbildung 1.4: Schematische Darstellung der Bruchfläche eines Erdbebens je nach Magnitude (Quelle unbekannt, nachbearbeitet, BAFU).



(a)

(b)

Abbildung 1.5: (a) Die Erdbebenerschütterungen werden in weicheren Lockergesteinen verstärkt und dauern länger. Induzierte Phänomene wie Rutschungen, Bodensetzungen und -verflüssigung können entstehen [16]; (b) Durch das Erdbeben vom 13. Januar 2001 ausgelöster kreisförmiger Erdrutsch an der Carretera de San Vincente (El Salvador) [16]

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Erdbeben

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Erarbeitung von seismischen Gefährdungsmodellen und Erdbebenszenarien dienen folgende Informationsquellen:

Historische Ereignisse: Die Ereignisdokumentation wichtiger historischer Erdbeben und der daraus resultierende Katalog historischer Erdbeben in der Schweiz[1] bilden eine Hauptgrundlage für die Erdbebengefährdungsmodelle. Eine Übersicht der wichtigsten historischen Ereignisse in der Schweiz ist in Abbildung 1.6 gegeben.

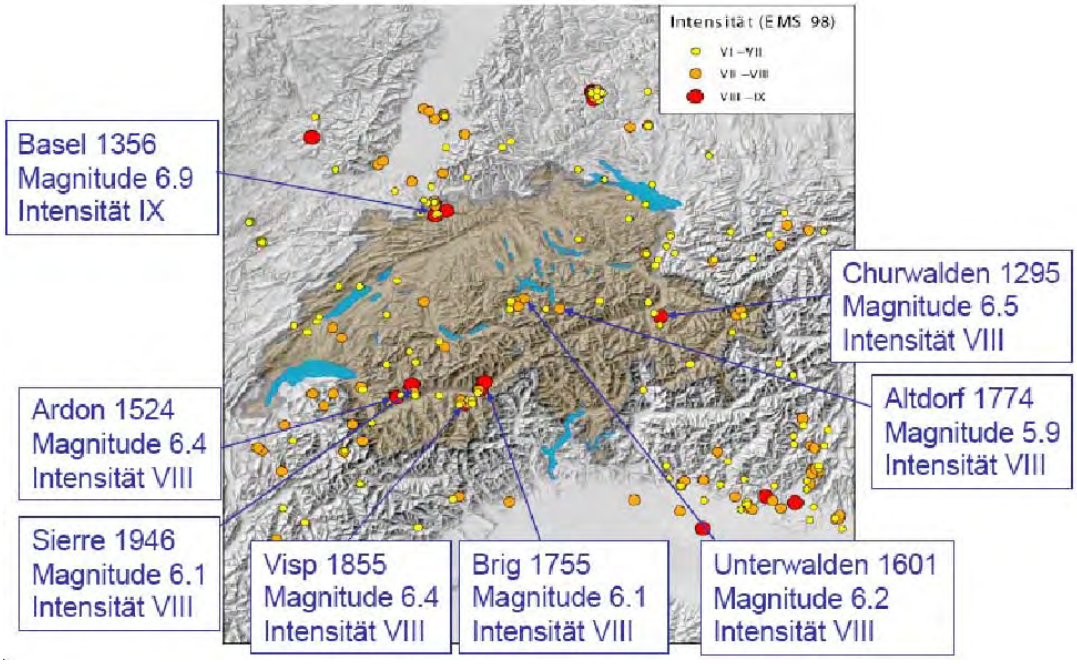


Abbildung 1.6: Karte der historischen Erdbeben in der Schweiz, die Schäden verursacht haben. Intensität VI-VII: leichte bis mittlere Gebäudeschäden. Intensität VII-VIII: mittlere bis schwere Gebäudeschäden. Intensität VIII-IX: schwere bis sehr schwere Gebäudeschäden [68], nachbearbeitet BAFU.

Instrumentelle Messungen: Die Messung von tektonischer Aktivität liefert wichtige Daten zur Erfassung von Erdbebenereignissen bezüglich der Magnitude, dem Auftretensort, dem Bruchmechanismus, der Abminderung der Erschütterungen mit Distanz und der Amplifikationen durch die lokale Geologie. Seit 1975 werden in der Schweiz kontinuierlich Messungen durchgeführt (Abbildung 1.7). Zur Registrierung der Erdbebenaktivität in der Schweiz werden zwei seismische Netzwerke vom Schweizerischen Erdbebendienst betrieben. Einerseits das hochsensible «Swiss Digital Seismic Network» (SDSNet) sowie das «Swiss Strong Motion Network» (SSMNet), welches zur Registrierung von Starkbeben dient (Abbildung 1.8).

[1] siehe auch http://histserver.ethz.ch/intro_d.html

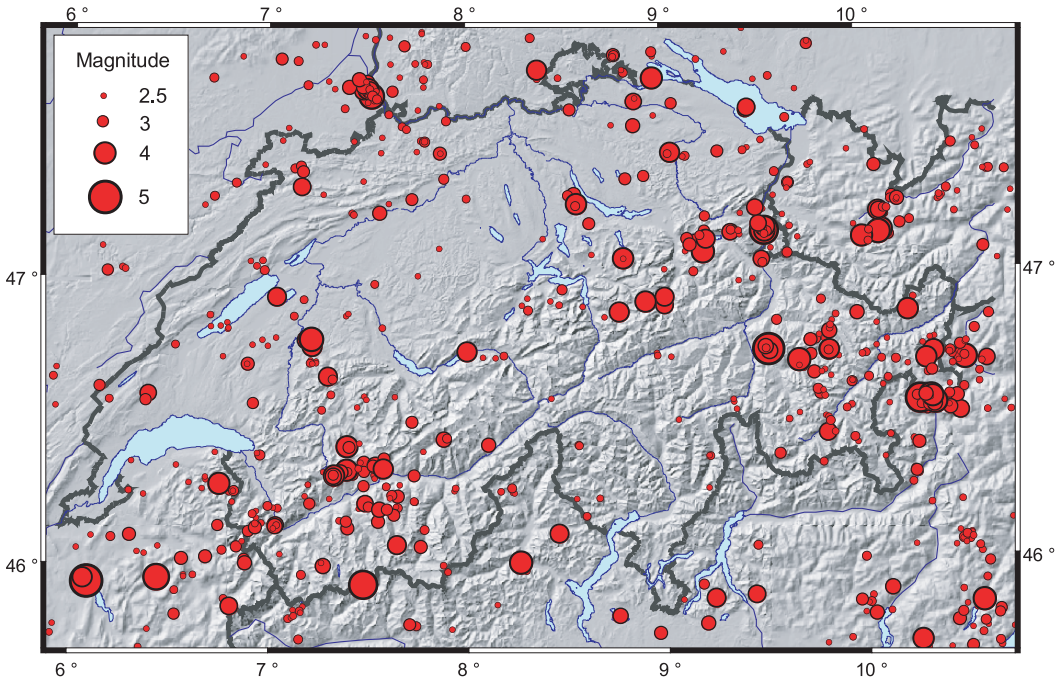


Abbildung 1.7: Karte der Epizentren mit den instrumentellen gemessenen Ereignisse mit einer Magnitude > 2.5 im Zeitraum von 1975-2000 [69].

Seismotektonische Gegebenheiten: Die Schweiz kann in drei tektonische Hauptregionen unterteilt werden: (1) Der Alpenbogen im Süden, (2) der Jura im Norden und (3) das Molassebecken dazwischen. Geringe bis mittlere, aber konstante seismische Aktivität tritt im und nördlich vom Alpenbogen auf, inklusive dem Molassebecken, dem Rheingraben und dem Jura.

Lokale geologische und geotechnische Gegebenheiten: Abgesehen von der regionalen Gefährdung spielen die jeweiligen Eigenschaften des Baugrundes bei der lokalen Gefährdung eine wichtige Rolle. Daten zur Geologie und zu den geophysikalischen Parametern vor Ort sind für die lokalen Gefährdungsmodelle nötig (Abbildung 1.9).

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

Die Erdbebengefährdung wird durch Grössen charakterisiert, welche die Wirkung von Erdbeben beschreiben. Zwei Arten von Gefährdungsparametern sind zu unterscheiden:

- Intensitätsparameter. Die Intensität beschreibt die Stärke der Erschütterungen mittels Auswirkungen auf Menschen, Bauwerke und die Umwelt. Die ersten Generationen von Gefährdungsmodellen wurden mit Intensitätsparametern erstellt (Abbildung 1.10).
- Physikalische Parameter. Die Stärke der Erschütterungen wird mit physikalischen Werten der Bodenerschütterungen beschrieben (maximale Bodenbeschleunigung, -geschwindigkeit und -verformung, sowie die spektralen Werte der Beschleunigung, Geschwindigkeit und

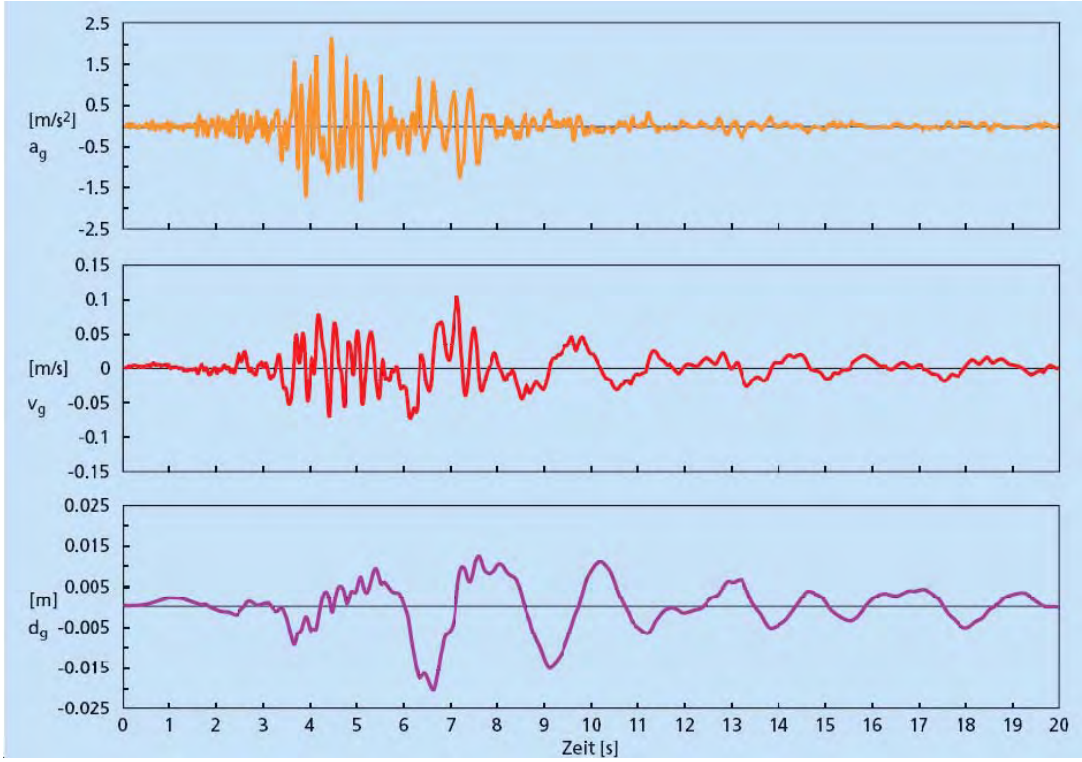


Abbildung 1.8: Erdbeben der Magnitude 6.0 im italienischen Friaul. Seismogramm vom 15. September 1976 der Station Forgaria-Cornio, die sich auf kompaktiertem Lockergestein in 14 km Distanz zum Epizentrum befand. Die Messungen des Erdbebens im Friaul sind ebenfalls repräsentativ für potentielle Schweizer Beben mit einer Wiederkehrsperiode von ca. 100 Jahren [16].

Verschiebung). Die neusten Gefährdungsmodelle werden mit physikalischen Parametern erstellt.

Ein Erdbebengefährdungsmodell braucht folgende Elemente:

- Seismotektonische Zonierungen mit Rekurrenz-Parametern für die Bestimmung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Erdbebenereignissen (Abbildung 1.11(a));
- Abminderungsfunktionen zur Bestimmung der Abminderung der Gefährdungsparametern mit Distanz (Abbildung 1.11(b));
- Lokale Amplifikationsfunktionen zur Bestimmung der Amplifikation der Gefährdungsparameter durch die lokale Geologie.

Die Erdbebengefährdung für die Schweiz wird probabilistisch ermittelt. Diese neuen Analysen ersetzen die Erdbebengefährdungskarten von 1976, welche auf Intensitätsabschätzungen beruhten. Basierend auf einer Neubearbeitung der Momentenmagnituden des Erdbebenkatalogs für den Zeitraum 1300-2002 sind Rekurrenzparameter (a-, b-Wert und M_{max}) für zwei seismotektonische Zonierungen bestimmt worden, welche durch zwei unterschiedliche Vollständigkeitsperioden charakterisiert sind. Von diesen Daten ausgehend wird ein synthetischer Erdbebenkatalog von einer Million Jahre Dauer berechnet, welcher die unterschiedlichen Tiefenverteilung der Seismizität zwischen dem alpinen Vorland und den Alpen berücksichtigt. Die horizontale, spektrale Beschleu-

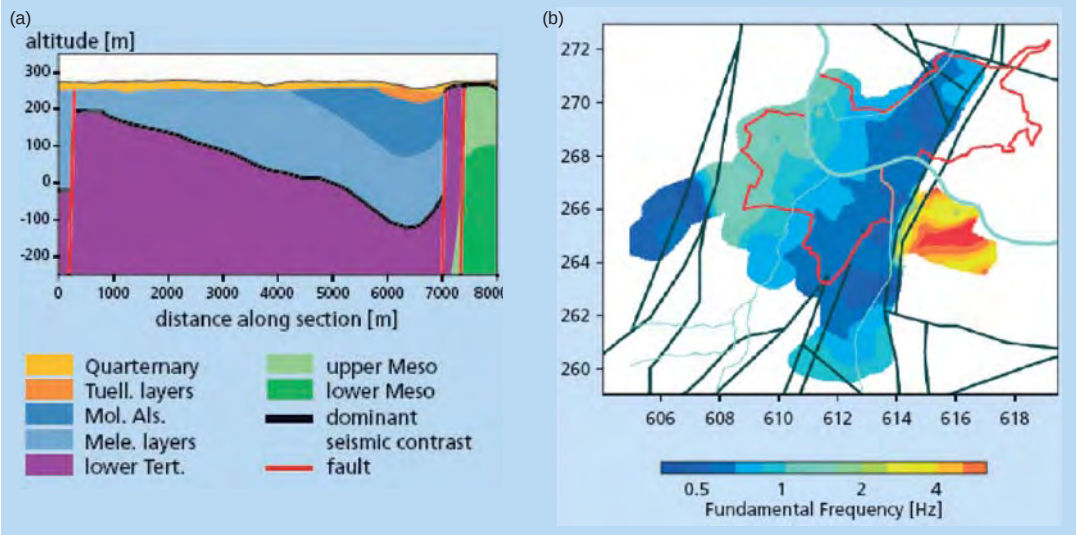


Abbildung 1.9: (a) Schnitt von Westen nach Osten durch ein geologisches 3-D Modell im Raum Basel. Für jede geologische Einheit werden geophysikalischen Parametern bestimmt, die die Bestimmung der lokalen Amplifikationsfunktionen der Erdbebengefährdungsparameter ermöglichen [16]; (b) Fundamentalfrequenz der Lockersedimente in Basel. Bekannte Verwerfungen sind durch schwarze Linien gekennzeichnet, die Kantonsgrenze durch die roten Linien [16].

nigung wird für die ganze Schweiz anhand eines neu prognostizierten Abminderungsmodells sowie neuen Skalierungsmodellen für Frequenzen zwischen 0.5 bis 12 Hz und für die Wiederkehrperioden von 100, 475, 1000, 2500 und 10'000 Jahren berechnet.

Daraus resultieren die entsprechenden Gefährdungskarten und Gefährdungskurven (Abbildung 1.12 und 1.13(b)). Diese gelieferten Gefährdungswerte sind für einen Felsuntergrund gegeben. Bei den Gefährdungsmodellen in Intensitäten wurden die Referenzwerte für einen steifen Baugrund angenommen (Abbildung 1.13(a)).

Gebiete moderater seismischer Gefährdung sind in der Karte blau bis grün eingefärbt. In den Zonen mit erhöhter seismischer Gefährdung (orange bis rot) werden stärkere Bodenbewegungen erwartet. Dies sind mehrheitlich Gebiete, in denen bereits in den letzten 800 Jahren grosse Erdbeben aufgetreten sind. Die hier gezeigte seismische Gefährdung ist die Grundlage für die Erdbebenzonenkarte der Schweizerischen Erdbebenbaunorm SIA 261 [70], die seit 2004 in Kraft ist.

Eine genauso wichtige Rolle wie die regionale Gefährdung spielen die örtlichen Eigenschaften des Baugrundes eine Rolle bei der Beurteilung der lokalen Gefährdung. Mit der so genannten Mikrozonierung versucht man zu beurteilen, wie die Erdbebenwellen oder regionalen Erdbebengefährdungsparameter von der lokalen Geologie beeinflusst werden.

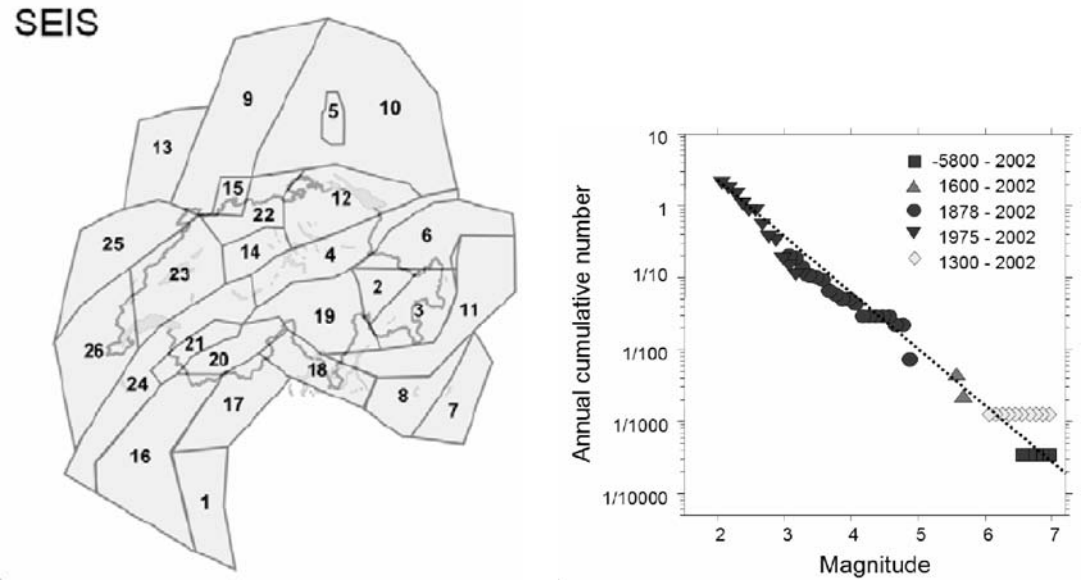
Für Gefährdungsmodelle mit Angaben zu Intensität, werden Intensitätsinkremente je nach geologischen Gegebenheiten geschätzt (Abbildung 1.15(a)).

Für Gefährdungsmodelle mit physikalischen Gefährdungsparametern, werden die Amplifikationsfunktionen mittels Modellierungen auf Grund von geophysichalischen Modellen bestimmt (Abbildung 1.14). Die Antwortspektren auf Fels aus dem nationalen Gefährdungsmodell werden durch die lokalen Amplifikationsfunktionen multipliziert, um die lokalen Antwortspektren zu erhalten.

Intensität	*EMS-98*	*Beschreibung der maximalen Wirkungen*
nicht fühlbar	I	Nicht fühlbar.
kaum bemerkbar	II	Nur sehr vereinzelt von ruhenden Personen wahrgenommen.
schwach *(verspürt)*	III	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Erschüttern.
deutlich (verspürt)	IV	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
stark *(verspürt)*	V	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige reagieren verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
leichte Gebäudeschäden	VI	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von kleinen Verputzteilen.
Gebäudeschäden	VII	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in grossen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mässige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen grössere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
schwere Gebäudeschäden	VIII	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf, d.h. Giebelteile und Dachgesimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
zerstörend	IX	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
sehr zerstörend	X	Viele gut gebaute Häuser werden zerstört oder erleiden schwere Beschädigungen.
verwüstend	XI	Die meisten Bauwerke, selbst einige mit gutem erdbebengerechtem Konstruktionsentwurf und guter Konstruktionsausführung, werden zerstört.
vollständig verwüstend	XII	Nahezu alle Konstruktionen werden zerstört.

Abbildung 1.10: Die zwölfstufige «Europäische Makroseismische Intensitätskala 1998» (EMS-98).

Eine Alternative zu den aufwändigen geophysikalischen Untersuchungen und Modellierungen ist die Betrachtung der lokalen Amplifikation mittels vordefinierten Baugrundklassen und Amplifikationsfunktionen gemäss Baunorm SIA 261. Dieser Ansatz ist viel einfacher und kostengünstiger, liefert aber oft konservativere lokale Gefährdungsparameter als standortspezifische Modellierungen (Abbildung 1.15(b)).



(a) (b)

Abbildung 1.11: (a) Eines der 2 Quellenmodelle, die für die Gefahrenabschätzung in der Schweiz verwendet wurden [69]; (b) Jährliche kumulative Anzahl von Beben aufgetragen in Abhängigkeit der Magnitude für die Region Basel [69].

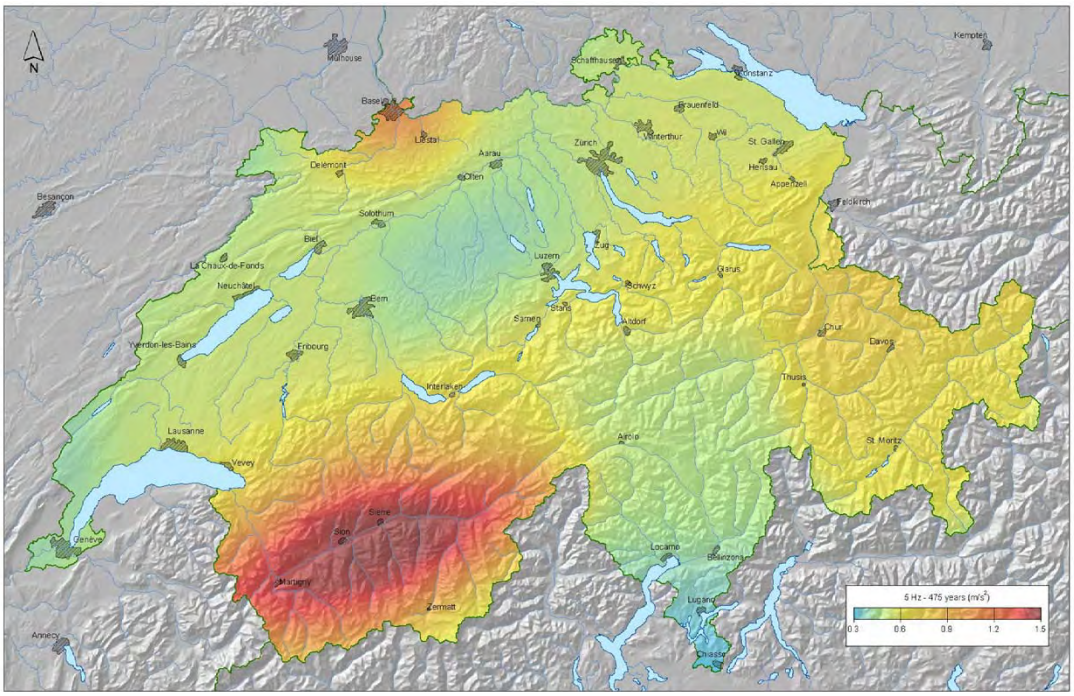
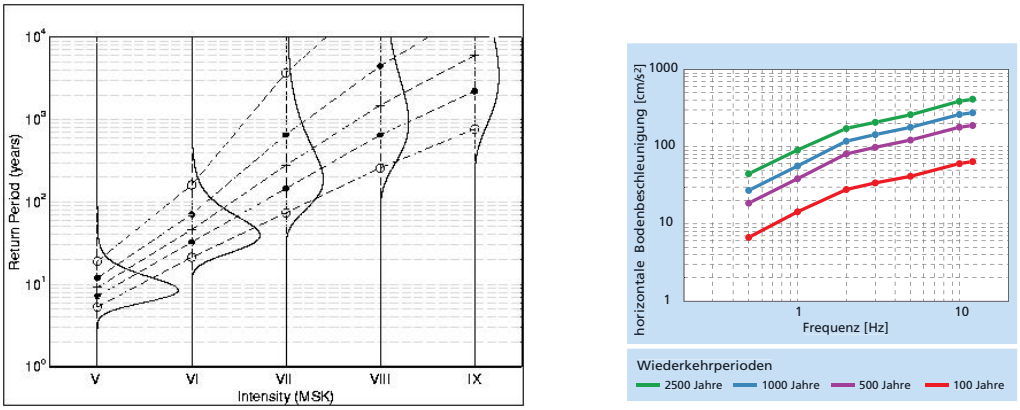


Abbildung 1.12: Neue Karte der Erdbebengefährdung in der Schweiz [69]. Dargestellt ist die erwartete Bodenbeschleunigung auf Fels, die mit 10%-iger Wahrscheinlichkeit innerhalb der nächsten 50 Jahre in einem Gebiet auftreten wird [69].



(a) (b)

Abbildung 1.13: (a) Gefährdungskurven in Intensitäten für Basel [62]. Die durchgehenen Linien stellen die Wahrscheinlichkeitsverteilungen dar, die gepunktete Linie mit schwarzen Punkten die 25 und 75 % Konfidenzintervalle des 50 % Wahrscheinlichkeitsintervalls an. Die gepunktete Linie mit den Kreisen geben die 5 und 95 % Konfidenzintervalle des 90 % Wahrscheinlichkeitsintervalls an. Die Kreuze stellen die Mediane dar; (b) Antwortspektren für Basel und für verschiedene Wiederkehrperioden, gültig auf einem Felsuntergrund. Ausschnitt aus der Webseite des Schweizerischen Erdbebendienstes (nach http://www.seismo.ethz.ch, nachbearbeitet und [16].)

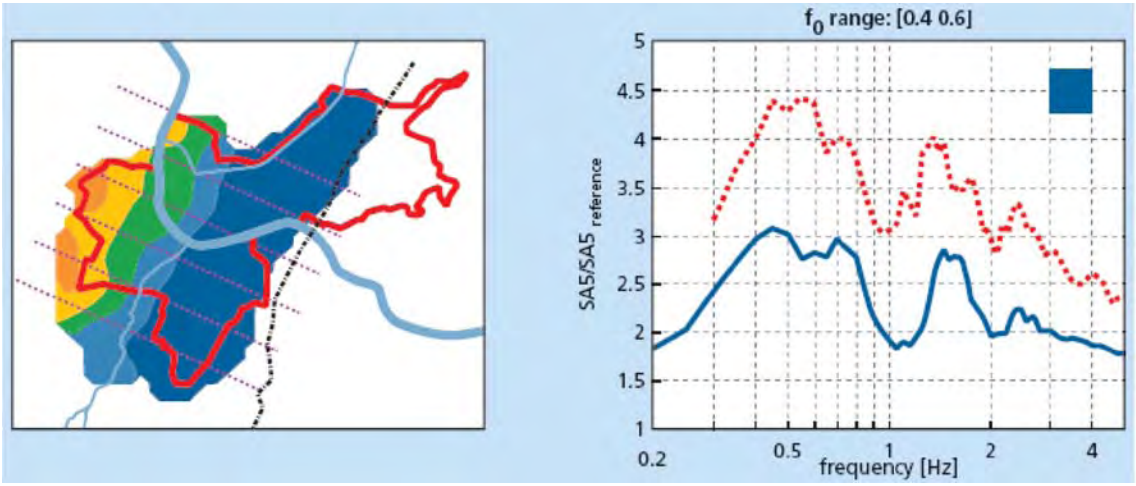


Abbildung 1.14: Spektrale Mikrozonierung der Stadt Basel: Spektrale Amplifikation in einer der fünf delimitierten Zonen innerhalb der Stadt Basel [42, 43]. In der Karte sind die Umrisse der Stadt und die Gewässer dargestellt. Eine strich-punktierte Linie bezeichnet den Rheingrabenrand. Die Lage der 2D Sektionen der Simulationen mit dem geophysikalischen Modell sind als gepunktete Linien eingezeichnet. Bei den Amplifikationskurven wird jeweils die mittlere Amplifikation (blaue durchgezogene Linie) und die maximale Amplifikation (rote gestrichelte Linie) über eine Vielzahl von möglichen Erdbeben gezeigt [16].

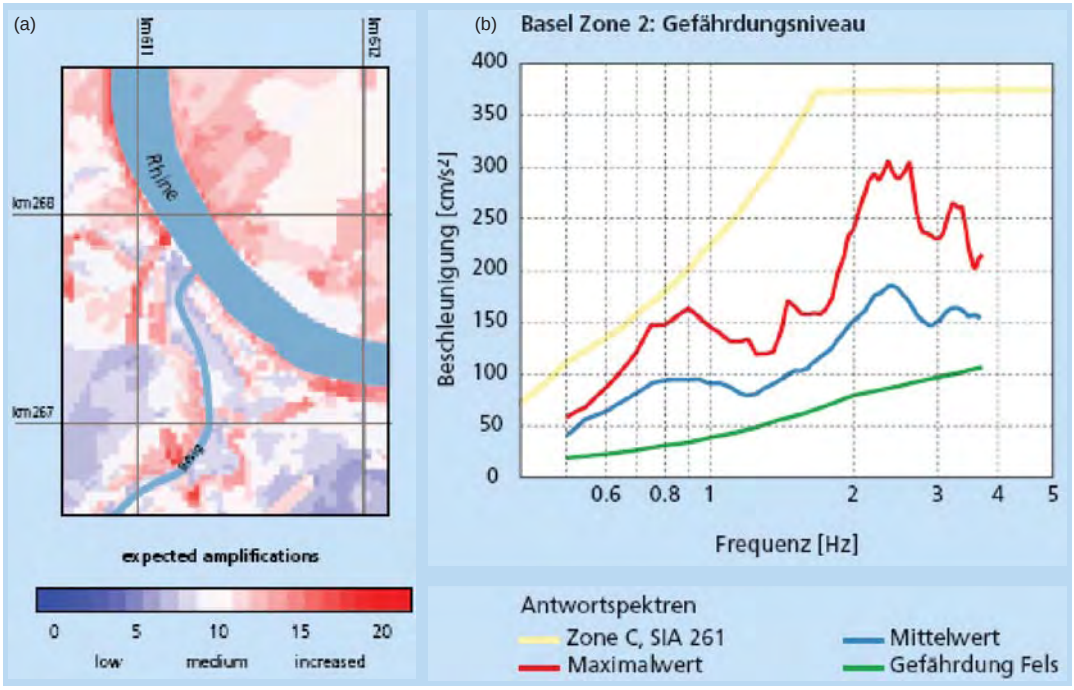


Abbildung 1.15: (a) Bestimmung der lokalen Erhöhung oder Abminderung der seismischen Intensität. 0 = Minderung von einem Intensitätsgrad; 20 = Erhöhung von einem Intensitätsgrad [16]; (b) Vergleich eines lokalen seismischen Antwortspektrums aus der seismischen Mikrozonierung der Stadt Basel mit einem Antwortspektrum aus der Norm SIA 261 für die am Standort gültige Baugrundklasse. Die Werte sind für eine Wiederkehrsperiode von 475 Jahre gegeben. Das lokale Antwortspektrum ist tendenziell weniger konservativ [16].

1.2.2 Expositionsanalyse

Erdbeben können mit ihrer Zerstörungskraft Gebäude (z.B. Wohngebäude, Industriegebäude, Hotel, Schule, Bahnhof, Spital, etc.), Infrastrukturobjekte (z.B. Brücken, Transformatoren, Schienen, Böschungen, Leitungen), Sonderobjekte (z.B. Hochhaus) aber auch Flächenobjekte, wie landwirtschaftliche Flächen oder Wald, beschädigen oder zerstören. Dabei können auch Personen in Gebäuden, auf Verkehrswegen oder im Freien gefährdet sein. Da Erdbeben in sehr unterschiedlicher Stärke auftreten und dementsprechend verschiedene Ereignisse unterschiedliche Schadenausmasse verursachen können, ist es empfehlenswert, verschiedene Expositionssituationen zu unterscheiden. Es könnte der Fall eintreten, dass ein sehr starkes Erdbeben zu einem Zeitpunkt auftritt, in dem sich im Ereignisraum sehr viele Menschen aufhalten und somit gefährdet sind. Die Wahrscheinlichkeit dieser Ereignisse ist sehr klein, jedoch sollten sie in eine detaillierte Risikoanalyse mit einbezogen werden. Es bietet sich an, für das Untersuchungsgebiet der Risikoanalyse neben einer Normalsituation mit durchschnittlicher Belegung auch ein Extremszenario zu betrachten, in dem beispielsweise die maximale Belegung durch Personen angenommen wird. Die detaillierte Vorgehensweise zur Festlegung von Expositionssituationen ist im Teil A (Abschnitt 3.3.3, Seite 15) ausführlich beschrieben und kann in dieser Art auch auf den Prozess Erdbeben angewendet werden.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Die Bestimmung der Erdbebenschäden für ein bestimmtes Szenario ist mit grossen Unsicherheiten behaftet, da die regionalen Abminderungsfunktionen, die lokalen Amplifikationsfunktionen und die Verletzlichkeitsfunktionen selbst mit grossen Unsicherheiten verknüpft sind. Die Bestimmung der Schadenempfindlichkeit von Bauwerken spielt hierbei eine Hauptrolle und beschreibt den Zusammenhang zwischen der Schwere von Erdbebenerschütterung und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Bauwerk bei diesem Erschütterungsniveau einen Schaden nimmt. Die Schadenempfindlichkeit hängt ab von:

- dem Tragwerkskonzept;
- den Baumaterialien (Duktilität, Wiederstandsfähigkeit);
- der konstruktiven Durchbildung.

In der Schweiz wurden 90 % der Gebäude ohne oder nach ungenügenden Erdbebenvorschriften gebaut, sodass viele Gebäude eine unbekannte und oft begrenzte Erdbebensicherheit aufweisen. Viele Gebäude weisen typischen Schwachstellen auf, wie das berühmte soft-storey (Abbildung 1.16).

Die Auswirkungen eines Erdbebens auf ein Bauwerk sind vor allem horizontale, zyklische Verformungen, die grosse Kräfte in der Tragstruktur verursachen. Die Aufnahme dieser induzierten horizontalen Verformungen und Kräfte bildet bei Hochbauten wie Gebäuden oft einen Schwachpunkt. Hochbauten sind in der Regel so konzipiert, dass ihr Tragwerk das Eigengewicht und die Nutzlast auf das Fundament verteilt. Die Möglichkeit zur Aufnahme von horizontalen Kräften ist oft begrenzt, so dass nicht erdbebengerechten Hochbauten bei schweren Erdbeben eine schwere Beschädigung oder der Einsturz droht.

Abbildung 1.16: Typische Schwachstelle betreffend Erdbebenverhalten: das soft-storey, wo die aussteifenden Wände der oberen Stockwerken durch Stützen im Erdgeschoss ersetzt sind (a). Solche Stützen werden schon bei geringen Erdbebeneinwirkungen versagen (b). [6]

Zur Beschreibung der Verletzlichkeit werden Grössen der Erdbebenwirkung mit Grössen des Schadens am Bauwerk mittels Verletzlichkeitskurven verknüpft. Mit solchen Kurven werden die Probabilitäten von vorgegebenen Schadensausmassen auf Grund eines oder mehreren Gefährdungsparametern gegeben.

Es bestehen wie für die Bestimmung der Gefährdung 2 Hauptfamilien von Verletzlichkeitskurven:

Intensitätsbasierte Verletzlichkeitskurven, wie diejenigen der EMS98-Skala, basieren vor allem auf den Auswertungen von Schadendaten aus Erdbeben in Europa und um das Mittelmeer. Bei dieser Systematik muss ein Gebäude in eine der 6 Verletzlichkeitsklassen A bis F eingestuft werden (Tabelle 1.1). Jeder Verletzlichkeitsklasse sind Verletzlichkeitsfunktionen zugeordnet, die die Intensität anhand 5 Schadenausmassen angeben (Abbildung 1.17).

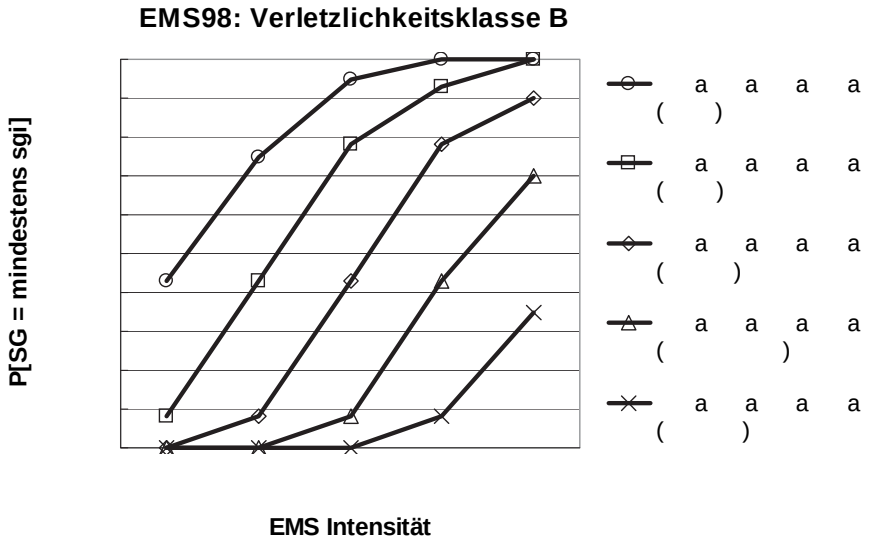


Abbildung 1.17: Beispiel für eine Verletzlichkeitskurve für die Verletzbarkeitsklasse B gemäss EMS 98. Quelle: [72].

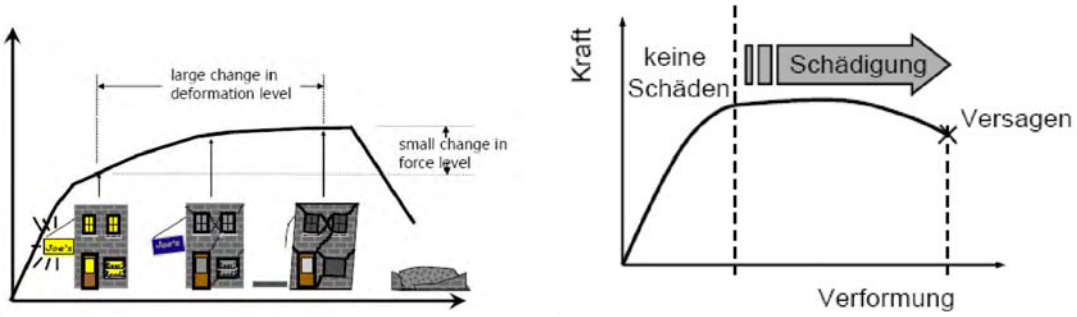
Tabelle 1.1: Beispiel der Zuordnung der Bauwerkstypen in Verletzbarkeitsklassen gemäss EMS 98. Fett = Zentralwert; andere = mögliche Ausweichungen je nach spezifische Charakterisitken des Bauwerks. Quelle: nach [72]

Bauwerkstyp	**EMS Verletzlichkeitsklasse**		
Mauerwerk			
mit Holzbalkendecken	A	**B**	C
mit Stahlbetondecken	B	**C**	D
Tragwerke mit Stahlbetonrahmen			
ohne Erdbebenbemessung	A	**C**	D
Bemessung auf moderate Erdbeben	B	**D**	E
Bemessung auf starke Erdbeben	C	**E**	F
Tragwerke mit Stahlbetonwänden			
ohne Erdbebenbemessung	B	**C**	D
Bemessung auf moderate Erdbeben	C	**D**	E
Bemessung auf starke Erdbeben	D	**E**	F
Stahlbauten	D	**E**	F
Holzbauten	C	**D**	E

Physikalisch-basierte Verletzlichkeitskurven. Die Verletzlichkeitskurven (Abbildung 1.18(a)) werden anhand von Berechnungen bestimmt. Sie werden auf der Basis von so genannten «push-over curves» oder Kapazitätskurven erstellt (Abbildung 1.18(b)). Eine Kapazitätskurve stellt vereinfachend den Verlauf der horizontalen Ersatzkraft in Funktion der horizontalen Verschiebung des Gebäudes dar und ermöglicht einen Vergleich zwischen dem Verformungsvermögen des Gebäudes und dem Verformungsbedarf aus der Erdbebeneinwirkung. Bei kleinen Verschiebungen wird sich das Gebäude elastisch verformen (steigender Last der Kurve). Im horizontalen Ast der Kurve befindet sich die Tragstruktur im plastischen Bereich bis die Tragelemente ihre Verformungsvermögen erreichen und versagen. Die Verschiebung am Endpunkt der Kurve ist als Verschiebungsvermögen definiert. Entlang dieser Kapazitätskurve werden Schadengrade je nach Verformungslimiten der Bauteile definiert. Solche Kurven können für ein individuelles Bauwerk oder für Gebäudekategorien bestimmt werden. Bei den Projekten HAZUS [28] und Risk-UE [51] wurden solche Kurven für Gebäudetypen in den USA und in Europa entwickelt. Deren Anwendung ist für die schweizerische Bauweise noch zu überprüfen. Die Entwicklung von Kapazitätskurven und modernen Verletztlichkeitsfunktionen für regionale spezifische Bauweisen ist im Erdbebeningenieurwesen ein sehr aktuelles Forschungsthema.

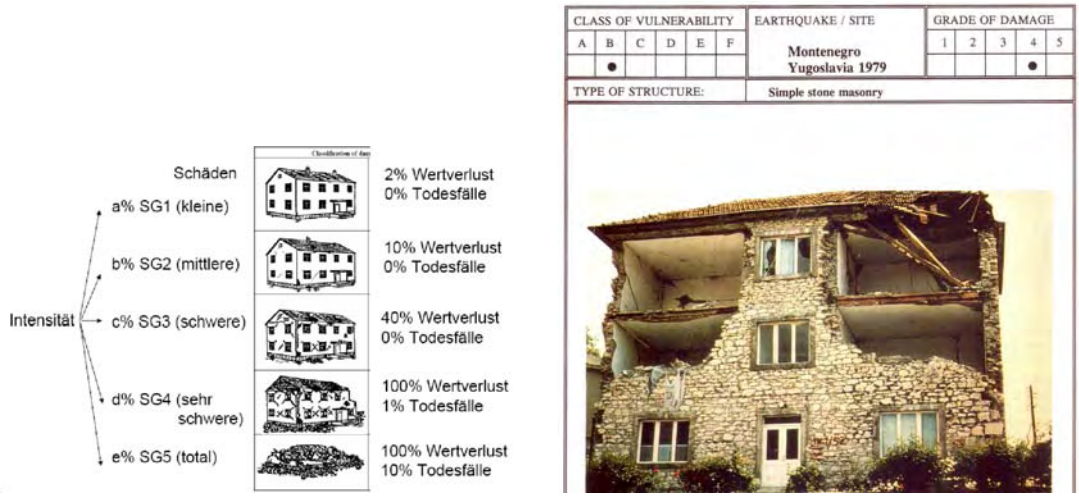
Für jedes Schadenausmass sind Schäden zu definieren, wie z.B. Zustand des Bauwerks, Höhe der Schäden, Wahrscheinlichkeiten von Todesfall, schwerer Verletzung, usw. (Abbildungen 1.19). Diese Schäden sind entweder als diskrete Werte, mögliche Bandbreiten oder als Verteilungsfunktionen gegeben.

Folgeprozesse, die von Erdbeben ausgelöst werden, wie beispielsweise Rutschungen und Felsstürze können die Konsequenzenanalyse deutlich verkomplizieren.



(a) (b)

Abbildung 1.18: (a) Beispiel von physikalisch basierten Verletzlichkeitskurven [72]; (b) Schematische Darstellung einer Kapazitätskurve mit Schadengraden, die den Verlauf der horizontalen Ersatzkraft in Funktion der horizontalen Verschiebung eines Gebäudes schematisch darstellt [28].



(a) (b)

Abbildung 1.19: (a) Beispiel einer Interpretation von Schadengraden in Sachschäden und Personenschäden (Quelle BAFU); (b) Beispiel eines Gebäudes aus Mauerwerk mit Holzbalkendecken in einem Schadengrad 4 (sehr schwere Schäden) [34].

1.2.4 Risikoermittlung

Es wird das Risiko für Personen und Sachwerte ermittelt. Dabei sind in Bezug auf Personen die kollektiven und die individuellen Risiken zu bestimmen. Direkte und indirekte Schäden aus Betriebsunterbrüchen sollten in gegebenen Situationen auch berücksichtigt werden (Industrieanlagen, Lifeline-Gebäude).

1.3 Risikobewertung

Da beim Prozess Erdbeben Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen die Personen- und die Sachwerte bewertet werden. Bei den Personen sind jeweils die kollektiven und die individuellen Risiken zu bewerten. Die ausführlicheren Grundlagen zu diesem Abschnitt werden in Teil A dargestellt. Sie sind in dieser Art auch für den Prozess Erdbeben anwendbar.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

Mögliche Schutzmassnahmen gegen Erdbeben beschränken sich grösstenteils auf technische und bauliche Massnahmen. Erdbeben sind charakterisiert durch eine grosse räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, geringe bis keine Vorboten, die ein Ereignis ankündigen und starke Schwankungen in der Intensität des Ereignisses. Diese Charakteristika haben einen grossen Einfluss auf die Möglichkeiten von Schutzmassnahmen.

1.4.1 Mögliche Schutzmassnahmen

Folgende Massnahmen stehen zur Verfügung im Umgang mit den Risiken aus Erdbeben:

- Erdbebensicherung;
- Nutzungsänderung;
- Versicherung;
- Risikoakzeptanz;

Die Erdbebensicherung durch bauliche Massnahmen am Tragwerk und in Bezug auf nichttragende Bauteile bis hin zur Sicherung von Einrichtungen und Anlagen steht im Vordergrund. Die baulichen Massnahmen müssen robust sein und die Tragsicherheit zuverlässig und wesentlich verbessern, damit die für sie aufgewendeten Mittel gerechtfertigt sind.

1.4.1.1 Raumplanerische Massnahmen

Im Gegensatz zu raumplanerischen Massnahmen im Kontext von gravitativen Natugefahren (Bauverbot, Bauen mit verbindlichen Massnahmen, Information der Eigentümer und freiwillige Massnahmen, keine Massnahmen nötig) ist für die Gefährdung durch Erdbeben überall die entsprechende Baunorm mit dazugehörigen Gefährdungsparametern anzuwenden. Verglichen mit den Gefahrenkarten, wie sie für gravitativen Prozesse verfügbar sind, versucht man mit einer Mikrozonierung zu beurteilen, wie sich ein Untergrund bei einem allfälligen zukünftigen Erdbeben verhalten wird.

1.4.1.2 Organisatorische Massnahmen

Im Vordergrund stehen die Organisation des Einsatzes und die Ausbildung der Bevölkerung bezüglich richtigem Verhalten im Ereignisfall von Erdbeben. Eine Erdbeben-Frühwarnung und rechtzeitige Evakuierungen sind zum jetztigen Zeitpunkt und vermutlich noch für eine gewisse Zeit in der Schweiz nicht anwendbar. Seit 1951 arbeiten jedoch die Erdbebenforscher in der Europäischen Seismologischen Kommission zusammen, v. a. auf dem Gebiet der Erdbebenvorhersage. Diese ist jedoch noch nicht in ausreichender Zeit vor dem Ereignis möglich.

Als organisatorische Massnahme steht auch die Begrenzung oder die Änderung der Nutzung eines Gebäudes (z.B. Verbot von grossen Menschenansammlungen).

1.4.1.3 Technische Massnahmen

Die baulichen Massnahmen zum Schutz vor Erdbeben müssen robust sein und die Tragsicherheit zuverlässig und wesentlich verbessern, damit die für sie aufgewendeten Mittel gerechtfertigt sind. Das primäre Ziel einer Ertüchtigung ist die Eliminierung der Hauptschwachstellen eines Bauwerks. Dafür existieren verschiedene grundsätzliche Strategien, die in der Praxis oft kombiniert werden. Die Wahl einer optimalen Ertüchtigungslösung setzt ein gutes Verständnis des dynamischen Verhaltens des Bauwerks voraus und berücksichtigt eine gute Abstimmung mit den Eigenschaften der bestehenden Bauweise und den zukünftigen Nutzungsanforderungen. Die zwei am meisten verwendeten Strategien sind:

Regularität verbessern: Grundsätzlich ist mit jeder baulichen Ertüchtigung eine Verbesserung der Regelmässigkeit der Verteilung von Steifigkeit, Tragwiderstand und Masse im Aufriss und Grundriss des Tragwerks anzustreben.

Verstärken: Die klassische Ertüchtigungsstrategie ist die Verstärkung des bestehenden Tragwerks durch neue Bauteile oder durch Aufdoppelung bestehender Bauteile, z.B. durch neue Stahlbetonwände oder Stahlfachwerke.

1.4.2 Bestimmen der Wirksamkeit

Die Wirksamkeit einer baulichen Massnahme kann anhand verschiedener Massstäbe bestimmt werden:

- Anhand der Verschiebung in eine bessere Verletzlichkeitsklasse;
- Anhand einer neuen bauwerkspezifischen Verletzlichkeitskurve;
- Anhand einer Verbesserung des Erfüllungsfaktors, der den Erfüllungsrad der normativen Erdbebenvorschriften für Neubauten misst.

1.4.3 Berechnen der Kosten

Aufgrund der Massnahmenvorschläge können deren Kosten abgeschätzt werden. Dabei sind nicht primär die reinen Investitionskosten ausschlaggebend, sondern die darauf basierenden jährlichen Kosten. Diese werden nach Formel 5.1 (Teil A, Abschnitt 5.6, Seite 57) berechnet.

1.4.4 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abschnitt 5.7, Seite 59). Der Redundanz von verschiedenen Massnahmen ist dabei die nötige Beachtung zu schenken.

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich, Budgetbeschränkung), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach der Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach dem Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

Hat man sich für eine bauliche Massnahme zur Erdbebenertüchtigung von Gebäuden entschieden, sollte hierbei ebenfalls auf eine erdbebengerechte Massnahmenkombination geachtet werden, wobei das Zusammenwirken der drei Tragwerkseigenschaften Steifigkeit, Tragwiderstand und Verformungsvermögen optimal aufeinander abgestimmt werden soll.

1.4.5 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen) die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

Kapitel 2

Risikobasierte Beurteilung von bestehenden Gebäuden gemäss Merkblatt SIA 2018

Für Neubauten werden Schutzziele für die Erdbebensicherheit in der Baunorm SIA 261 festgelegt. Ein Bauwerk muss in einer von 3 Bauwerksklassen (BWK) je nach Funktion und Schadenpotential eingestuft werden (Abbildung 2.1). Für die BWK I ist der Nachweis der Tragsicherheit eine Erdbebeneinwirkung mit einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren zu erbringen. Für die BWK II und III müssen die Erdbebeneinwirkungen für die BWK I mit einem Bedeutungsfaktor von 1.2 respektiv 1.4 multipliziert werden, was die Wiederkehrperiode der Erdbebeneinwirkung für die Tragsicherheit auf ca. 800 Jahre, respektive 1'200 Jahre erhöht.

Mit diesen normativen Schutzzielen sollen die neuen Bauwerke beim Bemessungsbeben so beschädigt werden, dass sie noch ein Nachbeben der gleichen Stärke ohne Einsturz überleben können. Für die BWK III ist dazu noch den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks eine Erdbebeneinwirkung mit einer Wiederkehrperiode von ca. 200 Jahren zu erbringen.

Die folgenden Ausführungen stützen sich vor allem auf die Publikation «Erdbebenertüchtigung von Bauwerken» [80].

Ob ein bestehendes Gebäude die heutigen Erdbebenbestimmungen in den SIA-Tragwerksnormen erfüllt, wird anhand einer Überprüfung gemäss Merkblatt SIA 2018 «Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben» beurteilt. Falls das bestehende Gebäude die heutigen Normen nicht voll erfüllt, besteht nicht automatisch die Verpflichtung, Ertüchtigungsmassnahmen umzusetzen. Anhand der Kosten baulicher Massnahmen ist im konkreten Einzelfall abzuklären, ob diese in Bezug auf die zu erwartende Risikoreduktion *verhältnismässig* beziehungsweise *zumutbar* sind. Dazu enthält das Merkblatt SIA 2018 die erforderlichen Regeln der risikobasierten Beurteilung der Erdbebensicherheit.

Im ersten Schritt der Überprüfung, der sogenannten Zustandserfassung, ist der Erfüllungsfaktor α_{eff} das wichtigste Resultat. Er beschreibt mit einer Zahl in welchem Mass die Anforderungen an Neubauten bezüglich Erdbebensicherheit gemäss den geltenden SIA-Tragwerksnormen erfüllt sind. Dazu wird der normengemässe Widerstand beziehungsweise das Verformungsvermö-

BWK	Merkmale	Beispiele
I	– keine grösseren Menschenansammlungen – keine besonders wertvollen Güter und Einrichtungen – keine Gefährdung der Umwelt	– Wohn-, Büro- und Gewerbegebäude – Industrie- und Lagergebäude – Parkgaragen – Brücken von untergeordneter Bedeutung nach einem Erdbeben (z. B. Fusswegbrücken und land- oder forstwirtschaftlich genutzte Brücken, sofern sie nicht über Verkehrswege von erheblicher Bedeutung führen)
II	– grössere Menschenansammlungen wahrscheinlich – besonders wertvolle Güter und Einrichtungen – bedeutende Infrastrukturfunktion – beschränkte Gefährdung der Umwelt	– Spitäler samt Anlagen und Einrichtungen (sofern sie nicht BWK III zuzuordnen sind) – Einkaufszentren, Sportstadien, Kinos, Theater, Schulen und Kirchen – Gebäude der öffentlichen Verwaltung – Brücken von erheblicher Bedeutung nach einem Erdbeben sowie Brücken, die über Verkehrswege mit erheblicher Bedeutung nach einem Erdbeben führen – Stützmauern und Böschungen im Bereich von Verkehrswegen mit erheblicher Bedeutung nach einem Erdbeben – Bauwerke sowie Anlagen und Einrichtungen zur Versorgung, Entsorgung und Telekommunikation (sofern sie nicht BWK III zuzuordnen sind) – Hochkamine
III	– lebenswichtige Infrastrukturfunktion – erhebliche Gefährdung der Umwelt	– Akutspitäler samt Anlagen und Einrichtungen – Bauwerke sowie Anlagen und Einrichtungen für den Katastrophenschutz (z. B. Feuerwehrgebäude und Ambulanzgaragen) – Brücken von grosser Bedeutung für die Zugänglichkeit eines Gebiets nach einem Erdbeben – Stützmauern und Böschungen im Bereich von Verkehrswegen mit grosser Bedeutung für die Zugänglichkeit ausgewählter Bauwerke oder eines Gebiets nach einem Erdbeben – lebenswichtige Bauwerke zur Versorgung, Entsorgung und Telekommunikation – Bauwerke, Anlagen und Einrichtungen, die bei Beschädigung eine Umweltgefährdung darstellen (z. B. Tankanlagen und Rohrleitungen, die Gas oder gefährliche Flüssigkeiten enthalten)

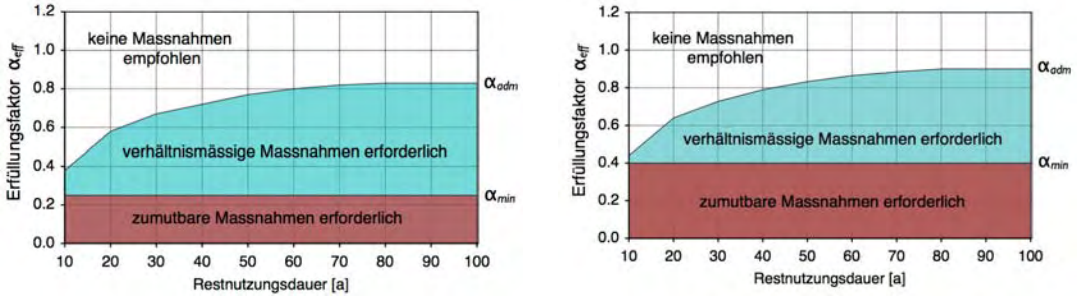
Abbildung 2.1: Bauwerksklassen gemäss Norm SIA 261 [16].

gen R_d den normengemässen Auswirkungen E_d der Bemessungssituation Erdbeben gegenübergestellt.

$$\alpha_{eff} = \frac{R_d}{E_d} \tag{2.1}$$

Erreicht der Erfüllungsfaktor α_{eff} eines bestehenden Gebäudes einen Wert grösser oder gleich eins ($\alpha_{eff} \geq 1{,}0$ oder 100 %), werden die normengemässen Anforderungen für Neubauten vollständig erfüllt und der Ist-Zustand kann als genügend erdbebensicher akzeptiert werden.

Bei bestehenden Bauten ist der Erfüllungsfaktor α_{eff} jedoch meist kleiner als eins, das heisst die Anforderungen an Neubauten werden nur zum Teil erfüllt. Die Notwendigkeit von Ertüchtigungsmassnahmen ist demnach aufgrund risikobasierter Entscheidungskriterien abzuklären, wie



(a) (b)

Abbildung 2.2: Notwendigkeit von Massnahmen zur Erdbebenertüchtigungn bei Bauwerksklasse I und II (a) und Bauwerksklasse III (b) in Funktion des Erfüllungsfaktors α_{eff} und der Restnutzungsdauer des Gebäudes gemäss SIA 2018 [80].

in Kapitel 3 erklärt. Massgebend für die Gesamtbeurteilung der Erdbebensicherheit ist der kleinste Wert der Erfüllungsfaktoren α_{eff} von allen betrachteten Bauteilen des Gebäudes.

Entscheidungsgrundlage für eine Erdbebenertüchtigung

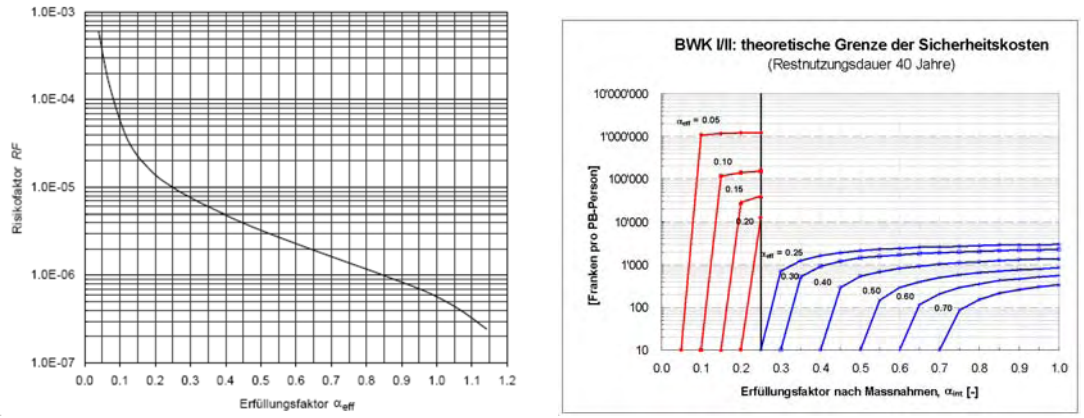
Für bestehende Gebäude ist grundsätzlich der normengemässe Zustand für Neubauten zu erreichen, das heisst es sollte ein Erfüllungsfaktor α_{eff} grösser als eins erzielt werden. Verursachen die zur Erreichung dieses Zustands erforderlichen Ertüchtigungsmassnahmen unverhältnismässige Kosten, sind gemäss Merkblatt SIA 2018 Massnahmen so weit zu ergreifen, als sie noch *verhältnismässig* beziehungsweise *zumutbar* sind.

Im Rahmen der Überprüfung eines bestehenden Bauwerks wird aufgrund betrieblicher und wirtschaftlicher Betrachtungen eine *Restnutzungsdauer* als Zeitspanne festgelegt, über die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit sichergestellt sein sollen. Sie liegt bei Gebäuden typischerweise im Bereich von 20 bis 50 Jahren. Am Ende der Restnutzungsdauer wird eine weitere Überprüfung fällig.

Bezüglich der Notwendigkeit von Massnahmen zur Erdbebenertüchtigung werden je nach Grösse des Erfüllungsfaktors α_{eff}, der Bauwerksklasse des Gebäudes und der angenommenen Restnutzungsdauer folgende drei Fälle unterschieden (siehe Abbildung 2.2):

1. Fällt der Erfüllungsfaktor α_{eff} bei der BWK I oder II unter den unteren Schwellenwert α_{min} = 0.25, wird das Individualrisiko als nicht mehr akzeptierbar betrachtet, und es werden Ertüchtigungsmassnahmen erforderlich, soweit deren Kosten *zumutbar* bleiben.
   Rettungskosten, die höchstens 100 Millionen Franken pro gerettetes Menschenleben betragen, werden als *zumutbar* betrachtet. Kann auch mit zumutbaren Kosten kein akzeptierbares individuelles Risiko erreicht werden, so ist das Risiko mit betrieblichen Massnahmen zu beschränken.
   Bei BWK III ist der untere Schwellenwert mit α_{min} = 0.40 höher angesetzt. Eine minimale Funktionstüchtigkeit des Gebäudes im Rahmen der Katastrophenbewältigung soll dadurch sichergestellt werden.

2. Liegt der Erfüllungsfaktor α_{eff} zwischen den Schwellenwerten α_{min} und α_{adm}, sind die Personenrisiken durch Ertüchtigungsmassnahmen zu reduzieren, soweit deren Kosten *verhältnismässig* bleiben.



(a) (b)

Abbildung 2.3: (a) Risikofaktor-Erfüllungsfaktor-Beziehung zur Bestimmung des individuellen und des kollektiven Risikos (aus SIA 2018, 2004); (b) Grenze der maximalen zumutbaren, respektive verhältnismässigen Sicherheitskosten nach der Kriterien des Merkblattes SIA 2018 für die Bauwerksklassen I und II und eine Restnutzungsdauer von 40 Jahren. Die Kosten sind pro PB Einheit (Einheit der mittleren Personenbelegung) gegeben. (Quelle BAFU).

Rettungskosten von maximal 10 Millionen Franken pro gerettetes Menschenleben werden als *verhältnismässig* betrachtet.

3. Übersteigt der Erfüllungsfaktor α_{eff} den oberen Schwellenwert α_{adm}, so kann der bestehende Zustand akzeptiert werden.

Die Verhältnismässigkeit und die Zumutbarkeit einer Massnahme zur Erdbebenertüchtigung werden gemäss Merkblatt SIA 2018 durch eine Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen unter Berücksichtigung der Sicherheitsansprüche des Individuums beurteilt. Bei den Kosten werden die Massnahmenkosten zur Erhöhung der Erdbebensicherheit unter dem Begriff *Kosten zur Verhinderung eines Todesfalls*[1] erfasst. Beim Nutzen wird die Reduktion der Personenrisiken in Form von verhinderten Todesopfern betrachtet (Abbildung 2.3(a)). Als *verhältnismässig* gelten Massnahmen mit Kosten bis 10 Millionen Franken pro verhinderten Todesfall und als *zumutbar* Massnahmen mit Kosten bis 100 Millionen Franken pro pro verhinderten Todesfall. Ein Beispiel für die Umrechnung dieser Kriterien in theoretische maximale Sicherheitskosten ist in der Abbildung 2.3(b) gegeben.

Die Abgrenzung zwischen Verhältnismässigkeit und Zumutbarkeit erfolgt aufgrund des individuellen Risikos, das heisst der Wahrscheinlichkeit, mit der eine einzelne Person, die sich rund um die Uhr im Gebäude aufhält, infolge Erdbebens den Tod erleidet. Das individuelle Risiko ist akzeptierbar, wenn es den Wert 10^{-5} pro Jahr nicht überschreitet. Bei einem Erfüllungsfaktor α_{eff} grösser als 0.25 ist dies der Fall.

Die Risikoreduktion wird aus der Erhöhung des Erfüllungsfaktors infolge der betrachteten Massnahme und der Personenbelegung des Gebäudes berechnet. Die Personenbelegung wird als Mittelwert der sich über ein Jahr im Gebäude aufhaltenden Personen bestimmt. Oft ergeben sich mehrere Ertüchtigungsvarianten mit verhältnismässigen oder zumutbaren Kosten. Für die bauli-

[1] Im Original als »Rettungskosten» bezeichnet.

che Umsetzung sollte diejenige Variante ausgewählt werden, die den höchsten Erfüllungsfaktor erzielt.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass wenn der Erfüllungsfaktor unter dem minimalen Erfüllungsfaktor liegt, zumutbare Massnahmen praktisch immer zu finden sind. Wenn der Erfüllungsfaktor über dem minimalen Erfüllungsfaktor liegt, werden verhältnismässige Massnahmen auf Grund der tiefen maximalen theoretischen Sicherheitskosten gemäss Kriterium der Verhältnismässigkeit in den meisten Fällen schwierig zu finden sein.

Eine ausführliche Erläuterung der im Merkblatt SIA 2018 normierten risikobasierten Beurteilung der Erdbebensicherheit ist in der Dokumentation SIA D 0211 [72] und des BWG [18] zu finden.

Kapitel 3

Anwendungsbeispiel des Merkblattes SIA 2018

Das nachfolgende Fallbeispiel ist der Publikation «Erdbebenertüchtigung von Bauwerken» [80] entnommen.

Das Gymnasium Neufeld in Bern wurde 1965 als Stahlbetonskelettbau erstellt. Es besteht aus einem Untergeschoss, einem Erdgeschoss und vier Obergeschossen. Die Aussenabmessungen im Grundriss betragen 69 x 37 m. Das Tragsystem besteht aus Stahlbetonstützen sowie zwei Stahlbetonliftkernen. Die Geschossdecken sind ebenfalls aus Stahlbeton (Abbildung 3.1).

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit und die Ertüchtigungsmassnahmen erfolgten im Rahmen von umfassenden baulichen Erhaltungsmassnahmen nach 40 Jahren Nutzung des Gebäudes.

(a)

Kenndaten

Baujahr	1965
Nutzung des Gebäudes	Schule
Personenbelegung	PB = 200
Gebäudewert	43 Mio. CHF
Bauwerksklasse	BWK II
Erdbebenzone	Zone Z1
Baugrundklasse	E
Erfüllungsfaktor bisher	$\alpha_{alt} = 0,1$
Erfüllungsfaktor neu	$\alpha_{neu} = 0,5$
Ertüchtigungsstrategie	Regularität verbessern
Ausführung der Ertüchtigung	2006
Kosten der Ertüchtigung	0,3 Mio. CHF oder 0,7 % des Gebäudewertes
Ingenieure	Marchand + Partner AG

(b)

Abbildung 3.1: Hauptgebäude (a) und die Kenndaten (b) des Fallbeispiels Gymnasium Neufeld (BE) [80].

3.1 Risikoermittlung und Risikobewertung

Das Gebäude wird im ursprünglichen Zustand durch eine über alle Geschosse durchgehende Dilatationsfuge in zwei Hälften unterteilt, die je durch einen im Grundriss exzentrisch liegenden Liftkern ausgesteift sind. Infolge Biegetorsionsschwingungen der beiden Teile besteht bereits bei geringer Erdbebenbeanspruchung Absturzgefahr an der Dilatationsfuge. Von aussen betrachtet zeigt das Gebäude ein architektonisch offen gestaltetes, weiches Erdgeschoss. Da jedoch die beiden massiven Liftkerne über alle Geschosse durchlaufen, weist das Gebäude ein im Aufriss regelmässiges Tragsystem auf.

Der Erfüllungsfaktor im Ist-Zustand α_{eff} weist einen Wert von 0.1 auf, was deutlich unter den minimalen Erfüllungsfaktor α_{min} von 0.25 liegt. Dieses bedeutet, dass das Individualrisiko bei ca. $5 \cdot 10^{-5}$ in einem unakzeptierbaren Bereich liegt (siehe Abbildung 2.2). Mit einer mittleren Personenbelegung PB von 200 liegt das kollektive Risiko bei einem Wert von 10^{-2} Todesfällen pro Jahr.

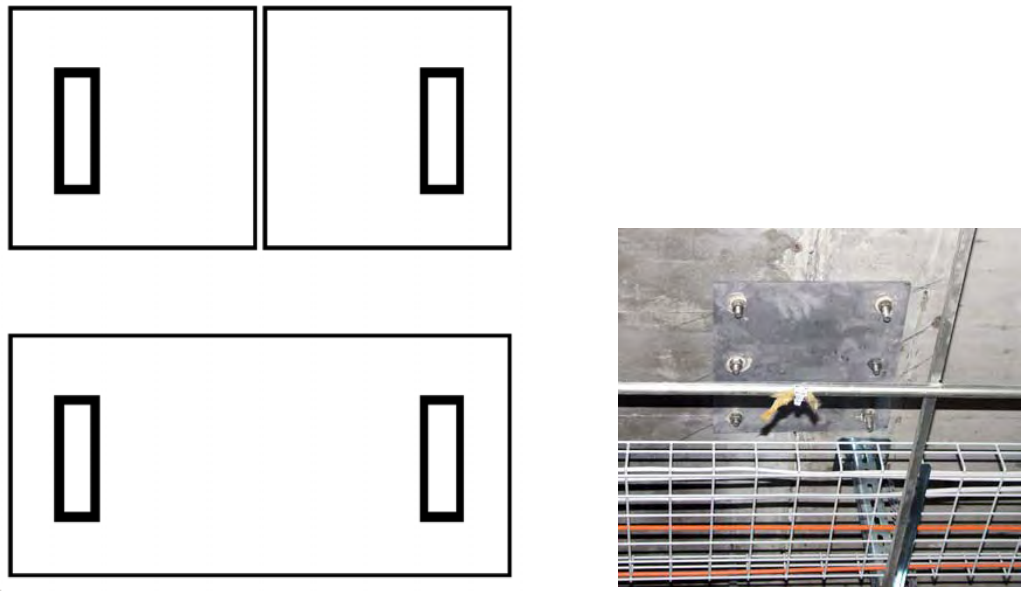
Mit zumutbaren Massnahmen kann der Erfüllungsfaktor auf mindestens 0.25 erhöht werden. Weitere Massnahmen zur Erhöhung der Erdbebensicherheit sind zu realisieren, sofern sie verhältnismässig sind.

3.2 Massnahmenkonzept und Massnahmenbewertung

Mit der Schliessung der ursprünglichen Dilatationsfugen der Geschossdecken kann ein durch die beiden bestehenden schlanken Stahlbetonliftkerne symmetrisch ausgesteiftes Gesamtsystem für die Abtragung der Erdbebenkräfte gebildet werden (Abbildung 3.2). Mit dieser Massnahme kann der Erfüllungsfaktor nach Intervention (α_{int}) auf einem Wert von 0.5 erhöht werden. Diese Massnahme kostet 300'000 CHF.

Mit einer angenommenen Restnutzungsdauer von 40 Jahren, liegen die Kosten für diese Massnahme im Bereich von 1.1 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall, was deutlich unter die Limite von 100 Mio. CHF für zumutbare Massnahmen liegt. Die theoretischen, maximal zumutbaren Sicherheitskosten zur Erhöhung des Erfüllungsfaktors von 0.10 bis 0.25 betragen für eine angenommene Restnutzungsdauer von 40 Jahren und eine mittlere Personenbelegung von 200 ca. 30 Millionen Franken (PB = 200 x ca. 150'000 CHF/PB, siehe Abbildung 2.3(b)). Zu bemerken ist, dass diese Massnahme über den minimalen Erfüllungsfaktor von 0.25 führt. Die Verhältnismässigkeit der Massnahme zwischen Erfüllungsfaktoren 0.25 und 0.50 ist auch erfüllt, da keine Zusatzkosten spezifisch zur Verbesserung des Erfüllungsfaktors zwischen 0.25 und 0.50 entfallen.

Um die Erdbebensicherheit auf einen Erfüllungsfaktor über 0.50 zu erhöhen wären die Stahlbetonliftkerne und deren Fundationen zu verstärken. Um den Erfüllungsfaktor von 0.50 auf 1.0 zu erhöhen sind die theoretischen maximalen verhältnismässigen Sicherheitskosten auf ca. 160'000 CHF (PB = 200 x ca. 800 CHF) beschränkt, was für eine Verstärkung der Stahlbetonkerne bei weitem unzureichend ist. Eine Ertüchtigung über α_{int} = 0.50 wäre dann mit unverhältnismässigen Kosten verbunden und wurde nicht vorgenommen.



(a) (b)

Abbildung 3.2: (a) Grundriss im Ist-Zustand mit zwei exzentrisch ausgesteiften Gebäudehälften (oben) und Grundriss im ertüchtigten Zustand mit einem zentrisch ausgesteiften Gebäude (unten); (b) Fugenschluss in den Geschossdecken mit beidseitig angeordneten Stahlplatten [80].

Kapitel 4

Fazit

Es sind in der Schweiz in den vergangenen Jahren sehr gute Grundlagen für die Gefahren- und Risikobeurteilung erarbeitet worden [16, 18, 71, 72, 80]. Diese Grundlage erlauben eine fundierte Beurteilung von Massnahmen nach dem Risikokonzept. Wenn sich auch diese Grundlagen im Einzelnen vom Vorgehen bei den gravitativen Naturgefahren unterscheiden und auch die Grenzkosten unterschiedlich sind (vgl. Zahlungsbereitschaft für zumutbare Massnahmen in Höhe von 100 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall), sind die Grundlagen für die Umsetzung des Risikokonzepts bereits sehr weit implementiert.

Der Bund verfügt über keine gesetzliche Grundlagen, um im Bereich der Erdbebensicherheit rechtliche Vorgaben für kantonale und private Bauwerken machen zu können. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt verfügen die meisten Kantone über keine Gesetze oder Verordnungen, die das erdbebensichere Bauen von privaten Bauten explizit verankern. In den meisten Fällen ist die Verantwortung den Bauherren und Projektverfassern überlassen, den Entscheid für eine Überprüfung und allfällige Ertüchtigungsmassnahmen eines bestehenden Bauwerks zu fällen. Auf der öffentlichen kantonalen Ebene sind Überprüfungen der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke besser institutionalisiert und realisiert. Damit haben der Bund und rund die Hälfte der Kantone bereits Erdbebensicherungen - oft im Rahmen von Umbauten oder Sanierungen - an eigenen Bauwerken durchgeführt. Im Vergleich dazu sind realisierte Erdbebenertüchtigungsprojekte von privaten Bauwerken noch eher selten.

Das Risiko durch Erdbeben in der Schweiz ist jedoch ernst zu nehmen und der Bund unternimmt verschiedene Anstrengungen um die Ingenieure in der Bewältigung der Sicherheitsanstrengungen zu unterstützen. Die vorhandenen Grundlagen können dazu einen wichtigen Beitrag für die konsequente Umsetzung des Risikokonzepts leisten.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS STURM

Dörte Aller, Thomas Egli, Daniel Rüttimann, Maja Stucki

Villargiroud (Egli Engineering)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Sturm anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzprojekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Da es sich beim Prozess Sturm um einen flächigen Prozess handelt und die Annahmen und Grundlagen sich von den bei gravitativen Prozessen unterscheidet, wird auf die Eigenheiten etwas ausführlicher eingegangen. Dieses Kapitel erhebt – anders als bei den gravitativen Naturgefahren – nicht den Anspruch auf eine vollständige Darstellung eines Fallbeispiels. Vielmehr wird der Schwerpunkt auf die Darstellung der methodischen Schritte gelegt. Die möglichen Zielgruppen für Abklärungen zum Sturmrisiko sind Gebäudeeigentümer, Planer, Versicherungen, Waldbesitzer, Betreibern von Freileitungen, Verkehrswegen/Brücken und hohen Schornsteinen.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Sturm charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird kurz ein Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses Sturm

Sturm ist eine atmosphärisch bedingte Luftbewegung von ausserordentlicher Heftigkeit. Schäden an Gebäuden werden durch die kurzzeitigen (wenige Sekunden dauernden) Böenspitzen verursacht (Abbildung 1.1). Die Einwirkung ist umso stärker, je grösser die Geschwindigkeit dieser Böenspitzen ausfällt und je besser die Eigenfrequenz des Gebäudes mit dem energiereichen Frequenzinhalt des Windes übereinstimmt. Es sind vor allem die Sogkräfte, welche die Ursache von

(a) (b)

Abbildung 1.1: Stürme können sowohl Gebäude als auch Fahrzeuge auf Verkehrswegen beschädigen. Foto: C. Häflinger, Büren (a), Krisenstab Frutigen (b).

Schäden an Gebäuden darstellen. Der Anprall von fliegenden Trümmerteilen und umstürzende Bäume stellen weitere Einwirkungsarten bei Sturm dar.

In der Schweiz lassen sich folgende Ausprägungen von Sturm unterscheiden:

- Winterstürme: Ausdehnung von 1'000 bis 1'500 km; Böenspitzen von 39 – 56 m/s (140 – 200 km/h), auf Bergen höher;
- Gewitter: kleinräumige Ausdehnung, aber fortschreitend; begleitet von Sturmböen und Fallwinden (Downburst);
- Föhnstürme: heftiger Fallwind in sogenannten Föhntälern; Böenspitzen wie bei Winterstürmen;
- Tornados: sehr lokal, im Extremfall 140 m/s (500 km/h).

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Sturm

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Gefahrenanalyse

1.2.1.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Ereignisanalyse bei Stürmen können die folgenden Informationsquellen dienen:

- Historische Daten (z.B. Messreihen, Ereignisberichte, historische Dokumente / Literatur);

- Geländeanalysen (z.B. Talverlauf, Geländeform und -rauhigkeit, die den Wind beeinflussen);
- Klimatische Gegebenheiten (z.B. Windregime);
- Lokale Erfahrungen;
- Umgebungsanalysen: Beeinflussung durch andere Objekte, z.B. Tunneleffekte in Strassenzügen, Luv- und Leeeffekte bei Hochhäusern;
- Auf theoretische Grundlagen und allgemeine Erfahrungen gestützte Überlegungen zum Ausmass von Ereignissen;
- Einfluss des betrachteten Objekts auf andere Objekte, z.B. andere Gebäude oder Fussgänger vor einem Gebäude.

Im Gegensatz zu den räumlich klar definierbaren Prozessen, wie z.B. Lawinen oder Hochwasser, können Stürme überall auftreten; es gibt daher keine bekannten Ereignisräume. Grundsätzlich können alle Objekte in der Schweiz betroffen sein. Lokale Einflüsse können die Intensität verstärken oder auch vermindern.

Im Folgenden werden die wichtigsten Grundlagen für die Ereignisanalyse bei Stürmen vorgestellt. Die erwähnten Grundlagen erheben nicht den Anspruch der Vollständigkeit; sie müssen im Einzelfall durch Expertenwissen ergänzt werden.

Historische Daten: Die Ereignisdokumentation ist das wichtigste Instrument zur Analyse vergangener Ereignisse. Extremereignisse spielen hier ebenfalls eine massgebende Rolle um sich einen Überblick über die Gefahrensituation durch Stürme im Projektperimeter zu verschaffen.

Geländeanalyse: Die Geländeanalyse erfolgt durch eine Begehung, gegebenenfalls wird ein Windingenieur hinzugezogen oder sogar Windkanalexperimente durchgeführt. Spezielle Gegebenheiten, wie z.B. Ausrichtung von Talverläufen und eventuelle Verstärkungseffekte (z.B. Strassenzug- oder Föhneffekt) sind hier zu berücksichtigen.

Klimatische Gegebenheiten: Wesentliche Grössen für die Beurteilung der klimatischen Gegebenheiten sind die Hauptwindrichtung, die Windgeschwindigkeit und evtl. die Dauer. Statistische Analysen und Extrapolationen von Messdaten können helfen, potentielle Ereignisse zu definieren. Die Windgeschwindigkeit wird in 10-Minuten-Mittel oder in maximalen Böen angegeben. Die Böen stellen eine besondere Belastung für Objekte dar. Die kurzzeitige Windgeschwindigkeitsspitze kann Schwingungen und zyklische Beanspruchung verursachen.

Lokale Erfahrungen und Expertenabschätzungen: Für die Beurteilung von Sturmprozessen sind der Einbezug von Erfahrungen der lokalen Bevölkerung wie auch von Experten sowie auf theoretische und allgemeine Erfahrungen gestützte Überlegungen sehr hilfreich.

Diese Grundlagen werden dazu verwendet die massgebenden Szenarien festzulegen. Die Festlegung der Szenarien hat immer mit in Absprache mit dem Auftraggeber und in Übereinstimmung mit der Zielsetzung der Beurteilung zu erfolgen.

1.2.1.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse werden die zu erwartenden Intensitäten durch die Verwendung von statistischen oder physikalischen Simulationsmodellen abgeschätzt.

Mit statistischen Verfahren können sowohl räumliche Interpolationen als auch Extrapolationen von Datenreihen erstellt werden. Dies sollte jedoch nur mit Experten (aus dem Bereich Statistik und Meteorologie) vorgenommen werden.

Für den Prozess Sturm sind verschiedene Simulationsmodelle verfügbar:

- Regionale Klimamodelle (Auflösung mehrere 10-Kilometer);
- Wettervorhersagemodelle (Auflösung mehrere Kilometer);
- Lokale Strömungsmodelle (Auflösung rund 1 km);
- Windtunnel-Experimente bzw. deren digitales Pendant.

Es ist zu beachten, dass die Detaillierung der Modelle mit dem gewünschten Zielmassstab übereinstimmt. Für die Wirkungsanalyse von Stürmen sind die folgenden Eingangsdaten zu berücksichtigen:

- Windrichtung;
- Windgeschwindigkeit (mittlerer Wind, Böen);
- Gegebenenfalls Dauer und Verlauf.

Die Kenntnis der Prozesse ist eine notwendige Voraussetzung für die richtige Auswahl der Modelle. Bei der Anwendung dieser Modelle ist die Kenntnis des Modellverhaltens, der massgebenden Parameter und ihrer Sensitivität sowie entsprechende Erfahrung in der Anwendung ebenfalls als Grundlage vorauszusetzen.

In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Für Stürme wird die Intensität über Windgeschwindigkeit – maximales 10-Minuten-Mittel oder maximale Böe (wenige Sekunden) definiert. Als Grundlage für die spätere Bestimmung der Schadenwirkungen wird in Anlehnung an bestehende Methoden die Intensität als Windstärke festgelegt:

Einteilung der Intensitäten nach der Beaufort–Skala: Die Windstärke wird am häufigsten nach der Skala von Admiral Beaufort (Beaufort 1806) eingestuft. Die für die Einteilung massgebenden Geschwindigkeiten entsprechen mittleren Windgeschwindigkeiten (10 Minutenmittel) und nicht Böenspitzen! Die Skala ist unterteilt nach 13 Stufen gemäss Tabelle 1.1. Windgeschwindigkeiten über 32.8 m/s (118 km/h) werden der höchsten Skalenstufe zugeordnet. Als Sturm gilt eine wetterbedingte Luftbewegung von mindestens Windstärke 9 nach Beaufort ($\geq$ 21 m/s (75 km/h) Windgeschwindigkeit).

Böen erreichen im Mittelland resp. Alpenvorland Werte über 42 m/s (150 km/h) und in Kammlagen des Alpenraums Werte über 70 m/s (250 km/h). Aus diesem Grund ist in der Konsequenzenanalyse zusätzlich die Torro Sturmwind Skala für Mitteleuropa wiedergegeben, welche die möglichen Schadenwirkungen in einem Bereich von 21 bis 139 m/s (75 bis 500 km/h) beschreibt.

Tabelle 1.1: Intensitäten nach der Beaufort-Windskala.

v [km/h]	**v** [m/s]	**Skala**	**Bezeichnung**	**Merkmale**
0 -1	0 – 0.2	0	Windstille	Keine Luftbewegung
1 - 5	0.3 – 1.5	1	Leiser Zug	Windrichtung nur an ziehendem Rauch erkennbar
6 – 11	1.6 – 3.3	2	Leichte Brise	Wind im Gesicht fühlbar
12 - 19	3.4 – 5.4	3	Schwacher Wind	Blätter werden bewegt, leichte Wimpel gestreckt
20 – 28	5.5 – 7.9	4	Mässiger Wind	Kleine Zweige werden bewegt, schwere Wimpel gestreckt
29 – 38	8.0 – 10.7	5	Frischer Wind	Grössere Zweige werden bewegt, Wind im Gesicht schon unangenehm
39 – 49	10.8 – 13.8	6	Starker Wind	Grosse Zweige werden bewegt, Wind singt in der Takelage
50 – 61	13.9 – 17.1	7	Steifer Wind	Schwächere Bäume werden bewegt, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind
62 – 74	17.2 – 20.7	8	Stürmischer Wind	Grosse Bäume werden bewegt, Zweige abgebrochen, beim Gehen erhebliche Behinderung
75 – 88	20.8 – 24.4	9	Sturm	Leichtere Gegenstände werden aus ihrer Lage gebracht, Dachziegel an exponierten Stellen können sich lockern
89 – 102	24.5 – 28.4	10	Schwerer Sturm	Gartenmöbel und leichtere Gegenstände werden umgeworfen, Windbruch an Bäumen
103 – 117	28.5 – 32.6	11	Orkanartiger Sturm	Leichte Schäden an Dachziegeln und Verblechungen, geringe Schäden an Leichtbauten
$\geq$ 118	$>$ 32.7	12	Orkan	Schwere Verwüstungen

Einteilung nach Windstärkeklassen des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz): Tabelle 1.2 veranschaulicht die Windstärkeklassen, wie diese bei Warnungen durch MeteoSchweiz verwendet werden. Diese Windstärkeklassen stellen die Zusammenhänge zwischen mittlerer Windgeschwindigkeit und Böen dar.

Die Ergebnisse der Ereignis- und Wirkungsanalyse werden kartographisch dargestellt. Als Resultat der Gefahrenanalyse erhält man somit Intensitätskarten für den Prozess Sturm. Diese Karten stellen die Voraussetzung für die weitere Risikobetrachtung, genauer für die Expositionsanalyse dar (siehe Abschnitt 1.2.2).

Tabelle 1.2: Windstärkeklassen der MeteoSchweiz.

Windstärke	**Windart**	**v** [km/h]	**v** [m/s]	**Beaufortskala**
schwach	Mittlerer Wind	≤ 14	≤ 3.9	ca. 1 – 2
	Böenspitzen	≤ 26	≤ 7.2	
mässig	Mittlerer Wind	14 – 28	3.9 – 8.1	ca. 3 – 4
	Böenspitzen	26 – 49	7.2 – 13.6	
stark	Mittlerer Wind	29 – 55	8.1 – 15.3	ca. 5 – 7
	Böenspitzen	50 – 89	13.9 – 24.7	
stürmisch	Mittlerer Wind	56 – 96	15.6 – 26.7	ca. 8 – 10
	Böenspitzen	90 – 149	25.0 – 41.4	
orkanartig	Mittlerer Wind	> 96	> 26.7	ca. 11 – 12
	Böenspitzen	$>$ 149	$>$ 41.7	

Die Grundlage der Windbemessung von Gebäuden bildet der Referenzstaudruck. Dieser kann der Karte in der SIA Norm 261 (2003), Anhang E entnommen werden und beruht sowohl auf Böen- und Richtungsmessungen (Messreihen von 20 bis 25 Jahren) als auch auf numerischen Simulationen historischer Ereignisse. Der Referenzstaudruck ist für die Geländekategorie freies Feld in 10 Metern Höhe angegeben. Die Wiederkehrperiode von 50 Jahren wurde in Anlehnung an die Euronorm gewählt. Zusammen mit dem Lastbeiwert von 1.5 entspricht dies einer Wiederkehrperiode von 150 Jahren.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist der Unsicherheit entsprechend Rechnung zu tragen (siehe auch SIA Dokumentation D 0188 Wind, 2006).

Abbildung 1.2 ist der Norm SIA 261 entnommen und stellt den Referenzwert des Staudrucks dar.

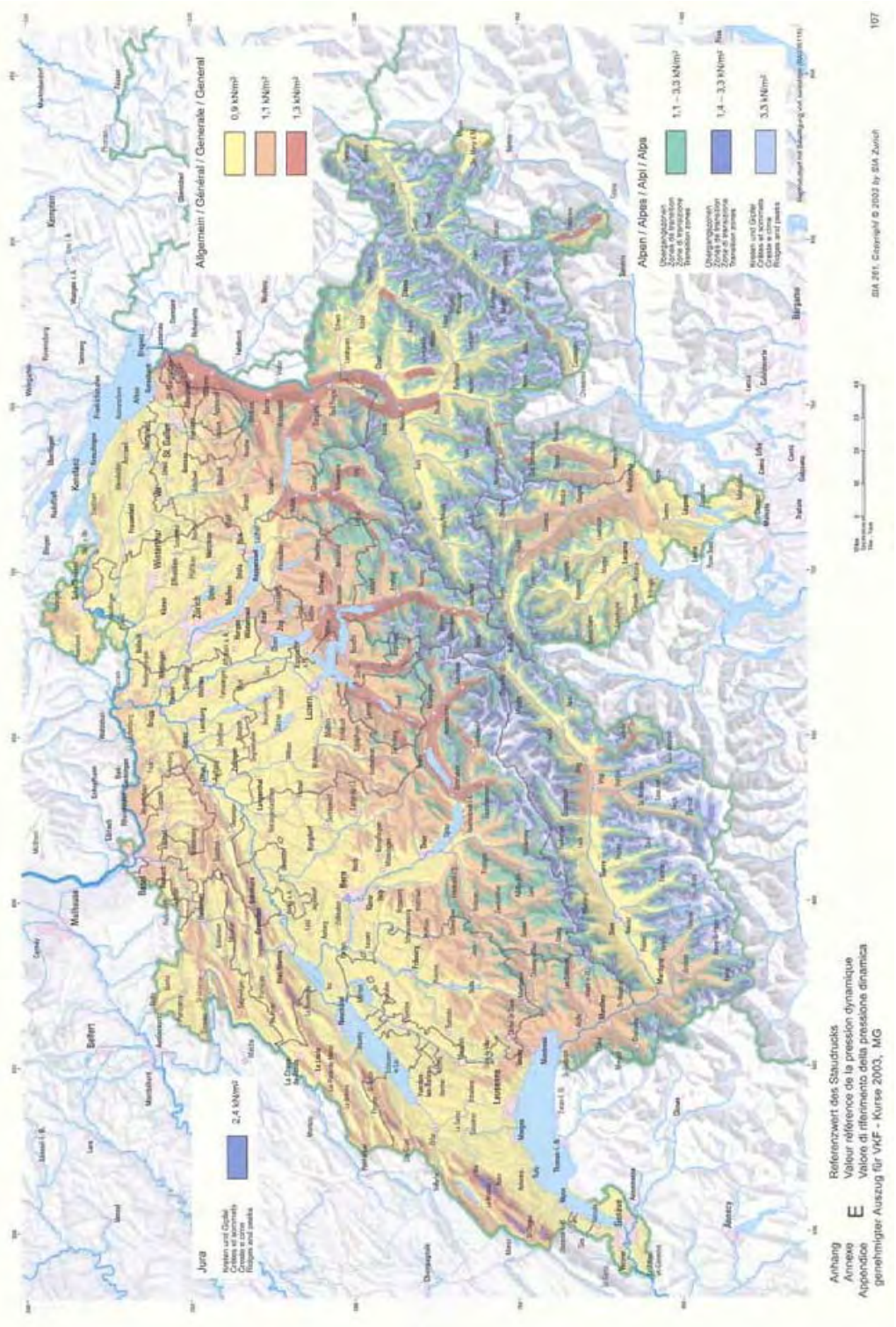


Abbildung 1.2: Referenzwert des Staudrucks. Quelle: SIA 261.

1.2.2 Expositionsanalyse

Stürme können mit ihrer Zerstörungskraft Gebäude (z.B. Wohngebäude, Industriegebäude, Hotel, Schule, Bahnhof, Spital, etc.), Sonderobjekte (z.B. Hochhaus) aber auch Flächenobjekte, wie landwirtschaftliche Flachen, Grünanlagen, Wald beschädigen oder zerstören. Dabei können auch Personen in Gebäuden, auf Verkehrswegen oder im Freien gefährdet sein.

In Bezug auf **Gebäude und Infrastruktur** sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

Lage der Gebäude und Infrastrukturanlagen: Der Wind wird im ebenen Gelände durch die Reibung an der Erdoberfläche gebremst. Die Rauhigkeit der Geländeoberfläche beeinflusst die Bremswirkung und das Mass der Turbulenz. Die Geländekategorien (Seeufer, freies Feld, Ortschaften, grossflächige Stadtgebiete, etc.) und ihr Einflussfaktor sind in der SIA-Norm 261 (2003) angegeben. Gebäude an Kuppen- und Kamm-Lagen sowie im Gebirge sind laut SIA Norm 261 (2003) speziell zu berücksichtigen.

Art und Nutzung der Gebäude und Infrastrukturanlagen: Die Art der Gebäude kann entweder mit Hilfe vorhandener Datensätze oder mit Hilfe von Informationen der Gebäudeversicherungen erhoben oder aber im Feld bestimmt werden. Es ist zu bestimmen, wie ein Gebäude genutzt wird (z.B. Wohnnutzung). Angaben über Art und Nutzung von Infrastrukturanlagen sind über die Gemeinde oder kantonale Behörden erhältlich.

Konstruktion der Gebäude: Diese Daten sollen einen Rückschluss auf die Verletzlichkeit der Gebäudestruktur (Tragwerk und Gebäudehülle) und des Gebäudeinhalts erlauben. Die Erhebung dieser Daten stellt oft die grösste Schwierigkeit bei der Expositionsanalyse dar. Diese Informationen liegen in der Regel nicht vor. Vorhandene Daten bei Gebäudeversicherungen können das Schadenausmass eingrenzen. Die konkrete Frage der Verletzlichkeit kann nur aufgrund von Bauakten (Ausführungspläne, Statische Nachweise) beurteilt werden. Liegen diese Bauakten nicht vor, ist eine Einzelerhebung im Feld notwendig. Diese kann jedoch die Verletzlichkeit nur grob eingrenzen.

Wert der Gebäude und des Gebäudeinhalts sowie der Infrastrukturanlagen: Als Gebäudewerte wurden im Rahmen von Vereinheitlichungen (EconoMe) Pauschalwerte definiert, die für diese Zwecke genutzt werden können. Denn nur in seltenen Fällen kann auf konkrete Gebäudewerte z.B. vom Grundbuchamt oder von der Versicherung zurückgegriffen werden (Datenschutz).

Personen sind bei Sturm insbesondere auf Verkehrsachsen und im Freien durch umstürzende Bäume und weggerissene Teile (Trümmeranprall) gefährdet. Die Identifikation dieser Objekte richtet sich nach statistischen Daten (z.B. durchschnittlicher täglicher Verkehr auf einer Verkehrsachse) und nach Schätzungen (z.B. Anzahl Spaziergänger auf Waldweg bei Sturm).

In einigen Fällen sind auch andere, **nicht ortsfeste Objekte** im untersuchten Gebiet vorhanden, deren Präsenz sich über die Zeit ändern kann. Dazu zählen z.B. Nutztiere, Fahrzeuge und andere Güter. Der Aufenthaltsort und die Anzahl von anwesenden (Nutz-)Tieren und Objekten müssen bestimmt werden. Tiere können sich dabei in Gebäuden (Ställe), aber auch im Freien aufhalten.

1.2.3 Konsequenzenanalyse

Die Schadenempfindlichkeit durch Sturm kann anhand der für Mitteleuropa angepassten Sturmschaden Skala (Fujita- und Torro-Skala) abgeschätzt werden[1]. Die Böen werden zu den Schadenfolgen in Beziehung gesetzt. Anhand dieser Skala (Tabelle 1.3) können die Schadenfolgen von Stürmen abgeschätzt werden. Bei der angegebenen Windgeschwindigkeiten handelt es sich um Böen.

Tabelle 1.3: Sturmschadenskala (Fujita- und Torro-Skala).

v [km/h]	**v** [m/s]	**Skala**	**Merkmale**
76 ± 14	17 – 25	T0	Schadensatz: S_{leicht} = 0.05 %, S_{massiv} = 0.01 % Leichte Gegenstände werden vom Boden abgehoben. Äste beginnen abzubrechen, in Getreidefeldern ist der Zugweg erkennbar. Baugerüste können umstürzen, leichte Schäden an Markisen und Zelten. Dachziegel an exponierten Stellen können sich lockern. Keine Schäden an Gebäudetragwerken.
104 ± 14	25 – 33	T1	Schadensatz: S_{leicht} = 0.10 %, S_{massiv} = 0.05 % Gartenmöbel und leichtere Gegenstände werden umgeworfen und können durch die Luft gewirbelt werden. Holzzäune werden umgeworfen. Windbruch an Bäumen. Leichte Schäden an Dachziegeln und Verblechungen. Geringe Schäden an Leichtbauten; keine strukturellen Schäden.
135 ± 16	33 – 42	T2	Schadensatz: S_{leicht} = 0.25 %, S_{massiv} = 0.10 % Auch schwerere Gegenstände werden vom Boden aufgehoben und können zu gefährlichen Geschossen werden. Fahrzeuge und Anhänger können umgeworfen werden. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer werden teilweise abgedeckt. Geringe bis mittelschwere Schäden an Leichtbauten; erste Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten möglich. An Bäumen werden einzelne starke Äste abgebrochen oder geknickt, kleine Bäume entwurzelt.
167 ± 16	42 – 51	T3	Schadensatz: S_{leicht} = 0.80 %, S_{massiv} = 0.25 % Einzelne grössere Bäume werden entwurzelt. Zahlreiche Fahrzeuge und Anhänger werden umgeworfen. Ziegel- und ungesicherte Flachdächer erleiden grössere Schäden. Mittelschwere Schäden an Leichtbauten; einzelne Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Fahrende Autos werden von der Strasse gedrückt.

[1] Dotzek et al., 2000. Die Bedeutung von Johannes P. Letzmanns «Richtlinien zur Erforschung von Tromben, Tornados, Wasserhosen und Kleintromben» für die heutige Tornadoforschung. Meteorologische Zeitschrift, 9, 165 - 174

Tabelle 1.3: Sturmschadenskala (Fujita- und Torro-Skala). ... Fortsetzung ...

v [km/h]	**v** [m/s]	**Skala**	**Merkmale**
202 ± 18	51 – 61	T4	Schadensatz: S_{leicht} = 3 %, S_{massiv} = 0.80 % Schwerer Windbruch an freistehenden Bäumen und in Wäldern. Grosse Schäden an Fahrzeugen und Anhängern. Hohe Gefährdung und Schäden durch herumfliegende Teile. Ganze Dächer werden abgedeckt. Schwere Schäden an Leichtbauten; zunehmend Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten, Einsturz von Giebelwänden möglich.
238 ± 18	61 – 71	T5	Schadensatz: S_{leicht} = 10 %, S_{massiv} = 3 % Schwere Schäden an Dächern und Anbauten. Schwere Schäden an Leichtbauten; weiter zunehmende Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Vollständiger Einsturz einzelner Gebäude, vor allem landwirtschaftlich genutzter Konstruktionen und Lagerhallen. Kraftfahrzeuge werden hochgehoben.
275 ± 20	71 – 82	T6	Schadensatz: S_{leicht} = 30 %, S_{massiv} = 10 % Leichtbauten werden in grösserem Umfang zerstört. Schwere Schäden an strukturellen Elementen von Massivbauten. Einsturz einzelner Gebäude. Schwere Kraftfahrzeuge werden hochgehoben.
315 ± 20	82 – 93	T7	Schadensatz: S_{leicht} = 90 %, S_{massiv} = 30 % Verbreitet völlige Zerstörung von Leichtbauten und schwere Schäden an Massivbauten. Einsturz zahlreicher Gebäude. Deutliche Entrindung stehen bleibender Bäume durch umherfliegende Trümmer.
356 ± 22	93 – 105	T8	Schadensatz: S_{leicht} = 100 %, S_{massiv} = 60 % Schwere Schäden an Massivbauten. Verbreiteter Einsturz von Gebäuden, deren Einrichtung weit verstreut wird. Kraftfahrzeuge werden über grosse Strecken geschleudert.
400 ± 22	105 – 117	T9	Schadensatz: S_{leicht} = 100 %, S_{massiv} = 80 % Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Züge werden von den Schienen gerissen. Totale Entrindung stehengebliebener Baumstämme.
445 ± 23	117 – 130	T10	Schadensatz: S_{leicht} = 100 %, S_{massiv} = 90 % Überwiegend Totalschäden an Massivbauten.
491 ± 23	130 - 143	T11	Schadensatz: S_{leicht} = 100 %, S_{massiv} = 95 % Überwiegend Totalschäden an Massivbauten. Unvorstellbare Schäden entstehen.

Schadenempfindlichkeitswerte für Personen und Sachwerte auf Verkehrsachen, für Personen und Sachwerte entlang Bahnlinien und für andere Infrastruktureinrichtungen fehlen und müssen im Einzelfall abgeschätzt weren. Ebenso wenig Angaben sind für Flächenobjekte, wie landwirtschaftliche Flächen, Wald und Grünflächen vorhanden. Eine Schadenfolgeneinstufung für Holzgewächse in Bezug auf die Torro-Skala findet sich in Hubrig (2002)[2]. Die anderen Werte müssen basierend auf Erfahrungswerten abgeschätzt werden.

Die **räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit** muss im Einzelfall abgeschätzt werden. Es sind keine generellen Werte vorhanden.

1.3 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Da beim Prozess Sturm Personen und Sachwerte betroffen sein können, müssen die Personen- und die Sachwerte bewertet werden. Bei den Personen sind jeweils die kollektiven und die individuellen Risiken zu bewerten.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff.

Beim Neubau wird die Schadenempfindlichkeit durch Sturm durch folgende Planungskriterien beeinflusst:

- Gebäudestandort
- Gebäudehöhe
- Gebäudeausrichtung
- Gebäudeform
- Dachform

1.4.1 Mögliche Massnahmen

Es stehen zwei Arten von Massnahmen zur Verfügung: (i) Verstärkungsmassnahmen und (ii) Abschirmungen.

1.4.1.1 Verstärkungsmassnahmen

Bestehende Gebäude können durch folgende Massnahmen geschützt werden:

[2]Hubrig, M. 2002. Tornado- und Downburstschadenskala für Holzgewächse, basierend auf der Skalierung nach TORRO angepasst für Mitteleuropa (TorDACH). In: Zweites Forum Katastrophenvorsorge, Extreme Naturereignisse - Folgen, Vorsorge, Werkzeuge, Leipzig.

- Tragwerksverstärkungen
- Dachverstärkungen
- Fassadenverstärkungen
- Verstärkungen von Öffnungen

1.4.1.2 Abschirmungen

Folgende Massnahmen reduzieren die Wirkung des Windes auf Gebäude:

- Dachverschalungen
- Verschalung von Öffnungen

1.4.2 Bestimmen der Wirksamkeit

Die Schutzmassnahmen verhindern, dass Teile der Gebäudehülle weggerissen werden oder selbst das ganze Bauwerk einen Kollaps erleidet. Die Bemessungsgrösse wird durch SIA 261 vorgegeben.

Zur Planung der Schutzmassnahmen sind die globalen und die lokalen Druck- und Sogkräfte, welche auf das Gebäude einwirken, als Eingangsgrössen zu ermitteln.

Die Beurteilung der Wirksamkeit erfolgt fallspezifisch. Es ist kein generelles Vorgehen bekannt.

1.4.3 Berechnen der Kosten

Aufgrund der Massnahmenvorschläge können deren Kosten abgeschätzt werden. Dabei sind nicht primär die reinen Investitionskosten ausschlaggebend, sondern die darauf basierenden jährlichen Kosten. Diese setzen sich aus den Abschreibungen der Investitionskosten sowie den Kosten für Betrieb und Unterhalt zusammen. In Teil A wird das Vorgehen zur Berechnung der jährlichen Kosten von Massnahmen erläutert (Formel 5.1, Abschnitt 5.6, Seite 57ff).

1.4.4 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dies jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Der Redundanz von verschiedenen Massnahmen ist dabei die nötige Beachtung zu schenken.

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

1.4.5 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

Dieses Vorgehen wird im folgenden Kapitel anhand eines Fallbeispiels aufgezeigt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Sturmauswirkungen auf Industriebetrieb im Mittelland

2.1 Einleitung

Als konkretes Fallbeispiel wird der Umbau einer Montagehalle mit Blechdach eines Industriebetriebs in der Region Mittelland betrachtet.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

Für das Fallbeispiel der Montagehalle im Mittelland waren zunächst die lokalen topographischen Gegebenheiten zu evaluieren. Die Halle steht am Siedlungsrand angrenzend an eine unverbaute, weite Talebene. Dieses Objekt konnte daher der Geländekategorie «freies Feld» zugeordnet werden. MeteoSchweiz erstellte Analysen und Aufzeichnungen zu vergangenen Ereignissen. Damit konnte, neben der Intensitätskarte, abgeschätzt werden, welche Ereignisse bereits statt gefunden haben und was diese am betreffenden Ort allenfalls für Schäden angerichtet haben.

Es wurden ein 20-, ein 50-, ein 100- und ein 300-jährliches Szenario angenommen.

2.2.2 Wirkungsanalyse

In der Wirkungsanalyse wurde die konkrete Windbelastung dieses Objektes ermittelt. Gemäss SIA 261, Anhang E (Abbildung 1.2), ist mit einem Referenzwert des Staudrucks q_{p0} von 0.9 kN/m^2 zu rechnen. Die Gebäudehöhe der Montagehalle ist 10 m und die Geländekategorie ist Klasse III (freies Feld). Daher resultierte für den Staudruck q_p dieses Objektes 0.9 kN/m^2.

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der exponierten fixen Objekte

Die Expositionsanalyse bei der Montagehalle im Mittelland konzentrierte sich auf die Ermittlung der Verletzlichkeit der Baustruktur. Bei der Überprüfung der Befestigung des bestehenden Blechdaches zeigten sich Mängel. Als Verbindungsmittel zwischen Konterlattung und Sparrenpfetten wurden anstelle der notwendigen Schraubenverbindungen glattschaftige Nägel verwendet. Dadurch konnten Kosten an Arbeit und Material von rund CHF 3'000.- eingespart werden. Die Verletzlichkeit des Daches gegenüber Sturm (Sogwirkung) wurde dadurch erhöht.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Durch die Systemabgrenzung wurde nur die Montagehalle betrachtet. Direkte Auswirkungen des Sturmes auf Personen in Hallennähe wurden nicht untersucht. Jedoch können herumfliegende Teile eine Gefährdung für Personen darstellen. Dies floss in die Analyse ein.

Ein Feldweg führt in unmittelbarer Nähe östlich an der Halle vorbei. Dieser wird von Spaziergängern genutzt. Die weitere Umgebung besteht aus der Zufahrtsstrasse zum Betrieb sowie Ackerflächen.

Es wurde angenommen, dass sich pro Tag 12 Personen während 1.5 min im gefährdeten Bereich aufhalten. Diese Annahme galt für alle Szenarien.

2.4 Konsequenzenanalyse

Aufgrund des ermittelten Staudrucks q_p von 0.9 kN/m^2 konnten die Windkräfte und die Winddrücke an der Montagehalle ermittelt werden. Hierbei sind die Angaben gemäss SIA 261 massgebend. Es zeigte sich, dass das bestehende Blechdach ungenügend gegen Sogkräfte bemessen ist.

Für die Berechnung des Schadenausmasses wurden folgende Annahmen getroffen (Tabelle 2.1):

Tabelle 2.1: Annahmen zur räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit p_{rA} und zur Letalität λ von Personen.

Parameter	Sz20	Sz50	Sz100	Sz300
prA	0.05	0.2	0.4	0.5
λ	0.1	0.2	0.33	0.5

Daraus lässt sich das in Tabelle 2.2 dargestellte Schadenausmass errechnen.

Tabelle 2.2 zeigt, dass bei einem Windereignis der Wiederkehrperiode von 20 Jahren mit ersten Sachschäden im Betrag von rund CHF 20'000.- am Blechdach zu rechnen ist. Diese steigen auf rund CHF 80'000 für ein 50-jährliches Ereignis, auf CHF 100'000.- für ein 100-jährliches Ereignis und auf CHF 150'000.- für ein 300-jährliches Ereignis. Das weggerissene Blechdach gefährdet

Tabelle 2.2: Schadenausmass für das 20-, 50-, 100- und 300-jährliche Szenario. Das Schadenausmass für Personen wurde mit 5 Mio. CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert.

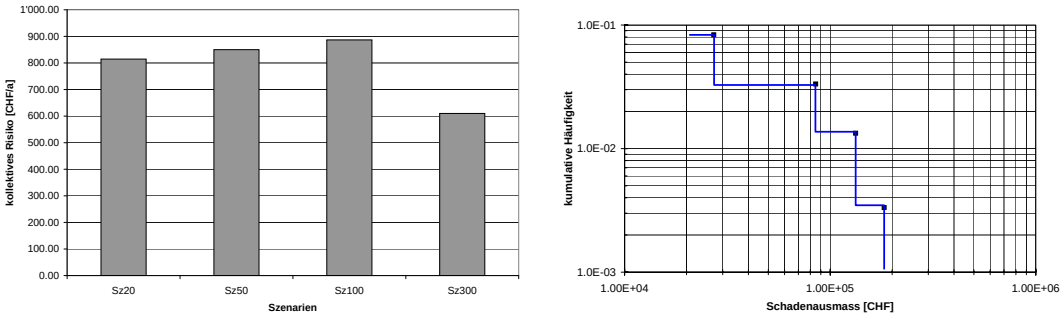
Kategorie	**Sz20**	**Sz50**	**Sz100**	**Sz300**
Sachwerte [CHF]	20'650	80'000	116'500	151'500
Personen [Tf]	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$6.3 \cdot 10^{-3}$
Personen [CHF]	6'500	5'000	16'500	31'500
Gesamt [CHF]	27'150	85'000	133'000	183'000

zudem Personen im Freien. Aufgrund der Annahmen zur örtlichen Präsenz von Personen, der Verletzlichkeit und der Trefferwahrscheinlichkeit wurde das Schadenausmass ermittelt.

2.5 Risikoermittlung

2.5.1 Kollektive Risiken

Durch Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit der angenommenen Szenarien konnte das kollektive Risiko für Personen und Sachwerte berechnet werden. Das gesamte kollektive Risiko beträgt rund 3'200 CHF/a. Die Personenrisiken wurden dazu mit 5 Mio. CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert. Das Ergebnis ist in Abbildung 2.1 dargestellt.



(a) (b)

Abbildung 2.1: Verteilung der kollektiven Risiken auf die Szenarien (a) und das Wahrscheinlichkeits-Ausmass Diagramm der Risiken für das Fallbeispiel Montagehalle Mittelland (b).

2.5.2 Individuelle Risiken

Für die Bestimmung des individuellen Risikos wurde angenommen, dass die am stärksten exponierte Person während einer Sturmsituation den Weg entlang der Halle vier Mal täglich begeht. Daraus errechneten sich individuelle Risiken in den einzelnen Szenarien von $1.1 \cdot 10^{-5}$ bis $2.1 \cdot 10^{-6}$.

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Die Verteilung der kollektiven Risiken (Abbildung 2.1 (a)) zeigt, dass das 100-jährliche Szenario am meisten zum gesamten Risiko beiträgt, gefolgt vom 50- bzw. 20-jährlichen Szenario. Das 300-jährliche Szenario trägt am wenigsten zum Gesamtrisiko bei. Dies deutet darauf hin, dass vor allem die Risiken, die durch häufigere Ereignisse verursacht werden, verringert werden mussten.

2.6.2 Individuelle Risiken

Bei der Bewertung der berechneten individuellen Risiken musste von einem hohen Grad der Freiwilligkeit ausgegangen werden, da es sich um einen Spaziergänger handelt. Daher lagen die individuellen Risiken der stark exponierten Person in der Grösse von $1.1 \cdot 10^{-5}$ bis $2.1 \cdot 10^{-6}$ unter den Grenzwerten (vgl. Teil A, Tabelle 4.2, Seite 43). Somit ergab sich aus Sicht des individuellen Risikos kein zusätzlicher Handlungsbedarf.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Das Beispiel der Montagehalle zeigte, dass aus Gründen des Sachrisikos zusätzliche Schutzmassnahmen notwendig waren. Beim Umbau wurde entschieden, die vorhandene Befestigung des Blechdaches zu ersetzen, so dass selbst ein Sturm der Wiederkehrperiode von 300 Jahren zu keiner Beschädigung führt.

Technische Massnahmen. Die Befestigung des Daches wurde ersetzt, so dass Ereignisse mit einer Jährlichkeit von 300 Jahren schadlos überstanden werden.

2.8 Wirksamkeit

Die Dimensionierung der Massnahme wurde so ausgelegt, dass eine 100%-ige Wirksamkeit gewährleistet ist. Die Risiken wurden damit auf nahezu 0 CHF/a reduziert. Die verbleibenden Restrisiken sind vernachlässigbar klein und können nicht quantifiziert werden. Es konnte daher von einer Risikoreduktion von rund 3'200 CHF/a ausgegangen werden.

2.9 Kosten

Es war mit Investitionskosten in Höhe von 30'000 CHF zu rechnen. Die Lebensdauer der Massnahme wurde mit 50 Jahren angenommen; es waren keine Unterhalts- und Reparaturkosten während der Lebensdauer zu erwarten. Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgte nach der Methode, die im Teil A erläutert wurde (Abschnitt 5.6, Seite 57ff). Dabei wurde ein Diskontsatz von 2% angenommen. Es errechneten sich jährliche Kosten in Höhe von 900 CHF.

2.10 Massnahmenbewertung

Da es sich bei der vorgeschlagenen Massnahme um eine Einzelmassnahme handelte, konnte kein Risiko-Kosten-Diagramm gezeichnet werden. Es war lediglich eine Überprüfung der Kostenwirksamkeit möglich. Da die Risikoreduktion hier als alleiniger Nutzen definiert wurde, betrug das Nutzen-Kosten-Verhältnis der Massnahme 3.5. Die Massnahme zeigte damit ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis. In diese Beurteilung waren Sekundärschäden, beispielsweise durch eindringendes Regenwasser, die mit der gleichen Massnahme ebenfalls behoben wurden, nicht eingerechnet. Damit würde das Nutzen-Kosten-Verhältnis nochmals ansteigen.

Kapitel 3

Fazit

Das Fallbeispiel zeigt, dass eine risikobasierte Planung von Massnahmen gegen Sturm nach dem Risikokonzept in den Grundsätzen möglich ist. Die Abschätzung von Szenarien ist – wie bei allen Prozessen – mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Ebenso ist die Schadenempfindlichkeit von Objekten vielfach nur unzureichend bekannt und muss abgeschätzt werden.

Das Rechenbeispiel zeigte deutlich, dass trotz der relativ hohen Kosten für die Sanierung des Daches die Schutzmassnahmen lohnend sind, da ein noch höherer Schaden verhindert werden kann. Hier zeigt sich auch deutlich, dass die beim Bau eingesparten Kosten von 3000 CHF gegenüber den heute fälligen 30’000 CHF Investitionskosten gut eingesetzt gewesen wären.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass bei allen Unsicherheiten, die bei einer solchen Beurteilung inhärent sind, ein nachvollziehbarer Entscheid gewährleistet werden kann.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS HAGEL

Maja Stucki, Thomas Egli, Dörte Aller, Daniel Rüttimann

Gärtnerei (Egli Engineering)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Hagel anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Dabei werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzprojekte vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Da es sich beim Prozess Hagel um einen flächigen Prozess handelt und die Annahmen und Grundlagen sich von denen bei gravitativen Prozessen unterscheiden, wird auf die Eigenheiten etwas ausführlicher eingegangen. Dieses Kapitel erhebt – anders als bei den gravitativen Naturgefahren – nicht den Anspruch auf eine vollständige Darstellung eines Fallbeispiels. Vielmehr wird der Schwerpunkt auf die Darstellung der methodischen Schritte gelegt. Eine wichtige Grundlage für die folgenden Betrachtungen sind die Ergebnisse des Projekts «Elementarschutzregister Hagel» [79, 77]. Für die Beurteilung sind verschiedene Grundlagen in der Literatur zu finden. Zielpublika für Abklärungen zum Hagelrisiko sind insbesondere Gebäudeeigentümer, Planer, Versicherungen, Autohändler und die Landwirtschaft.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Hagel charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird kurz ein Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses Hagel

Form und Grösse der Eiskörner sowie Art und Intensität der Hagelwirkung werden beeinflusst durch das Klima, die Topographie und die Windverhältnisse.

Ohne Gewitter kein Hagel. Umgekehrt gibt es viele Gewitter ohne Hagel, wenn entweder die atmosphärischen Bedingungen für eine Hagelbildung nicht ausreichen oder die Hagel- bzw. Grau-

pelkörner klein sind oder schmelzen und den Erdboden nur mehr als Platzregen erreichen. Als grobe Faustformel gilt, dass die Hagelhäufigkeit etwa ein Zehntel der Gewitterhäufigkeit beträgt. Am grössten ist die Hagelgefahr in Gebieten, in denen trockenkalte und feuchtwarme Luftmassen aufeinanderstossen, und in Gebirgsregionen, wo die Konvektion durch Bergmassive zusätzlich verstärkt wird. Die plötzlichen und intensiven vertikalen Umlagerungen in der Atmosphäre, aus denen sich die Gewitter entwickeln, entstehen entweder bei starker Sonneneinstrahlung über heissen Landflächen oder beim Aufeinandertreffen unterschiedlicher Luftmassen, vor allem bei der Beendigung sommerlicher Hitzeperioden durch eine grossräumig vordringende Kaltfront. Voraussetzung ist dabei eine labile Schichtung der Atmosphäre. Zur Entstehung grosser Hagelkörner sind entsprechend hohe Aufwinde in der Gewitterwolke notwendig. Werden die Körner in der Schwebe gehalten, so können sie der umströmenden Wolkenluft die enthaltenen Wassertröpfchen und Eiskristalle entziehen und weiterwachsen. Die Aufwinde sind meist in engen Schloten innerhalb des Gewitters konzentriert. Wenn der Auftrieb in einem Aufwindschlot plötzlich nachlässt, dann fällt die vorher in Schwebe gehaltene Tropfen- und Hagelmasse schlagartig aus. Dasselbe Gewitter kann mehrere, räumlich voneinander abgesetzte Hagelschläge auslösen. Ein Hagelzug oder Hagelstrich, wie das zusammenhängende Hagelgebiet genannt wird, erstreckt sich im Normalfall über eine Länge von wenigen Kilometern und einer Breite von weniger als einem Kilometer.

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hagel

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Einleitung

Neben den üblichen Vorbereitungsarbeiten (s.a. Teil A, Abschnitt 3.1, Seite 10ff) müssen verschiedene Grundlagen, wie Ereigniskataster, technische Berichte und Gutachten (auch zu ähnlichen Situationen), Zeitungsberichte, aber auch mündliche Erfahrungsberichte etc. zusammen gestellt werden. Dazu gehören auch Daten zu menschlichen Aktivitäten im Betrachtungsgebiet inkl. deren potenzielle zukünftige Entwicklung sowie Daten zu natürlichen Gegebenheiten inkl. Vegetation und meteorologische Daten etc.

1.2.2 Gefahrenanalyse

1.2.2.1 Ereignisanalyse

In der Ereignisanalyse werden die zu berücksichtigenden Gefahren identifiziert und spezifiziert. Als Grundlage für die Ereignisanalyse bei Hagel können die folgenden Informationsquellen dienen:

- Ereignisdaten von Messungen, Beobachtungen oder Radardaten;
- Schadendaten von Versicherungen (Gebäude-, Auto – und Landwirtschaftsversicherungen).

Im Folgenden werden die gängigen Methoden, die bei der Gefahrenabschätzung ihre Anwendung finden, kurz vorgestellt. Diese Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefahrenbeurteilung erhebt jedoch nicht den Anspruch der Vollständigkeit, sondern muss durch Expertenwissen ergänzt werden.

Methode Schiesser [66]: Zur Abschätzung der Wiederkehrperioden von bestimmten Hagelkorngrössen in ausgewählten Regionen der Schweiz können Radardaten verwendet werden. Dazu werden raum-zeitliche Niederschlagsmessungen von operationellen Wetterradaren verwendet. Die höchste auf dem Radarbild erkennbare Niederschlagsintensität entspricht der Grenze zwischen Starkregen und Hagelschlag. Diese Intensitätsflächen werden von Hagelzellen verursacht, welche aus den Niederschlagsbildern nach bestimmten Kriterien extrahiert werden können. Werden solche Hagelzellen über einen längeren Zeitraum erfasst, erhält man eine Hagelsturmklimatologie. Die Stürme werden anhand ihrer Sturmzentren elf Klimazonen zugeordnet. Nördlich der Alpen sind dies Jura Ost und West (JE, JW), Mittelland Ost, Zentrum und West (ME, MZ, MW) und Alpen Ost, Zentrum und West (AE, AZ, AW). Eine Zone befindet sich südlich der Alpen (AS). Zusätzlich wurden noch die Zonen Wallis und Graubünden eingeführt.

Zur Erfassung der Hagelstürme stehen Radardaten von 1992 – 2004 für nördlich der Alpen und von 1996 – 2004 für südlich der Alpen zur Verfügung. Die Radardaten liefern wichtige Messgrössen wie Dauer des Hagelschlags, potentiell verhagelte Fläche, Höhe der Hagelzelle, Zuggeschwindigkeit der Zelle und Lage des Sturmzentrums in Bezug auf die Klimazonen. Zusätzliche Informationen wurden von einem Forschungsradar der ETH Zürich geliefert, mit dem von 1992 – 1996 alle starken Hagelzellen im Umkreis von 100 km detailliert erfasst wurden. Die relativ kurzen Zeitreihen von 9 bzw. 13 Jahren wurden mittels einer langjährigen Reihe (1881 – 2001) einer Klassifikation von europäischen Grosswetterlagen verlängert und die Anzahl Hagelstürme entsprechend den Anteilen an den Wetterlagen korrigiert. Mit diesen Daten konnten verschieden starke Hagelschlaggebiete, mit Angabe einer dort vorkommenden, maximalen Hagelkorngrösse (z.B. 2 cm Durchmesser) unterschieden werden. Die einzelnen Korngrössenflächen werden über alle Stürme in einer Klimazone aufsummiert und auf ein Jahr normiert, anschliessend durch die Fläche der Klimazone dividiert. Wir erhalten eine Häufigkeit des Vorkommens einer bestimmten Hagelkorngrösse pro km^2. Daraus lässt sich die Wiederkehrperiode (WP) berechnen (1 / Häufigkeit pro Jahr).

Schweizerische Hagelversicherung: Es existiert eine Statistik der Hagelschäden an landwirtschaftlichen Kulturen pro Gemeinde resp. Gemeindeverzeichnis mit Anzahl Hagelschadenjahre zwischen 1961 und 2004. Zu beachten ist, dass Hagelschäden in einer Gemeinde nur verzeichnet werden, wenn in der Gemeinde versicherte Kulturen vorhanden und betroffen sind. Zudem variiert die Hagelempfindlichkeit von Kultur zu Kultur und auch innerhalb einer Wachstumsphase.

1.2.2.2 Wirkungsanalyse

Zur Abschätzung der zu erwartenden Intensitäten werden historische Daten ausgewertet; es wurden bisher keine Klimamodelle angewendet. Die Intensität ist an die Hagelkorngrösse gekoppelt; es gibt hierzu nach **Schiesser** [66] verschiedene Möglichkeiten der Klassierung:

Intensität: Hagelkorngrössen < 2, 2 bis < 3, 3 bis < 4, ≥ 4 cm oder ≥ 1, ≥ 2, ≥ 3, ≥ 4 cm

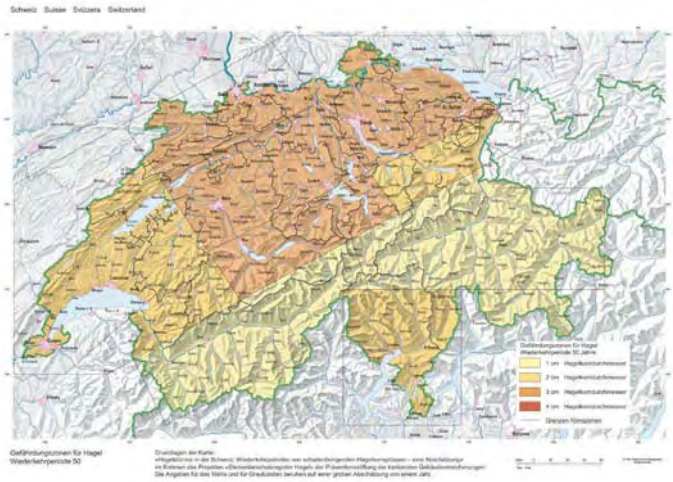
Klimazonen: Im Rahmen des NFP31 wurde die Schweiz in 9 Klimazonen unterteilt: 8 nördlich der Alpen und 1 südlich. In einer Studie über Wiederkehrperioden von bestimmten Hagelkorngrössen in der Schweiz [66] wurden die 9 Zonen um 2 weitere ergänzt (Wallis und Graubünden).

Szenarien: Es werden die Intensitäten mit verschiedenen Wiederkehrperioden dargestellt. Für verschiedene Wiederkehrperioden werden also die zu erwartenden Korngrössen in verschiedenen Klimaregionen angegeben (Tabelle 1.1, Abbildung 1.1).

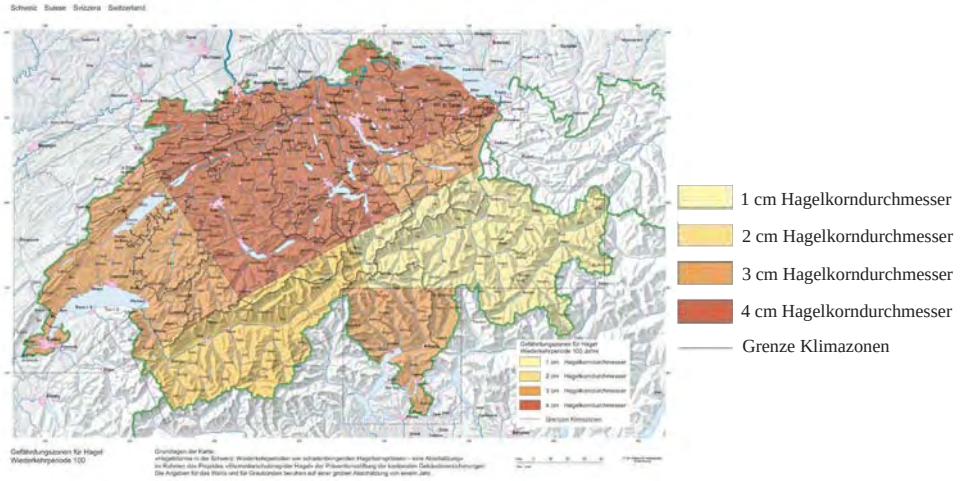
Nach der **Schweizerischen Hagelversicherung** wird die Intensität hier an die Häufigkeit von Hagelschäden an landwirtschaftlichen Kulturen gekoppelt, die Korngrösse wird nicht berücksichtigt. Die Hagelhäufigkeit wird in 4 Abstufungen (gering, leicht erhöht, erhöht, sehr schwer) kartographisch dargestellt und die Anzahl Hagelschadenjahre werden pro Gemeinde aufgelistet.

Tabelle 1.1: Tabelle mit mindestens zu erwartenden Korngrössen (in cm) in den Klimazonen nach Schiesser bei unterschiedlichen Wiederkehrperioden (WP) [77].

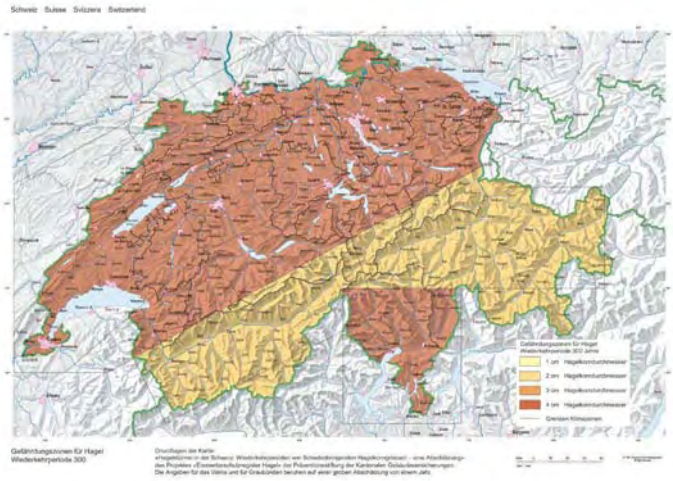
WP	AE	AZ	AW	ME	MZ	MW	JE	JW	AS	GR	VS
1	1	1		1	1		1	1			
5	1	2	1	2	2	1	2	1	1		
10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	
20	2	2	2	3	3	2	3	2	2	1	1
30	2	3	2	3	3	2	3	2	2	1	1
50	2	3	2	3	3	2	3	2	2	1	1
100	3	4	3	4	4	3	4	3	3	1	2
250	3	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
300	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2



(a) Wiederkehrperiode 50 Jahre



(b) Wiederkehrperiode 100 Jahre



(c) Wiederkehrperiode 300 Jahre

Abbildung 1.1: Intensität nach Hagelkorndurchmesser für verschiedene Wiederkehrperioden (a, b, c), nach [77].

1.2.3 Expositionsanalyse

Als Resultat der Gefahrenanalyse wurden Intensitätskarten erzeugt. Diese visualisieren den Gefahrenraum und zeigen damit, welche Objekte in welchen Intensitätszonen liegen und wie 'exponiert', also potentiell gefährdet, sie sind. Die Objekte sind nun in der Expositionsanalyse genau zu beschreiben.

Für ein konkretes Schutzprojekt müssen diese Daten in der Regel zunächst erhoben werden. Gebäudedaten wie z.B. Grundbuchamtsdaten, Bauzonenpläne und Einwohnerdaten sind zwar verfügbar, müssen aber in ihrem Umfang auf den Untersuchungsperimeter eingegrenzt werden. Es sind räumlich fixe Objekte und mobile Objekte zu unterscheiden.

Für die **fixen Objekte** sind folgende Daten zu bestimmen:

Lage der Gebäude und Infrastrukturanlagen: Die Lage der Gebäude und Infrastrukturanlagen kann über die Adresse bestimmt werden. Gegebenenfalls muss der Einfluss (Abdeckung) der Umgebung einbezogen werden.

Art der Gebäudehüllen: Hagel schädigt in erster Linie die Gebäudehülle, daher ist diese zu erheben: Pro Bauteilkategorie (Ziegel, Rollläden, Lichtkuppeln, Holzbretter, etc.) sind Fläche und Material zu bestimmen. Der Einsatz des Materials am Dach oder an der Fassade ist zu unterscheiden.

Wert der Gebäudehülle: Der Wert der Gebäudehülle ist pro Bauteilkategorie und für Dach oder Fassade getrennt zu erfassen. Diese müssen objektbezogen erfasst werden. Bislang liegen diese Werte nicht systematisch vor.

Folgeschäden: Ist mit Folgeschäden im Inneren des Gebäudes zu rechnen, z.B. wenn Lichtkuppeln zerstört werden können und Regen die Maschinenhalle überschwemmen würde, so sind auch diese Werte zu eruieren.

Landwirtschaft: Die Lage und die anzubauende Kultur muss erfasst werden. Es sind der Ertragswert und bei mehrjährigen Kulturen gegebenenfalls mehrjährige Werte (evtl. nur teilweise, falls nur mit Teilschäden zu rechnen ist) zu erfassen. Landwirtschaftsverbände oder die Hagelversicherung können hierzu Auskünfte erteilen.

Daneben sind Art und Anzahl von mobilen Objekten (z.B. Autos, Busse) und deren Ort und Aufenthaltsdauer zu identifizieren.

1.2.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse wird durch Überlagerung der Intensitätskarten und der potentiell gefährdeten Objekte unter Einbezug der Verletzlichkeit, der Letalität und der räumlichen Auftretenswahrscheinlich das Schadenausmass im Ereignisfall für jedes Objekt und jedes Ereignisszenario bestimmt. Das Ergebnis ist das Schadenausmass für Personen und Sachwerte.

1.2.4.1 Grundlagen für die Empfindlichkeit von Gebäudehüllen

Als Grundlage zur Bestimmung der Empfindlichkeit von Gebäudehüllen können Angaben aus der Literatur verwendet werden [36] oder Auswertungen des Projektes «Elementarschutzregister Hagel» [77, 29] dienen. Dabei wurden 5 Hagelwiderstandsklassen definiert und typische Gebäudehüllen durch künstlichen Hagelbeschuss klassiert. Die Werte sind als Richtwerte zu verstehen (Tabellen 1.2 und 3.1)).

Tabelle 1.2: 5 Hagelwiderstandsklassen nach Hagelkorndurchmesser mit dazugehöriger Masse und Geschwindigkeit und daraus resultierender kin. Energie.

Hagel-widerstand	**Durchmesser** [mm]	**Masse** [g]	**Geschwindig-keit** [m/s]	**Klassen-grenze** [J]
HW 1	10	0.5	13.8	0.04
HW 2	20	3.6	19.5	0.7
HW 3	30	12.3	23.9	3.5
HW 4	40	29.2	27.5	11.1
HW 5	50	56.9	30.8	27.0

1.2.4.2 Schadenausmass von Gebäudehüllen

Wann ein Schaden eintritt, muss für jedes Bauteil einzeln bestimmt werden. Dies ist deshalb schwierig, weil ein Bauteil meist mehrere Funktionen erfüllt. Von im Rahmen des Projektes «Elementarschutzregister Hagel» untersuchten Typen konnten folgende elementaren Funktionen zusammengetragen werden:

- Wasserdichtheit: das Bauteil schützt vor dem Eindringen von Wasser;
- Lichtdurchlässigkeit: das Bauteil erlaubt die Lichttransmission;
- Lichtabschirmung: das Bauteil schützt vor Lichteinstrahlung;
- Mechanik: das Bauteil besitzt einen Mechanismus;
- Aussehen: das Bauteil hat eine ästhetische Funktion;

Die Grenze zwischen einem unbeschädigten und einem beschädigten Bauteil wird als Schadenskriterium bezeichnet. Die jeweiligen Funktionen der Bauteile sowie mögliche Schadenskriterien sind in Tabelle 1.3 aufgelistet.

1.2.4.3 Schadenausmass für Sachwerte auf Parkplätzen und Verkehrsachsen (Autos)

Wird das gesamte Hagelzugsgebiet betrachtet so kann mit einer Betroffenheit von 40 % bis 60 % gerechnet werden. Der Durchschnittschaden liegt bei 2'000 bis 3'000 CHF pro Auto [37]. Handelt es sich um Autoverkaufsflächen an einem Ort und grösstenteils um neue Objekte, dann müssen die spezifischen Werte erhoben werden.

Tabelle 1.3: Schadenskriterien der einzelnen Bauteile von Gebäudehüllen.

Bauteil	**Funktionen**	**Schadenskriterium**
Ziegel	Wasserdichtheit	Riss
	Aussehen	Absplitterung > 1 cm^2
Rollladen	Lichtabschirmung	Lichtspalten > 1 mm
	Mechanik	Versagen des Aufzugssystems
	Aussehen	Delle
Raffstoren	Lichtabschirmung	Lichtspalten > 1 mm
	Mechanik	Versagen des Aufzugssystens und Versagen der Lamellensteuerung
	Aussehen	Delle
Verglasung	Wasserdichtheit	Bruch
	Aussehen	Oberflächenänderung
Blech	Wasserdichtheit	innerhalb 1 h Leck
	Aussehen	Delle
Faserzement	Wasserdichtheit	Riss > 0.02 mm, Bruch
	Aussehen	Delle
Putz	Wasserdichtheit	Riss
	Aussehen	Delle, Oberflächenänderung
Holz	Wasserdichtheit	unbeschichtet: Riss > 0.5 mm
		beschichtet: Riss
	Aussehen	unbeschichtet: Delle > 0.5 mm
		beschichtet: Delle
Dichtungsbahn	Wasserdichtheit	Perforation
Kunststoffplatte	Wasserdichtheit	Perforation, Riss
	Lichtdurchlässigkeit	Weissbruch, innerer Materialdefekt
	Aussehen	Oberflächenänderung
Lichtkuppel	Wasserdichtheit	Riss, Bruch
	Lichtdurchlässigkeit	Weissbruch
	Mechanik	Schliesssystem versagt
	Aussehen	Oberflächenänderung, Bruch oder Riss der unterliegenden Schale

1.2.4.4 Schadenausmass Landwirtschaft

Das Schadenausmass (Ertragsverlust) hängt von der Empfindlichkeit der Kultur, dem Wachstumszustand und der Regenerationsfähigkeit ab. Die Schäden können schon ab 5 mm Korndurchmesser beginnen (z.B. bei Blüten). Schiesser [65] hat verschiedene Kulturen und Wachstumsphasen mit der Hagelintensität in Beziehung gesetzt. Bei mehrjährigen Kulturen können Schäden (z.B. am Stamm) die Erträge der Folgejahre beeinflussen.

1.3 Risikoermittlung

Im letzten Schritt der Risikoanalyse, der Risikoermittlung, wird das berechnete Schadenausmass mit der Häufigkeit des Ereignisses zum Risiko verknüpft. Die Einheit des Risikos beträgt daher entweder Todesopfer pro Jahr oder Geldeinheiten (z.B. CHF) pro Jahr. Die Ermittlung von individuellen Risiken hat eine untergeordnete Bedeutung.

1.4 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Die Risiken infolge Hagel umfassen vor allem Sachschäden. Daher müssen in erster Linie diese bewertet werden. Gemäss Risikokonzept (Teil A) erfolgt die Bewertung nach der Verhältnismässigkeit der möglichen Schutzmassnahmen. Sofern verhältnismässige Massnahmen möglich sind, wird ein Schutzziel für den Hagelschutz bei Gebäudehüllen mit einer Schadenfreiheit gegen ein 50 jährliches Ereignis definiert. Bei landwirtschaftlichen Kulturen liegt das Schutzziel oftmals tiefer.

Die individuellen Risiken betreffend Personen haben eine untergeordnete Bedeutung und müssen nicht bewertet werden.

1.5 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Für die Massnahmenplanung bei Hagel ist die Hagelkorngrösse in Bezug zur Häufigkeit die bestimmende Eingangsgrösse bei der Massnahmenplanung. Weitere wichtige Eingangsgrössen sind die Hagelkornform (spitze Auswölbungen), die Ablagerungsmächtigkeit pro Ereignis (Verstopfung von Abflüssen, Gewicht) und die Kombination mit Sturm (erhöhte Anprallgeschwindigkeit).

1.5.1 Mögliche Schutzmassnahmen bei Gebäuden

1.5.1.1 Verstärkung

Verstärktes Dachmaterial: Als Schutzmassnahme wird ausschliesslich Material verwendet, welches der Hagelanprallenergie standhält. Der Widerstand des Materials wird mittels Laborversuchen durch Senkrechtbeschuss bestimmt;

Verstärktes Fassadenmaterial: Als Schutzmassnahme wird ausschliesslich Material verwendet, welches der Hagelanprallenergie standhält. Der Widerstand des Materials wird mittels Laborversuchen durch Beschuss im Winkel von 45° bestimmt;

1.5.1.2 Abschirmung

Dachüberstände: Dachüberstände bilden einen hervorragenden Schutz der Fassade vor Schäden durch Hagel ohne Sturm;

Schutzgitter: Hagelschutzgitter über hagelempfindlichen Materialien stellen einen wirksamen, dauerhaften Schutz dar;

Schutznetze: Schutznetze können als vorübergehende Massnahme einen Schutz bilden;

Verschleisselemente: Zusätzliche Lagen desselben Materials von Dach und Fassade können den Hagelschutz im Sinne eines Verschleisselementes gewährleisten.

1.5.1.3 Organisatorische Massnahmen (Wegstellen)

Mobile Elemente (z.B. Rollläden, Sonnenstoren, etc.) bei Gewittergefahr einziehen. Die Warnung vor Gewittern wird durch die Medien verbreitet. Sie kann aber auch über SMS abonniert werden. Es ist sicherzustellen, dass die mobilen Elemente auch bei Abwesenheit eingezogen sind, d.h. entweder vor dem Verlassen einziehen oder durch Wind- und Sonnenwächter regeln lassen. Diese Massnahme funktioniert nur, wenn genügend Vorwarn- und Handlungszeit besteht.

1.5.2 Mögliche Schutzmassnahmen in der Landwirtschaft

1.5.2.1 Abschirmung

Schutznetze sind in der Landwirtschaft (insbesondere im Obstbau) die häufigste Schutzmassnahme gegen Hagelschäden.

1.5.2.2 Hagelabwehr

Durch den Beschuss von potentiellen Hagelwolken mit Silberjodid – mittels Raketen oder Flugzeugen – soll die Bildung grosser Hagelkörner verhindert werden. Die Wirksamkeit der Massnahme konnte bisher nicht wissenschaftlich nachgewiesen werden.

1.5.3 Mögliche Schutzmassnahmen bei Autos

1.5.3.1 Abschirmung

Schutzgitter bei Park- und Abstellplätzen: Schutzgitter aus verzinktem Stahl schützen Autos auf Park- und Abstellplätzen vor dem Hagelschlag. Der Lochdurchmesser dieser Gitter beträgt oft ca. 15 mm;

Schutzdecken: Auf das Auto aufgelegte spezielle Hagelschutzdecken vermögen den Hagelanprall wirkungsvoll zu dämpfen;

1.5.3.2 Organisatorische Massnahme

Autos sollten bei Gewittergefahr untergestellt werden (Garage/Schutzdach). Die Warnung vor Gewittern wird durch die Medien verbreitet. Sie kann aber auch über SMS abonniert werden. Unterwegs können auch Unterstände unter Brücken oder Parkhäuser aufgesucht werden. Diese Massnahme funktioniert nur, wenn genügend Vorwarn- und Handlungszeit besteht.

1.5.4 Bestimmen der Wirksamkeit

Bei der Hagelschadenprävention steht die Minderung des Schadenausmasses im Vordergrund. Die Wirksamkeit wird entsprechend der Verminderung des jährlichen Risikos in Bezug zu den jährlichen Kosten der Massnahmen gemessen.

1.5.5 Berechnen der Kosten

Aufgrund der Massnahmenvorschläge können deren Kosten abgeschätzt werden. Dabei sind nicht primär die reinen Investitionskosten ausschlaggebend, sondern die darauf basierenden jährlichen Kosten. Diese setzen sich aus den Abschreibungen der Investitionskosten sowie den Kosten für Betrieb und Unterhalt zusammen. In Teil A wird das Vorgehen zur Berechnung der jährlichen Kosten von Massnahmen erläutert (Formel 5.1, Abschnitt 5.6, Seite 57ff).

1.5.6 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Der Redundanz von verschiedenen Massnahmen ist dabei die nötige Beachtung zu schenken.

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

Das Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen ist bei der Hagelschadenprävention von hoher Bedeutung. So sind es verschiedene Akteure, welche das Ausmass an Hagelschäden beeinflussen. Diese Akteure bedürfen massgeschneiderter Informationen, damit die erwünschte Massnahmenkombination möglich wird.

1.5.7 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

Kapitel 2

Fallbeispiel Hagelgefährdung eines Sportzentrums in Luzern

2.1 Einleitung

Als Fallbeispiel sollte das Hagelschadenrisiko eines Neubaus im zentralen Schweizer Mitteland abgeschätzt und effiziente Schutzmassnahmen evaluiert werden. Beim Neubau handelt es sich um ein Sportzentrum in Luzern.

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Gefahrenanalyse diente die Studie von Schiesser [66]. Es wurden Szenarien mit einer Wiederkehrdauer von 5, 20, 50 und 100 Jahren angenommen.

2.2.2 Wirkungsanalyse

Als Annahme für die Intensität der als massgeblich festgelegten Szenarien wurden die in Abbildung 1.1 (a) (Seite 5) bezeichneten Hagelkorngrössen angenommen. Es ist damit zu rechnen, dass mindestens einmal in der angegebenen Wiederkehrperiode Hagelkörner mit gleichem oder grösserem Korndurchmesser als die angegebenen auftreten.

Für die geplante Sporthalle in Luzern muss bei einer Wiederkehrperiode von 5 Jahren mit mindestens 2 cm grossen Hagelkörnern, bei 20 Jahren mit 3 cm, bei 50 Jahren ebenfalls mit mindestens 3 cm und bei 100 Jahren mit mindestens 4 cm grossen Körnern gerechnet werden.

2.3 Expositionsanalyse

Die Expositionsanalyse des Beispiels des geplanten Sportzentrums in Luzern beschränkt sich auf die Bestimmung von Art und Wert der Gebäudehüllen. Für alle betroffenen Fassadenelemente sind die Materialart und deren materieller Wert zu bestimmen. Allfällig exponierte Personen wurden nicht in die Betrachtung einbezogen.

Die Sparthalle verfügt über Dachflächen aus gewelltem, unbeschichtetem Faserzement (5.5 mm) im Wert von 100'000 CHF, Fassadenelemente aus gewelltem GFK-UP (1.4 mm) im Wert von 120'000 CHF sowie Glasfenster aus Verbundsicherheitsglas (8 mm).

2.4 Konsequenzenanalyse

Gemäss der Schadenempfindlichkeit der exponierten Fassadenelemente der Gebäudehülle ist bei den angenommenen Szenarien und deren Intensitäten das im Folgenden aufgeführte Schadenausmass zu erwarten (Tabellen 2.1 bis 2.3).

2.4.1 Dachflächen Faserzement

Gemäss den Tests von Stucki und Egli [77] sind mindestens Platten mit einer Stärke von 5.5 mm vorzusehen, um bei einer Korngrösse von 40 mm Schäden vorzubeugen. Diese Bedingung ist erfüllt. Damit wird davon ausgegangen, dass bis zu einem 300 jährlichen Ereignis keine Schäden auftreten (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Schadenausmass bei Dachflächen aus Faserzement nach Szenarien.

Wiederkehrperiode [Jahre]	**Korngrösse** [mm]	**Schadenausmass/Ereignis** [CHF]
5	20	0
20	30	0
50	30	0
100	40	0

2.4.2 Fassade gewellter GFK-UP

Die Fassadenelemente überstehen ein Ereignis mit der Wiederkehrdauer von 50 Jahren (Korngrösse: 30 mm) voraussichtlich ohne funktionelle Schäden. Jedoch ist die Funktion «Aussehen» bereits früher beeinträchtigt. Ab einem 100-jährlichen Ereignis (Korngrösse: 40 mm) muss mit schweren Schäden an der Fassade gerechnet werden (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Schadenausmass bei Fassade aus gewelltem GFK-UP (1.4 mm) nach Szenarien.

Wiederkehrperiode [Jahre]	**Korngrösse** [mm]	**Schadenausmass/Ereignis** [CHF]
5	20	0
20	30	20'000
50	30	20'000[a]
100	40	80'000[b]

[a] Kosten für Reparaturen;
[b] Kosten für Teilersatz.

2.4.3 Fassade Glasfenster

Die Glasfenster halten nach Stucki und Egli [77] einem Ereignis mit Korndurchmesser 50 mm stand. Somit sind für die beurteilten Ereignisse keine Schäden an der Verglasung zu erwarten (Tabelle 2.3).

Tabelle 2.3: Schadenausmass bei Fassade mit Glasfenster nach Szenarien.

Wiederkehrperiode [Jahre]	**Korngrösse** [mm]	**Schadenausmass/Ereignis** [CHF]
5	20	0
20	30	0
50	30	0
100	40	0

2.5 Risikoermittlung

Durch Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit der Szenarien wurde das kollektive Risiko bestimmt. Es beläuft sich auf 1'600 CHF/a für Sachwerte (Personen wurden nicht berücksichtigt).

2.6 Risikobewertung

Individuelle Risiken (und kollektive Personenrisiken) mussten nicht bewertet werden, da keine Personen berücksichtigt wurden. Die Bewertung der Sachrisiken kann erst nach der Massnahmenplanung und -bewertung erfolgen. Die Sachrisiken zeigen jedoch, dass bereits ab einem 50-jährlichen Szenario mit Schäden zu rechnen ist. Die hohen Schäden bei einem Ereignis mit 100-jährlicher Wiederkehrdauer machten auch eine Prüfung von Massnahmen für die Korngrösse von 40 mm notwendig.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

Es boten sich für dieses Beispiel ausschliesslich technische Massnahmen an. Bei der Massnahmenplanung des Neubaus wurden zwei verschiedene Massnahmen geprüft. Eine zusätzliche Massnahme wird als Vergleich bei einem späteren Umbau dargestellt. Folgende Massnahmen wurden geprüft:

Massnahme 1: Einbau von Faserzementplatten 6 mm mit lasierender Beschichtung anstatt der vorgesehenen GFK-Platten 1.4 mm;

Massnahme 2: Einbau von festeren GFK-Platten mit der Stärke von 5 mm;

Massnahme 3: Späterer Umbau und Einbau von Faserzementplatten gemäss Massnahme 1.

Massnahmen der Abschirmung, wie Vordächer werden aus Gründen der Ästhetik nicht weiter untersucht.

2.8 Wirksamkeit

Massnahme 2 und 3 widerstehen einem Anprall von 40 mm Körnern und schützen damit gegen ein Ereignis mit einer Wiederkehrdauer von 300 Jahren. Massnahme 2 weist jedoch ab der Korngrösse von 30 mm eine Schädigung der optischen Funktion auf. Die Wasserdichtheit ist weiterhin gewährleistet (Tabelle 2.4).

Tabelle 2.4: Wirksamkeit der Massnahmen 1 bis 3.

Massnahme	**Risiko vor Massnahme** [CHF/a]	**Risiko nach Massnahme** [CHF/a]
1	1’600	0
2	1’600	300
3	1’600	0

2.9 Kosten

Für die einzelnen Massnahmen durfte von folgenden Kosten ausgegangen werden:

Massnahme 1: Es entstehen keine zusätzlichen Kosten, da der Einbau von Faserzementplatten bei einem Neubau gleich teuer ist. Die jährlichen Kosten betragen somit 0 CHF/a.

Massnahme 2: Die zusätzlichen Investitionskosten belaufen sich auf 180’000 CHF. Bei einer Lebensdauer von 30 Jahren ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von 7’800 CHF/a.

Massnahme 3: Für einen Umbau ist mit Investitionskosten in der Höhe von 160’000 CHF zu rechnen. Bei einer Lebensdauer von 30 Jahren ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von 6’933 CHF/a.

2.10 Massnahmenbewertung

Die Massnahmen, deren Risikoreduktion, die jährlichen Kosten sowie das Nutzen-Kosten-Verhältnis der einzelnen Massnahmen sind in Tabelle 2.5 zusammengefasst.

Tabelle 2.5: Zusammenfassung von Kosten, Risikoreduktion und Nutzen-Kosten-Verhältnis der Massnahmen 1 bis 3.

	Massnahme 1	**Massnahme 2**	**Massnahme 3**
Risikoreduktion [CHF/a]	1'600	1'300	1'600
jährliche Kosten [CHF/a]	0	7'800	6'933
N-K-Verhältnis	1600	0.1667	0.2308

Die Nutzen-Kosten-Wirksamkeit ist einzig beim Einbau von Faserzementplatten während des Neubaus gegeben. Der Einbau der festeren GFK-Platten wie auch der spätere Umbau lohnen sich nicht. Architektonisch ist aber der Einsatz von Faserzementplatten ein grosser Eingriff in die ursprüngliche Gestaltungsidee. Unter diesen Bedingungen musste abgeschätzt werden, ob das Risiko trotz der Schutzzielverletzung getragen werden soll, oder ob nicht grundsätzliche Änderungen am Projekt zu treffen sind.

Kapitel 3

Fazit

Das Fallbeispiel zeigt, dass eine risikobasierte Planung von Massnahmen gegen Hagel nach dem Risikokonzept in den Grundsätzen möglich ist. Aufgrund umfangreicher Untersuchungen [29, 77] ist die Schadenempfindlichkeit von Gebäudehüllen in Bezug auf den Hagelkorndurchmesser relativ gut bekannt. Ebenso kann die Wiederkehrperiode von Ereignissen einer bestimmten Intensität (Hagelkorndurchmesser) nach den Untersuchungen von Schiesser [66] relativ sicher eingeordnet werden.

Es zeigt sich, dass eine detaillierte Ermittlung der Massnahmen- wie auch der Schadenkosten Sinn macht. Da meistens verschiedene Massnahmen möglich sind, kann eine Massnahmenplanung nach dem Grenzkostenkriterium gut vorgenommen werden.

Zu beachten sind die Unterschiede der Wirksamkeit in Abhängigkeit des Realisationszeitpunktes. Bei einem Neubau ist eine Massnahme eher wirtschaftlich als bei einem rein auf die Gefahr ausgerichteten Ersatz. Schutzüberlegungen sind also frühzeitig in die Planung mit einzubeziehen.

Tabelle 3.1: Typische Gebäudehüllentypen eingeteilt in Hagelwiderstandsklassen. Teil 1.

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
Ziegel	Biberschwanz (Ton)	ohne Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flachziegel (Ton)	mit Falz		Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
Rollladen	Hohlprofil (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	geschäumt	0.25	Fassade	Aussehen	1
	Hohlprofil (Metall)	Ganzmetall	0.9	Fassade	Aussehen	2
Raffstoren	Blech gefaltet (Metall)		0.45	Fassade	Aussehen	1
	Blech gebogen (Metall)		0.6	Fassade	Aussehen	1
Verglasung	Floatglas		4 .0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Drahtglas		7.0	Dach	Wasserdichtheit	3
	Einscheibensicherheitsglas (ESG)		6.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Verbundssicherheitsglas (VSG)		8.0	Dach	Wasserdichtheit	5
	Isolierglas		24.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
Bleche	Abdeck	Kupfer	0.6	Dach	Aussehen	1
				Fassade	Aussehen	2
		Chromstahl verzinnt	0.5	Dach	Aussehen	2
				Fassade	Aussehen	2
		Kupfer – Titan - Zink	0.7	Dach	Aussehen	2
				Fassade	Aussehen	2
	Welle	Stahl verzinkt	0.7	Fassade	Aussehen	2
	Trapez	Aluminium	0.7	Fassade	Aussehen	1
Faser-zement-platten	Gewellt	unbeschichtet	5.5	Dach	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
	Flach	lasierende Beschichtung	6.0	Fassade	Wasserdichtheit	5
					Aussehen	5
Putz auf Aussenwärme-dämmung	Kunststoffputz auf EPS			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
	Silikatputz auf Mineralwolle			Fassade	Wasserdichtheit	3
					Aussehen	3
	Kunststoffputz auf Mineralwolle			Fassade	Wasserdichtheit	4
					Aussehen	4
Holzbretter	Lärche	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	1

*Typische Gebäudehüllentypen eingeteilt in Hagelwiderstandsklassen. ... Fortsetzung ... ; Die Klassifizierung in die Kategorie * trifft nur für neue Materialien zu. Bei diesen Baustoffen vermindert sich der Hagelwiderstand massgeblich innerhalb weniger Jahre infolge natürlicher Bewitterung.*

Bauteil-kategorie	Produkt		Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
		beschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
	Fichte	unbeschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		unbeschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet gehobelt	25.0	Fassade	Aussehen	2
		beschichtet sägerau	25.0	Fassade	Aussehen	2
Dichtungsbahnen	Polyvinylchlorid, weichgemacht (PVC – P)	starr	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
	Thermoplastische Polyolefine (TPO)	starr	1.6	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.6	Dach	Wasserdichtheit	5
	Ethylen–Propylen–Dien–Kautschuk (EPDM)	starr	1.5	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	1.5	Dach	Wasserdichtheit	4
	Polymerbitumen-bahn SBS beschiefert	starr	5.2	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	5.2	Dach	Wasserdichtheit	4
	Polymerbitumen-bahn SBS besandet	starr	3.7	Dach	Wasserdichtheit	5
		flexibel	3.7	Dach	Wasserdichtheit	4
Kunststoffplatten	Polymethyl methacrylat (PMMA)	normal, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	5*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, SDP 16		Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	4*
		schlagzäh, S4P 32		Dach	Wasserdichtheit	4*
					Lichtdurchlässigkeit	3*
		schlagzäh, WP 76/18	4	Dach	Wasserdichtheit	4*
				Fassade	Wasserdichtheit	3*
	Polycarbonat (PC)	Platte	4	Dach	Wasserdichtheit	5*
		S3P 16		Dach	Wasserdichtheit	5*
	Glasfaser verstärkter Kunststoff (GFK-UP)	Trapez	1.4	Dach	Wasserdichtheit	2*
					Aussehen	1*
				Fassade	Wasserdichtheit	3*
					Aussehen	1*
		Welle	1.4	Dach	Wasserdichtheit	3*
					Aussehen	1*
				Fassade	Wasserdichtheit	3*
					Aussehen	2*
		Strukturplatte	2.0	Dach	Aussehen	2*
		Flachplatte	5.0	Fassade	Wasserdichtheit	5*
					Aussehen	3*

*Typische Gebäudehüllentypen eingeteilt in Hagelwiderstandsklassen. ... Fortsetzung ...; Die Klassifizierung in die Kategorie * trifft nur für neue Materialien zu. Bei diesen Baustoffen vermindert sich der Hagelwiderstand massgeblich innerhalb weniger Jahre infolge natürlicher Bewitterung.*

Bauteil-kategorie	Produkt	Dicke [mm]	Einsatz	Funktion	HW
Lichtkuppel	Polymethylmethacrylat (PMMA), Aussen- und Innenschale	3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	2*
	Polycarbonat (PC) Aussen-, PMMA Innenschale	3.0/2.0	Dach	Wasserdichtheit	5*
				Aussehen	3*

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

TEIL B:
ANWENDUNG DES RISIKOKONZEPTS: PROZESS HITZEWELLEN

Daniel Rüttimann, Thomas Egli, Dörte Aller

Hitzewelle 2004 (Egli Engineering)

Dieser Teilbericht ist integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Kapitel 1

Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Vorgehensweise einer Risikobeurteilung und Massnahmenplanung für Schutzprojekte gegen Extremtemperaturen anhand des Risikokonzepts vorgestellt. Da Hitzewellen für die Schweiz als vorrangig gegenüber Kälte angesehen werden, beschränkt sich dieses Kapitel auf die Hitzewellen. Es werden die methodischen Arbeitsschritte Risikoanalyse, Risikobewertung, Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung durchlaufen und in ihrer praktischen Umsetzung für Schutzmassnahmen vorgestellt. Die Kenntnis des gesamten Risikokonzeptes, wie es im Teil A dieser Publikation vorgestellt wurde, wird dabei vorausgesetzt (Kapitel 1, Seite 1ff). Da es sich bei Hitzewellen um einen flächigen Prozess handelt und die Annahmen und Grundlagen sich von denjenigen bei gravitativen Prozessen unterscheiden, wird auf die Eigenheiten etwas ausführlicher eingegangen. Dieses Kapitel erhebt – anders als bei den gravitativen Naturgefahren – nicht den Anspruch auf eine vollständige Darstellung eines Fallbeispiels. Vielmehr wird der Schwerpunkt auf die Darstellung der methodischen Schritte gelegt.

Dieses Kapitel wird in die folgenden Abschnitte unterteilt:

- In einem einleitenden Abschnitt wird der Prozess Hitzewelle charakterisiert;
- In einem zweiten Abschnitt werden bestimmte Eigenheiten bei den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung bzw. -bewertung beschrieben;
- Im dritten Abschnitt wird kurz ein Fallbeispiel vorgestellt;
- Im letzten Abschnitt wird ein Fazit zur Anwendung des Risikokonzepts aus praktischer Sicht gezogen.

1.1 Charakterisierung des Prozesses Hitzewelle

Als Hitzewellen werden Perioden von mindestens drei Tagen Dauer mit Überschreitung eines bestimmten Wertes bezeichnet. Dieser Wert ist je nach Definition eine Temperaturschwelle oder ein Index, berechnet aus Temperatur und Feuchtigkeit. Für das Risikokonzept wird der momentan auch durch das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) verwendete Hitzeindex des Amerikanischen Wetterdienstes (NOAA) verwendet. Sobald der Indexwert von 90 Punkten (entspricht beispielsweise einer Temperatur von 31° C bei einer Luftfeuchtigkeit von 40 %) an 3 Tagen überschritten wird, definiert MeteoSchweiz dies als Hitzewelle [50].

In Mitteleuropa treten Hitzeperioden meist bei sehr ähnlichen Wetterlagen auf. Vorwiegend handelt es sich um einen grossräumigen Hochdruckrücken (Subtropenhoch) welcher sich über Europa legt und die grossräumige Zirkulation (Westdrift) unterbindet. In vielen Fällen handelt es sich zusätzlich um eine sogenannte Omega-Wetterlage, welche als sehr stabil gilt. Die Omega-Lage wird aus einem nahezu stationären, bis in grosse Höhen reichenden Hochdruckgebiet gebildet. Zusätzlich wird das Hoch an seiner westlichen und östlichen Flanke von je einem Tiefdruckgebiet begleitet. Das Hoch entsteht aus einem nach Norden vorstossenden Rücken des Subtropenhochs. Dadurch wird die zonale (die von West nach Ost verlaufende) Strömung blockiert und in zwei meridionale Äste aufgespaltet. Die Höhenströmung hat die Form eines griechischen Omegas, deshalb dieser Name. Damit werden die atlantischen Tiefdruckgebiete an ihrer üblichen Verlagerung gehindert und werden um das Hoch herumgeführt. Die Lebensdauer des blockierenden Hochs beträgt oft 8 bis 14 Tage, im Extremfall auch mehr [31].

1.2 Risikoanalyse beim Prozess Hitzewelle

s.a. Teil A, S. 9ff

1.2.1 Einleitung

Dieser Teil hebt sich teilweise von den anderen Kapiteln ab, da zu diesem Prozess nur wenige Daten zur Verfügung stehen und auch die Methodik noch kaum auf Erfahrungen beruht. Die Daten ergeben sich zudem aus sehr wenigen Ereignissen oder gar nur aus Modellrechnungen mit grosser Unsicherheit.

Neben den üblichen Vorbereitungsarbeiten (s.a. Teil A, Abschnitt 3.1, Seite 10ff) müssen verschiedene Grundlagen wie Ereignisauswertungen, Temperaturreihen, technische Berichte und Gutachten (auch zu ähnlichen Situationen), Zeitungsberichte, aber auch historische Quellen beschafft werden. Für die künftige Entwicklung von Hitzewellen können heute schon, im Gegensatz zu den meisten anderen Gefahren, Prognosen gemacht werden. Diese sind daher auch mit einzubeziehen. In den nächsten 50 – 100 Jahren wird je nach betrachtetem Modell mit einer schwachen bis starken Zunahme von Hitzewellen gerechnet. Wichtig ist dabei den Nutzungszeitraum des betrachteten Objektes einzubeziehen.

Dazu gehören auch Daten und Prognosen zu menschlichen Aktivitäten im Betrachtungsgebiet inkl. deren potenzielle zukünftige Entwicklung sowie Daten zu natürlichen Gegebenheiten inkl. Vegetation und meteorologische Daten.

1.2.2 Gefahrenanalyse

Diese Darstellung der Vorgehensweise bei der Gefahrenbeurteilung von Hitzewellen erhebt nicht den Anspruch der Vollständigkeit, sondern muss durch Expertenwissen ergänzt werden. Sie ist zudem noch kaum erprobt.

1.2.2.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Ereignisanalyse bei Hitzewellen können die folgenden Informationsquellen dienen:

- Historische Daten (z.B. Extremwertstatistik, historische Dokumente / Literatur);
- Klimatische Gegebenheiten (z.B. Temperaturreihen, Extremwerte der Lufttemperatur);
- Lokale Erfahrungen;
- Auf theoretische Grundlagen und allgemeine Erfahrungen gestützte Überlegungen zum Ausmass von Ereignissen;
- Modelle der künftigen Klimaentwicklung;
- Forschungsarbeiten zur Temperaturempfindlichkeit des Menschen;

Die Klimamodelle zeigen einen grösseren Anstieg der absoluten Maximaltemperaturen als des durchschnittlichen Tagesmaximums. Gemäss vorliegendem Szenario werden im Jahr 2050 im Sommer Verhältnisse wie im Hitzesommer 2003 bei einer schwachen Erwärmung weiterhin sehr selten, bei einer mittleren Erwärmung alle paar Jahrzehnte und bei einer starken Erwärmung alle paar Jahre auftreten [56].

Auswertung der historischen Daten: Die Ereignisdokumentation kann kaum zur Abschätzung von zukünftigen Ereignissen herangezogen werden, da einerseits die Einordnung von Ereignissen aufgrund ihrer kleinen Häufigkeit schwierig ist und anderseits die Klimaänderung zu einer Veränderung der Häufigkeit führt. Zur Abschätzung der Auswirkungen und zu möglichen Massnahmen können Ereignisdokumentationen aber sehr wohl herangezogen werden.

Beurteilung der klimatischen Gegebenheiten: Wesentliche Grössen für die Beurteilung der klimatischen Gegebenheiten sind Extremwerte der Lufttemperatur, deren Dauer (Anzahl aufeinander folgender Tage mit überschrittenem Schwellenwert) sowie die Luftfeuchtigkeit. Letztere beeinflusst die Temperaturwirkung massgeblich.

Lokale Erfahrungen und auf theoretische und allgemeine Erfahrungen gestützte Überlegungen: Für die Beurteilung der Interaktion von Hitzewellen und bestimmten Objekten wie Gebäuden (Innentemperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur) ist der Einbezug lokaler Erfahrungen sehr hilfreich. Ebenso können lokale Experten Auskunft über die lokale Variation der Temperaturen machen.

1.2.2.2 Wirkungsanalyse

Im Wesentlichen wird bei der Wirkungsanalyse auf die Grundlagen und die Erkenntnisse der Ereignisanalyse abgestützt. In der Wirkungsanalyse werden die zu erwartenden Intensitäten aufgrund der weiter unten aufgeführten Intensitätsklassen des Hitzeindexes und der Werte aus der Ereignisanalyse abgeschätzt. Dabei werden auch Daten aus Prognosen und Modellen berücksichtigt.

Die Kenntnis der Prozesse ist eine notwendige Voraussetzung für die richtige Wahl der Modelle. Bei der Anwendung dieser Modelle ist die Kenntnis des Modellverhaltens, der massgebenden Parameter und ihrer Sensitivität sowie entsprechende Erfahrung in der Anwendung ebenfalls als

Grundlage vorauszusetzen. Besonders wichtig ist die Auswahl der Modellauflösung. Je nach Art der Studie sind Aussagen zu einem Land, einer Region oder einem Gebäude notwendig. Beim Einzelobjekt sind Faktoren wie die Bauart, die Umgebung oder die Kühlung von Bedeutung.

Wirkungsanalyse Lebewesen
In der Wirkungsanalyse wird die Intensität der als massgebend betrachteten Szenarien bestimmt. Für Hitzewellen wird die Intensität über die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit und die Dauer definiert.

Als Grundlage für die spätere Bestimmung der Schadenwirkungen wird auf die Methodik des amerikanischen Wetterdienstes (NOAA) zurückgegriffen. Diese Methode liegt auch den Hitzewarnungen von MeteoSchweiz zu Grunde [50].

Der Hitzeindex (HI) wurde von Steadman [76] entwickelt und benötigt als Eingangsparameter die Lufttemperatur in Fahrenheit und die relative Luftfeuchtigkeit. Die Einheit des ausgegebenen Wertes ist ebenfalls in Fahrenheit ausgedrückt. MeteoSchweiz verwendet ihn aber als einheitslosen Index. Berechnet wird der HI mit der folgenden Formel:

$$HI = c_1 + c_2\,T + c_3\,RH + c_4\,T\,RH + c_5\,T^2 + c_6\,RH^2 + c_7\,T^2\,RH + c_8\,T\,RH^2 + c_9\,T^2\,RH^2 \quad (1.1)$$

wobei:

HI = Hitzeindex;
T = Temperatur in F;
RH = relative Luftfeuchtigkeit in %;
c_1 = -42.379;
c_2 = 2.04901523;
c_3 = 10.14333127;
c_4 = -0.22475541;
c_5 = $-6.83783 \cdot 10^{-3}$;
c_6 = $-5.481717 \cdot 10^{-2}$;
c_7 = $1.22874 \cdot 10^{-3}$;
c_8 = $8.5282 \cdot 10^{-4}$;
c_9 = $-1.99 \cdot 10^{-6}$.

Der HI ist ein komplexer Parameter, der die Temperaturempfindung des Menschen simuliert. Zur Berechnung sind an sich verschiedenste Parameter, wie Wasserdampfdruck der Luft, Masse des Menschen (Volumen, Oberfläche,...), Kern- und Hauttemperatur, Aktivität, Wind, Durchlässigkeit der Kleidung zu berücksichtigen. Für die meisten dieser Parameter wurde ein Erfahrungswert eingesetzt. Um verschiedene Parameter zu eliminieren wurde eine Regressionsanalyse mit den gewonnenen Daten durchgeführt und der HI als Funktion von Temperatur und Luftfeuchtigkeit dargestellt. Dadurch hat der vereinfachte HI einen Fehler von $\pm$ 1.3 gegenüber der Originalgrösse. Da für die vereinfachte Version ein Aufenthalt im Schatten mit leichtem Wind angenommen wurde, sind beim Aufenthalt in der Sonne Werte bis zu 15 zum HI hinzuzuzählen. Für Gebäude und Verkehrsmittel kann kein allgemein gültiger Wert angegeben werden. In der Originalliteratur wird der Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf den HI mit folgendem Diagramm dargestellt (Tabelle 1.1):

Tabelle 1.1: Dargestellt ist der Hitzeindex in Abhängigkeit der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit sowie die Temperaturwirkungen auf Menschen anhand des Hitzeindexes (NOAA). Quelle: [50].

Heat Index	Relative Luftfeuchtigkeit %																
Lufttemperatur °C	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
36	94	95	97	100	102	106	110	114	119	124	129	136	142	149	157	164	173
35	91	93	94	96	99	102	105	109	113	118	123	128	134	140	147	154	161
34	90	91	92	94	96	98	101	104	108	112	116	121	126	131	137	143	150
33	88	88	90	91	93	95	97	100	103	107	110	114	119	123	128	134	139
32	86	87	87	89	90	92	94	96	99	102	105	108	112	116	120	125	129
31	84	85	86	86	88	89	91	93	95	97	100	103	106	109	112	116	120
30	83	83	84	85	85	87	88	89	91	93	95	97	100	102	105	108	112
29	81	82	82	83	83	84	85	87	88	89	91	93	95	97	99	101	104
28	80	80	81	81	82	82	83	84	85	86	87	88	90	91	93	94	96
27	79	79	80	80	80	81	81	82	83	83	84	85	86	86	87	88	89

80 - 90	Bei längerem Auftenthalt im Freien und körperlicher Aktivität Ermüdungserscheinungen
90 - 105	Sonnenstich, Muskelkrämpfe, Hitze-Entkräftung wahrscheinlich, Hitzschlag möglich bei längerer Dauer und/oder körperlichen Aktivitäten
105 - 130	Sonnenstich, Muskelkrämpfe, Hitze-Entkräftung wahrscheinlich, Hitzschlag möglich bei längerer Dauer und/oder körperlichen Aktivitäten
> 130	Sonnenstich oder Hitzschlag wahrscheinlich

Der Mensch kann sich bedingt an höhere mittlere Temperaturen anpassen, wie die Erfahrungen aus südlichen Ländern zeigen. Die Anpassung an das kurzfristige Auftreten von Hitzewellen ist jedoch schwieriger. Bei Temperaturen über 30° C ist ein Nachlassen der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung nachweisbar.

Der von MeteoSchweiz [50] gewählte Grenzwert liegt bei 90: Der Heat Flash wird ausgelöst, wenn erwartet wird, dass an 3 aufeinander folgenden Tagen die Schwelle von 90 überschritten wird. Die 3 Tage wurden gewählt, weil sich in Auswertungen gezeigt hat, dass es zwischen Temperaturanstieg und negativen Effekten eine Verschiebung von 3 bis 6 Tagen gab. Der Wert 90 entspricht nicht einem Alarmwert, sondern eher einer Vorsichtsmeldung. Der Wert wurde bewusst tief angesetzt, da die verwendeten Messstationen, auf denen auch die Prognosen basieren, eher in ländlichen Gebieten liegen. Die Hitzeproblematik zeigt sich aber vor allem in Innenstädten, wo zwar das Tagesmaximum der Temperatur vergleichbar mit demjenigen auf dem Land ist, das Nachtminimum liegt in der Regel aber um ca. 2° C höher.

Für die Einteilung in Intensitätsklassen werden diejenigen des Hitzeindexes verwendet (Tabelle 1.2).

Tabelle 1.2: Intensitätsklassen anhand des Hitzeindexes.

	Intensität gering	**Intensität mässig**	**Intensität stark**
HI	90 – 105	105 – 130	> 130

Diese Werte können nicht direkt mit denjenigen der bisherigen Nomenklatur von MeteoSchweiz verglichen werden. Bis vor wenigen Jahren wurden lediglich Temperaturschwellen definiert, ab deren Erreichen ein Tag entsprechend klassiert wurde (Sommertag ab 25° C; Hitzetag ab 30° C).

Nicht allgemein erfasst werden können die Temperaturen in Objekten, wie beispielsweise Wohnungen, Büros oder Autos. In solchen Objekten können sich die Temperaturen aufgrund der Einstrahlung stark von der Aussen-Lufttemperatur unterscheiden. Für einzelne Objekte sind spezielle Analysen zu machen und entsprechend den Intensitätsstufen einzuteilen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist der Unsicherheit entsprechend Rechnung zu tragen. Die Ergebnisse der Ereignis- und Wirkungsanalyse werden mit Klimamodellen dargestellt und nach Exposition (ländlich / städtisch), Regionen und Höhenlagen gesondert betrachtet. Als Resultat der Gefahrenanalyse erhält man somit Intensitätsangaben für den Prozess Hitzewelle.

Wirkungsanalyse Infrastruktur
Die Wirkungsanalyse bezüglich Infrastruktur beruht rein auf Temperaturmaxima. Insbesondere zu beachten ist hier auch die Strahlungswärme, da viele Anlagen direkt der Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind. Aufgrund sehr unterschiedlicher Empfindlichkeit verschiedener Materialen (Beton, Stahl, Asphalt, ...) wird auf die Definition von Intensitäten verzichtet. Die Schädigung ist zudem meist diffuser respektive nicht zerstörerischer Art. Einige Wirkungen sind indirekter Art. So erhöhen Hitzewellen die Wassertemperatur von Flüssen und senken dazu die Abflussmenge dergleichen. Dies wiederum kann drastische Auswirkungen auf die Kühlkapazität eines Kraftwerkes haben.

Die Wirkung ist somit objektspezifisch zu ermitteln. Es sind auch indirekte Folgen und Kombinationen zu ermitteln. So sinkt beispielsweise das Stromangebot direkt durch fehlendes Wasser (Laufkraftwerke), indirekt durch mangelnde Kühlleistung in thermischen Kraftwerken und zugleich steigt der Energiebedarf durch Kühlanlagen (beispielsweise in grossen Rechenzentren).

1.2.3 Expositionsanalyse

Als Resultat der Gefahrenanalyse wurden Intensitätsangaben (Hitzeindex oder reine Temperaturwerte) erzeugt. Diese geben Hinweise zu den Gefahren für den untersuchten Raum. Es können im Gegensatz zu den meisten anderen Gefahrenarten keine genauen Prozessräume definiert werden. Somit sind alle Objekte im selben Bereich von der gleichen potentiellen Gefahr bedroht. Die Intensität der Gefährdung ist aber abhängig von der Region sowie der Höhenlage in welcher sich das Objekt befindet. Entsprechend der Region und Höhenlage sind nun Gefährdungsszenarien für die Objektklassen zu beschreiben. Ebenso ist zu unterscheiden, ob die Wirkung im Freien oder diejenige innerhalb von Objekten betrachtet wird.

Die Eingangsdaten ergeben sich einerseits aus der Gefahrenanalyse (Intensitätsabklärungen) und anderseits aus objektspezifischen Angaben, die zum Teil noch erhoben werden müssen. Dabei lassen sich zwei Arten von Daten bezüglich der Objekte unterscheiden:

- Objekte die durch Hitzewellen direkt geschädigt werden können (z.B. Personen im Freien, Bahnschienen);
- Objekte die in Abhängigkeit anderer Objekte geschädigt werden können (Personen in Gebäuden in Abhängigkeit der Wärmeisolation des Gebäudes).

Für ein konkretes Schutzprojekt müssen diese Eingangsdaten in der Regel zunächst erhoben werden. Die Vorgehensweise wird im Kapitel Methodik dargestellt. Objektdaten wie z.B. Gebäudedaten (Bestrahlung, Aufbau, Isolation, Lüftung, Kühlung, Beschattung) müssen im Einzelfall

abgeklärt werden. Alternativ können auch Klassen gebildet werden, welche kollektiv untersucht werden (ähnliche Gebäudekonstruktion, Alter, ...). Besondere Objekte wie Spitäler oder Altersheime sind immer einzeln zu betrachten.

Zu identifizierende, direkt der Gefahr ausgesetzte Objekte sind:

- Gebäude (z.B. Wohngebäude, Industriegebäude, Hotels, Schulen, Altersheime, Spitäler, etc.);
- Sonderobjekte (z.B. Kraftwerk, Verkehrsanlage, Transformatoren, etc.);
- Landwirtschaft, Grünanlagen, Wald;
- Personen im Freien;
- Übertragungsleitungen, Infrastruktur;
- sonstige variable Objekte (z.B. Nutztiere).

Zu identifizierende, indirekt der Gefahr ausgesetzte Objekte sind:

- Personen in Gebäuden;
- Personen in Transportmitteln.

Für die direkt der Gefahr ausgesetzten Objekte sind folgende Daten zu bestimmen:

Lage, Exposition und Umgebung von Objekten: Massgebend sind die geografische Lage (Region, Höhe) sowie die Umgebung, insbesondere deren Eigenschaften bezüglich Kühlung oder Wärmespeicherung sowie Abstrahlung (z.B. asphaltierter Parkplatz neben Bürogebäude);

Bauart von Objekten: Die Bauart sowie die Ausstattung von Objekten sind sehr wichtig für die Beurteilung. Zu ermitteln ist die Art und Leistungsfähigkeit der Lüftung, die Isolation, Sonnenschutzmassnahmen wie Storen sowie allfällige Kühlvorrichtungen. Beachtet werden muss ferner die Notstromversorgung von Kühl- und Lüftungsanlagen;

Hitzeresistenz der Verkehrsanlagen (Asphalt und Schienen): Die Hitzeresistenz (beispielsweise bezüglich Verformung) der verwendeten Materialen ist zu ermitteln;

Hitzeresistenz und Zuverlässigkeit der Sonderobjekte: Für die Sonderobjekte sind die Einwirkungen separat zu klären;

Für indirekt der Gefahr ausgesetzte Objekte (Personen und Tiere) sind folgende Daten zu bestimmen:

Personen in Gebäuden und Transportmitteln: Innerhalb des Untersuchungsperimeters sind die Personen in Gebäuden und in Verkehrsmitteln zu identifizieren. Hierbei ist jeweils auch die spezifische Aufenthaltsdauer pro Tag und spezielle Expositionssituationen (z.B. Stau im Strassenverkehr) zu ermitteln;

Personen im Freien: Bei der Erhebung der Personen im Freien sind insbesondere auch spezielle Expositionssituationen zu berücksichtigen (z.B. Veranstaltungen im Freien);

Erfassung von personenspezifischen Daten wie Gesundheit, Alter, Betätigung: Die Erhebung von personenspezifischen Daten ist wichtig für die Expositionsanalyse von Spezialobjekten wie zum Beispiel bei Alters- und Pflegeheimen sowie Spitälern.

1.2.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse wird durch Überlagerung der Intensitätsangaben und der potentiell gefährdeten Objekte sowie der sich darin aufhaltenden Personen für jedes Objekt und jedes Szenario unter Einbezug der Schadenempfindlichkeit und der Letalität das Schadenausmass bestimmt. Dies setzt sich zusammen aus:

- Schadenausmass für Personen in Gebäuden;
- Schadenausmass für Personen Transportmitteln;
- Schadenausmass für Personen im Freien;
- Schadenausmass für Infrastrukturanlagen und Sonderobjekte.

1.2.5 Risikoermittlung

Es wird das Risiko für Personen und Sachwerte ermittelt. Dabei sind in Bezug auf Personen die kollektiven und die individuellen Risiken zu bestimmen.

1.3 Risikobewertung

s.a. Teil A, S. 39ff

Nachdem durch den Prozess Hitze in erster Linie Personen betroffen sind, konzentriert sich die Risikobewertung auf die Bewertung von Personenrisiken.

1.3.1 Individuelle Risiken

Hier erfolgt eine Überprüfung, ob die individuellen Risiken einzelner gefährdeter Personen unter den definierten Grenzwerten liegen. In Bezug auf die Hitzewelle weisen ältere und pflegebedürftige Personen eine viel höhere Empfindlichkeit auf als gesunde Personen jüngeren und mittleren Alters. Die Frage, ob für die älteren Personen ein tieferes Schutzziel anzusetzen ist, stellt eine wichtige ethische Grundfrage dar. Diese wurde bis anhin in Bezug auf Hitzewellen nicht beantwortet und sollte im Rahmen von Schutzzielfestlegungen angegangen werden.

1.3.2 Kollektive Risiken

Für die Bewertung der kollektiven Risiken werden die graphisch aufbereiteten Werte nach den Risikoanteilen von Personen in Gebäuden, in Verkehrsmitteln und im Freien analysiert. Getrennt dazu sind die Anteile der Sachrisiken nach Szenarien bzw. gegebenenfalls auch nach Expositionssituationen zu bewerten. Hieraus ergeben sich Hinweise, welchen Objekten bei der Massnahmenplanung besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist.

1.4 Massnahmenplanung und Massnahmenbewertung

s.a. Teil A, S. 49ff

Hitzewellen lassen sich grundsätzlich nicht vermeiden (genauso wie Regen, Sturm oder Hagel). Es stehen jedoch verschiedene Massnahmen zur Verringerung der Risiken zur Verfügung. Dabei lassen sich organisatorische bzw. Massnahmen im Verhalten und bauliche Massnahmen unterscheiden. Durch bauliche Eingriffe kann die Temperatur in Gebäuden oder Verkehrsmitteln reduziert werden. Auch in bebauten Gebieten kann die Temperatur oder auch die Einstrahlung beeinflusst werden, so beispielsweise durch Bepflanzung oder Belüftungskorridore. Daneben sind auch Verhaltensanpassungen (Siesta) eine mögliche Massnahme zur Senkung des Risikos.

1.4.1 Mögliche Schutzmassnahmen

1.4.1.1 Verhalten / Organisation

Vor der Hitzewelle steht als Massnahme das Bereitstellen von Trinkwasservorräten im Vordergrund.

Während der Hitzewelle können die folgenden Massnahmen unterschieden werden:

- Anstrengungen vermeiden: Nach Möglichkeit während der heissesten Tageszeit im Haus bleiben, wenig körperliche Aktivitäten;
- Haus und Räume möglichst kühl halten: Tagsüber Fenster und Fensterläden / Rolläden / Storen und Vorhänge schliessen, nachts Fenster öffnen und für Luftzirkulation sorgen;
- Körpertemperatur bei älteren und pflegebedürftigen Menschen überwachen;
- Körper frisch halten mit kühlen Duschen, kaltes Tuch auf Stirn und Nacken, kalte Arm- und Wadenwickel, kalte Fuss- und Handbäder;
- Lose helle und dünne Kleider aus Baumwolle tragen;
- Genügend Flüssigkeitszufuhr (1.5 – 2 Liter pro Tag), regelmässige Flüssigkeitsaufnahme auch ohne Durstgefühl;
- Kalte, erfrischende Speisen mit möglichst hohem Wassergehalt: Früchte, Salate, Gemüse, Milchprodukte;
- Verderbliche Nahrungsmittel im Kühlschrank aufbewahren. Kühlkette beim Transport sicherstellen.

1.4.1.2 Bauliche Massnahmen an Gebäuden und Nutzungsverhalten in Gebäuden

Neuere Gebäude verfügen in der Regel über einen guten Wärmeschutz, welcher während der kalten Jahreszeit den Heizbedarf vermindert. Im Sommer dringt die Wärme während Hitzeperioden zwar etwas langsamer ein, kann aber auch schlechter nach aussen abgegeben werden. Die Sonnenstrahlung sowie die zusätzlich durch Geräte, Beleuchtung und Personen produzierte Wärme kann

eine Kühlung erforderlich machen. Bei bestehenden Bauten kann die Problematik der Wärmebelastung mit einem guten Sonnenschutz, energieeffizienten und geregelten (z.B. tageszeit- und präsenzorientiert) Geräten und Beleuchtungen, der Möglichkeit der Fensteröffnung sowie dem Einbau von Kühlanlagen gelöst werden. Durch eine Optimierung der Technik und durch Synergieeffekte mit der Raumwärmebereitstellung lassen sich sowohl die Investitions- wie die laufenden Kosten minimieren.

Verschiedene Methoden für die Kühlung von Gebäuden während den sommerlichen Hitzeperioden sind:

- Passive Nachtlüftung durch Querlüftung und Thermik;
- Passive Nachtlüftung mit Abluftanlage;
- Erdreichwärmetauscher zur Frischluftvorkühlung am Tag über mechanische Lüftungsanlage;
- Erdsonden mit Betonkernaktivierung;
- Thermische Absorptions-, Adsorptions- oder Sorptionskälte solargestützt;
- Elektrische Kompressionskälte.

Eine Zusammenstellung verschiedener baulicher Massnahmen an Gebäuden und Hinweise auf ein mögliches Nutzungsverhalten ist in Tabelle 1.3 dargestellt:

Tabelle 1.3: Übersicht über bauliche Massnahmen an Gebäuden gegen Hitze.

Neubau und Sanierung	**Nutzungsverhalten**
Sommerlicher Wärmeschutz	Nachtkühlung und Beschattung
Beschattung	Unterstützung für Kinder, Alte, Kranke
Speichermasse ins Gebäude	Mineralwasservorrat
Gebäudeisolation	Reduktion Stromverbrauch
Begrünung	«Siesta»
Erdreichwärmetauscher	Nutzung aktiver Kühlsysteme
Lüftungssysteme	
richtige Anordnung der Bäume	
Aktive Kühlung	
Dachbegrünung	
Nur Neubau	
Sinnvolle Fensterflächen	
Querlüftung «Durchzug»	

1.4.2 Bestimmen der Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der Hitzeschutzmassnahmen bei Gebäuden und Fahrzeugen kann abgeschätzt werden mittels einfachen Wärmelastberechnungen oder mittels detaillierten, objektbezogenen Klimamodellen.

1.4.3 Berechnen der Kosten

Aufgrund der Massnahmenvorschläge können deren Kosten abgeschätzt werden. Dabei sind nicht primär die reinen Investitionskosten ausschlaggebend, sondern die darauf basierenden jährlichen Kosten. Diese werden nach der Formel 5.1 (Teil A, Abschnitt 5.6, Seite 57) berechnet.

1.4.4 Ermitteln optimaler Massnahmenkombinationen

Eine nach ökonomischen Kriterien optimale Massnahme wird nach der Methode des Grenzkostenansatzes bestimmt. Dazu werden mehrere Massnahmen bezüglich ihrer Kostenwirksamkeit miteinander verglichen und die jeweils kostenwirksamsten Massnahmen werden aufeinander aufbauend definiert. Dies bedeutet, dass jede weitere Massnahme auf der vorherigen Massnahme aufbauen muss. Anhand der Risikoreduktion und der zugehörigen Kosten kann die gewählte Massnahmenkombination in ein Risiko-Kosten-Diagramm eingetragen werden. Werden jeweils nur die kostenwirksamsten Massnahmen ausgewählt, dann kommen die Punkte im Diagramm auf einer Kurve zu liegen, die als untere Begrenzung aller möglichen Massnahmen im Risiko-Kosten-Diagramm definiert ist (siehe auch Teil A, Abbildung 5.2, Seite 60). Der Redundanz von verschiedenen Massnahmen ist dabei die nötige Beachtung zu schenken.

Ist die Ausscheidung einer Variante gemäss dem Grenzkostenansatz nicht möglich (z.B. zu wenige Massnahmen, Kombination nicht möglich), dann wird das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer Massnahme oder einer Massnahmenkombination bestimmt. Die Beurteilung nach Kostenwirksamkeit sollte jedoch der Beurteilung nach Grenzkostenansatz nachgeordnet sein, da sie nicht zwangsläufig zur ökonomisch optimalen Massnahme führt.

1.4.5 Bewertung von Massnahmen

Wird die Massnahmenoptimierung nach dem Grenzkostenkriterium vorgenommen, stellt sich die optimale Massnahme als der Punkt auf der Risiko-Kosten-Kurve dar, bei dem eine Tangente mit Steigung -1 (bei gleichen Einheiten auf beiden Achsen), die Kurve berührt.

Wird die Effizienz nicht nach dem Grenzkostenprinzip sondern nach dem Nutzen-Kosten-Verhältnis bestimmt, so muss das Nutzen-Kosten-Verhältnis grösser oder gleich 1 sein, damit eine Massnahme als kostenwirksam beurteilt werden kann.

Dieses Vorgehen wird im folgenden Kapitel anhand eines Fallbeispiels aufgezeigt.

Kapitel 2

Fallbeispiel Altersheim Bern

2.1 Einleitung

Für die Anpassung eines Alterspflegeheims an Hitzewellen sollte das Personenrisiko, die Massnahmen und die Kosten abgeschätzt werden. Das 2-geschossige Gebäude (Bauhaus-Stil) weist ein Flachdach auf und befindet sich in Bern (Stadt).

Folgende Parameter beschreiben das Objekt:

- Grundfläche: 20 m * 50 m
- Höhe: 7 m
- Wandfläche: 980 m^2
- Dachfläche: 1000 m^2
- Gebäudevolumen: 7000 m^3
- Wandfläche Glasanteil: 30 %
- Wandfläche Massiv: 70 %
- Bewohner: 50 Personen

Dieses Fallbeispiel wurde mit dem Online-Tool Riskplan bearbeitet [5].

2.2 Gefahrenanalyse

2.2.1 Ereignisanalyse

Als Grundlage für die Ereignisanalyse wurden die Aufzeichnungen von MeteoSchweiz zu den Hitzetagen verwendet.

2.2.2 Wirkungsanalyse

Für das Beispiel des Alterspflegeheims in Bern wurde im Rahmen der Wirkungsanalyse die Anzahl Hitzetage pro Jahr für diesen Standort bestimmt. Im Jahre 2008 wird mit durchschnittlich 10 Hitzetagen gerechnet [7]. Da aber wie oben beschrieben nicht einzelne Tage sondern nur Perioden à mindestens drei Tagen zählen, wird angenommen, dass dies zwei Perioden von geringer Intensität ergibt. Diese Anzahl erhöht sich je nach Szenario der Klimaänderung.

Ereignisse mit hoher Intensität, also einem HI von über 105 an mindestens 10 Tagen werden momentan mit einer Wiederkehrperiode von ca. 30 Jahren angenommen. In den Zukunftsszenarien für dieses Beispiel sind, bei angenommener starker Erderwärmung, diese sehr intensiven Ereignisse alle drei bis fünf Jahre zu erwarten (Annahme).

Aufgrund dieser Daten, Annahmen und Modelle wurden für dieses Beispiel zwei Szenarien definiert. Dazu wurden vier «Expositionen» definiert. Das bedeutet, dass pro Ereignis mit der angegebenen Wahrscheinlichkeit die jeweilige Exposition eintritt (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Szenarien und Expositionen als Ergebnis der Gefahrenanalyse. Szenario IST (T = 20 Jahre) entspricht dem Istzustand; Szenario ZUK (T = 5 Jahre) entspricht einem Szenario bei starker Erderwärmung.

Szenario	sehr hoher HI kurz 3-10 Tage HI 105-130	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 90-105	sehr hoher HI lang >10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
IST, p(e) = 0.05	p(s) = 40 %	p(s) = 30 %	p(s) = 20 %	p(s) = 10 %
ZUK, p(e) = 0.20	p(s) = 40 %	p(s) = 30 %	p(s) = 20 %	p(s) = 10 %

2.3 Expositionsanalyse

2.3.1 Ermittlung der fixen Objekte

Da der Untersuchungsraum auf das Altersheim begrenzt wurde, wurden keine weiteren fixen Objekte (Infrastruktur) betrachtet. Die Expositionsanalyse konnte sich daher auf die exponierten Personen beschränken.

2.3.2 Ermittlung der exponierten Personen

Die Gruppe der exponierten Personen stellen die Altersheimbewohner dar. Es wurde angenommen, dass diese grösstenteils anwesend sind. Insbesondere die schwächeren Personen sind permanent im Haus. Die Präsenzwahrscheinlichkeit der Bewohner kann daher auf «1» gesetzt werden.

Zusätzlich sind die Angestellten zu betrachten. Da bei diesen jedoch von einer guten körperlichen Verfassung ausgegangen wird, sind sie keinem grösseren Risiko ausgesetzt, als andere Bürger.

2.4 Konsequenzenanalyse

In der Konsequenzenanalyse wurden die Auswirkungen (Schadenausmass) der angenommenen Szenarien und Situationen auf die anwesenden Personen ermittelt. Die Intensität der Szenarien und Situationen äussert sich in den im Gebäudeinnern zu erwartenden Temperaturen und der Luftfeuchtigkeit. Dabei ist die vorhandene, schlecht isolierende Bausubstanz und die regionale Lage des Gebäudes zu berücksichtigen.

Das Schadenausmass für das Alterspflegeheim in Bern beschränkt sich auf das Todesfallrisiko der Bewohner und des Pflegepersonals. Die Beurteilung der Hitzeempfindlichkeit von Alterspflegeheimbewohnern erfolgt aufgrund der Zahlen der Ereignisanalyse des Hitzesommers 2003 in Baden Württemberg. Im August 2003 konnten in Baden-Württemberg 680 Todesfälle in Pflegeheimen der Hitze zugeordnet werden. Bei 57'000 in Pflegeheimen wohnenden Personen ergibt dies eine Mortalität von 1.2 % bei einer sehr langen Hitzeperiode von über drei Wochen. Der HI kann nur schlecht rekonstruiert werden; es wird aber von Werten im Bereich von HI = 100 ausgegangen.

Aufbauend auf den Daten von Baden-Württemberg (2004) und Dombois / Braun-Fahrländer (2006) wurden folgende Mortalitätsraten für die definierten Expositionen erhoben (Tabelle 2.2):

Tabelle 2.2: Annahmen zu Mortalitätsraten für Alterspflegeheimbewohnende pro Ereignis und Exposition.

Exposition	**Mortalitätsrate**
sehr hoher HI kurz	0.01
erhöhter HI lang	0.012
sehr hoher HI lang	0.02
Extremverlauf	0.045

Unter der Annahme der erhobenen Mortalitätsraten und der anwesenden Personen in den ausgewiesenen Expositionen konnte das Schadenausmass ermittelt werden. Das Ergebnis ist in Tabelle 2.3 dargestellt:

Tabelle 2.3: Schadenausmass pro Ereignis in den definierten Expositionen.

Exposition	**Mortalitätsrate**	**Anzahl Todesopfer pro Ereignis** (bei 50 Bewohnern)
sehr hoher HI kurz	0.01	0.5
erhöhter HI lang	0.012	0.6
sehr hoher HI lang	0.02	1.0
Extremverlauf	0.045	2.25
Summe pro Ereignis		0.8

2.5 Risikoermittlung

2.5.1 Kollektive Risiken

Durch Verknüpfung des Schadenausmasses mit der Häufigkeit der Szenarien und der Wahrscheinlichkeit der betrachteten Situationen konnte das kollektive Risiko berechnet werden. Es wurde keine Risikoaversion einbezogen.

Tabelle 2.4: Schadenausmass und kollektives Risiko für Personen in den Szenarien 20 Jahre (Istzustand) und 5 Jahre (starke Erderwärmung) und die betrachteten Situationen. Das Schadenausmass für Personen wurde mit 5 Mio. CHF pro verhindertem Todesfall monetarisiert.

Szenario IST	sehr hoher HI kurz	erhöhter HI lang	sehr hoher HI lang	Extremverlauf
	3-10 Tage	> 10 Tage	>10 Tage	
	HI 105-130	HI 90-105	HI 105-130	HI > 130
p(e) = 0.05	p(s) = 40 %	p(s) = 30 %	p(s) = 20 %	p(s) = 10 %
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	50'000	45'000	50'000	56'250
Gesamt [CHF/a]	201'250	201'250	201'250	201'250
Szenario ZUK				
p(e) = 0.2				
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	200'000	180'000	200'000	225'000
Gesamt [CHF/a]	805'000	805'000	805'000	805'000

2.5.2 Individuelle Risiken

Die individuellen Risiken konnten nicht ohne weiteres abgeschätzt werden. Sie sind zu stark abhängig von der jeweiligen körperlichen Verfassung der Bewohner des Alterspflegeheimes. Dazu fehlten gesicherte Daten.

2.6 Risikobewertung

2.6.1 Kollektive Risiken

Die Verteilung der kollektiven Risiken auf die verschiedenen Situationen zeigt, dass die Risiken etwa gleich verteilt sind. Die Risiken im Szenario 5 Jahre sind etwa 4-mal so hoch wie die des Szenarios 20 Jahre. Eine Gewichtung des Schadenausmasses mit einer Risikoaversionsfunktion wurde nicht vorgenommen. Wie eine Aversionsfunktion für den Prozess Hitze aussehen müsste, ist noch nicht diskutiert worden. Es liegt jedoch die Vermutung nahe, dass die rund 1000 Todesopfer im Hitzesommer 2003 in der Schweiz ohne wesentliche Schutzmassnahmen auch für kommende Ereignisse hingenommen werden.

Im Zuge der Massnahmenplanung muss überprüft werden, ob sich diese Risiken mit verhältnismässigem Mitteleinsatz reduzieren lassen. Das heisst, dass die Kosten von Schutzmassnahmen am Gebäude zum Hitzeschutz im Verhältnis zur Risikominderung in Bezug auf das Todesfallrisiko stehen müssen.

2.6.2 Individuelle Risiken

Die individuellen Risiken in Altersheim in Bern wurden nicht explizit berechnet. Erfahrungen aus Baden-Württemberg im Hitzesommer 2003 zeigen jedoch, dass die Mortalitätsrate bei $1.2 \cdot 10^{-2}$ lag. Nimmt man ähnliche Bedingungen an, dann kann dieser Wert als individuelles Todesfallrisiko betrachtet werden. Der Wert von $1.2 \cdot 10^{-2}$ liegt über den Schutzzielen von unfreiwillig eingegangenen individuellen Risiken. Ob dieses Schutzziel allerdings auch für betagte Personen in Altersheimen gelten soll, muss noch Gegenstand von Diskussionen sein.

2.7 Mögliche Schutzmassnahmen

In Analogie zu den Massnahmen bei anderen Naturgefahren bestehen für die verschiedenen Arten von Schutzmassnahmen folgende Möglichkeiten:

2.7.1 Raumplanerische Massnahmen

Als raumplanerische Massnahmen sind vor allem solche der Siedlungs- und Stadtplanung vorzusehen. Durchlüftungskorridore in Städten wirken dabei besonders gut. Dazu soll Grünflächen genügend Platz eingeräumt werden. Diese wirken durch die Verdunstung direkt kühlend, zudem spenden sie Schatten und mindern so die Abstrahlung von geteerten Flächen.

2.7.2 Biologische Massnahmen

Die Bepflanzung (Beschattung) könnte optimiert werden. Dies wird im Rahmen dieses Beispiels nicht weiter verfolgt.

2.7.3 Organisatorische Massnahmen

Diverse organisatorische Massnahmen können getroffen werden. Dazu gehören beispielsweise das Bereithalten von Merkblättern des Bundesamtes für Gesundheit sowie die Vorbereitung und Umsetzung der darin erwähnten Massnahmen.

2.7.4 Technische Massnahmen

Als Schutzmassnahmen für die Bewohner des Pflegeheims wurden neben organisatorischen Massnahmen folgende bauliche Massnahmen evaluiert:

- Einbau von Klappenöffnungen für die Nachtauskühlung
- Dach- und Wandisolation des Gebäudes

2.7.4.1 Massnahme 1: Einbau von Klappenöffnungen für die Nachtauskühlung

Diese Klappen werden in der Nacht geöffnet, um die Nachtauskühlung zu Nutzen. Damit wird das Gebäude in den kühleren Nachtstunden um einige Grad herunter gekühlt.

2.7.4.2 Massnahme 2: Dach- und Wandisolation des Gebäudes

Die Isolation von Gebäuden schreitet immer weiter voran und ist auch eine Massnahmen um (kurze) Hitzewellen abzuschwächen. Die Isolation verlangsamt das Eindringen der Wärme. Einmal eingedrungene Wärme kann aber viel schlechter wieder entweichen. Damit ist insbesondere bei länger andauernden Hitzewellen mit der Aufheizung von Gebäuden zu rechnen. Dazu kommen die internen Wärmeerzeuger wie beispielsweise Computer, Kühlschränke etc. Werden diese internen Lasten möglichst minimiert sowie die Abfuhr der Wärme gewährleistet, so überwiegt der Nutzen der besseren Isolation jedoch deren Nachteile. Je nach Situation ist die Isolation mit einer aktiven Kühlung zu ergänzen [56].

Allenfalls wäre auch eine Kombination von Massnahmen zu prüfen.

2.8 Wirksamkeit

2.8.1 Wirksamkeit Massnahme 1

Durch den Einbau der Klappenöffnungen wird eine Veränderung der Häufigkeit von Hitzeperioden und eine Veränderung der Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Situationen angenommen (Tabelle 2.5):

Tabelle 2.5: Szenarien und Situationen vor und nach Einbau der Klappenöffnungen. Szenario IST beschreibt den Istzustand (mit Häufigkeit p(e)); Szenario ZUK ein Szenario mit starker Erderwärmung; M1 bezeichnet das jeweilige Szenario nach Massnahme;

Szenario	sehr hoher HI kurz 3-10 Tage HI 105-130	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 90-105	sehr hoher HI lang >10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
IST, p(e) = 0.05	p(s) = 40 %	p(s) = 30 %	p(s) = 20 %	p(s) = 10 %
IST-M1, p(e) = 0.04	p(s) = 40 %	p(s) = 35 %	p(s) = 15 %	p(s) = 10 %
ZUK, p(e) = 0.20	p(s) = 40 %	p(s) = 30 %	p(s) = 20 %	p(s) = 10 %
ZUK-M1, p(e) = 0.10	p(s) = 40 %	p(s) = 35 %	p(s) = 15 %	p(s) = 10 %

Das Schadenausmass und die Risiken nach Massnahmen sind in Tabelle 2.6 dargestellt:

Tabelle 2.6: Schadenausmass und kollektives Risiko für Personen in den Szenarien IST-M1 (Istzustand nach Massnahme 1) und ZUK-M1 (starke Erderwärmung nach Massnahme 1) und in den betrachteten Situationen. Das Schadenausmass für Personen wurde mit 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall monetarisiert.

Szenario IST-M1	sehr hoher HI kurz 3-10 Tage HI 105-130	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 90-105	sehr hoher HI lang >10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
p(e) = 0.04	p(s) = 40 %	p(s) = 35 %	p(s) = 15 %	p(s) = 10 %
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	40'000	42'000	30'000	45'250
Gesamt [CHF/a]	157'000	157'000	157'000	157'000
Szenario ZUK-M1 p(e) = 0.1				
Schadenausmass [CHF]	2'500'000	3'000'000	5'000'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	100'000	105'000	75'000	112'000
Gesamt [CHF/a]	392'500	392'500	392'500	392'500

2.8.2 Wirksamkeit Massnahme 2

Es wurde angenommen, dass sich nach einer Dach- und Wandisolation des Gebäudes die Häufigkeit von Ereignissen und die Wahrscheinlichkeit der Situation verändert (Tabelle 2.7).

Tabelle 2.7: Szenarien und Situationen vor und nach Dach- und Wandisolation des Gebäudes. Szenario IST beschreibt den Istzustand (mit Häufigkeit p(e)); Szenario ZUK ein Szenario mit starker Erderwärmung; M2 bezeichnet das jeweilige Szenario nach Massnahme.

Szenario	sehr hoher HI kurz > 10 Tage HI 90-105	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 105-130	sehr hoher HI lang 3 -10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
IST-M2, p(e) = 0.04	p(s) = 40 %	p(s) = 27 %	p(s) = 20 %	p(s) = 13 %
ZUK-M2, p(e) = 0.10	p(s) = 40 %	p(s) = 27 %	p(s) = 20 %	p(s) = 13 %

Die Veränderung der Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der Situationen hat einen unmittelbaren Einfluss auf das Schadenausmass und das Risiko. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2.8 dargestellt.

2.9 Kosten

Die Berechnung der jährlichen Kosten erfolgte nach der Methode, die im Teil A erläutert wurde (Abschnitt 5.6, Seite 57ff).

Für die Massnahme 1 («Einbau von Klappenöffnungen für die Nachtauskühlung») wurden folgende Annahmen getroffen: Es ist pro Bewohnerzimmer 1 Klappe notwendig, bei 50 Zimmern sind

Tabelle 2.8: Schadenausmass und kollektives Risiko für Personen in den Szenarien IST-M2 (Istzustand nach Massnahme 2) und ZUK-M2 (starke Erderwärmung nach Massnahme 2) und in den betrachteten Situationen. Das Schadenausmass für Personen wurde mit 5 Mio. CHF pro verhinderten Todesfall monetarisiert.

Szenario IST-M2	sehr hoher HI kurz > 10 Tage HI 90-105	erhöhter HI lang > 10 Tage HI 105-130	sehr hoher HI lang 3-10 Tage HI 105-130	Extremverlauf HI > 130
p(e) = 0.04	p(s) = 40 %	p(s) = 27 %	p(s) = 20 %	p(s) = 13 %
Schadenausmass [CHF]	3'000'000	5'000'000	2'500'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	48'000	54'000	20'000	58'500
Gesamt [CHF/a]	180'000	180'000	180'000	180'000
Szenario ZUK-M2 p(e) = 0.1				
Schadenausmass [CHF]	3'000'000	5'000'000	2'500'000	11'250'000
Risiko [CHF/a]	120'000	135'000	50'000	146'250
Gesamt [CHF/a]	451'250	451'250	451'250	451'250

damit 50 Klappen notwendig. Für allgemeine Räume ist mit weiteren 20 Klappen zu rechnen. Es wurden Kosten in Höhe von 2000 CHF pro Klappe angenommen.

Für die Massnahme 2 («Dach- und Wandisolation des Gebäudes») sind neben der Isolierung der Gebäudehülle auch neue Fenster mit Isolierverglasung vorgesehen. Bei einen Diskontsatz von 2 % und einem Restwert von 0 CHF nach Ende der Laufzeit können die jährlichen Kosten berechnet werden. Die in Tabelle 2.9 angenommenen Kosten stützten auf Egli [27] ab und wurden basierend auf einem Umrechnungssatz von 1.65 von Euro in Schweizer Franken umgerechnet.

Tabelle 2.9: Annahmen für die Berechnung der jährlichen Kosten und Höhe der jährlichen Kosten für die beiden Massnahmen.

Massnahme	**Investitions-kosten** [CHF]	**Betriebs-kosten** [CHF/a]	**Unterhalts-kosten** [CHF/a]	**Lebensdauer** [-]	**jährliche Kosten** [CHF/a]
M1	140'000	1'000	3'000	30	10'067
M2	418'200	500	3'000	30	21'622

2.10 Massnahmenbewertung

Die Berechnung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses ist in Tabelle 2.10 gezeigt. Die Ergebnisse der Berechnungen in beiden Szenarien unterscheiden sich merklich. Je nach Entwicklung des Klimas ist die Nutzen-Kosten-Relation sehr unterschiedlich. Bei eintreffender starker Erwärmung haben beide Massnahmen ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von grösser als 1. Falls die Erwärmung nicht weiter zunehmen würde, weist einzig der Einbau der Lüftungsklappen ein Nutzen-Kosten-Verhältnis von grösser als 1 auf.

Die Sanierung der Aussenhülle des Gebäudes lohnt sich nur beim Szenario ZUK (starke Erwärmung). Daneben ergeben sich durch die bessere Isolation voraussichtlich auch beträchtliche Einsparungen bei den Heizkosten, welche in der vorliegenden Kostenrechnung noch nicht berücksichtigt sind. Unter Annahme des Szenario ZUK dürfte auch die gleichzeitige Realisierung beider Massnahmen Sinn machen. Zum einen, da Baukosten gegenüber den Einzelmassnahmen gespart werden können, zum andern da sich die Massnahmen ergänzen.

Tabelle 2.10: Zusammenstellung der Risikoreduktionen und jährlichen Kosten der beiden Massnahmen sowie deren Nutzen-Kosten-Verhältnis in den beiden Szenarien Istzustand (IST) und starke Erderwärmung (ZUK).

	Massnahme 1 Lüftungsklappen IST	Massnahme 2 Isolierung IST	Massnahme 1 Lüftungsklappen ZUK	Massnahme 2 Isolierung ZUK
Risikoreduktion [CHF/a]	44'250	20'750	412'500	353'750
jährliche Kosten [CHF/a]	10'067	21'622	10'067	21'622
N/K-Verhältnis [-]	4.39	0.96	40.97	16.36

Es zeigt sich, dass der Einbezug der möglichen künftigen Entwicklung des Klimas in diesem Prozess besonders wichtig ist. Je nach gewähltem Szenario rechnen sich unterschiedliche Massnahmen. Die Vernachlässigung möglicher Entwicklungsszenarien könnte massive Schutzzieldefizite in naher Zukunft zur Folge haben!

2.11 Realisierte Massnahmen

Da es sich bei einem Beispiel um kein reales Beispiel handelt, sind keine Massnahmen realisiert worden.

Kapitel 3

Fazit

Das vorliegende Fallbeispiel zeigt, dass eine risikobasierte Massnahmenplanung für den Prozess Hitze möglich ist. Obwohl nicht überall in den Schritten Risikoanalyse, Risikobewertung und Massnahmenplanung Erfahrungswerte vorhanden sind, hilft das strukturierte Vorgehen bei der Findung eines nachvollziehbaren Entscheides. Die Unterstützung eines Software-Tools (in diesem Fall das Online-Tool RiskPlan [5]) hilft bei der Berechnung von verschiedenen Szenarien, die gerade beim Prozess Hitze von entscheidender Bedeutung sind. Da erwartet wird, dass bei einer Klimaerwärmung der Prozess Hitze eine zunehmend grössere Rolle bei den Naturgefahren spielen wird, sind in den nächsten Jahren auf diesem Gebiet weitere Anstrengungen notwendig. Im Gegensatz zu den anderen Prozessen kann festgehalten werden, dass für diesen Prozess keine klaren Zuständigkeiten vorhanden sind. Hierzu sind entsprechende Abklärungen notwendig.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT
Plate-forme nationale «Dangers naturels»
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»
National Platform for Natural Hazards

Risikokonzept für Naturgefahren - Leitfaden

VERZEICHNISSE: LITERATURVERZEICHNIS UND GLOSSAR

Diese Verzeichnisse sind integraler Bestandteil des Gesamtberichtes bestehend aus:
Teil A: Allgemeine Darstellung des Risikokonzepts
Teil B: Anwendung des Risikokonzepts
- Prozess Lawine
- Prozess Hochwasser
- Prozess Murgang
- Prozess Sturz
- Prozess spontane Rutschung / Hangmuren
- Prozess permanente Rutschung
- Prozess Erdbeben
- Prozess Sturm
- Prozess Hagel
- Prozess Hitzewelle

Literaturverzeichnis

[1] ARE ; BWG ; BUWAL (HRSG): *Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren*. Bern, 2005. – Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)

[2] ASTRA: *Methodik für eine risikobasierte Beurteilung, Prävention und Bewältigung von gravitativen Naturgefahren auf Nationalstrassen*. Bern : Bundesamt für Strassen ASTRA, 2008

[3] BABS: *KATARISK - Katastrophen und Notlagen in der Schweiz. Eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes.* Bern : Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS, 2003

[4] BABS: Risikoaversion - Ein Element der systematischen Risikobeurteilung / Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS). Bern, 2008.

[5] BABS ; BAFU: *RiskPlan - Pragmatisches Risikomanagement.* `http://www.riskplan.admin.ch`. Version: 2008

[6] BACHMANN, H.: *Erdbebengerechter Entwurf von Hochbauten - Grundsätze für Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden.* Biel : Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, 2002. `http://www.bafu.admin.ch/erdbeben`

[7] BAFU: *Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen*. Bern : Bundesamt für Umwelt, 2007

[8] BAFU: *EconoMe–Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren.* `http://www.econome.admin.ch`. Version: 2008

[9] BAG ; BAFU: *Schutz bei Hitzewelle - Faktenblatt: Vorsorge treffen - Todesfälle verhüten.* Bern : Bundesamt für Gesundheit (BAG) und Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2007

[10] BFF ; SLF: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten / Bundesamt für Forstwesen (BFF) und Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF). Bern : EDMZ, 1984.

[11] BFS: *Bevölkerung–Die wichtigsten Zahlen*. `http://www.bfs.admin.ch`. Version: 2008. – Zugriff 15. Mai 2008.

[12] BORTER, P.: Risikoanalysen bei gravitativen Naturgefahren–107/I–Methode / Bundesamt für Umwelt,Wald und Landschaft, BUWAL. Bern, 1999 (107/I). – Umwelt-Materialien

[13] BURCHARD GMBH: Steinschlagschutz "Meiggerli", Saas Balen. Entwurf Vorstudie. / Burchard GmbH. Brig-Glis, 2008.

[14] BUWAL ; BABS ; BWG: *Pragmatisches Risikomanagement–Im Dialog zu mehr Sicherheit.* Bern : Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2005. – CD-ROM

[15] BWG: *Hochwasserschutz an Fliessgewässern. Wegleitung*. Biel, 2001

[16] BWG: *Verfahren zur Erstellung und Verwendung von Mikrozonierungsstudien in der Schweiz. Richtlinie BWG*. Biel : Bundesamt für Wasser und Geologie, 2004a. `http://www.bafu.admin.ch/erdbeben`

[17] BWG: Gefahreneinstufung Rutschungen, Vorschlag AGN. Bern, 2004b.

[18] BWG: *Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude. Konzept und Richtlinien für die Stufe 3 (1. Fassung). Richtlinien des BWG.* Biel : Bundesamt für Wasser und Geologie, 2005

[19] CHRISTEN, M. ; BARTELT, P. ; GRUBER, U.: AVAL-1D – Numerical calculation of dense flow and powder snow avalanches. User Manual. / WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Davos, 2002.

[20] DOMBOIS, O. T. ; BRAUN-FAHRLÄNDER, C.: *Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz*. Bern : Bundesamt für Umwelt,Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Gesundheit (BAG), 2004

[21] DOMBOIS, O. T. ; BRAUN-FAHRLÄNDER, C.: *Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag von BUWAL und BAG*. Basel : Institut für Sozial und Präventivmedizin Universität Basel, 2004

[22] DORREN, L. K. A. ; BERGER, F. ; PUTTERS, U. S.: Real-size experiments and 3-D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. In: *Natural Hazards and Earth System Science* 6 (2006), Nr. 1, 145–153. `http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/145/2006/`. – ISSN 1561–8633

[23] DORREN, L. K. A. ; SEIJMONSBERGEN, A. C.: Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale. In: *Geomorphology* 56 (2003), S. 49–64

[24] EBP: Risikoaversion - Ein Element der systematischen Risikobeurteilung / Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT und Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS. Bern, 2008.

[25] ECKHARDT, A. ; KEUSEN, H.R. ; BACHMANN, A. ; HESS, J. ; MARTI, M. ; RIPPE, K.P. ; ZWICKY, P.: Schutzziele. 2. Zwischenbericht zu Phase 2. / Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT. Bern, 2008.

[26] EGLI, T.: *Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren*. Bern : Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (Hrsg.), 2005

[27] EGLI, T.: Massnahmen zur Anpassung an den Klimawandel im privaten Bauen & Wohnen. In: *Erklim – Erfolgsfaktoren für Klimaschutz und Klimaanpassung.* Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2008. – im Druck

[28] FEMA: HAZUS. MH Maintenance Release 3. Technical Manual. / Federal Emergency Management. Washington, 2003.

[29] FLÜHLER, P. ; STUCKI, M.: *Hagelwiderstand der Gebäudehülle – experimentelle Ermittlung des Hagelwiderstandes. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen.* Bern, 2007

[30] GEOPLAN AG: Hochwasserschutz Lonza: Restrisikobewältigung. Vorprojekt Entwurf. Steg, 2008.

[31] GERSTGASSER, D. ; HOSTETTLER, A.: *Julihitze 2006.* Zürich : MeteoSchweiz, 2006. `http://www.meteoschweiz.admin.ch`

[32] GLENZ, WALTHER UND WINKLER AG: Massnahmenplanung Meiggerli. Risikobeurteilung und Analyse der Kostenwirksamkeit. Entwurf April 2008. / Glenz, Walther und Winkler. Brig, 2008.

[33] GRUBER, U.: *Der Einsatz numerischer Simulationsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung – Möglichkeiten und Grenzen.* Zürich, Universität Zürich, Diss., 1998

[34] GRÜNTHAL, G.: *Cahiers du Centre Europèen de Gèodynamique et de Sèismologie*. Bd. 15: *Euopean Macroseismis Scale*. Luxembourg : Conseil de L'Europe, 1998

[35] GUZZETTI, F. ; CROSTA, G. ; DETTI, R. ; AGLIARDI, F.: STONE: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls. In: *Computational Geosciences* 28 (2002), S. 1079–1093

[36] HOHL, R. ; SCHIESSER, H.H. ; ALLER, D.: Hailfall: the relationship between radar-derived hail kinetic energy and hail damage to buildings. In: *Atmospheric Research* 63 (2002), S. 177 – 207

[37] HOHL, R. ; SCHIESSER, H.H. ; KNEPPER, I.: The use of weather radars to estimate hail damage to automobiles: An exploratory study in Switzerland. In: *Atmospheric Research* 61 (2002), S. 215–238

[38] HOLLENSTEIN, K. ; BIERI, O. ; STÜCKELBERGER, J.: Modellierung der Vulnerability von Schadenobjekten gegenüber Naturgefahrenprozessen / Eidgenössische Technische Hochschule (Zürich), Professur für Forstliches Ingenieurwesen, Eidgenössische Forstdirektion. Zürich : ETHZ Forstliches Ingenieurwesen, 2002.

[39] HYDROCOSMOS AG: Restrisikomassnahmen und Aktualisierung Gefahrenkarten: Numerische Modellierung. Bericht. Vernayaz, 2008.

[40] INGENIEURGEMEINSCHAFT GEOPLAN, HUNZIKER UND ZARN, GEO7: Hochwasserschutzkonzept Lonza. Steg, 2000.

[41] JUNGO, P.: *20th century minimum and maximum temperature variations analysed on a regional scale in Switzerland*. Freiburg, Institut für Geographie, Universität Freiburg, Diss., 2001. – Nr. 1365

[42] KIND, F.: *Development of Microzonation Methods: Application to Basle, Switzerland*. Zürich, ETH Zürich, Diss., 2002. – Nr. 14548

[43] KIND, F. ; FÄH, D. ; ZECHNER, E. ; P., Huggenberger ; GIARDINI, D.: Seismic zonation from a 3D seismic velocity reference model of the area of Basle, Switzerland. In: *Bull. Seism. Soc. Am.* 2003

[44] KUHN, C.: *Felsstürze – Beiträge zu ihrer Simulation.* Wien, Universität für Bodenkultur Wien – Institut für Angewandte Geologie, Diplomarbeit, 2004. http://homepage.boku.ac.at/h9440283/dafertig.pdf

[45] LATELTIN, O. ; TRIPET, J.-P. ; BOLLINGER, D.: *Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen*. BUWAL, BWW, BRP, 1997. – 42 S.

[46] LEHMANN, C.: *Geographica Bernensia*. Bd. G42: *Zur Abschätzung der Feststofffracht in Wildbächen: Grundlagen und Anleitung.* Bern : Verlag des Geographischen Instituts der Universität Bern, 1993

[47] LOAT, R. ; PETRASCHECK, A.: *Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen*. BWW, BRP, BUWAL, 1997. – 32 S.

[48] MERZ, B.: *Hochwasserrisiken - Möglichkeiten und Grenzen der Risikoabschätzung*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2006

[49] MERZ, H. A. ; SCHNEIDER, T. ; BOHNENBLUST, H.: *Bewertung von technischen Risiken. Beiträge zur Strukturierung und zum Stand der Kenntnisse. Modelle zur Bewertung von Todesfallrisiken*. Zürich : vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 1995

[50] METEOSCHWEIZ: Zusatzinformationen zum Heat Flash. / Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz. Zürich, 2005.

[51] MILUTINOVIC, Z. et a.: RISK UE - an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European towns. Final report WP4: vulnerability of current buildings. / European Commission. 2003.

[52] MINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES BADEN WÜRTTEMBERG: Gesamtbericht Altern und Gesundheit in Baden Württemberg (Teil 1 und Teil 2). Stuttgart, 2006.

[53] NATIONALE PLATTFORM NATURGEFAHREN PLANAT: *Webseite*. http://www.planat.ch. Version: 2008. – Zugriff: 30.7.2008.

[54] NAZ: Einsatzkonzept für den Fall eines Erdbebens in der Schweiz - Grundlagen. / Nationale Alarmzentrale NAZ. Zürich, 2004.

[55] OCCC: *Extremereignisse und Klimaänderung.* Bern : OcCC Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung, 2003

[56] OCCC ; PROCLIM: *Klimaänderung und die Schweiz 2050—Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. Bern : OcCC Beratendes Organ für Klimaänderung / ProClim Forum für Klima und Global Change, 2007 http://www.occc.ch/

[57] PLANAT: Strategie Naturgefahren Schweiz. Synthesebericht. / Nationale Plattform Naturgefahren. Bern, 2005.

[58] PROCLIM: *Hitzesommer 2003. Synthesebericht*. Bern : ProClim Forum für Klima und Global Change., 2005

[59] ROMANG, H.: Gefahren- / Risikobeurteilung Chummerbach, Davos Glaris. Ereigniskataster, Abflussberechnung und Feststoffpotential, Zustand und Wirkung der Schutzmassnahmen,

Gefahrenbeurteilung, Risikobeurteilung / Universität Bern, Geographisches Institut. Bern, 1999.

[60] ROMANG, H.: Massnahmenstudie Chummerbach, Davos Glaris. Variantenstudium Schutzmassnahmen, Beurteilung der Wirksamkeit, Abschätzung der Kosten. / Universität Bern, Geographisches Institut. Bern, 1999.

[61] ROMANG, H. ; BÖLL, A. ; BOLLINGER, D. ; HUNZINGER, L. ; KEUSEN, H.R. ; KIENHOLZ, H. ; KOSCHNI, A. ; MARGRETH, S.: Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Einzelprojekt A 3 / Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT. Bern, 2008.

[62] RÜTTENER, E.: *Earthquake Hazard Evaluation for Switzerland.* Zürich, ETH Zürich, Diss., 1995

[63] SALM, B. ; BURKARD, A. ; GUBLER, H.U.: Berechnung von Fliesslawinen – Eine Anleitung für den Praktiker / Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF. Davos : Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF., 1990 (47).

[64] SAMUELSON, P. A. ; NORDHAUS, W. D.: *Volkswirtschaftslehre. Grundlagen der Makro- und Mikroökonomie.* 8. Auflage. Köln : Bund-Verlag, 1985

[65] SCHIESSER, H.H.: Fernerkundung von Hagelschäden mittels Wetterradar. Remote Sensing Series. / Geographisches Institut Zürich. Zürich, 1988.

[66] SCHIESSER, H.H.: Hagelstürme in der Schweiz. Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrössen – eine Abschätzung. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherung. Bern, 2006.

[67] SCHNEIDER, J.: *Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Grundwissen für Ingenieure.* 2. Auflage. Zürich : vdf Hochschulverlag an der ETH und B.G. Teubner, 2006

[68] SED: Erdbebenkatalog Schweiz / Schweizerischer Erdbebendienst. Zürich, 2002.

[69] SED: Seismic Hazard Assessment of Switzerland / Schweizerischer Erdbebendienst. Zürich, 2004.

[70] SIA: Norm SIA 261. Einwirkungen auf Tragwerke. / Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2003.

[71] SIA: Merkblatt SIA 2018: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben / Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich, 2004.

[72] SIA: *Dokumentation SIA D 0211. Einführung in das Merkblatt SIA 2018: Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben.* Zürich : Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, 2005. `http://www.sgeb.ch/docs/D0211d.pdf`

[73] SLF: *Website*. `http://www.slf.ch`. Version: 2008. – Zugriff: 31. Mai 2008

[74] SPICHTIG, S. ; BRÜNDL, M.: Verletzlichkeit durch gravitative Naturgefahren–eine Situationsanalyse. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Einzelprojekt B5. / Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT. Bern, 2008. – 101 S.

[75] STARR, C.: Social Benefit versus Technological Risk: What is our society willing to pay for safety? In: *Science* 165 (1969), S. 1232–1238

[76] STEADMAN, R.G.: The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. In: *Journal of Applied Meteorology* 18 (1979), Nr. 7, S. 861–873

[77] STUCKI, M. ; EGLI, T.: *Elementarschutzregister Hagel – Synthesebericht. Bericht erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen.* Bern, 2007

[78] UBA: Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. / Umweltbundesamt. Berlin, 2005 (201 41 253).

[79] VANOMSEN, P. ; EGLI, T.: *Elementarschutzregister. Schlussbericht zum Teilprojekt. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen.* Bern, 2007

[80] WENK, T.: *Erdbebenertüchtigung von Bauwerken. Strategie- und Beispielsammlung aus der Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 0832*. Bern : Bundesamt für Umwelt BAFU, 2008. – 84 S. `http://www.bafu.admin.ch/erdbeben`

[81] WHO: *Heat-waves: risk and responses*. Geneva : World Health Organisation, 2004 (Series No. 2)

[82] WILHELM, C.: *Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz - Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung*. Bd. 54. Davos : Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 1997. – 309 S.

[83] WILHELM, C.: Zur Entwicklung des Lawinenrisikos in der Schweiz. In: VOLK, G. (Hrsg.): *Risikobewertung und Naturraumprävention von Wildbächen und Lawineneinzugsgebieten*. Universität für Bodenkultur Wien, 1997, S. 112–127

[84] WILHELM, C.: *Kosten-Wirksamkeit von Lawinenschutz-Massnahmen an Verkehrsachsen 1999. Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluation*. Bern : BUWAL, 1999

[85] WINKLER, C. ; BURKARD, A.: Pflichtenheft Risikoanalysen Naturgefahren SBB. Interne Arbeitsgrundlage. Version 20.5.2005 / Schweizerische Bundesbahnen SBB. Brig, 2005.

[86] WSL ; BUWAL: *Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse*. Birmensdorf und Bern : Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 2001

Glossar

Version: 26. Februar 2009

Das folgende Glossar wurde auf Grundlage des PLANAT-Glossars im Rahmen des Projekts EconoMe erstellt. Die Begriffe werden in gleicher Art wie beim Projekt EconoMe verwendet. Sofern nötig wurden spezifische Anpassungen gemacht, die für diesen Leitfaden notwendig sind.

AKZEPTANZ: Empirisch feststellbare persönliche oder gesellschaftliche Bereitschaft, das subjektiv erkannte Risiko eines Zustandes oder einer Handlung hinzunehmen.

ANPRALL: Berücksichtigtes Schadenbild zur Beurteilung der Risiken entlang von Bahnlinien. Das Naturgefahrenereignis lagert Material auf den Geleisen ab oder beschädigt den Bahnkörper und ein nachfolgender Zug prallt auf die Stelle auf, da er nicht rechtzeitig gewarnt werden bzw. abbremsen kann.

ANPRALLFAKTOR: Korrekturfaktor für das Schadenbild Anprall auf abgelagertes Material, der berücksichtigt, dass bei einem Ereignis nur die vordersten Wagen betroffen sind. Der Korrekturfaktor ist von der Geschwindigkeit abhängig und reduziert damit die bei einem Anprall potentiell betroffene Anzahl Personen.

AUSGANGSRISIKO: Das Ausgangsrisiko entspricht der aktuellen Risikosituation ohne Einbezug jeglicher organisatorischer Massnahmen wie vorsorgliche Sperrungen und Evakuationen. Bestehende bauliche Schutzmassnahmen sind allenfalls in der Gefahrenbeurteilung bereits berücksichtigt.

AVERSION: Als Risikoaversion wird das Phänomen bezeichnet, dass Risiken von Ereignissen mit zunehmendem Schadensausmass trotz abnehmender Eintretenswahrscheinlichkeit aus verschiedenen Gründen eine überproportionale Bedeutung beigemessen wird. Aufgrund der Grössenabhängigkeit ist dieses Bewertungselement bei Grossereignissen besonders bedeutend, es ist jedoch als kontinuierlicher Effekt zu verstehen und damit auch für Risiken mit kleineren Schadensausmassen relevant.

BEARBEITUNGSTIEFE: Detaillierungsgrad / Genauigkeit der erhobenen Parameter für die Beurteilung. Bei RIKO erfolgt die Bearbeitung in einer grossen Detaillierungsstufe (Vergleich EconoMe 1.0: mittlere Bearbeitungstiefe). Die nötigen Parameter für die Risikoanalyse und Massnahmenplanung bzw. -bewertung müssen erhoben werden. Die Richtwerte von EconoMe können als Anhaltspunkt verwendet werden.

BEMESSUNGSEREIGNIS: Ereignisgrösse, die bei der Projektierung und Planung von Schutzmassnahmen zugrunde gelegt wird.

BESETZUNGSGRAD: Durchschnittliche Anzahl Personen pro Fahrzeug bzw. pro Zug im gefährdeten Bereich [Personen/Fahrzeug].

BETRIEBSKOSTEN: Jährliche Kosten, die dem Betreiber/Eigentümer einer Schutzmassnahme durch den Betrieb bzw. Gebrauch laufend entstehen (z.B. Beleuchtung, Munitionskosten etc.).

DIREKTTREFFER: Berücksichtigtes Schadenbild zur Beurteilung der Risiken für fixe und mobile Objekte. Bei mobilen Objekten findet das Naturgefahrenereignis genau dann statt, wenn sich das Fahrzeug bzw. der Zug im Gefahrenbereich befindet.

DISKONTIERUNG: Die Diskontierung ist die Berechnung der Höhe der Kosten zum jetzigen Zeitpunkt aus der Höhe dieses Betrags zu einem späteren Zeitpunkt, wenn zwischen den beiden Zeitpunkten die Zahlung von Zinsen angenommen wird. Für diesen Leitfaden wird ein Zinssatz von 2 % vorgeschlagen, der dem langfristigen Mittelwert des Zinssatzes von Bundesobligationen entspricht. In diesem Leitfaden wird ein statisches Berechnungsverfahren angewendet.

DTV: Strasse: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge auf einer Strasse in beide Richtungen [Fahrzeuge/Tag]. Mechanische Aufstiegshilfen: Durchschnittliche Anzahl transportierter Personen pro Tag [Personen/Tag]. Bahn: s. FREQUENZ.

EINTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT: Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis bestimmter Grösse innerhalb einer definierten Zeitspanne (i.d.R. ein Jahr) genau einmal stattfindet. Die Eintretenswahrscheinlichkeit und die Wiederkehrperiode T lassen sich numerisch verbinden, wenn von einer einheitlichen Nutzungsperiode ausgegangen wird.
Die Gleichung lautet: $p = 1 - (1 - \frac{1}{T})^n$, wobei n die betrachtete Nutzungsperiode (z.B. 50 Jahre), T die Wiederkehrperiode und p die Eintretenswahrscheinlichkeit ist.

EREIGNISANALYSE: Die Ereignisanalyse ist Bestandteil der Gefahrenanalyse und beinhaltet die Identifizierung und Lokalisierung der erwiesenen Gefahren. Normal: historische Ereignisse aufarbeiten und interpretieren. Im Rahmen von Unwettern: Zusatzprodukt zur Ereignisdokumentation im Rahmen der StorMe Erhebung.

EXPOSITIONSANALYSE: Identifikation von Art und Ort der gefährdeten Objekte (Personen, Sachwerte) sowie ihrer zeitlichen und örtlichen Präsenz (Expositionssituationen).

EXPOSITIONSSITUATION: Eine Expositionssituation wird charakterisiert durch eine bestimmte Dauer und durch die Anzahl effektiv anwesender, exponierter Personen und mobiler Objekte im Beurteilungsperimeter. Expositionssituationen ergeben sich aus Überlagerung von Grund- und Sondersituationen.

Grundsituation: Ist i.d.R. bei Wohnhäusern, Handwerks- und Industriebetrieben, Personen auf Strassen und im Freien anwendbar, wo während des Grossteils der betrachteten Zeiträume eine konstante kleine bis mittlere Anzahl von Personen anwesend ist.

Sondersituation: Bildet Fälle ab, in welchen während relativ kurzer Zeit viele bis sehr viele Personen im gefährdeten Bereich anwesend sind. Bsp.: Zugsdurchfahrten, Durchfahrten vollbesetzter Reisebusse auf Strassen, Verkehrsstau auf der Strasse, Durchmarsch grösserer Wandergruppen, Open-Air- und Sportveranstaltung mit Hunderten oder sogar Tausenden Personen, Belegung von Schulhäusern, Ferienheimen, Hotels,

Kirchen etc. Die Dauer einer Expositionssituation wird als Zeitanteil zur gesamten Zeit ausgedrückt, während der ein gefährlicher Prozess auftreten kann.

EXTREMEREIGNIS: Ereignis, welches im Rahmen des EHQ- Szenarios beschrieben wird. Die Wiederkehrperiode des EHQ wird für Wasserprozesse mit 1000 Jahren und für die gravitativen Gefahren mit 300 Jahren festgelegt. Das entsprechende Szenario dient zur Ermittlung der in der Gefahrenkarte gelb-weiss schraffierten Fläche.

FREQUENZ: Anzahl der Zugsdurchfahrten pro Tag auf einer Bahnlinie in beide Richtungen.

GEFAHR: Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden für Personen, Umwelt und/oder Sachwerte entstehen kann.

GEFAHRENANALYSE, -BEURTEILUNG: Die Gefahrenanalyse besteht aus der Ereignisanalyse und der Wirkungsanalyse. Das Produkt der Gefahrenanalyse ist die Bildung von Szenarien. I.d.R. werden Szenarien mit Wiederkehrperioden von 30, 100 und 300 Jahren sowie ein Extremereignis (EHQ) festgelegt. Gelegentlich werden auch häufigere Szenarien (< 30 Jahre) beschrieben.

GEFAHRENKARTE: Basierend auf der Gefahrenanalyse streng nach objektiven wissenschaftlichen Kriterien und den BAFU Empfehlungen detailliert zu erstellende Karte (Massstab von 1 : 10'000). Innerhalb des klar abzugrenzenden Untersuchungsperimeters werden für sämtliche Stellen im Gelände Aussagen gemacht über:

- Gefährdung bzw. Nicht-Gefährdung der Stelle im Gelände.
- Kategorie (Art) der gefährlichen Prozesse.
- Erwartete Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit (Häufigkeit, Wiederkehrperiode) der betreffenden Prozesse.

GEFAHRENPOTENZIAL: Summe aller Naturgefahren im betrachteten Untersuchungsperimeter.

GEFÄHRDETE PERSON / GEFÄHRDETES OBJEKT: Objekte und Personen, die sich innerhalb eines Prozessraumes befinden, werden als gefährdete Objekte / Personen definiert. Bei der Risikoanalyse wird wie folgt unterschieden: Gefährdete Wegstrecke: Strasse, mechanische Aufstiegshilfen, Bahn und Lifelines (Wasser-, Gas-, Strom- und Werkleitungen, Telekommunikation, usw.), Gefährdete Gebäude und Infrastrukturen, Gefährdete Personen (innnerhalb und ausserhalb von Fahrzeugen, usw.).

GEFÄHRDUNG: Gefahr, die sich ganz konkret auf eine bestimmte Situation oder ein bestimmtes Objekt bezieht.

GEWICHTUNG: Veränderung des tatsächlichen, berechneten Schadenausmass mit einem Aversionsfaktor. Das Ergebnis ist das gewichtete Schadenausmass.

GRENZKOSTEN: Höhe der Kosten für Schutzmassnahmen, die eine Gesellschaft maximal bereit ist zu investieren, um Schäden (z.B. Todesfälle) zu verhindern. Die Grenzkosten für einen verhinderten Todesfall werden in der Schweiz für den Bereich gravitative Naturgefahren auf 5 Mio. CHF festgelegt, bei Erdbeben sind diese höher angesetzt. Bewertet wird nicht das Leben an sich, sondern die Bereitschaft und die finanzielle Möglichkeit Todesfälle zu

verhindern. Dies entspricht dem Grenzkostenkonzept, nachdem Investitionen bis zu einem best. Grenzbetrag als verhältnismässig angesehen werden.

HÄUFIGKEIT: Wahrscheinlichkeit eines gewählten Szenarios mit einer oberen und einer unteren Grenze. Die Häufigkeit eines Szenarios 30-100 Jahre kann p = 0.033 - 0.01 = 0.023 angenähert werden.

INTENSITÄT: Physikalische Grösse eines Naturprozesses. Die Angabe der Intensität erfolgt in drei Stufen (stark, mittel und schwach, siehe Empfehlungen BAFU).

INTENSITÄTSKARTE: Die Intensitätskarte zeigt die Umhüllende aller möglichen Ereignisabläufe mit einer bestimmten Wiederkehrdauer T bzw. Jährlichkeit p und enthält die Intensitätsstufen gemäss Empfehlungen BAFU.

INVESTITIONSKOSTEN: Einmalige Kosten, die zur Erstellung bzw. Einrichtung von Schutzmassnahmen aufgewendet werden müssen.

JÄHRLICHKEIT: Wahrscheinlichkeit p, in der ein Ereignis bestimmter Wiederkehrdauer T statistisch im Durchschnitt einmal erreicht oder überschritten wird, $p = \frac{1}{T}$.

KOSTEN, SCHUTZMASSNAHMEN: Gesamtheit aller anfallenden Kosten über die Lebensdauer einer Massnahme. Die Massnahmenkosten beinhalten folgende Elemente: Investitions-, Betriebs-, Unterhalts- und Rückbaukosten. Die Massnahmenkosten werden mit dem Zinssatz für Bundesobligationen diskontiert (2%) und als jährliche Kosten (CHF/Jahr = CHF/a) angegeben.

NUTZEN-KOSTEN-VERHÄLTNIS: Verhältnis zwischen Massnahmenkosten und dem erreichten Nutzen resp. erreichter Risikoreduktion.

KOSTENWIRKSAMKEIT: Verhältnis zwischen Massnahmenkosten und erreichter Risikoreduktion in CHF pro physischer Einheit (z.B. CHF pro verhinderten Todesfall).

LEBENSDAUER: Die Lebensdauer beschreibt die Funktionsdauer (volle Wirksamkeit) einer Schutzmassnahme.

LETALITÄT: Wahrscheinlichkeit der Todesfolge bei der Einwirkung einer bestimmten Prozessintensität. Die Letalität ist abhängig von der Exposition der Person (Person im Freien, in Gebäuden, in Fahrzeugen, usw.) und wird mit einem Wert zwischen 0 und 1 quantifiziert. Die Letalität für Personen in Gebäuden bei einer bestimmten Intensität eines Prozesses berechnet sich aus dem Produkt von Schadenempfindlichkeit und dem Letalitätsfaktor bei dieser Intensität.

NATUREREIGNIS: Natürlicher Prozess; bestimmt durch Art, Dauer, Intensität und räumlicher Ausdehnung.

NATURGEFAHR: Sämtliche Vorgänge in der Natur, die für Personen, Umwelt und Sachwerte schädlich sein können. In diesem Leitfaden werden die Prozesse Lawine, Hochwasser, Murgang, Hangmure, Sturz (Steinschlag etc.) und Rutschung betrachtet. Darüber hinaus werden Überlegungen zu den Prozessen Erdbeben, Sturm, Hagel und Extremtemperaturen gemacht.

NUTZEN: Der Nutzen einer Schutzmassnahme entspricht der Risikoreduktion, welche durch das Ausführen der Schutzmassnahme erzielt werden kann. Der Nutzen beinhaltet monetarisierte Risiken von Personen und Sachwerten und wird in jährlichen Kosten (CHF/a) ausgedrückt.

NUTZWALD: Ein Nutzwald ist ein Wald, bei dem die Holznutzung im Vordergrund steht. Andere Waldfunktionen (Wohlfahrt, Schutz) haben dort eine geringere Bedeutung.

OBJEKTSCHUTZ: Schutz eines Objektes (Gebäude oder Anlage) durch bauliche Massnahmen.

OBJEKTSCHUTZFAKTOR: Mit dem Objektschutzfaktor wird die Wirksamkeit der vorhandenen Objektschutzmassnahme beschrieben. Objektschutzfaktor 1.0 bedeutet, dass Personen und Sachwerte im betrachteten Objekt vollständig geschützt sind. Ein Objektschutzfaktor 0.0 bedeutet, dass der Schutz keine Wirksamkeit hat. Der Objektschutzfaktor wird gutachtlich vom Projektverfasser nur für Objekte mit Objektschutz je nach Szenario und Intensität festgelegt. Für Objekte ohne Schutz beträgt der Faktor standardmässig null.

PERSONENSCHADEN: Gesamtheit der Schäden an Personen. Das Schadenausmass von Personen wird mit einem Wert von 5 Mio. CHF nach den Grenzkosten zur Verhinderung eines Todesfalls durch ein Ereignis monetarisiert.

PRÄSENZFAKTOR: Zur Ermittlung des individuellen Risikos wird ein Präsenzfaktor eingeführt. Dieser definiert den Zeitanteil, welchen eine Person im Gefahrenbereich durchschnittlich pro Tag verbringt (Gebäude, Sonderobjekte).

RÄUMLICHE AUFTRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT: Wahrscheinlichkeit, dass bei Eintritt eines Gefahrenprozesses dieser einen bestimmten Punkt im Untersuchungsperimeter erreicht. Dies berücksichtigt, dass ein einzelnes Ereignis oft nicht die gesamte Fläche eines Szenarios betrifft. In diesem Leitfaden werden Vorschläge für die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit des Prozesses und der betrachteten Szenarien (30-, 100-, 300-jährlich) vorgegeben.

RESTRISIKO: Nach der Realisierung aller notwendigen Sicherheitsmassnahmen (bezüglich eines gewählten Szenarios) noch verbleibendes Risiko. Dieses setzt sich zusammen aus

- bewusst akzeptierten Risiken und
- falsch beurteilten oder nicht erkannten Risiken

RISIKO: Grösse und Wahrscheinlichkeit eines möglichen Schadens ($R = p \cdot A$, Häufigkeit p multipliziert mit dem Schadenausmass A). Das Risiko wird als individuelles und als kollektives Risiko charakterisiert.

Risiko, individuelles: Wahrscheinlichkeit für eine Einzelperson an einer Gefahrenstelle getötet zu werden.

Risiko, kollektives: Das kollektive Risiko gibt den Erwartungswert der Gesamtheit aller Schäden (Schäden an Personen und Sachwerten) einer Bezugseinheit wieder.

RISIKOANALYSE: Systematisches Verfahren, um ein Risiko hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Naturereignisses (Gefahrenanalyse), der Präsenzwahrscheinlichkeit (Expositionsanalyse) und des Schadenausmasses (Konsequenzenanalyse) zu charakterisieren und zu quantifizieren. Die Risikoanalyse beantwortet damit die Frage «Was kann passieren?»

RISIKOBEWERTUNG: Die Risikobewertung ermittelt auf der Basis der festgelegten Schutzziele und der berechneten individuellen und kollektiven Risiken die vorhandenen Schutz-

defizite unter Berücksichtigung sozio-ökonomischer Aspekte, der Risikoaversion und des Freiwilligkeitsgrades. Sie beantwortet damit die Frage «Was darf passieren?».

RISIKOMANAGEMENT, INTEGRALES: Integrales Risikomanagement umschreibt ein systematisches Managementkonzept zum Umgang mit Risiken. Risiken müssen erkannt, nach gleichen Kriterien anhand anerkannter und bewährter Massstäbe einheitlich beurteilt und mit einer optimalen Kombination aus technischen, planerischen, biologischen und organisatorischen Massnahmen reduziert werden. Das integrale Risikomanagement strebt die Gleichwertigkeit von Prävention, Intervention und Wiederherstellung an und schliesst die Kommunikation mit allen Akteuren und Beteiligten mit ein (nach PLANAT Strategie, 2004; PLANAT-Strategie 2005 - Teilbericht C, ergänzt).

RISIKOREDUKTION: Die Risikoreduktion ist die Differenz von Ausgangsrisiko minus dem verbleibenden Restrisiko nach ausgeführten Schutzmassnahmen.

SACHWERTE: Sachwerte beziehen sich auf mobile und immobile materielle Güter jeglicher Art (Gebäude, Infrastrukturanlagen, Fahrzeuge etc.), welchen ein monetärer Sachwert zugewiesen werden kann.

SCHADEN: Negativ bewertete und unerwünschte Folge einer Handlung, eines Ereignisses oder eines Vorgangs.

SCHADENAUSMASS: Ausmass eines Schadens im Ereignisfall. Dieses sagt etwas über die Grösse eines Schadens bei seinem Eintreten aus.

SCHADENAUSMASS, WAHRSCHEINLICH: Schadenausmass, das unter Annahme einer bestimmten räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit und/oder Präsenzwahrscheinlichkeit von Objekten oder Personen zu erwarten ist.

SCHADENBILD: Schadenbilder sind voneinader unabhängige, repräsentative Auswirkungen gefährlicher Ereignisse zur Ermittlung der Risiken. In diesem Leitfaden werden folgende Schadenbilder berücksichtigt. Siedlungsgebiet: Beschädigung oder Zerstörung von fixen Objekten/Sachwerten und Personen durch Direkttreffer. Strasse, mechanische Aufstiegshilfen: Direkttreffer. Bahn: Direkttreffer und Anprall.

SCHADENEMPFINDLICHKEIT: Charakterisierung des Ausmasses der Beeinträchtigung, welche ein Objekt unter einer bestimmten Prozesseinwirkung erfährt. Die Schadenempfindlichkeit wird für jede Prozessart und Intensitätsstufe (schwach, mittel, stark) mit einem Wert zwischen 0 (keine Beeinträchtigung) und 1 (totale Beeinträchtigung = Totalschaden) quantifiziert. Synonym: VERLETZLICHKEIT.

SCHADENERWARTUNGSWERT: Der Schadenerwartungswert drückt den Schaden aus, der unter der Annahme der gewählten Szenarien statistisch gesehen pro Jahr zu erwarten ist. Er wird durch Multiplikation von Schadenausmass mit der Häufigkeit (z.B. eines 30-100 jährlichen Szenarios $p = 0.0233$) des gewählten Szenarios berechnet. Die Einheit ist entweder Todesfälle pro Jahr oder Geldeinheiten pro Jahr (CHF/a).

SCHADENPOTENZIAL: Grösse des maximal möglichen Schadens im Untersuchungsgebiet, der durch ein Naturereignis oder eine Handlung ausgelöst werden kann. Entspricht dem Gesamtwert von exponierten Personen und Sachwerten (Totalschaden).

SCHUTZMASSNAHME: Massnahme zur Reduktion des Risikos von Personen und Sachwerten.

SCHUTZWALD: Ein Schutzwald ist ein Wald, bei dem der Schutz vor Naturgefahren im Vordergrund steht. Andere Waldfunktionen (Wohlfahrt, Nutzung) haben dort eine geringere Bedeutung.

SCHUTZZIEL: Unter einem Schutzziel wird die Festlegung von Grenzwerten für Sicherheitsanstrengungen verstanden. Damit wird das akzeptierte Risikoniveau verankert und Risiken lassen sich an verschiedenen Orten und für verschiedene Naturgefahren vergleichen. Für individuelle Risiken werden Grenzwerte vorgeschlagen, die normativ festlegen, welche Todesfallwahrscheinlichkeit zusätzlich zur natürlichen Sterblichkeit zulässig ist. Diese Grenzwerte richten sich nach der Freiwilligkeit des eingegangenen Risikos. Liegt das berechnete individuelle Risiko über diesem Wert, sind Massnahmen einzuleiten.

SITUATIONSDAUER: Dauer einer Grund- oder Sondersituation in der Expositionsanalyse ausgedrückt in Stunden, Tagen oder Wochen. Die Situationsdauer verschiedener Situationen ergeben übereinander gelagert die Dauer der Expositionssituationen. Die Dauer der Expositionssituationen wird als Zeitanteil zur gesamten Zeit ausgedrückt, während der ein gefährlicher Prozess auftreten kann (s.a. ZEITANTEIL).

SZENARIO: Hypothetische Ereignisabläufe eines Gefahrenprozesses. Das Szenario ist in der Risikoanalyse die Untersuchungseinheit der Gefahrenseite. Dazu wird für eine bestimmte Wiederkehrdauer die Intensität und der Wirkungsraum des Gefahrenprozesses abgeschätzt. Für die verschiedenen Jährlichkeiten werden unterschiedliche Szenarien gebildet.

UNTERHALTSKOSTEN: Jährliche Kosten, die dem Betreiber/Eigentümer einer Schutzmassnahme durch den Unterhalt laufend und durch die Reparaturen periodisch entstehen.

UNTERSUCHUNGSPERIMETER: Klar abgegrenzter Ausschnitt eines Raumes (geschlossenes Polygon), der in der Risikoanalyse berücksichtigt wird.

VERLETZLICHKEIT: S. SCHADENEMPFINDLICHKEIT.

WAHRSCHEINLICHKEIT FÜR UNTERBROCHENE FAHRLEITUNG: Wahrscheinlichkeit, dass die Fahrleitung auf einer Bahnlinie unterbrochen ist. Variiert je nach Naturgefahr und Vorschläge werden in diesem Leitfaden gegeben.

WAHRSCHEINLICHKEIT FÜR WARNUNG: Wahrscheinlichkeit, dass der Lokführer rechtzeitig vor Anprall gewarnt werden kann. Variiert je nach Naturgefahr und Vorschläge werden in diesem Leitfaden gegeben.

WIEDERKEHRDAUER, WIEDERKEHRPERIODE: Zeitspanne T in Jahren, in der ein Ereignis eine bestimmte Grösse (z.B. Anrisshöhe, Kubatur, Niederschlagsmenge) statistisch im Durchschnitt einmal erreicht oder überschreitet. s. JÄHRLICHKEIT.

WIRKSAMKEIT: Gebrauchs- und Schutztauglichkeit einer Massnahme gegenüber der Einwirkung eines Naturprozesses (z.B. Lawine einer bestimmten Kubatur wird durch einen Schutzdamm aufgefangen). Es wird in diesem Leitfaden davon ausgegangen, dass während der gesamten Lebensdauer einer Schutzmassnahme die volle Wirksamkeit erhalten bleibt. Dies kann nur erreicht werden, wenn die Massnahme regelmässig unterhalten wird.

WIRKUNGSANALYSE: In der Wirkungsanalyse werden die Intensitäten der massgebenden Szenarien bestimmt und in Form von Intensitätskarten festgehalten. Die Wirkungsanalyse ist Bestandteil der Gefahrenanalyse.

WOHNEINHEIT: Den Gebäuden / Wohnhäusern wird pro Wohnung (Haushalt) eine Wohneinheit zugeordnet. Gemäss Volkszählung 2000 (Bundesamt für Statistik) beträgt die durchschnittliche Anzahl Personen je Haushalt 2.24 Personen.

ZEITANTEIL: Anteil einer Expositionssituation an der gesamten Zeitspanne, während der sich ein gefährlicher Prozess ereignen kann. Die Dauer sämtlicher Expositionssituationen ergibt die volle Zeitspanne, das heisst die Summe der Zeitanteile der einzelnen Expositionssituationen ergibt den Wert 1 oder 100 %.

ZINSSATZ: Langfristiger Verzinsungssatz der Investitionskosten zur Berechnung der jährlichen Massnahmenkosten. Der gewählte Zinssatz beträgt 2 % (vgl. Kosten, Schutzmassnahmen) und entspricht etwa dem langfristigen Zinssatz für Bundesobligationen.