



Rue de l'Industrie 35b  
1030 Bussigny  
Suisse

# Riskko

Risikorechner für Naturgefahren basierend auf EconoMe 5.1

Benutzerhandbuch für die Anwendung Riskko

Version 1.0 vom 5. Februar 2024

Von: Thierry Oppikofer und Clément Michoud

Für: Kantonale Forstinspektion des Kantons Waadt  
Amt für Naturgefahren, Waldbrände und Planung des Kantons Tessin  
Amt für Wald und Natur des Kantons Freiburg  
Amt für Umwelt des Kantons Jura



## Auftraggeber

Kantonale Forstinspektion, Umweltdirektion des Kantons Waadt, begleitet durch Sébastien Lévy

Amt für Naturgefahren, Waldbrände und Planung des Kantons Tessin, begleitet durch Andrea Pedrazzini

Amt für Wald und Natur des Kantons Freiburg, begleitet durch Benoît Mazotti

Amt für Umwelt des Kantons Jura, begleitet durch Laurent Chaignat

## Verfasser

Dr Thierry Oppikofer, Geologe, Terranum Sàrl

Dr Clément Michoud, Ingenieurgeologe, Terranum Sàrl

## Disclaimer

Dieses Werkzeug wird kostenlos und frei verfügbar gemacht. Jeder Nutzer ist selbst dafür verantwortlich, die erhaltenen Ergebnisse zu überprüfen und zu kontrollieren. Die Entwickler und Eigner übernehmen keine Verantwortung für die Richtigkeit der verwendeten Formeln und der Ergebnisse. Die Aktualisierung erfolgt sporadisch, aber es können Unterschiede zwischen den Ergebnissen von Riskko und den EconoMe-Werkzeugen bestehen. Es ist die Aufgabe des Nutzers, sich vorab beim jeweiligen Kanton über den Stand der Aktualisierung zu informieren.

## Zusammenfassung

Riskko ist ein Werkzeug zur Berechnung des Risikos und der Kostenwirksamkeit von Schutzmassnahmen im Umgang mit Naturgefahren. Die Anwendung ist auf der Website <https://riskko.ch/de> zugänglich und wird von den Kantonen Waadt, Tessin, Freiburg und Jura zur Verfügung gestellt. Das Werkzeug basiert auf den Konzepten, Gleichungen und Standardwerten von EconoMe 5.1 des Bundesamts für Umwelt und von Valdorisk 2.1, das an der Universität Lausanne entwickelt wurde.

Riskko ermöglicht eine schnelle Einschätzung des Risikos für Menschen und Objekte, die verschiedenen Naturgefahrenprozessen ausgesetzt sind. Die Berechnung des Risikos vor und nach Schutzmassnahmen ermöglicht es, die Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Massnahmen zu bestimmen.

Die in Riskko verwendeten Gleichungen stammen aus der Formelsammlung von EconoMe mit einigen Änderungen und Vereinfachungen, die in diesem Handbuch beschrieben sind. Das Handbuch wurde an das von Pierrick Nicolet und Michel Jaboyedoff von der Universität Lausanne verfasste Handbuch für Valdorisk 2.0 angepasst.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Anwendung von Riskko</b> .....	<b>2</b>
2.1. Zugriff auf die Anwendung.....	2
2.2. Benutzeroberfläche & Navigation .....	2
2.3. Sprachen .....	3
2.4. Datenspeicherung, Export und Import von Projekten.....	3
2.5. Erläuterung der Parameter.....	4
2.6. Standardparameter.....	4
2.7. Kontrolle der Daten.....	4
2.8. Kontrolle der Ergebnisse .....	4
<b>3. Formeln in Riskko</b> .....	<b>5</b>
3.1. Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses (Häufigkeit) .....	5
3.1.1. Lineare Korrektion.....	5
3.1.2. Auftretenshäufigkeit an einem bestimmten Ort.....	6
3.2. Schadenspotenzial und Risiken für Sachwerte.....	7
3.2.1. Potenzielle Schäden .....	7
3.2.2. Schadensempfindlichkeit .....	7
3.2.3. Materielles Risiko.....	7
3.3. Schadenspotenzial und Risiken für Personen .....	8
3.3.1. Potenzielle Schäden .....	8
3.3.2. Individuelles Risiko .....	10
3.3.3. Menschliches Risiko .....	10
3.4. Kollektives Risiko.....	10
3.5. Schutzmassnahmen.....	11
3.5.1. Jährliche Massnahmenkosten.....	11
3.5.2. Nutzen/Kosten-Verhältnis .....	11
3.6. Anpassungen und Änderungen im Vergleich zu EconoMe .....	11
3.6.1. Menschliches Risiko im <i>Schieneverkehr</i> .....	11
3.6.2. Risiko für fixe Objekte.....	11
3.6.3. Risiko im <i>Strassenverkehr</i> .....	12
<b>4. Quellenangaben</b> .....	<b>13</b>

## 1. Einleitung

---

Riskko ist eine Webanwendung zur Berechnung von Risiken durch Naturgefahren und zur Beurteilung der Wirksamkeit und der Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen (<https://riskko.ch/de>). Das Werkzeug basiert auf den Konzepten, Risikogleichungen und Standardwerten von EconoMe 5.1, das vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) zur Verfügung gestellt wird (BAFU 2024), und von Valdorisk, das zwischen 2013 und 2020 von Pierrick Nicolet und Michel Jaboyedoff an der Universität Lausanne entwickelt wurde (UNIL 2020).

Angesichts der Probleme bei der Wartung und Aktualisierung des Tools Valdorisk 2.1 (insbesondere im Zusammenhang mit den verschiedenen Excel-Versionen) wurde Terranum von den Kantonen Waadt, Tessin, Freiburg und Jura beauftragt, die Anwendung Riskko mit denselben Funktionen wie das bestehende Valdorisk-Tool zu erstellen.

## 2. Anwendung von Riskko

---

### 2.1. Zugriff auf die Anwendung

Der Zugriff auf die Riskko-Anwendung erfolgt direkt über die Website <https://riskko.ch/de>, ohne dass ein Benutzerkonto eingerichtet werden muss. Die Anwendung erfordert keine spezielle Installation auf der Benutzeroberfläche, wobei die Möglichkeit erhalten bleibt, Daten zu importieren und zu exportieren, die Ergebnisse online zu betrachten, Grafiken zu erstellen oder den zusammenfassenden Bericht als PDF-Dokument zu exportieren.

### 2.2. Benutzeroberfläche & Navigation

Die Benutzeroberfläche von Riskko ist in 7 Abschnitte unterteilt:

1. **Projekt:** Enthält die grundlegenden Informationen über das Projekt (z.B. Informationen zum Projekt, berücksichtigte Gefahrenprozesse usw.).
2. **Massnahmen:** Hier können Sie mögliche Schutzmassnahmen angeben und deren Kosten berechnen.
3. **Objekte:** Hier können Sie die verschiedenen im Projekt berücksichtigten Objekte (Objektkategorien und -typen nach EconoMe) und ihre Eigenschaften (Anzahl, Wert, Nutzung, Präsenzwahrscheinlichkeit, Schadensempfindlichkeit, Letalität usw.) angeben.
4. **Intensität:** Hier können Sie die Intensität vor und nach Schutzmassnahmen für jedes Objekt und für alle betrachteten Gefahrenprozesse und Szenarien (Jährlichkeiten) festlegen.
5. **Risiken:** Zeigt die Ergebnisse der Risikoberechnung vor und nach Schutzmassnahmen für jedes Objekt, jeden Gefahrenprozess und jedes Szenario.
6. **Grafiken:** Hier können Sie mithilfe von Dropdown-Menüs verschiedene Grafiken erstellen und diese zur Verwendung in einem technischen Bericht exportieren.
7. **Zusammenfassung:** Erstellt automatisch eine Zusammenfassung der Risikoanalyse und der verwendeten Parameter und exportiert sie in ein PDF-Dokument.

Diese verschiedenen Abschnitte müssen nacheinander ausgefüllt werden, aber es ist möglich, zu einem früheren Abschnitt zurückzukehren und dort Änderungen vorzunehmen. Beispielsweise ist es möglich, den Abschnitt «Massnahmen» leer zu lassen, um zunächst das Risiko ohne Massnahmen zu berechnen und anschliessend 1 bis maximal 3 Schutzmassnahmen festzulegen, falls die Risiken dies erfordern.

Die Navigation zwischen den einzelnen Abschnitten erfolgt mithilfe der Schaltflächen «Weiter» oder «Zurück» in der Fusszeile oder direkt durch Anklicken des gewünschten Abschnitts in der Kopfzeile. Die Abschnitte **Intensität** und **Risiken** enthalten Unterabschnitte für die verschiedenen gewählten Gefahrenprozesse, während die Abschnitte **Massnahmen**, **Objekte** und **Intensität** Eingabemasken verwenden, um den Benutzer durch die Parametrisierung zu führen.

Riskko.ch ist ein Werkzeug zur Berechnung des Risikos durch Naturgefahren für Personen und Sachwerte sowie der Kostenwirksamkeit von geplanten Schutzmassnahmen.

Es wird von den Kantonen Waadt, Tessin, Freiburg und Jura zur Verfügung gestellt. Das Werkzeug basiert auf den Konzepten, Formeln und Standardwerten von EconoMe 5.1 des Bundes und Valdorisk 2.1, das von der Universität Lausanne entwickelt wurde. Das Werkzeug ermöglicht keine Risikoberechnung für den Schienenverkehr, für welchen EconoMe verwendet werden muss.

Das Werkzeug speichert automatisch alle Änderungen, solange die Browsersitzung geöffnet bleibt. Um die Daten zu sichern und zu archivieren, muss das Projekt exportiert werden, bevor Sie den Browser schliessen.

↑ Importieren

+ Neues Projekt

Abbildung 1: Screenshot der Startseite von Riskko. Mit dem Symbol «De» in der oberen rechten Ecke kann die Sprache geändert werden (Deutsch, Französisch oder Italienisch). Mit den Schaltflächen «Exportieren» und «Importieren» kann ein Riskko-Projekt im JSON-Format exportiert bzw. importiert werden.

## 2.3. Sprachen

Die Riskko-Anwendung gibt es in mehreren Sprachen (Deutsch, Französisch und Italienisch) und man kann sie mithilfe des Symbols in der oberen rechten Ecke ändern (Abb. 1). **Bei einem Sprachenwechsel bleiben alle Daten erhalten.**

## 2.4. Datenspeicherung, Export und Import von Projekten

Die Riskko-Anwendung speichert automatisch alle Änderungen, die in einem Projekt vorgenommen werden, solange die Browser-Sitzung geöffnet bleibt, aber es werden keine Daten auf den Servern gespeichert, die Riskko beherbergen. Es ist dagegen nicht möglich, eine Änderung mit dem Befehl Strg+Z oder dem Rückwärtspfeil im Browser rückgängig zu machen.

Da das Riskko-Tool keine Benutzerkonten hat, ist es auch nicht möglich, eine Projekthistorie pro Benutzer zu haben. **Das Speichern und Archivieren von Projekten bleiben daher dem Benutzer überlassen, der das Projekt vor dem Schliessen des Browsers mithilfe der Schaltfläche «Exportieren» speichern muss (Abb. 1).** Die JSON-Exportdatei enthält alle verwendeten Einstellungen und Daten.

Auf der Startseite von Riskko ist es möglich, die JSON-Datei eines vorherigen Projekts zu importieren (Abb. 1). **Aber Vorsicht: Dadurch werden eventuelle Daten aus einem im Browser geöffneten Projekt überschrieben.**

## 2.5. Erläuterung der Parameter

Die Benutzeroberfläche von Riskko enthält alle Felder, die für die Berechnung des Risikos und die Bewertung der Wirksamkeit von Schutzmassnahmen erforderlich sind. Die verwendeten Begriffe sind im Allgemeinen identisch mit denen in EconoMe 5.1 des Bundesamts für Umwelt ([www.econome.ch](http://www.econome.ch)). Mithilfe von Tooltips ⓘ können jedoch weitere Details zu den einzelnen Feldern abgerufen werden.

## 2.6. Standardparameter

Bei den meisten Parametern hat der Benutzer die Wahl zwischen einer automatischen Parametrisierung, welche die Standardwerte von EconoMe 5.1 übernimmt, oder einer manuellen Parametrisierung, die es ermöglicht, die Werte an die Besonderheiten des Projekts anzupassen. **In der Zusammenfassung des Projekts sind die vom Benutzer geänderten Werte mit einem Sternchen \* markiert.**

Die in Riskko standardmässig verwendeten Parameter und Werte sind unter «Dokumentation» (Link in der Fusszeile) zugänglich für:

- Massnahmenkosten: Standardwerte für Schutzmassnahmen mit ihrer Schutzwirkungsdauer, den Betriebs-, Wartungs- und Reparaturkosten.
- Schadensempfindlichkeit und Letalität: Wert pro Einheit, Anzahl Personen, Schadensempfindlichkeit und Letalität (je nach Intensitätsstufe) für die verschiedenen Objektarten.
- Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Standardwerte der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit für die verschiedenen Gefahrenprozesse und Szenarien (Jährlichkeiten).

## 2.7. Kontrolle der Daten

Die Anwendung prüft die vom Benutzer angegebenen Werte, um sicherzustellen, dass sie die erwarteten Wertebereiche einhalten. Gegebenenfalls wird eine Fehlermeldung direkt unter dem betreffenden Feld angezeigt.

## 2.8. Kontrolle der Ergebnisse

Das Werkzeug Riskko wird kostenlos und frei verfügbar gemacht. **Jeder Nutzer ist selbst dafür verantwortlich, die erhaltenen Ergebnisse zu überprüfen und zu kontrollieren.** Die Entwickler und Eigner übernehmen keine Verantwortung für die Richtigkeit der verwendeten Formeln und der Ergebnisse. Die Aktualisierung erfolgt sporadisch, aber es können Unterschiede zwischen den Ergebnissen von Riskko und den EconoMe-Werkzeugen des BAFU bestehen. Es ist die Aufgabe des Nutzers, sich vorab beim jeweiligen Kanton über den Stand der Aktualisierung zu informieren.

### 3. Formeln in Riskko

Die in Riskko verwendeten Gleichungen stammen aus der Formelsammlung von EconoMe (Bründl et al. 2015, BAFU 2020) mit einigen Anpassungen und Vereinfachungen, die in Abschnitt 3.6 beschrieben werden.

#### 3.1. Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses (Häufigkeit)

Für jeden Gefahrenprozess werden in der Regel mehrere Szenarien  $i$  definiert. Jedes Szenario  $i$  ist durch eine Wiederkehrzeit  $T(i)$  (in der Regel 30, 100 und 300 Jahre) gekennzeichnet, wodurch sich die Häufigkeit oder Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses  $Frequency(i)$  berechnen lässt. Im Allgemeinen ist die Häufigkeit der Kehrwert der Wiederkehrperiode. Um jedoch zu berücksichtigen, dass ein Szenario  $i$  im Szenario mit der höheren Wiederkehrzeit  $i+1$  enthalten ist, wird die Häufigkeit der höheren Wiederkehrzeit abgezogen (Gl. 1):

$$Frequency(i) = \begin{cases} 1/T(i) - 1/T(i+1), & i < \max i \\ 1/T(i), & i = \max i \end{cases} \quad (1)$$

In der Tat enthält das 30-jährliche Szenario, das dem grössten Ereignis entspricht, das im Durchschnitt einmal alle 30 Jahre eintritt, auch Ereignisse, welche die Intensitätsstufe des 100-jährlichen Szenarios überschreiten. Um letzteres Szenario bei der Risikoberechnung nicht mehrfach zu berücksichtigen, wird die Häufigkeit des 30-jährlichen Szenarios zu (Gl. 2):

$$Frequency(30) = 1/30 - 1/100 = 0.0233 \quad (2)$$

Für das Szenario mit der maximalen Jährlichkeit entfällt diese Korrektur und die Häufigkeit entspricht direkt dem Kehrwert der Jährlichkeit (Gl. 1).

##### 3.1.1. Lineare Korrektur

Die oben beschriebene Korrektur der Häufigkeit ist völlig korrekt und ermöglicht es, mit einer unterschiedlichen Anzahl von Szenarien gleich zu arbeiten. Allerdings führt die Verwendung der Wiederkehrzeiten 30, 100 und 300 Jahre anstelle der Klassen 0-30, 30-100 und 100-300 Jahre tendenziell zu einer Unterschätzung des Risikos, da das Schadenspotenzial eines Szenarios  $i$  für den gesamten Zeitraum bis zum Szenario  $i+1$  verwendet wird. Dieser Effekt ist in Abbildung 2 dargestellt, wo man sehen kann, dass der Schadensbetrag des 30-jährlichen Szenarios für den Zeitraum von 30 bis 100 Jahren gilt, der des 100-jährlichen Szenarios zwischen 100 und 300 Jahren und der des 300-jährlichen Szenarios über 300 Jahre hinaus (gelb definierter Bereich).

Durch Aktivierung der Option «Lineare Korrektur» im Abschnitt **Projekt** von Riskko werden die in Abbildung 2 rot eingezeichneten Bereiche hinzugefügt, die durch lineare Interpolation zwischen den für die jeweiligen Szenarien definierten Punkten gebildet werden. Diese lineare Korrektur erfolgt bei der Berechnung von Risiken in den Gleichungen 5, 12 und 13 mit einem booleschen Operator  $c_{lin}$  (0 = falsch, 1 = wahr). **Es ist zu beachten, dass diese lineare Korrektur nicht EconoMe-konform ist und derzeit von den Kantonen nicht empfohlen wird.**

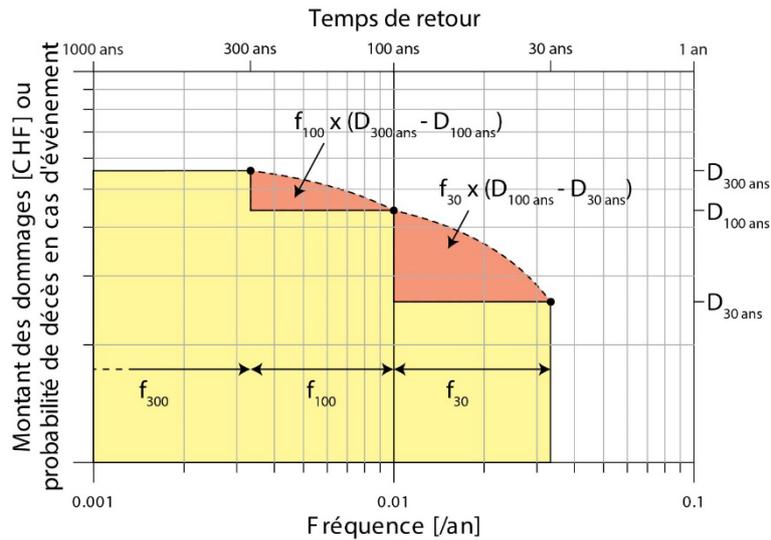


Abbildung 2: Illustration der Unterschätzung des Risikos, die sich aus der Verwendung der Wiederkehrzeiten 30, 100 und 300 Jahre und der vorgeschlagenen linearen Korrektur ergibt. Siehe Text für detaillierte Erläuterungen (Abbildung aus dem Handbuch zu Valdorisk 2.0, UNIL 2020).

### 3.1.2. Auftretenshäufigkeit an einem bestimmten Ort

Die Häufigkeit des Szenarios entspricht generell der Eintretenshäufigkeit, aber der abgegrenzte Intensitätsbereich muss nicht unbedingt als Ganzes betroffen sein. Um sich einer Auftretenshäufigkeit anzunähern, wird die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit verwendet (Abb. 3).

Im automatischen Modus werden von EconoMe vorgegebene Standardwerte für die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit (PrA) verwendet, während der Benutzer im manuellen Modus im Abschnitt **Intensität** die PrA-Werte für jedes Objekt, Szenario und jede Variante von Schutzmassnahmen angeben kann. Die [Dokumentationsseite von EconoMe](#) (BAFU 2024) enthält weitere Informationen, Beispiele und eine detaillierte Methode für die PrA von Sturzprozessen.

Die räumliche Eintretenswahrscheinlichkeit wird bei der Berechnung des materiellen Risikos (Gl. 3) und des menschlichen Risikos (Gl. 6, 7 und 10) verwendet.

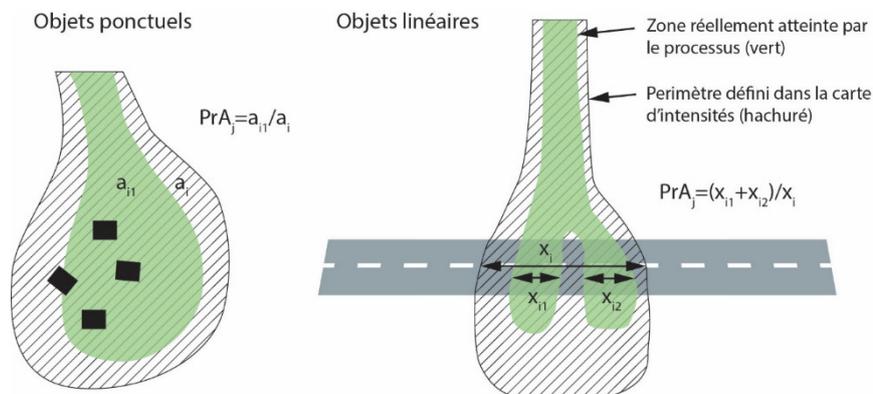


Abbildung 3: Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit für punktförmige und lineare Objekte (Abbildung aus dem Handbuch zu Valdorisk 2.0, UNIL 2020).

## 3.2. Schadenspotenzial und Risiken für Sachwerte

Für die Berechnung des materiellen Risikos wird derselbe Ansatz für alle Objektkategorien (Gebäude, Strassen, Leitungen, Landwirtschaftsflächen usw.) verwendet. Die Gleichungen in den folgenden Abschnitten werden für jedes Szenario  $i$  und jedes Objekt  $j$  separat ausgewertet.

### 3.2.1. Potenzielle Schäden

In Übereinstimmung mit der Formelsammlung von EconoMe wird zunächst das materielle Schadenspotenzial  $DamageMat(i,j)$  berechnet (Gl. 3):

$$DamageMat(i,j) = PrA(i,j) \cdot Vulnerability(i,j) \cdot (1 - PrProt(i,j)) \cdot ValueUnit(j) \cdot NbUnits(j) \quad (3)$$

Mit  $PrA(i,j)$  = räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Objekts  $j$  in Szenario  $i$ ,  $Vulnerability(i,j)$  = Schadensempfindlichkeit des Objekts  $j$  in Szenario  $i$ ,  $ValueUnit(j)$  = Wert pro Einheit des Objekts  $j$ ,  $NbUnits(j)$  = Anzahl Einheiten für das Objekt  $j$ <sup>1</sup> und  $PrProt(i,j)$  = Objektschutzfaktor oder Schutzwahrscheinlichkeit für das Objekt  $j$  in Szenario  $i$ <sup>2</sup>.

### 3.2.2. Schadensempfindlichkeit

Der Parameter  $Vulnerability(i,j)$  wird für jedes Objekt und Szenario angegeben (Standardwert oder manuell). Für lineare und flächige Objekte im zusammengesetzten Modus wird die Schadensempfindlichkeit als gewichteter Durchschnitt der Schadensempfindlichkeiten  $Vuln$  für niedrige, mittlere und hohe Intensitäten durch die Streckenlänge  $L(x)$  (bzw. die Fläche  $S(x)$ ) jedes Intensitätsniveaus  $x$  berechnet (Gl. 4):

$$Vulnerability(i,j) = \frac{Vuln(low) \cdot L(low) + Vuln(medium) \cdot L(medium) + Vuln(high) \cdot L(high)}{L(low) + L(medium) + L(high)} \quad (4)$$

### 3.2.3. Materielles Risiko

Schliesslich wird das materielle Risiko  $RiskMat(i,j)$  von Objekt  $j$  bei Szenario  $i$  berechnet, indem das materielle Schadenspotenzial  $DamageMat(i,j)$  mit der Häufigkeit  $Frequency(i)$  multipliziert wird. Wenn die lineare Korrektur aktiviert ist (siehe Abschnitt 3.1.1), wird dabei das durchschnittliche Schadenspotenzial der Szenarien  $i$  und  $i+1$  verwendet (Gl. 5):

$$RiskMat(i,j) = \begin{cases} Frequency(i) \cdot \frac{DamageMat(i,j) + c_{lin} \cdot DamageMat(i+1,j)}{1 + c_{lin}}, & i < \max i \\ Frequency(i) \cdot DamageMat(i,j), & i = \max i \end{cases} \quad (5)$$

Mit  $Frequency(i)$  = Häufigkeit des Szenarios  $i$  (gemäss Gl. 1) und  $c_{lin}$  = boolescher Operator für die lineare Korrektur (0 = falsch, 1 = wahr).

<sup>1</sup> Bei linearen Objekten wird nicht die Gesamtlänge berücksichtigt, sondern die Summe der Streckenlängen  $L(x)$  mit geringer, mittlerer oder hoher Intensität, d.h.  $L(low) + L(medium) + L(high)$  (wie in Gl. 4).

<sup>2</sup> Die Schutzwahrscheinlichkeit  $ProbProt(i,j)$  ist derzeit nicht in Riskko implementiert und wird standardmässig auf 0 gesetzt (siehe Abschnitt 3.6.2).

### 3.3. Schadenspotenzial und Risiken für Personen

Für die Berechnung des menschlichen Risikos wird für alle Objektkategorien mit Anwesenheit von Menschen das gleiche Prinzip verwendet (d.h. alle ausser *Schienerverkehr*<sup>3</sup>, *Leitungen*, sowie *Landwirtschaft, Wald und Grünanlagen*, bei denen das menschliche Risiko definitionsgemäss gleich 0 ist). Die Berechnung der Letalität und der Exposition (Anwesenheitswahrscheinlichkeit) von Personen unterscheidet sich zwischen den Objektkategorien, wie im Folgenden beschrieben.

#### 3.3.1. Potenzielle Schäden

Analog zum materiellen Risiko wird zunächst das individuelle Schadenspotenzial gemäss Gl. 6 für alle Punktobjekte bzw. gemäss Gl. 7 für den *Strassenverkehr* und *Mechanische Aufstieghilfen* berechnet:

$$DamageInd(i,j) = PrA(i,j) \cdot \lambda(i,j) \cdot Exp(i,j) \cdot (1 - PrEvac(i,j)) \quad (6)$$

Mit  $PrA(i,j)$  = räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Objekts  $j$  in Szenario  $i$ ,  $\lambda(i,j)$  = Letalität der Personen im Objekt  $j$  in Szenario  $i$ ,  $Exp(i,j)$  = Anwesenheitswahrscheinlichkeit einer Person im Objekt  $j$  zum Zeitpunkt des Ereignisses  $i$ ,  $PrEvac(i,j)$  = Wahrscheinlichkeit der vorsorglichen Evakuierung oder Schliessung des Objekts  $j$  in Szenario  $i$ <sup>4</sup>.

$$DamageInd(i,j) = (PrA(i,j) \cdot \lambdaDir(i,j) \cdot ExpDir(i,j) + \lambdaColl(i,j) \cdot ExpCollTot(i,j)) \cdot (1 - PrEvac(i,j)) \quad (7)$$

Mit  $\lambdaDir(i,j)$  = Letalität von Personen bei einem direkten Aufprall,  $ExpDir(i,j)$  = Exposition einer Person durch direkten Aufprall,  $\lambdaColl(i,j)$  = Letalität von Personen bei einer Kollision mit dem Ereignis,  $ExpCollTot(i,j)$  = Exposition einer Person bei einer Kollision mit dem Ereignis.

#### Letalität

Bei Punktobjekten (Gebäuden usw.) ist die Letalität  $\lambda(i,j)$  ein Objektparameter, der vom Benutzer im Abschnitt **Objekte** in Riskko geändert werden kann. Standardmässig werden die Werte von EconoMe verwendet.

Für den *Strassenverkehr* wird die Letalität für zwei Fälle bestimmt:

- 1) Die direkte Einwirkung der Gefahr auf das Fahrzeug (Direkttreffer): Die direkte Letalität  $\lambdaDir(i,j)$  ist in den Standardwerten von EconoMe für die verschiedenen Gefahrenprozesse und Intensitätsstufen angegeben. Diese Werte können im Abschnitt **Objekte** in Riskko geändert werden. Bei Strassen im zusammengesetzten Modus wird die Letalität  $\lambdaDir(i,j)$  als gewichteter Durchschnitt von Strecken mit unterschiedlichen Intensitäten gleich wie die Schadensanfälligkeit bei Sachrisiken berechnet (Gl. 4).

<sup>3</sup> Riskko ermöglicht derzeit keine Berechnung des individuellen und menschlichen Risikos für den Schienenverkehr, wofür die Verwendung von EconoMe erforderlich ist (siehe Abschnitt 3.6.1).

<sup>4</sup> Die Wahrscheinlichkeit einer vorsorglichen Evakuierung oder Schliessung  $ProbEvac(i,j)$  ist derzeit nicht in Riskko implementiert und wird standardmässig auf 0 gesetzt (siehe Abschnitt 3.6.3).

- 2) Die Kollision eines Fahrzeugs gegen die Ablagerungen der Gefahr (Anprall): Gemäss EconoMe 5.1 wird die Kollisionsletalität  $\lambda_{Coll}(i,j)$  für mittlere oder hohe Intensitäten auf 0.0066 und für geringe oder keine Intensitäten auf 0 gesetzt, ausser für kontinuierliche, tiefgründige permanente Rutschungen (RTP I), wo sie immer gleich 0 ist. Bei Strassen im zusammengesetzten Modus wird die Letalität  $\lambda_{Coll}(i,j)$  ebenfalls als gewichteter Durchschnitt von Strecken mit unterschiedlichen Intensitäten gleich wie die Schadensanfälligkeit bei Sachrisiken berechnet (Gl. 4).

Für *Mechanische Aufstiegshilfen* wird nur die Letalität des direkten Aufpralls  $\lambda_{Dir}(i,j)$  betrachtet. Die Kollisionsletalität  $\lambda_{Coll}(i,j)$  wird entsprechend auf 0 gesetzt.

### Exposition

Bei Punktobjekten (Gebäuden etc.) ist die Exposition  $Exp(j)$  ein Objektparameter, der im Abschnitt **Objekte** geändert werden kann. In EconoMe beträgt der Standardwert für Wohngebäude 0.8.

Für den *Strassenverkehr* wird die Exposition der Personen in Fahrzeugen für zwei Fälle berechnet:

- 1) Direkte Einwirkung der Gefahr auf das Fahrzeug (Direkttreffer): Die direkte Exposition  $ExpDir(i,j)$  entspricht dem Anteil eines Tages, an dem sich ein Fahrzeug im Bereich der direkten Einwirkung befindet, gemäss Gleichung 8:

$$ExpDir(i,j) = \frac{L(low)+L(medium)+L(high)}{v(j) \cdot 24000} \quad (8)$$

Mit  $L(x)$  = Streckenlänge des Intensitätsniveaus  $x$  in m,  $v(j)$  = Geschwindigkeit in km/h.

- 2) Kollision eines Fahrzeugs gegen die Ablagerungen der Gefährdung (Anprall): Die Exposition durch eine Kollision setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: a) dem Anprall innerhalb des Anhaltewegs des Fahrzeugs  $ExpCollBrake(j)$  (Gl. 9) und b) dem Anprall gegen die Ablagerungen, obschon sich das Fahrzeug weder in der Direkttrefferzone noch in der Anhaltezone befand,  $ExpCollOther(i,j)$  (Gl. 10). Diese beiden Expositionen werden dann zu einer Gesamtkollisionsexposition  $ExpCollTot(i,j)$  kombiniert, die auch die Wahrscheinlichkeit einer Fernwarnung  $pADist$  berücksichtigt (Gl. 11):

$$ExpCollBrake(j) = \frac{1+v(j)/(2 \cdot 3.6 \cdot a)}{86400} = \frac{1+v(j)/50.4}{86400} \quad (9)$$

$$ExpCollOther(i,j) = \max(0; 1/AADT - (PrA(i,j) * ExpDir(j) + ExpCollBrake(j))) \quad (10)$$

$$ExpCollTot(i,j) = ExpCollBrake(j) + (1 - pADist) \cdot ExpCollOther(i,j) \quad (11)$$

Mit  $v(j)$  = Geschwindigkeit in km/h,  $a$  = Bremsverzögerung (laut EconoMe auf 7 m/s<sup>2</sup> fixiert),  $AADT$  = durchschnittlicher Tagesverkehr (*annual average daily traffic*),  $PrA(i,j)$  = räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit des Objekts  $j$  in Szenario  $i$ ,  $pADist$  = Wahrscheinlichkeit einer Fernwarnung (laut EconoMe für Strassen ohne Warnsystem auf 0.5 festgelegt; dieser Wert wurde in Valdorisk 2.1 früher mit 0.999 angesetzt).

Für *Mechanische Aufstiegshilfen* wird nur die direkte Exposition  $ExpDir(i,j)$  (Gl. 8) berücksichtigt. Die Gesamtkollisionsexposition  $ExpCollTot(i,j)$  wird folglich auf 0 festgelegt.

### 3.3.2. Individuelles Risiko

Um das individuelle Risiko einer Person im Objekt  $j$  in Szenario  $i$  zu berechnen, wird das individuelle Schadenspotenzial mit der Häufigkeit des Szenarios und der Anzahl der täglichen Durchfahrten einer Person kombiniert. Wenn die lineare Korrektion aktiviert ist (siehe Abschnitt 3.1.1), wird der durchschnittliche Individualschaden der Szenarien  $i$  und  $i+1$  verwendet (Gl. 12):

$$RiskInd(i,j) = \begin{cases} Frequency(i) \cdot \frac{DamageInd(i,j) + c_{lin} \cdot DamageInd(i+1,j)}{1 + c_{lin}} \cdot NbPassages(j), & i < \max i \\ Frequency(i) \cdot DamageInd(i,j) \cdot NbPassages(j) & , \quad i = \max i \end{cases} \quad (12)$$

Mit  $Frequency(i)$  = Häufigkeit des Szenarios  $i$  (gemäss Gl. 1),  $NbPassages(j)$  = Anzahl der täglichen Durchfahrten einer einzelnen Person und  $c_{lin}$  = boolescher Operator für die lineare Korrektion (0 = false, 1 = true).

### 3.3.3. Menschliches Risiko

Das menschliche Risiko, ausgedrückt in Todesfällen pro Jahr, wird ähnlich wie das individuelle Risiko (Gl. 12) berechnet, wobei diesmal die Gesamtzahl der Menschen  $HumansTotal(j)$  in Objekt  $j$  berücksichtigt wird. Für feste Objekte (Gebäude etc.) wird diese Zahl vom Benutzer im Abschnitt **Objekte** eingegeben oder dort automatisch berechnet, indem die Anzahl der Wohnungen mit dem Standardwert von 2.24 Einwohnern pro Wohnung multipliziert wird. Für *Strassenverkehr* und *Mechanische Aufstieghilfen* wird die Gesamtzahl der Menschen berechnet durch (Gl. 13):

$$HumansTotal(j) = HumansUnit(j) \cdot AADT(j) \quad (13)$$

Mit  $HumansUnit(j)$  = Anzahl der Personen pro Einheit des Objekts  $j$  (z.B. Standardwert von 1.76 Personen pro Fahrzeug),  $AADT(j)$  = durchschnittlicher täglicher Verkehr auf dem Objekt  $j$ .

Für das menschliche Risiko in Todesfällen pro Jahr (Gl. 14) und schliesslich das menschliche Risiko in CHF/Jahr (Gl. 15) verwendet man:

$$RiskHuman(i,j) = \begin{cases} Frequency(i) \cdot \frac{DamageInd(i,j) + c_{lin} \cdot DamageInd(i+1,j)}{1 + c_{lin}} \cdot HumansTotal(j), & i < \max i \\ Frequency(i) \cdot DamageInd(i,j) \cdot HumansTotal(j) & , \quad i = \max i \end{cases} \quad (14)$$

$$RiskHumanCHF(i,j) = RiskHuman(i,j) \cdot VSL \quad (15)$$

Mit  $Frequency(i)$  = Häufigkeit von Szenario  $i$  (gemäss Gl. 1),  $HumansTotal(j)$  = Gesamtzahl der Personen in Objekt  $j$ ,  $c_{lin}$  = boolescher Operator für die lineare Korrektion (0 = falsch, 1 = wahr) und  $VSL$  = statistischer Wert eines Menschenlebens, der gemäss EconoMe 5.1 auf 6.6 Mio. CHF festgelegt wurde (*value of statistical life*).

### 3.4. Kollektives Risiko

Das Gesamtrisiko oder kollektive Risiko für Objekt  $j$  in Szenario  $i$  entspricht der Summe des materiellen Risikos  $RiskMat(i,j)$  und des menschlichen Risikos  $RiskHumanCHF(i,j)$  (Gl. 16):

$$RiskCollective(i,j) = RiskMat(i,j) + RiskHumanCHF(i,j) \quad (16)$$

### 3.5. Schutzmassnahmen

#### 3.5.1. Jährliche Massnahmenkosten

In Riskko werden die jährlichen Gesamtkosten von Schutzmassnahmen auf die gleiche Weise berechnet wie in EconoMe (Gl. 17) :

$$C_{tot} = C_{exp} + C_{maint} + C_{rep} + \frac{(I_0 - I_n)}{n} + \frac{(I_0 + I_n)}{2} \cdot \frac{p}{100} \quad (17)$$

Mit  $C_{exp}$  = Betriebskosten (z.B. für Beleuchtung, Belüftung oder Explosivstoffe),  $C_{maint}$  = Wartungskosten,  $C_{rep}$  = Reparaturkosten,  $n$  = Dauer der Schutzwirkung der Massnahme (Lebensdauer),  $I_0$  = Investitionskosten,  $I_n$  = Restwert nach  $n$  Jahren und  $p$  = Zinssatz (in %).

#### 3.5.2. Nutzen/Kosten-Verhältnis

Zur Messung von Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit einer Schutzmassnahme verwendet Riskko denselben Ansatz wie EconoMe. Das kollektive Gesamtrisiko, das sich nach den Massnahmen auf alle Objekte  $j$  und Szenarien  $i$  bezieht (Restrisiko  $R_r$ ), wird mit dem ursprünglichen kollektiven Gesamtrisiko ( $R_0$ ) und den jährlichen Gesamtkosten der Massnahmen  $C_{tot}$  in einem Nutzen/Kosten-Verhältnis  $BCR$  (*benefit/cost ratio*) verglichen (Gl. 18):

$$BCR = \frac{R_0 - R_r}{C_{tot}} \quad (18)$$

Die Massnahme gilt als kostenwirksam, wenn  $BCR \geq 1$  ist. Wenn  $BCR < 1$ , ist die Massnahme nicht kosteneffizient, aber sie kann notwendig sein, um das individuelle Risiko zu senken, oder auch sozial gerechtfertigt sein.

### 3.6. Anpassungen und Änderungen im Vergleich zu EconoMe

Einige Vereinfachungen der Gleichungen in Riskko können zu kleinen Abweichungen der Ergebnisse verglichen mit EconoMe führen, insbesondere aus nachfolgenden Gründen.

#### 3.6.1. Menschliches Risiko im *Schienerverkehr*

Die Berechnung des Risikos für den Schienenverkehr in EconoMe ist sehr komplex und unterscheidet sich erheblich von der Berechnung für andere lineare Objekte. Da die Verwendung von EconoMe routinemässig für jedes Projekt verlangt wird, bei dem Eisenbahnlinien involviert sind, wurde beschlossen, die Berechnung des menschlichen Risikos im Eisenbahnverkehr nicht in Riskko zu implementieren. Es ist jedoch weiterhin möglich, das materielle Risiko für fixe Eisenbahnobjekte (Gleise, Kunstbauten usw.) zu berechnen.

#### 3.6.2. Risiko für fixe Objekte

Der Parameter in EconoMe «Objektschutzfaktor des festen Objekts (Gebäude, Sonderobjekt) in Szenario  $i$ » ist in Riskko auf 0 gesetzt und kann derzeit vom Benutzer nicht geändert werden.

### 3.6.3. Risiko im *Strassenverkehr*

Die Parameter in EconoMe «Wahrscheinlichkeit vorsorgliche Sperrung im Strassenverkehr in Szenario  $i$ » und «Ereigniswahrscheinlichkeit im Strassenbereich in Szenario  $i$ » sind in Riskko auf 0 bzw. 1 gesetzt und können vom Benutzer momentan nicht geändert werden. Der Parameter für die «Wahrscheinlichkeit einer Fernwarnung» ist auf 0.5 festgelegt (entspricht dem Standardwert in EconoMe 5.1 für Strassen ohne Warnsystem).

## 4. Quellenangaben

---

Bründl, M., Ettlin, L., Burkard, A., Oggier, N., Dolf, F., & Gutwein, P. (2015). EconoMe, Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren, Formelsammlung.

BAFU (2020) Formelsammlung EconoMe, Stand: 7. Juli 2020. Bundesamt für Umwelt, Bern, 58 S.

BAFU (2024) EconoMe 5.1, Wirkung und Wirtschaftlichkeit von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren – Dokumentation EconoMe-Wiki. Bundesamt für Umwelt, Bern, [https://econome.ch/eco\\_work/eco\\_wiki\\_main.php](https://econome.ch/eco_work/eco_wiki_main.php)

UNIL (2020) Valdorisk 2.0, Calculateur de risque pour les dangers naturels basé sur EconoMe 5.0, Manuel. Université de Lausanne, 21 S.