

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 109 (1991)
Heft: 46

Artikel: Gewässerschutz und Transport gefährlicher Güter: Risikoanalyse für die Nationalstrassen des Kantons Uri
Autor: Fermaud, Charles / Bohnenblust, Hans / Bühlmann, Benno
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-86047>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Sicherheit und Risiko

Gewässerschutz und Transport gefährlicher Güter

Risikoanalyse für die Nationalstrassen des Kantons Uri

Die Nationalstrassen im Kanton Uri weisen heute Lücken in der Verkehrsträgerentwässerung auf. Gewisse Abschnitte werden zwar über Mineralölabscheider entwässert, wasserlösliche Stoffe können darin jedoch nicht zurückgehalten werden. Diese Bauweise entspricht dem in der Schweiz im allgemeinen anzutreffenden Standard. Dennoch besteht die Gefahr, dass gefährliche Güter in die Reuss und in bedeutende Grundwasserträger auslaufen. In der hier dargestellten Studie geht es darum, die Risiken einer Gewässerverschmutzung als Folge des Transports gefährlicher Güter (TgG) auf den Nationalstrassen im Kanton Uri sowie Massnahmen zur Risikoreduktion zu untersuchen und zu beurteilen (1).

Methodisches Vorgehen

Im folgenden wird eine der ersten quantitativen Umweltrisikoaanalysen der Schweiz beschrieben. Da die Studie da-

VON CHARLES FERMAUD UND HANS BOHNENBLUST, ZOLLIKON, UND BENNO BÜHLMANN, ALTDORF

mit einen gewissen Pilotcharakter aufweist, seien einige Hinweise zum methodischen Vorgehen vorangestellt.

Das Vorgehen entspricht der Grundidee der Verordnung über den Schutz vor Störfällen (StFV), die am 1. April 1991 in Kraft gesetzt wurde. Es orientiert sich an früheren Risikoanalysen, wie sie in verschiedenen Bereichen durchgeführt wurden und die Sicherheit von Leib und Leben zum Thema hatten. Neu an der hier vorgestellten Studie ist, dass nicht Menschen, sondern Gewässer und Ökosysteme als gefährdete Objekte betrachtet werden. Aus diesem Grund ist die Zahl der Todesopfer nicht mehr das Mass für die Risiken, wie dies bisher bei fast allen Risikoanalysen der Fall war. Vielmehr müssen neue Messgrössen eingeführt werden, die auf Schäden an Gewässern und Ökosystemen ausgerichtet sind.

Ein zentrales Element des methodischen Vorgehens bildet aber nach wie vor die Unterscheidung zwischen der quasi objektiven Risikoanalyse und der subjektiven, wertenden Risikobewertung (Bild 1). Im Rahmen der Risikoanalyse werden die heutigen Risiken für die Gewässer ermittelt. Dazu werden sowohl die Häufigkeit als auch das Schadenausmass möglicher Unfallereignisse quantitativ abgeschätzt. Als wesentliche Schritte der Risikoanalyse werden die

Struktur des Transports gefährlicher Güter im Kanton Uri untersucht, eine Übersicht über die gefährdeten Objekte (Gewässer, Naturschutzgebiete, usw.) vermittelt und das bisherige Unfallgeschehen im In- und Ausland ausgewertet.

Im Hinblick auf die Risikobewertung werden die vorhandenen Risiken in einem Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm aufgetragen, wo sie anhand einer später noch diskutierten Akzeptanzlinie bewertet werden.

In einem weiteren Schritt wird nach Massnahmen gesucht, die zur Risikominderung beitragen. Zunächst wird die

erzielbare Risikoreduktion für alle Massnahmen abgeschätzt. Daraufhin werden die verbleibenden Risiken erneut bewertet.

Schliesslich werden die untersuchten Massnahmen auch nach Kosten-Wirksamkeits-Kriterien bewertet. Dabei werden die Kosten einer Massnahme mit der verbundenen Risikoreduktion verglichen. Dieser Vergleich ermöglicht es, die Massnahmen aufgrund ihrer Verhältnismässigkeit zu bewerten und sie nach Prioritäten zu ordnen.

Der angedeutete methodische Ansatz erlaubt eine quantitative und nachvollziehbare Beurteilung. Das zahlenmässige Erfassen der massgebenden Parameter erweist sich insbesondere bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Massnahmen als sehr wichtig. Dem relativ grossen Aufwand für ein solches Vorgehen stehen die folgenden Vorteile gegenüber:

- Das Vorgehen basiert auf einem logischen Gedankengang, der nachvollziehbar ist und überprüft werden kann.
- Das Vorgehen erlaubt eine quantitative und damit eindeutige Aussage zur Gefährdung der Gewässer und Ökosysteme, welche bezüglich Genauigkeit der jeweiligen Fragestellung angepasst werden kann.

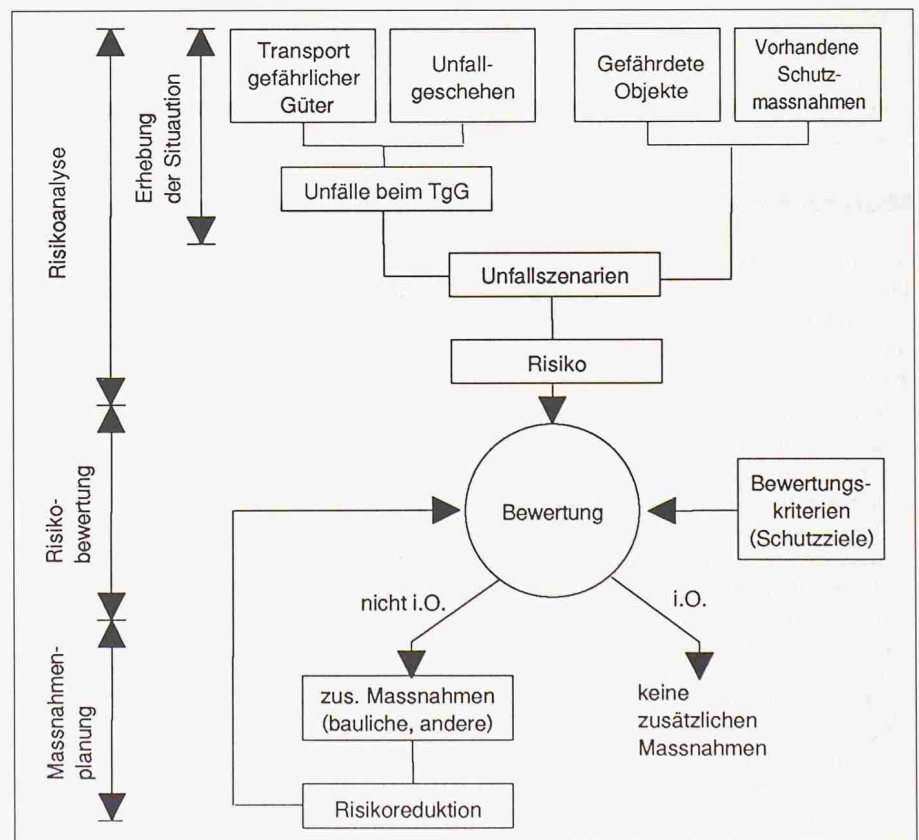


Bild 1. Übersicht über das methodische Vorgehen

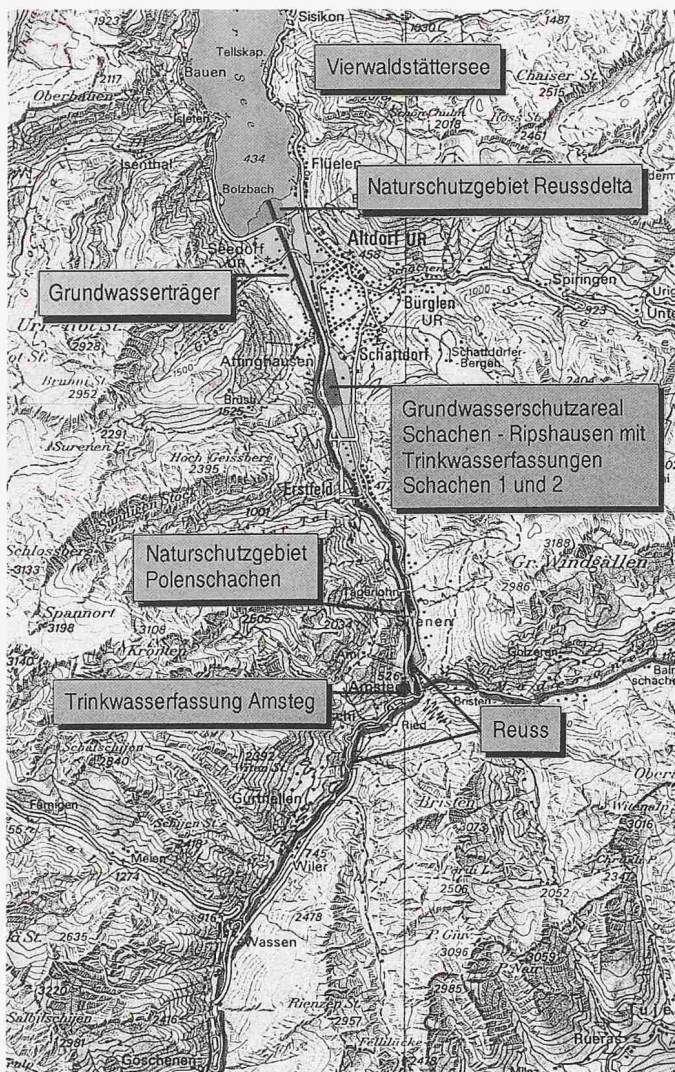


Bild 2. Gefährdete Gewässer und Ökosysteme

- Das Vorgehen erlaubt eine sukzessive Verbesserung und Ergänzung der einzelnen Teilschritte, wenn neue Erkenntnisse oder präzisere Fragestellungen dies erfordern.

Abgrenzung

Die Studie beleuchtet einen Teilaspekt der Umwelt- und Sicherheitsprobleme, die im Zusammenhang mit dem Transport gefährlicher Güter im Kanton Uri entstehen:

- Bei den Verkehrsträgern richtet sich das Augenmerk auf die Nationalstrassen N2 und N4. Der Transport gefährlicher Güter auf der Gotthardpassstrasse, den Kantonsstrassen und SBB-Linien wird nicht untersucht.
- Die Risiken durch freigesetzte wassergefährdende Stoffe als Folge eines Lecks oder Brandes werden behandelt. Wirkungen von Explosionen oder freigesetzten giftigen Gasen auf Personen sind hingegen nicht Gegenstand der Studie.
- Es werden nur diejenigen Gewässerverschmutzungen berücksichtigt, die ihre Ursache in Verkehrsunfällen und Fahrzeugbränden haben.

- Bei der Beurteilung der Massnahmen geht es um grundsätzliche Überlegungen zu deren Zweckmässigkeit. Die technische Detailgestaltung wird das Thema weiterer Arbeiten sein.

Risikoanalyse

Der Transport gefährlicher Güter im Kanton Uri

Der Transport gefährlicher Güter (TgG) auf den Nationalstrassen im Kanton Uri wird im wesentlichen durch zwei Eigenheiten geprägt:

- Die N2 wird heute als wichtigste Nord-Süd-Verbindung von rund 600 000 Lastwagen pro Jahr im Transit befahren.
- Für den Transport gefährlicher Güter durch den Gotthardtunnel bestehen einschneidende Vorschriften, welche die erlaubten Güter bestimmen und deren Menge einschränken.

Aufgrund der Auswertung der Statistik zum Güter-Strassenverkehr durch den Gotthardtunnel für das Jahr 1989 [2] und der gezielt für die Studie durchgeführten Verkehrserhebungen im Sommer 1990 kann der Anteil des TgG am Schwerver-

kehr im Kanton Uri mit rund 4% angenommen werden. Dies entspricht rund 25000 Fahrzeugen mit gefährlichen Gütern, die jährlich den Kanton auf der N2 durchfahren.

Die gefährdeten Gewässer und Ökosysteme

Die gefährdeten Objekte umfassen gemäss Bild 2 die Reuss, die Naturschutzgebiete Reussdelta und Polenschachen, den Vierwaldstättersee sowie den Grundwasserträger im Talboden von Amsteg bis zum See. Das international bedeutsame Naturschutzgebiet im Reussdelta und die für den Kanton Uri entscheidende Grundwasserschutzzone der regionalen Grundwasserfassungen im Bereich der Gotthard-Raststätte heben sich in ihrer Bedeutung deutlich von den übrigen Objekten ab.

Die heutigen Schutzmassnahmen

Die heute bestehenden organisatorischen und baulichen Schutzmassnahmen können wie folgt umrissen werden:

- Die Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) und die entsprechenden internationalen Vorschriften regeln den Umgang mit diesen Gütern beim Transport.
- Die Polizei kontrolliert täglich stichprobenweise die Einhaltung dieser Vorschriften und der allgemeinen Verkehrsvorschriften.
- Bei Unfällen kann auf die Betriebsfeuerwehren der beiden Werkhöfe Flüelen und Göschenen, drei Feuerwehr-, zwei Ölwehr- und einen Chemiewehrstützpunkt zurückgegriffen werden. Die meisten Wehrdienste sind milizmässig organisiert und eignen sich mit Ausnahme der Chemiewehr nur beschränkt für den Einsatz bei Chemieunfällen.
- Im Gotthard- und Seelisbergtunnel werden die Abwasser in einer Kanalisation gefasst und über Mineralölabscheider abgeleitet. Die Strecke nördlich von Erstfeld bis Flüelen wird ebenfalls mit einer Kanalisation entwässert, die jedoch lückenhaft ist. Die übrigen Abschnitte entwässern über das Strassenbord oder direkt in die Reuss.

Art und Häufigkeit der Unfälle

Die Prognose der Häufigkeit von Unfällen, die zu einer Wassergefährdung führen können, stützt sich auf ernerische, schweizerische und internationale Statistiken [3]. Dabei werden einerseits die allgemeinen Lastwagen-Unfallraten bzw. Brandraten ausgewertet und anhand des Anteils der Fahrzeuge mit gefährlichen Gütern auf die Unfall- und Brandrate mit gefährlichen Gütern geschlossen. Andererseits wird die zu erwartende

tende Anzahl Unfälle direkt aufgrund der Unfallstatistiken mit gefährlichen Gütern geschätzt. Diese beiden unterschiedlichen, aber nicht gänzlich voneinander unabhängigen Ansätze erlauben es, alle relevanten Unterlagen mit einzubeziehen und die Resultate vergleichend zu prüfen.

Im Hinblick auf die Wassergefährdung interessieren grundsätzlich zwei Unfalltypen:

□ Unfälle, die zu einem Leck und damit zu einer direkten Wassergefährdung führen können. Gemäss den Bezeichnungen des Schweizerischen Feuerwehrverbandes beinhaltet dieser Typ die Havarie ohne Brand und die Havarie mit Brand.

□ Brandfälle, die beim Einsatz von Löschwasser zu einer indirekten Wassergefährdung führen können. Gemäss den Bezeichnungen des Schweizerischen Feuerwehrverbandes entspricht dieser Unfalltyp einem Fahrzeugbrand ohne Havarie.

Auf den Nationalstrassen des Kantons Uri wird aufgrund der verschiedenen Abschätzungen jährlich mit 0,05 Lastwagenunfällen des Typs «Leck», bei denen ein wassergefährdendes Gut freigesetzt wird, gerechnet, d.h. mit einem Unfall innerhalb von 20 Jahren (Bild 3). Der hochgerechnete Wert für die ganze Schweiz beträgt 13 Unfälle pro Jahr.

Bei der Ermittlung der Häufigkeit des Unfalltyps «Brand» wird von der Zahl der Lastwagenbrände ausgegangen. Die Abschätzung der Brandrate stützt sich in erster Linie auf die Auswertung der Feuerwehreinsätze der Werkhöfe Göschenen und Flüelen in den letzten 10 Jahren. Aufgrund dieser Auswertung und verschiedener Abschätzungen wird auf den Nationalstrassen des Kantons Uri mit 0,04 Unfällen pro Jahr des Typs «Brand» gerechnet. Der entsprechende hochgerechnete Wert für die Schweiz beträgt 9 Brände pro Jahr.

Definition und Häufigkeit von Unfallszenarien

Ausgehend von den beiden Unfalltypen «Leck» und «Brand» werden neun repräsentative Szenarien definiert, die als Grundlage für die Risikoeermittlung dienen. Diese Szenarien sollen – im Sinne der Vereinfachung – das ganze Spektrum der möglichen Gefährdungen abdecken. Die Szenarien werden in Abhängigkeit der Menge und der Art der Wassergefährdung festgelegt. Bezüglich der Menge wird zwischen Mengen kleiner als 500 kg, von 500 bis 5000 kg und solchen grösser als 5000 kg unterschieden. Bei der Art wird für den Unfalltyp «Leck» nach direkt wassergefährdenden Stoffen der Wassergefähr-

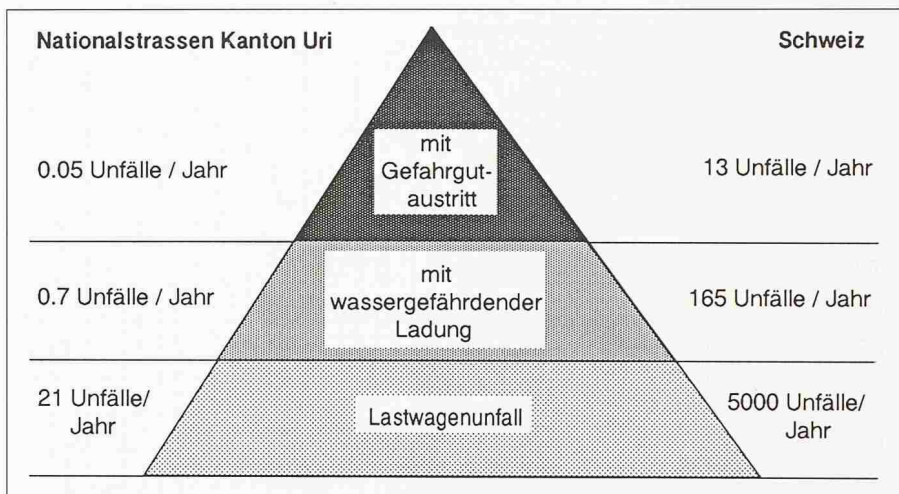


Bild 3. Geschätzte Häufigkeit von Unfällen mit Gefahrgutfreisetzung (Unfalltyp «Leck»)

Stoffeigenschaften		Beispiele von Stoffen	bis 500 kg	500 bis 5000 kg	über 5000 kg	Summe Kanton Uri	
Direkt wassergefährdend	Wassergefährdungsklasse 1, 2	Phenol Schwefelsäure Natronlauge Benzin	A 0.0250 (50%)	B 0.0125 (25%)	C 0.0060 (12%)	0.0435 (87%)	0.05 (100%)
	Wassergefährdungsklasse 3	Acrylnitril Benzol Trichlorethylen Ethylmercaptan	D 0.0036 (8%)	E 0.0018 (4%)	F 0.0009 (1%)	0.0063 (13%)	
Indirekt wassergefährdend		Kaliumcyanid Ammoniumnitrat Phosphorsäureester (Löschmittel)	G 0.0280 (70%)	H 0.0080 (20%)	I 0.0040 (10%)	0.04 (100%)	

Bild 4. Häufigkeit der Unfallszenarien A bis I

dungsklassen (WGK) 1 und 2 gemäss [4], direkt wassergefährdenden Stoffen der WGK 3 und indirekt wassergefährdenden Stoffen differenziert (Unfalltyp «Brand»).

Aus der Kombination der beiden Parameter «Menge» und «Art der Wassergefährdung» resultieren die Szenarien A bis I (Bild 4). Für jedes Szenarium ist die Häufigkeit angegeben. Die Summe der Häufigkeiten ergibt die Gesamthäufigkeit eines «Lecks» mit 0,05 Unfällen/Jahr bzw. eines «Brandes» mit 0,04 Bränden/Jahr. Die Häufigkeit der einzelnen Szenarien gemäss Bild 4 basiert auf Grundlagen aus [5] und der Auswertung von rund 100 Ereignissen im In- und Ausland aus den letzten 10 Jahren. Insbesondere die Häufigkeit der schwerwiegenden Ereignisse mit freigesetzten Mengen über 5000 kg konnte auf diese Weise eingegrenzt werden. Bild 4 zeigt, dass nur rund 13% der Unfälle mit direkter Wassergefährdung (Szenario C mit 12% und Szenario F mit 1%) auf diese Mengenklasse entfallen. Dies bedeutet, dass im Kanton Uri innerhalb von 200 Jahren mit einem solchen Ereignis gerechnet werden muss. Der hochgerechnete Wert für die Schweiz beträgt 1 bis 2 Unfälle pro Jahr. Dies liegt im Rahmen der in den letzten Jahren statistisch erfassten Ereignisse.

Schadenauswirkungen der Unfallszenarien

Die Abschätzung der Schadenauswirkungen möglicher Unfallereignisse wird anhand der Unfallszenarien A bis I vorgenommen. Im Rahmen dieser Studie war allerdings nur eine sehr grobe Abschätzung des Schadenumfanges möglich, nämlich eine Einteilung der Unfallszenarien in vier Schadenkategorien. Für jedes Szenario wurde abgeschätzt, ob die Schadenauswirkungen für die gefährdeten Objekte vernachlässigbar klein sind, ob eine 10prozentige, eine 50prozentige oder eine 80prozentige Schädigung vorliegt (vgl. Bild 5). Dazu wurden einige vereinfachende Annahmen getroffen:

- Grundsätzlich können sich die neun Szenarien an jedem beliebigen Ort auf den Nationalstrassen im Kanton Uri ereignen. Weil die Auswirkungen je nach Ereignisort unterschiedlich gross sind, werden zehn Streckenabschnitte gebildet, die in sich als homogen betrachtet werden.
- Für die zahlenmässige Erfassung der Schadenauswirkungen werden zwei Indikatoren – hier Messgrössen genannt – definiert:
 - Fläche gefährdeter Ökosysteme
 - Fläche gefährdeter Grundwasserträger.

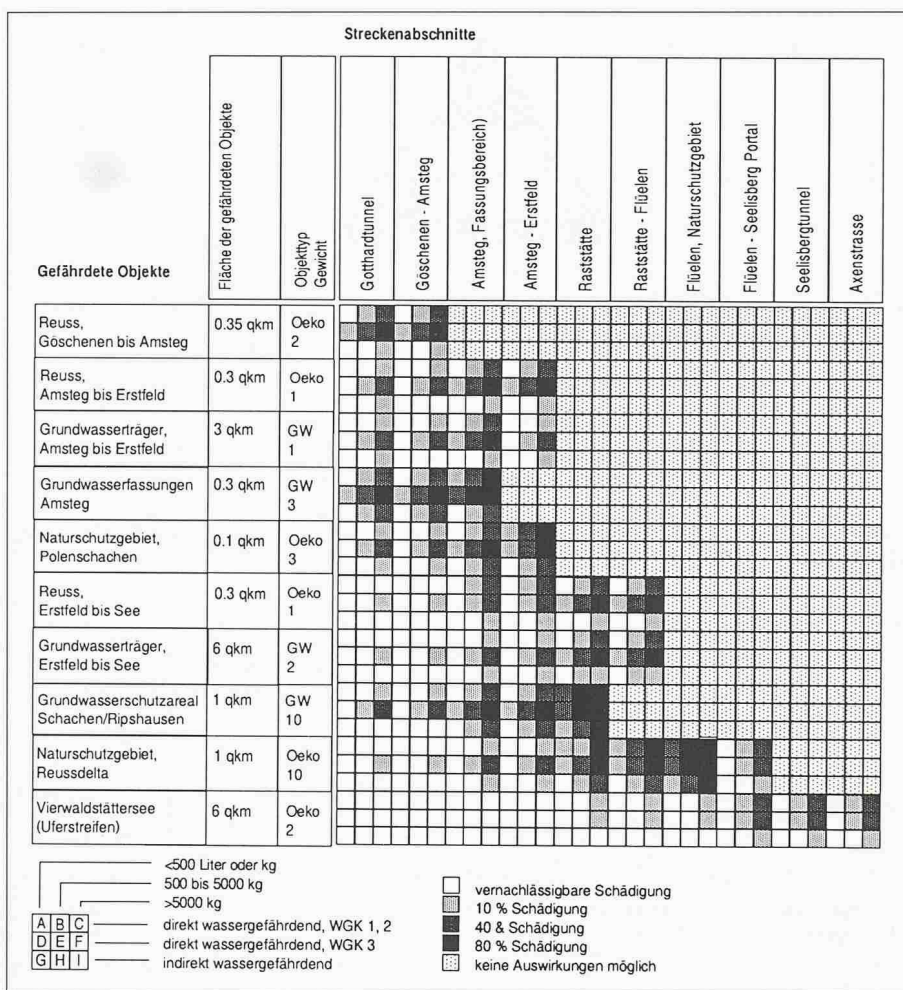


Bild 5. Schädigungsgrad der gefährdeten Objekte für alle Szenarien

Mit dem ersten Indikator werden die Reuss, der Vierwaldstättersee mit dazugehörigen Uferstreifen sowie die Naturschutzgebiete Polenschachen und Reussdelta erfasst, mit dem zweiten die gefährdeten Grundwassergebiete.

□ Die gefährdeten Objekte sind für den Kanton Uri bzw. für die Schweiz von unterschiedlicher Bedeutung. Um diese Differenzierung ansatzweise zu erfassen, werden die Objekte gewichtet. Objekte ohne herausragende Bedeutung werden mit dem Gewicht 1 versehen, Objekte von sehr grosser Bedeutung mit dem Gewicht 10.

□ Es wird angenommen, dass die für jedes Szenarium definierte Menge in kurzer Zeit freigesetzt wird. Auf eine Präzisierung des eigentlichen Unfallablaufs (z.B. Grösse des Lecks, Eingriffsmöglichkeiten der Wehrdienste, Witterung) wird verzichtet und lediglich der Schädigungsgrad der gefährdeten Objekte pauschal geschätzt.

Die heutigen Risiken

Die Risiken infolge des Transports gefährlicher Güter auf den Nationalstrassen des Kantons Uri werden durch Verknüpfung der Häufigkeit der verschiedenen Unfallszenarien auf den einzel-

nen Streckenabschnitten und den entsprechenden Schadenauswirkungen ermittelt:

- Die Häufigkeit der verschiedenen Unfallszenarien entspricht den Werten gemäss Bild 4. Diese Werte beziehen sich auf die Gesamtstrecke der Nationalstrassen im Kanton Uri. Für die Risikoermittlung werden die Werte auf die einzelnen Streckenabschnitte aufgeteilt, wobei die Streckenlänge, die jeweilige Lastwagenfrequenz sowie die Differenzierung bezüglich der streckenbezogenen Unfallrate berücksichtigt werden.
- Das Schadenausmass ergibt sich durch Multiplikation der gewichteten Flächen der gefährdeten Objekte mit dem jeweiligen Schädigungsgrad gemäss Bild 5.
- Damit die verschiedenen Schadenausmassen verglichen und zusammengefasst werden können, werden sie auf eine einheitliche dimensionslose Störfallskala bezogen; d.h. den zusammengefassten Schadenausmassen wird ein sogenannter Störfallwert zugeordnet. Er nimmt Werte zwischen 0 und 1 an und ist ein Mass für die Schwere eines Störfalls. Dieses Vorgehen entspricht dem in [6] näher dargestellten Ansatz. Es sei darauf

hingewiesen, dass dieser Schritt eine relative Wertung der verschiedenen Schadenarten beinhaltet.

Das Resultat der Risikoermittlung ist in Bild 6 zusammengefasst. Im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm ist die komplementäre Summenkurve, bezogen auf die Gesamtstrecke der Nationalstrassen im Kanton Uri, dargestellt. Sie ist aus der Gesamtheit aller Szenarien entstanden und gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass ein Unfallszenarium einen Störfallwert annimmt, der grösser ist als der jeweilige Wert auf der Abszisse. Beispielsweise beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis einen Störfallwert grösser als 0,3 annimmt, 10⁻² oder 1% pro Jahr (vgl. Pfeile in Bild 6). Dieser Wert entspricht der Summe der Wahrscheinlichkeiten aller Szenarien mit einem Störfallwert über 0,3.

Gemäss Bild 6 muss auf den Nationalstrassen des Kantons Uri innerhalb von 10 Jahren einmal mit einem Unfall gerechnet werden, der zu einer Verschmutzung der Gewässer führt. In den meisten Fällen handelt es sich um Verschmutzungen kleineren Ausmasses. Grosse Unfälle mit einem Störfallwert von 0,3 und mehr, die zu einer Verschmutzung einer (gewichteten) Fläche von mehr als etwa 1 km² Ökosystem oder Grundwasser führen, sind einmal innerhalb von rund 100 Jahren zu erwarten.

Aus den Resultaten geht hervor, dass ein grosser Teil der Risiken auf dem Streckenabschnitt von Amsteg bis zur Verzweigung in Flüelen auftritt. Der Grund dafür liegt einmal darin, dass dieser Abschnitt die höchsten Fahrzeugfrequenzen aufweist. Zusätzlich befinden sich im nahen Einflussbereich des Abschnitts die wichtigsten gefährdeten Objekte.

Risikobewertung

Sind die in Bild 6 dargestellten Risiken akzeptabel? Ein allgemein anerkanntes Bewertungskriterium, das die Beantwortung dieser Frage erlauben würde, fehlt in der Schweiz bis heute.

In der vorliegenden Studie wurde daher – im Sinne einer Arbeitshypothese – ein Vorgehen gewählt, das im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm eine Akzeptanzlinie festlegt. Dieser Ansatz orientiert sich an der niederländischen Gesetzgebung zur Bewertung von Todesfallrisiken bei stationären Anlagen [8].

Um einen Vergleich zwischen den verschiedenen Streckenabschnitten zu ermöglichen, sind die Risiken auf eine Länge von 10 Kilometern normiert. Zudem schafft diese Normierung die Vor-

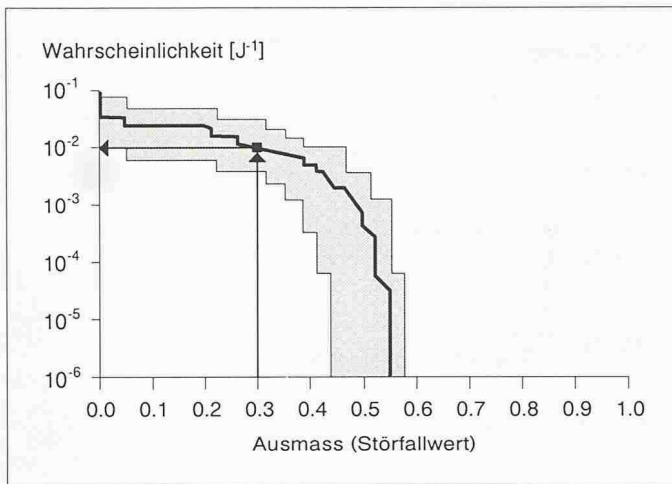


Bild 6. Darstellung des Gesamtrisikos als komplementäre Summenkurve im Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramm. Mit dem schraffierten Bereich wird die geschätzte Streubreite der Summenkurve angedeutet.

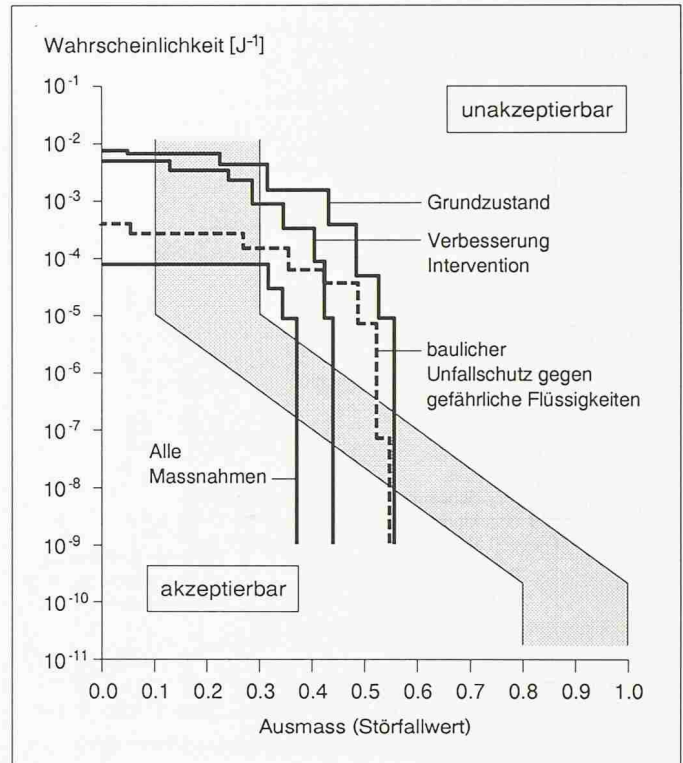


Bild 8. Reduktion des Gesamtrisikos durch die verschiedenen Massnahmen

aussetzung dafür, dass die Transportrisiken mit der Akzeptanzlinie für stationäre Risiken verglichen werden können.

Der Vergleich zwischen den normierten Risiken zweier Streckenabschnitte und der Akzeptanzlinie zeigt, dass die Risiken teilweise im unakzeptierbaren Bereich liegen. Aufgrund der gewählten Akzeptanzlinie sind somit Massnahmen zur Reduktion der Risiken erforderlich.

Massnahmenplanung

Grundsätzlich ist ein breites Spektrum möglicher Massnahmen denkbar, welche die Risiken reduzieren können. Aus diesem Spektrum wurden die folgenden vier Massnahmen näher untersucht:

- Geschwindigkeitsreduktion auf 60 km/h für Lastwagen bzw. 100 km/h für Personenwagen mit intensiver polizeilicher Überwachung (in Analogie zum Massnahmenplan «Luft» des Kantons Uri)
- Reduktion der zulässigen Transportmenge für gefährliche Güter, ebenfalls mit intensiver polizeilicher Überwachung
- Abirrschutz, Kanalisation sowie Rückhalte- und Behandlungsinstallationen zum Schutz der Gewässer bei Unfällen mit gefährlichen Flüssigkeiten (baulicher Unfallschutz gegen gefährliche Flüssigkeiten)
- Verbesserung der Interventionsmöglichkeiten, speziell der Ausbau der Chemiewehr.

Diese Massnahmen gelten spezifisch für den Kanton Uri. Sie können – zumindest teilweise – durch den Kanton Uri getroffen

werden bzw. beeinflusst werden. Nicht untersucht wurden weitere Massnahmen, die gänzlich ausserhalb des Einflussbereichs des Kantons Uri liegen, wie beispielsweise die grundsätzliche Reduktion der Transporte gefährlicher Güter oder die Verschärfung der (internationalen) technischen Vorschriften für den Bau und die Ausrüstung von Gefahrgutfahrzeugen.

Einen speziellen Fall bildet die Reduktion der zulässigen Transportmenge für gefährliche Güter. Als Folge dieser Massnahme kann eine Verlagerung der Risiken von den Nationalstrassen auf die Bahn eintreten. Der Stellenwert der entsprechenden Risikoverschiebung muss noch genauer untersucht werden.

Eine Verlagerung von Strassentransporten auf die Bahn wird jedoch in der Schweiz generell angestrebt.

Die vier beschriebenen Massnahmen wurden nicht nur als Einzelmassnahmen untersucht. Sofern sie sinnvoll erschienen, waren auch Kombinationen verschiedener Massnahmen Gegenstand der Betrachtungen.

Die Analyse und Beurteilung der Risiken unter Berücksichtigung der verschiedenen Massnahmen zeigt, dass erst mit der Realisierung aller Massnahmen die Risiken unter die Akzeptanzlinie zu liegen kommen (Bild 8). Mit Unfällen, die zu einer Verschmutzung der Gewässer führen, muss dann noch einmal in-

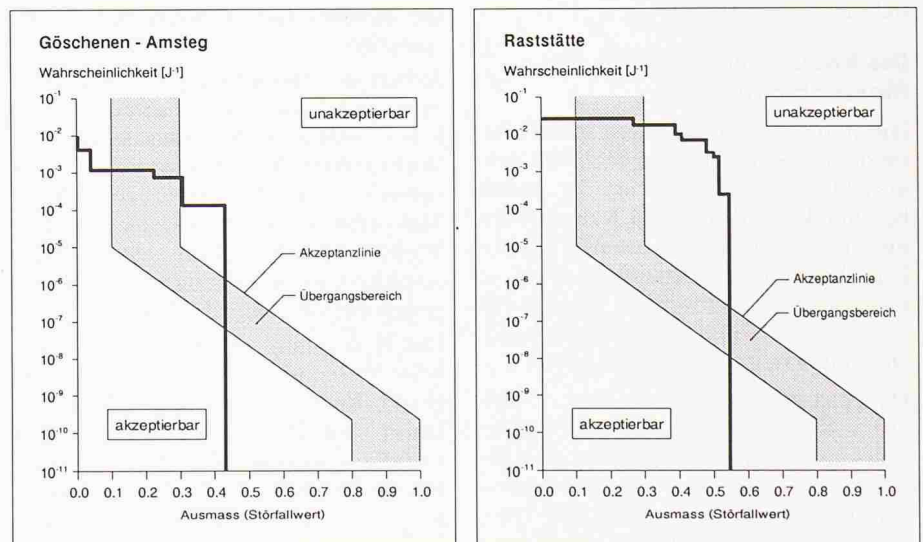


Bild 7. Vergleich des auf 10 km normierten Risikos der Abschnitte Göschenen-Amsteg sowie bei der Raststätte mit der Akzeptanzlinie

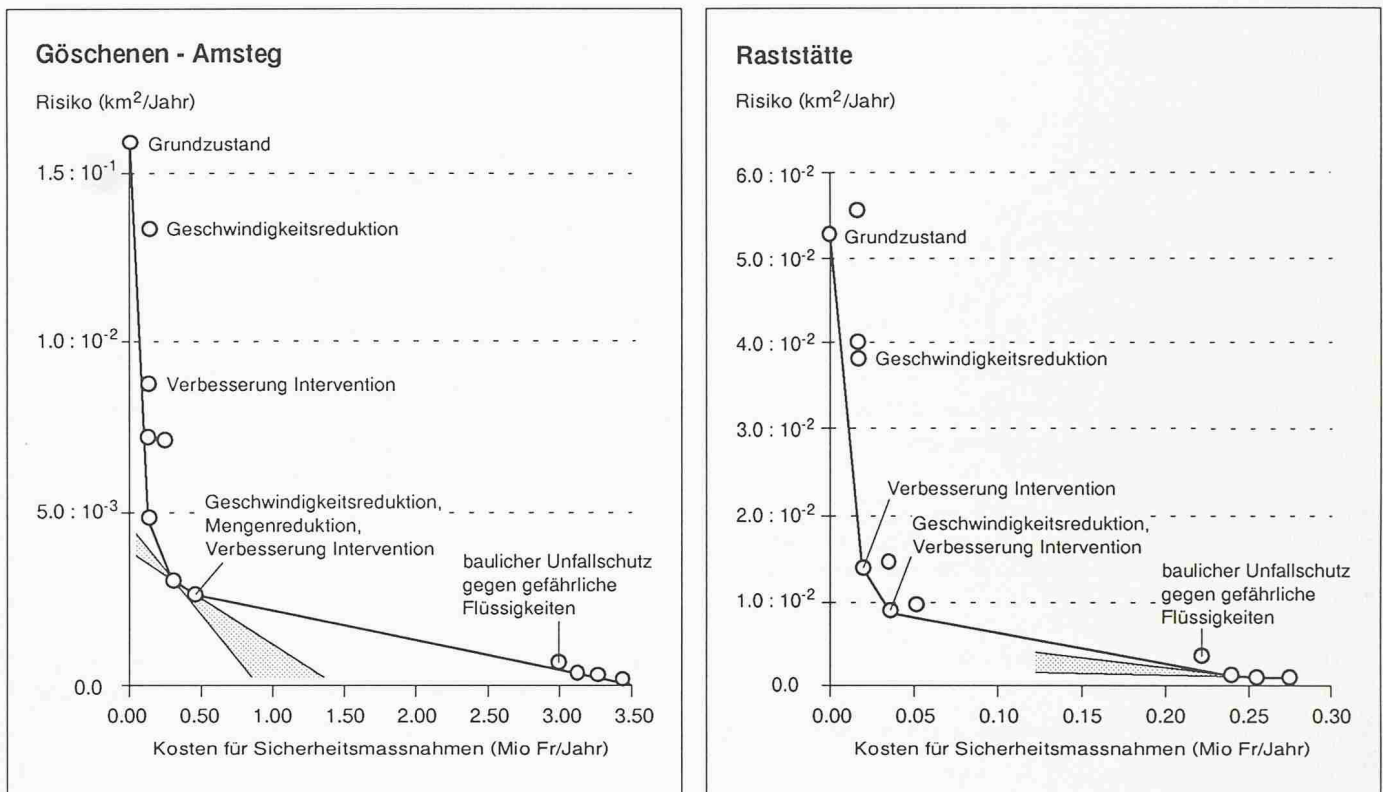


Bild 9. Beurteilung der Massnahmen auf den Abschnitten Göschenen-Amsteg und bei der Raststätte anhand des Grenzkostenkriteriums (Tangenten) im Risiko-Kosten-Diagramm

nerhalb von rund 300 Jahren gerechnet werden. Grosse Unfälle, wie sie heute einmal innerhalb von 100 Jahren auftreten dürften, sind statistisch gesehen, nach einer Realisierung aller Massnahmen, noch einmal innerhalb von einigen tausend Jahren zu erwarten. Die grössten Beiträge zur Risikoreduktion liefern dabei der bauliche Unfallschutz gegen gefährliche Flüssigkeiten und die verbesserte Intervention, während die Reduktion der Geschwindigkeitslimiten und die Reduktion der Transportmenge eine vergleichsweise kleine Risikoreduktion bewirken. Die beiden letzten Massnahmen sind allerdings grundsätzlich rasch realisierbar.

Die Kosten-Wirksamkeit der Massnahmen

Die Reduktion von Risiken mittels zusätzlicher Sicherheitsmassnahmen verursacht Kosten. Angesichts der immer beschränkten Mittel sind Massnahmen mit einem günstigen Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis vorzuziehen. Nur so kann gewährleistet werden, dass mit den vorhandenen Mitteln grösstmögliche Sicherheit erzielt werden kann.

Dabei stellt sich die Frage, bis zu welchem Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis Massnahmen sinnvollerweise zu realisieren sind. Damit wird die Verhältnismässigkeit einer Massnahme angesprochen. Der entsprechende Grenzwert wird als Grenzkosten bezeichnet. Erfahrungswerte liegen bis heute lediglich im

Bereich der Rettung von Menschenleben vor. Hier erweist sich ein Betrag von 10 bis 20 Millionen Franken pro gerettetes Menschenleben als konsensfähig [7]. Der Betrag gilt für Personen, die einer gefährlichen Aktivität ausgesetzt sind, aus der sie keinen unmittelbaren Nutzen erkennen und deren Risiko sie nicht beeinflussen können.

Entsprechende Werte für Ökosysteme oder Grundwasser fehlen. Aufgrund der Ansätze in [6] wird davon ausgegangen, dass Grenzkosten von 40 bis 80 Millionen Franken pro geschützten Quadratkilometer Ökosystem oder Grundwasserträger den erwähnten Grenzkosten für die Rettung von Menschenleben entsprechen.

Neben der Beurteilung der Massnahmen, und damit indirekt auch der Risiken, erlaubt es die Kenntnis des Kosten-Wirksamkeits-Verhältnisses, die Massnahmen nach Prioritäten zu ordnen. Massnahmen mit einem kleinen Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis sind als erstes zu treffen, solche mit einem grossen hingegen mit abnehmender Priorität.

Die Beurteilung des Kosten-Wirksamkeits-Verhältnisses erfolgt anhand eines Risiko-Kosten-Diagramms (Bild 9). Darin sind die verbleibenden Risiken und die Kosten der Massnahmen aufgetragen. Die Neigung der Verbindungslinie zweier Massnahmen zeigt das Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis zwischen den beiden Massnahmen. Dem Kostenaufwand, um beispielsweise vom höhe-

ren verbleibenden Risiko einer Massnahme A auf das tiefere Niveau einer Massnahme B zu kommen, wird die Risikoreduktion von A nach B gegenübergestellt. Je steiler die Gerade verläuft, desto kostenwirksamer ist die Massnahme B. Zusätzliche Massnahmen sind aus Kosten-Wirksamkeits-Überlegungen so lange sinnvoll, als die Neigung der Verbindungslinien grösser als jene der Grenzkosten ist. Die Grenzkosten sind in Bild 9 als Tangenten mit einer Neigung von 80 Mio. Franken pro km^2 für die obere Grenze bzw. 40 Mio. Franken pro km^2 für die untere Grenze sichtbar.

Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse der verschiedenen Massnahmen widerspiegelt folgendes Bild: Die Verbesserung der Intervention, die Reduktion der Geschwindigkeitslimiten und die Verringerung der Transportmengen weisen durchwegs ein günstiges Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis auf, dasjenige des kostenintensiven baulichen Unfallschutzes gegen gefährliche Flüssigkeiten variiert hingegen je nach Streckenabschnitt sehr stark. Im Bereich der Raststätte liegt das Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis unter den als sinnvoll angenommenen Grenzkosten. Auf dem Abschnitt Göschenen bis Amsteg übersteigt es dagegen die Grenzkosten deutlich. Die Realisierung des baulichen Unfallschutzes gegen gefährliche Flüssigkeiten auf diesem Abschnitt ist daher nur im Zusammenhang mit allgemeinen Erneuerungsarbeiten sinnvoll.

Vorschlag einer Massnahmenstrategie

Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit wird folgende Massnahmenstrategie für den Kanton Uri vorgeschlagen:

Alle Massnahmen mit einem günstigen Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis, das unter oder im Bereich der Grenzkosten liegt, werden eingeleitet. Darunter fallen die Geschwindigkeitsreduktion, die Verbesserung der Intervention, die verschiedenen Varianten der Reduktion der Transportmenge und der bauliche Unfallschutz gegen gefährliche Flüssigkeiten auf der Strecke Amsteg bis Flüelen. Müssen aus zeitlichen oder finanziellen Gründen Prioritäten gesetzt werden, ist die Reihenfolge gemäss dem Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis festzulegen.

Massnahmen, die in Anbetracht der Risiken grundsätzlich notwendig sind, aber ein ungünstiges Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis aufweisen, werden im Zuge allgemeiner Erneuerungsarbeiten realisiert. Dies betrifft den baulichen Unfallschutz gegen gefährliche Flüssigkeiten auf den übrigen Abschnitten. Gekoppelt mit Erneuerungsarbeiten sinken die Kosten für die Entwässerung, womit das Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis in den Bereich der Grenzkosten oder darunter gelangt. Lücken zwischen sanierten Abschnitten sollten dabei möglichst geschlossen werden.

Auf der Axenstrasse wird ein Verbot für den Transit von gefährlichen Gütern empfohlen. Damit kann die Realisierung eines baulichen Unfallschutzes gegen gefährliche Flüssigkeiten, die auf diesem Abschnitt ein schlechtes Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis aufweist, vermieden werden. Ein analoges Vorgehen erscheint auch für die Gotthardpassstrasse, die in der Risikoanalyse nicht behandelt wurde, als sinnvoll.

Schlussbemerkungen

Das differenzierte Vorgehen zeigt deutlich, dass wegen der örtlichen Gegebenheiten die Gefährdung der Gewässer und die Zweckmässigkeit von Schutzmassnahmen nicht pauschal beurteilt werden können. Deshalb kann die vorliegende Beurteilung der Nationalstrassen des Kantons Uri keine Entscheide für die übrigen Nationalstrassen der Schweiz präjudizieren.

Die hier vorgestellte Arbeit erhebt zudem keinen Anspruch auf eine abschliessende Beurteilung der Risiken infolge des Transports gefährlicher Güter im Kanton Uri. Dazu müssen auch die Risiken der hier ausgeklammerten Verkehrsträger sowie die Risiken für den Menschen und die übrige Umwelt umfassend beurteilt werden. Ferner ist beim Entscheid über Schutzmassnahmen zu beachten, dass praktisch alle Massnahmen zusätzliche Nutzen bringen, die hier nicht beurteilt wurden.

Abschliessend sei auf die verschiedenen Wertungsfragen hingewiesen, für deren Beantwortung im Sinne von Arbeitshypothesen Annahmen getroffen wurden. Es betrifft dies insbesondere:

- Die Festlegung der Lage der Akzeptanzlinie
- Die relative Gewichtung der verschiedenen Schadenauswirkungen
- Die Gewichtung der Bedeutung der gefährdeten Objekte
- Die Festlegung der Grenzkosten.

Auf Fragen dieser Art gibt es keine «objektiv richtigen» Antworten. Um so mehr sollten die Bemühungen dahingehen, hier einen Konsens zu finden und damit eine Grundvoraussetzung für eine einheitlichere Behandlung der Sicherheitsproblematik des Transports gefährlicher Güter in der Schweiz zu fördern.

Literatur

- [1] Amt für Umweltschutz des Kantons Uri: Gewässerschutz und Transport gefährlicher Güter – Risikoanalyse für die Nationalstrassen des Kantons Uri, Februar 1991
- [2] Erhebung des transalpinen Güterverkehrs 1989. Dienst GVF, Sigmaphan, August 1990
- [3] Verkehrsunfallstatistiken: Schweiz 1987, Kanton Uri, 1986 bis 1989
- [4] *Hommel G.*: Handbuch der gefährlichen Güter. Springer-Verlag, Heidelberg, 1986
- [5] *Jäger P., Haferkamp K.*: Die Auswirkungen des Sicherheitsrisikos von Lagerung und Transport gefährlicher Stoffe auf die Entwicklung verbesserter Transporttechnologien (Strassen-transport), Phase I, Grundlagenuntersuchungen, Berichtsband 3, Verlag TÜV, Rheinland, Köln, 1983
- [6] *Wyler E., Bohnenblust H.*: Disaster Scaling, A Multi-Attribute Approach based on Fuzzy Set Theory, in: Apostolakis G. (ed.): Probabilistic Safety Assessment and Management, Volume 1, 1991, International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, Elsevier Science Publishing Co., Inc., Februar 1991
- [7] *Schneider, Th.*: Ein quantitatives Entscheidungsmodell für Sicherheitsprobleme im nicht-nuklearen Bereich, in: *Yadigaroglu R., Chakraborty S.* (eds.); Risikountersuchungen als Entscheidungsinstrument, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1985
- [8] Dutch National Environmental Policy Plan: Premises for Risk Management, Second Chamber of the States General, Session 1988–1989, 21 137, No. 5

Adresse der Verfasser: *Ch. Fermaud*, dipl. Kult.-Ing. ETH, *H. Bohnenblust*, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Ernst Basler & Partner AG, 8702 Zollikon; und *B. Bühlmann*, dipl. Chem.-Ing. ETH, dipl. Naturw. ETH, Amt für Umweltschutz, Abteilung Gewässerschutz, 6460 Altdorf.