

**Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation**

Bundesamt für Strassen

Unfälle beim Transport wasser- gefährdender Flüssigkeiten

Accidents routiers avec des liquides polluant l'eau

Road accidents with water polluting liquids

Bürkel Baumann Schuler, Ingenieure + Planer AG, Winterthur

**Peter Bürkel, dipl. Ing. ETH SIA
Martin Stauber, dipl. Ing. ETH SIA**

**Forschungsauftrag VSS 2002/201 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

November 2005

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung Resumée Summary

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Ziele der Forschungsarbeit	2
2	Grundlagen	3
2.1	Übersicht	3
2.2	Risiken von Transporten wassergefährdender Flüssigkeiten	3
2.2.1	Grundsätzliches	3
2.2.2	Störfallverordnung	3
2.2.3	Risikoanalyse des Gefahrguttransports	3
2.2.4	Strassenverkehrsunfälle mit gefährlichen Gütern	4
2.2.5	Brandsicherheit von Brückenentwässerungssystemen	5
2.3	Gewässerschutz	7
2.3.1	Handbuch III zur Störfallverordnung	7
2.3.2	Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen	8
2.3.3	Wegleitung Grundwasserschutz	8
2.3.4	Störfallsicherheit von Kläranlagen und Gewässern	9
2.4	Bodenschutz	10
2.4.1	Übersicht	10
2.4.2	Leitfaden Bodenschutz beim Bauen	10
3	Beschreibung und Auswertung von Ereignissen	11
3.1	Hinweise zu den Recherchen	11
3.2	Übersicht über die Ereignisse	11
3.3	Erkenntnisse und Folgerungen	12

4	Grundlagen für die Norm SN 640 364	13
4.1	Elemente und Struktur der Norm	13
4.2	Stellung der Norm SN 640 364 im VSS-Normenwerk	14
4.3	Übersicht über die Szenarien	14
4.4	Referenzstoffe	14
4.5	Massgebende Fahrzeuge	15
5	Wirtschaftliche Tragbarkeit von Massnahmen	16
5.1	Allgemeines	16
5.2	Beurteilung der Notwendigkeit von Massnahmen	16
5.3	Übersicht zur Berechnung der Grenzkosten	16
5.4	Häufigkeit von Freisetzungen	18
5.4.1	Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)	18
5.4.2	Anteil Schwerverkehr am Gesamtverkehr (ASV)	18
5.4.3	Anteil Gefahrgutverkehr am Schwerverkehr (AGS)	18
5.4.4	Anteil der massgebenden SDR-Klasse am Gefahrgutverkehr (ASK)	18
5.4.5	Unfallrate des Gefahrgutverkehrs (UGV)	19
5.4.6	Anteil der Abkommensunfälle (UAF)	20
5.4.7	Rate für die relevante Freisetzung (RFZ)	24
5.5	Wirkung von Massnahmen zur Herabsetzung der Häufigkeit	26
5.5.1	Herabsetzung des Gefahrenpotentials	26
5.5.2	Leitschranken	28
5.6	Schadenausmass ohne Sicherheitsmassnahmen	31
5.6.1	Freisetzungsmengen	31
5.6.2	Örtliche Verhältnisse	31
5.7	Wirkung von Sicherheitsmassnahmen zur Herabsetzung des Schadenausmasses	32
5.7.1	Abdichtung von Mittelstreifen auf Autobahnen	32
5.7.2	Abdichten von Böschungen	32
5.7.3	Einsatz von Abscheidern für Leichtflüssigkeiten	33
5.7.4	Kanalnetzspeicher	33

5.8	Gegenwartswertfaktoren	33
5.8.1	Charakteristiken	33
5.8.2	Massgebender Zinssatz	34
5.8.3	Faktoren	34
5.8.4	Wirtschaftliche Tragbarkeit	34
6	Massnahmen zur Verhinderung von Freisetzungen	35
6.1	Aktive Sicherheit von Strassen	35
6.2	Hindernisfreiheit im Seitenraum von Strassen	35
6.3	Fahrzeugrückhaltesysteme	36
6.3.1	Einsatz von Leitschranken	36
6.3.2	Wahl von Leitschranken	36
6.3.3	Vergleich von Leitschranken und Leitmauern	37
7	Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen	38
7.1	Grundlagen	38
7.2	Anforderungen an die baulichen Sicherheitsmassnahmen	38
7.3	Auffangen und Ableiten wassergefährdender Flüssigkeiten	38
7.3.1	Beläge	38
7.3.2	Borde	39
7.3.3	Bankette und Böschungen	39
7.3.4	Ergänzende Angaben	40
7.4	Abscheiden und Rückhalten wassergefährdender Flüssigkeiten	40
7.4.1	Ausgangslage und neues Konzept	40
7.4.2	Abscheider für Leichtflüssigkeiten	41
8	Literaturverzeichnis	42
9	Anhang	44

Zusammenfassung

Ausgangslage

Die vorliegende Forschungsarbeit ist auf Antrag des Verbandes Schweizerischer Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) bearbeitet worden. Auslöser war der Umstand, dass im Rahmen des Vollzugs der Gesetzgebung im Gewässerschutz ergänzende technische Grundlagen zur Planung von Sicherheitsmassnahmen zum Schutz der Gewässer vor freigesetzten wassergefährdenden Flüssigkeiten geschaffen werden mussten. Die vorliegende Forschungsarbeit umfasst die Recherchen und Auswertungen für die Bearbeitung einer Norm SN 640 364, Strassenentwässerung, Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten, zum erwähnten Thema.

Grundlagen

In der Literatur finden sich zahlreiche Informationen über Unfälle beim Transport gefährlicher Güter sowie Beschreibungen von Sicherheitsmassnahmen. Demgegenüber fehlen Forschungsarbeiten mit Analysen der Beziehungen zwischen Unfallereignissen und Sicherheitsmassnahmen sowie Grundlagen zur Beurteilung der Angemessenheit von baulichen Massnahmen. Die Forschungsarbeit schliesst diese Lücke zumindest teilweise.

Elemente der Forschungsarbeit

Die Planung von Sicherheitsmassnahmen basiert auf der Beurteilung von Schadereignissen und ihrer Häufigkeit. Die Forschungsarbeit liefert dazu die Grundlagen und ermöglicht damit eine Planung nach dem Grundsatz der Angemessenheit. Das vorgeschlagene Vorgehen ist transparent und praxisbezogen.

Sicherheitsmassnahmen im Einzelnen

Die Forschungsarbeit behandelt die Planung der Sicherheitselemente im Einzelnen. Im Vordergrund stehen die vorsorglichen Massnahmen zur Herabsetzung des Gefahrenpotentials sowie zur Verhinderung von Freisetzungen. Dies betrifft u. a. den vielfach effizienten Einsatz von Fahrzeugrückhaltesystemen. Die Forschungsarbeit liefert im Weiteren praxisorientierte Informationen zu den Massnahmen zur Begrenzung der Auswirkung von Havarien wie Borde, Leitungen, Abdichtungen sowie Abscheider für Leichtflüssigkeiten und Kombinationen von Abscheidern mit Absetzanlagen.

Résumé

Situation de départ

Le présent mandat de recherche a été établi à la demande de l'Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS). Le déclencheur a été le fait que, dans le cadre de la législation dans le domaine de la protection des eaux, des bases techniques complémentaires devaient être établies pour permettre la planification des mesures de sécurité pour la protection des eaux contre les liquides pouvant altérer les eaux. Le présent mandat de recherche comprend les recherches et l'exploitation des résultats devant permettre l'établissement d'une norme SN 640 364, "Evacuation des eaux de chaussée, accidents, avaries".

Bases

On trouve dans la littérature de nombreuses informations sur les accidents lors du transport de matières dangereuses ainsi que des descriptions des mesures de sécurité. Cependant il manque des travaux de recherche avec l'analyse des relations entre les accidents et les mesures de sécurité ainsi que des bases permettant de juger de l'adéquation des mesures constructives. Le mandat de recherche permet, du moins partiellement, de combler cette lacune.

Eléments du travail de recherche

La planification des mesures de sécurité est basée sur l'examen des dommages et de leur fréquence. Le travail de recherche fournit des bases à ce sujet et permet ainsi une planification d'après la règle de l'adéquation. Le procédé proposé est transparent et applicable en pratique.

Les mesures de sécurité en détail

Le travail de recherche traite de la planification des éléments de sécurité en détail. Les mesures de prévoyance pour abaisser le potentiel de danger ainsi que pour empêcher les fuites de liquide ont la priorité. Cela concerne entre autre l'utilisation des différents systèmes efficaces de retenue. Ce mandat de recherche fournit en plus des informations orientées vers la pratique au sujet des mesures destinées à limiter l'effet des avaries comme les bordures, les conduites, les étanchements ainsi que les séparateurs pour les liquides plus légers que l'eau et la combinaison de séparateurs avec les installations de décantation.

Summary

Initial position

The present study was worked out as a result of an application of the Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS). Outgoing from the fact, that for the execution of the prevention of water pollution legislation technical bases were necessary, basics for the planning of safety measures for water were worked out. The research work includes and describes surveys and evaluations which have to be considered for the drawn up of the Swiss standard SN 640 364, Road Drainage, Accidents, Leakages

Basics

There are numerous references provide information about accidents from road transports with dangerous goods. In this topic also a widespread knowledge about safety devices is available. In contrast there is a gap of research work discussing the relations between accidental incidents and safety measures. There are even no basics for an assessment of the appropriateness of design and construction measures. However, the present research fills this gap partly at least.

Parts of the research

The planning of safety measures is usually based on an assessment of hazardous incidents and there frequency. The study provides the basics for this purpose. Therewith, it is possible to perform a planning, obey the principles of appropriateness. The suggested procedure is transparent and practical.

Safety measures

The research includes detailed information for the planning of safety measures with its focus on preventive measures to reduce the hazardous potential and to eliminate releases of polluting liquids. Such measures often concern the use of effective vehicle restrain systems. In addition the study provides practical information to measures, which limit the consequences of releases of dangerous liquids. Among others these are curbs, pipes, sealing as well as separation basins for polluting liquids and combinations of separators and sedimentation basins.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Gestützt auf den Artikel 4 der Vollzugsverordnung vom 28. Dezember 1956 zum Gewässerschutzgesetz vom 16. Mai 1955 sind die EDI-Richtlinien betreffend Gewässerschutzmassnahmen beim Strassenbau [6] geschaffen und am 27. Mai 1968 in Kraft gesetzt worden. Die Richtlinien sind von vielen Kantonen in Verordnungen aufgenommen worden und haben damit Gesetzeskraft erhalten.

Bei der Herausgabe der Richtlinien waren im Ausland weder technische Grundlagen noch Rechtsvorschriften im Zusammenhang mit Gewässerverunreinigungen als Folge von Transporten wassergefährdender Flüssigkeiten in einem ähnlichen Umfang vorhanden. Elemente der Richtlinien wurden anlässlich eines vom Bundesamt für Strassen im Jahre 1978 durchgeführten Symposiums der OECD zum Thema Strassenentwässerung [24] vorgestellt. Diese Präsentationen sind bei den Teilnehmern eher auf Skepsis als auf Zustimmung gestossen. In der Folge dauerte es noch einige Jahre, bis mit der Realisierung der Sicherheitsmassnahmen im Zusammenhang mit der Freisetzung von wassergefährdenden Stoffen begonnen wurde. In der Schweiz haben die Strassenverwaltungen der Kantone in den Siebzigerjahren angefangen, vor allem Ölrückhaltebecken an Nationalstrassen zu bauen.

Bereits unmittelbar nach der Inkraftsetzung der Richtlinien hat sich gezeigt, dass diese die folgenden erheblichen Mängel aufwiesen:

- Es fehlten "konkrete" Angaben, welche Strassenabschnitte oder Strassenstrecken von den Richtlinien abgedeckt werden.
- Unter Ziffer 8 wird festgestellt:

Die baulichen Schutzmassnahmen sind abhängig von den hydrogeologischen Verhältnissen sowie der Anlage der Strasse und ihrer Verkehrsbedeutung, insbesondere hinsichtlich der Häufigkeit der Transporte wassergefährdender Flüssigkeiten.

Die Regelung hat dazu geführt, dass in der Folge Sicherheitsmassnahmen mit unterschiedlicher Notwendigkeit und Effizienz sowie wenig effiziente Kombinationen von Massnahmen realisiert wurden.

- Es sind Leitmauern zur Ausführung vorgeschlagen worden, die vermeidbare Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten verursachen können.
- Es sind "verstärkte", wegen ihrer zu geringen Höhe jedoch kaum wirksame Leitschranksysteme vorgeschrieben worden, welche die Verkehrssicherheit nachhaltig herabsetzen. Dank Anstrengungen seitens der für Verkehrssicherheitsfragen zuständigen Fachstelle des Bundesamtes für Strassen konnte jedoch der Einsatz von "verstärkten" Leitschranken durch Interventionen bei der Projektierung und nach 1982 durch die "Richtlinien für die Ausführung von Leitschranken" verhindert werden.
- Es sind Gegendämme vorgeschlagen worden, die bei einem durchaus möglichen Durchbruch der "verstärkten" Leitschranke ein Umkippen des Tankfahrzeugs verursacht hätten.

Im Jahre 1986 ist die Forschungsstelle vom Tiefbauamt des Kantons Basel-Landschaft beauftragt worden, die geplante Sanierung von Kantonsstrassen in Grundwasserschutzzonen in sechs Gemeinden zu überprüfen und Sicherheitsmassnahmen vorzuschlagen. Im Rahmen dieses "Projektierungsauftrages" wurde die Häufigkeit von Ereignissen mit Freisetzungen basierend auf einer Erhebung der Erdölverunreinigung und Re-

cherchen bei Strassenbetreibern abgeklärt. Darauf basierend wurde der Umfang der Sicherheitsmassnahmen festgelegt. Anfangs der Neunzigerjahre sind von verschiedenen Ingenieurunternehmen Risikoanalysen im Bereich Umweltschutz bearbeitet worden.

Im Jahre 1992 ist im Rahmen des Vollzugs der Störfallverordnung [3] das Handbuch III zur Störfallverordnung [7] publiziert worden. Dieses liefert die Grundlagen zur Schätzung der Wahrscheinlichkeit von Ereignissen mit Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten. In den letzten zehn Jahren hat die Forschungsstelle nach Ereignissen mit Freisetzungen von Benzin und Heiz- / Dieselöl die Schäden möglichst vor Ort analysiert. Damit kam sie in die Lage, die Risiken von Freisetzungen unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse abschätzen zu können.

In der Planung von Sicherheitsmassnahmen besteht als Folge ausgeführter Massnahmen ein erhebliches Wissen, das insbesondere durch technische Grundlagen aus Deutschland ergänzt wird. In Anbetracht dieser Ausgangslage und den ihr übertragenen Aufgaben im Bereich der Entwässerung von Strassen hat der Schweizerische Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) beschlossen, der Kommission für Forschung im Strassenwesen des UVEK ein Forschungsgesuch "Unfälle beim Transport wassergefährdender Flüssigkeiten" einzureichen. Dieses ist mit dem Auftragschreiben des Bundesamtes für Strassen vom 16. Dezember 2002 bewilligt worden.

1.2 Ziele der Forschungsarbeit

Die Forschungsarbeit soll Grundlagen für die technische Norm SN 640 364 schaffen, in welcher der Gewässerschutz bezüglich Strassentransporten wassergefährdender Flüssigkeiten behandelt wird. Sie verfolgt die folgenden Ziele:

- Sie gewährleistet den Schutz der Gewässer mit angemessenen Sicherheitsmassnahmen und einem einheitlichen Sicherheitsniveau in der Schweiz.
- Sie stellt den Sicherheitszuwachs als Folge von primär baulichen Sicherheitsmassnahmen und von Kombinationen von Massnahmen transparent dar.
- Sie zeigt die Verminderung der Verkehrssicherheit von Personenwagen als Folge von Sicherheitsmassnahmen gegenüber Freisetzungen wassergefährdender Stoffe.
- Sie enthält die Anforderungen seitens der Ereignis- und der Unterhaltsdienste an die Sicherheitsmassnahmen, insbesondere die Handhabung durch die Feuerwehr und die Unterhaltsdienste.
- Sie stellt die baulichen Sicherheitsmassnahmen für die Projektierung und die Ausführung praxisorientiert dar, insbesondere für die folgenden Bereiche:
 - Aktive Sicherheit der Strassen
 - Gefährliche Hindernisse im Strassenraum
 - Schutzeinrichtungen wie Leitschranken und Leitmauern
 - Massnahmen zum Auffangen und Ableiten wassergefährdender Flüssigkeiten
 - Einrichtungen zum Abscheiden und Rückhalten von gefassten wassergefährdenden Flüssigkeiten
 - Ergänzende Massnahmen zum Rückhalten und Abscheiden von wassergefährdenden Flüssigkeiten an Strassenabwasserbehandlungsanlagen

2 Grundlagen

2.1 Übersicht

Die Forschungsarbeit bezieht sich grundsätzlich auf Gewässerschutzmassnahmen im Strassenperimeter. Betroffen von zu projektierenden Sicherheitsmassnahmen sind jedoch auch der Bodenschutz und die Verkehrssicherheit. Die Massnahmen zu Gunsten des Gewässerschutzes wirken sich im vorliegenden Fall immer positiv auf den Bodenschutz aus. Das Gleiche gilt jedoch nicht oder nur beschränkt für die Verkehrssicherheit. Schutzeinrichtungen wie Leitmauern und Leitschranken können sich negativ auf die Verkehrssicherheit auswirken. Im Weiteren ist festzustellen, dass bei bezüglich Gewässerschutzmassnahmen wenig sensitiven Strassenabschnitten Bodensanierungen nach Freisetzungen gefährlicher flüssiger Stoffe aufwändig sein können. Dies gilt speziell beim Vorhandensein von unterirdischen Leitungen sowie im Perimeter von Hochbauten.

2.2 Risiken von Transporten wassergefährdender Flüssigkeiten

2.2.1 Grundsätzliches

In der Forschungsarbeit werden die technischen Grundlagen für die Beurteilung der Angemessenheit von Sicherheitsmassnahmen behandelt, nicht jedoch die Risiken. Die Beurteilung geht jedoch von Elementen aus, die auch für Risikoanalysen verwendet werden. Aus diesem Grund finden sich nachfolgend Hinweise auf risikobezogene Dokumente mit einem Bezug zur Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten.

2.2.2 Störfallverordnung

Störfälle auf Strassen sind ausserordentliche Ereignisse als Folge von Transporten von wassergefährdenden Flüssigkeiten, bei denen schwere Schädigungen auftreten. Die Störfallverordnung StfV [3] gilt für alle Durchgangsstrassen [5]. Dazu gehören neben den Nationalstrassen auch Teile der Kantons- bzw. Hauptstrassen.

Die Störfallverordnung definiert das Risiko durch das Ausmass der möglichen Schädigungen der Bevölkerung oder der Umwelt infolge von Störfällen und der Wahrscheinlichkeit, mit der diese eintreten (StfV Art. 2).

Die Störfallverordnung legt die Grundsätze der Vorsorge fest und behandelt die Bewältigung von Störfällen sowie die Zuständigkeiten. Sie legt fest, dass der Inhaber einer Strasse bei massgebenden Risiken geeignete Massnahmen treffen muss, die nach dem Stand der Sicherheitstechnik verfügbar und wirtschaftlich tragbar sind. Es ist ein zweistufiges Verfahren mit einem Kurzbericht und einer Risikoermittlung festgelegt, mit dem die Tragbarkeit von Risiken beurteilt wird.

Die Störfallverordnung enthält massgebende Angaben für die Schätzung der Häufigkeit von Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten, jedoch keine Angaben zur Projektierung von Massnahmen.

2.2.3 Risikoanalyse des Gefahrguttransports

Der Bericht der Bundesanstalt für Strassenwesen [20] behandelt die Risikoanalyse des Gefahrguttransports mit einem Vorschlag für ein Risikomodell. Er enthält im Weite-

ren eine Darstellung von vorhandenem Datenmaterial zu Gefahrguttransporten und -unfällen sowie Hinweise zu Risikoindikatoren. Unter dem Titel "Grundzüge des Riskmanagements bei Gefahrguttransporten" finden sich interessante Informationen im Schnittbereich Risikoanalyse und Strassentransporte. Detaillierte in der Forschungsarbeit unmittelbar umsetzbare Angaben finden sich nur beschränkt. Insbesondere fehlen Angaben über das Schadenausmass von Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten sowie Ausbreitungsanalysen.

2.2.4 Strassenverkehrsunfälle mit gefährlichen Gütern

Übersicht

Im Bericht der Bundesanstalt für Strassenwesen [18] wird das Unfallgeschehen beim Gefahrguttransport in den Jahren 1992 bis 1995 untersucht. Der Bericht liefert für die Projektierung von Sicherheitsmassnahmen bezüglich Unfällen beim Strassentransport wassergefährdender Flüssigkeiten nur wenige Angaben. Dies betrifft sowohl Auswertungen über die Häufigkeit massgebender Ereignisse, Beschriebe von Ereignissen bzw. von Ausbreitungswegen sowie der Wirkung von Massnahmen.

Im Weiteren sind die Ergebnisse der Untersuchung insofern wesentlich eingeschränkt, indem nur Unfälle mit Personenschaden ausgewertet wurden. Unfälle, bei denen wassergefährdende Flüssigkeiten austreten, sind jedoch vielfach nicht mit einem Personenschaden verbunden.

Gefahrenklassen der beförderten Güter

Gemäss dem Bericht ergab die Auswertung von Unfällen mit Gefahrgutfahrzeugen einen Anteil der Güter der Gefahrenklasse 3 "Entzündbare flüssige Stoffe" von 75%. Diese Angabe liefert einen Hinweis im Zusammenhang mit der Häufigkeit von Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten aus Tankfahrzeugen.

Unfallursachen beim Transport gefährlicher Güter

Der Bericht enthält Angaben über die Beziehungen beteiligter Fahrzeugtypen und Ortslagen sowie Unfallursachen und Beteiligte. Die Auswertungen konnten jedoch nicht in eine Beziehung zu strassenseitigen Sicherheitsmassnahmen gebracht werden. Von Interesse ist der Hinweis, dass in Deutschland die Anzahl der Unfälle mit Gefahrgut innerorts, auf Landstrassen und auf Autobahnen etwa gleich ist.

Gefahrgutaustritt

Im Folgenden findet sich zum Gefahrgutaustritt ein Zitat aus dem Bericht.

Von besonderem Interesse bei Unfällen beim Transport gefährlicher Güter ist die Freisetzung von Gefahrgut. Auf Grundlage der Daten der amtlichen Strassenverkehrsunfallstatistik kann eine Aussage bezüglich der Anzahl der Gefahrgutfreisetzungen erfolgen. Angaben zu den Austritts- bzw. Auffangmengen liegen jedoch nicht vor.

Bei rund 8% der registrierten Unfälle mit Personenschaden beim Transport gefährlicher Güter kam es im Verlauf des Unfalls zu einem Austritt von Gefahrgut.

Damit wurde "nur" jeder zwölfte Unfall beim Transport gefährlicher Güter zu einem "echten" Gefahrgutunfall, d.h. das Gefahrgut hatte unter Umständen zu einer Erhöhung der Unfallfolgen beigetragen.

Der Grossteil der Freisetzungen erfolgte auf Bundesautobahnen. Hier kam es bei rund 14% der Personenschäden von Gefahrgutfahrzeugen zu einem Gefahrgutaustritt, während innerorts bei nur 3% der Personenschäden eine Freisetzung erfolgte.

Die angegebenen Zahlen sind für Abschätzungen von Freisetzungsraten wassergefährdender Flüssigkeiten nur beschränkt verwendbar, da eine Verbindung zu den Personenschäden besteht.

Sekundärschäden

Der Bericht unterscheidet zwischen Primär- und Sekundärschäden. Bei den Ersteren handelt es sich um Personen- und beim Schadenereignis überblickbare Sachschäden sowie Folgeschäden. Die Letzteren umfassen langzeitliche Schadensbehandlungen sowie Hinweise auf nachhaltige Umweltschäden. Es war somit nicht möglich, aus dem Bericht zuverlässige Angaben zum Schadenausmass bei Freisetzungen grosser Mengen von wassergefährdenden Flüssigkeiten aus Tankfahrzeugen zu beschaffen.

Bei ca. 8% der untersuchten Fälle ist ein Sekundärschaden aufgetreten, da es zu einem Austritt von Gefahrgut kam. Dazu wird im Bericht gemäss Zitat festgestellt:

Durch Gefahrgut verursachte Umweltschäden sind teilweise auch ein Jahr nach dem Unfall noch nicht vollständig beseitigt, so dass der gesamte Schadens- und Kostenumfang eines Gefahrgutunfalls im Vergleich zum "normalen" Verkehrsunfall erst zu einem sehr späten Zeitpunkt mit ausreichender Zuverlässigkeit beziffert werden kann. Des Weiteren sind mit der Schadensregulierung der durch das Gefahrgut verursachten Schäden überwiegend mehrere Stellen befasst, so dass der gesamte Schaden im Rahmen der polizeilichen Unfallerhebung in der Regel nicht bekannt wird.

2.2.5 Brandsicherheit von Brückenentwässerungssystemen

Übersicht

Der vom Bundesamt für Strassen in Auftrag gegebene Bericht [21] behandelt die Häufigkeit eines Brandes in einem Brückenentwässerungssystem in der Schweiz sowie den Schadenumfang. Nachfolgend findet sich eine Darstellung aus dem Bericht zur Freisetzung von brennbaren Flüssigkeiten aus Tankfahrzeugen.

Freisetzungsrate

In der Studie finden sich Angaben zu Freisetzungsraten (Anteil der Unfälle mit Freisetzungen an der Gesamtheit der Unfälle mit Tankfahrzeugen) in Abhängigkeit des Zeitpunkts ihrer Erhebung. Die Raten haben im Zeitraum von 1975 bis 1992 markant abgenommen. Die Anstrengungen zur Hebung der Sicherheit von Tankfahrzeugen, unter anderem bei den Armaturen, waren offenbar erfolgreich. Es ist jedoch fraglich, ob in der Zwischenzeit und in Zukunft weitere erhebliche Fortschritte möglich sind.

Freisetzungsmengen

Angaben zu den Flüssigkeitsmengen, welche bei Tankwagenunfällen mit Leckagen freigesetzt werden, sind in Berichten der deutschen Bundesanstalt für das Strassenwesen (BASt) [17] und der britischen Health & Safety Commission (HSC) [25] zu finden. Die Daten sind unter Ziffer 5.4.7 dieses Berichts im Bild 6 zusammengestellt. Es fällt auf, dass bei rund 25% aller Ereignisse eine Flüssigkeitsmenge von 100 l oder weniger freigesetzt wird.

Im Zusammenhang mit der Projektierung von Sicherheitsmassnahmen an Strassen sind ausschliesslich Freisetzungen von Mengen über 2000 l von Bedeutung. Der Forschungsstelle sind keine Fälle von Freisetzungen mit einem relevanten Schadenumfang mit geringen Mengen bekannt. Damit ist lediglich der obere Abschnitt der Summenkurve von Bedeutung.

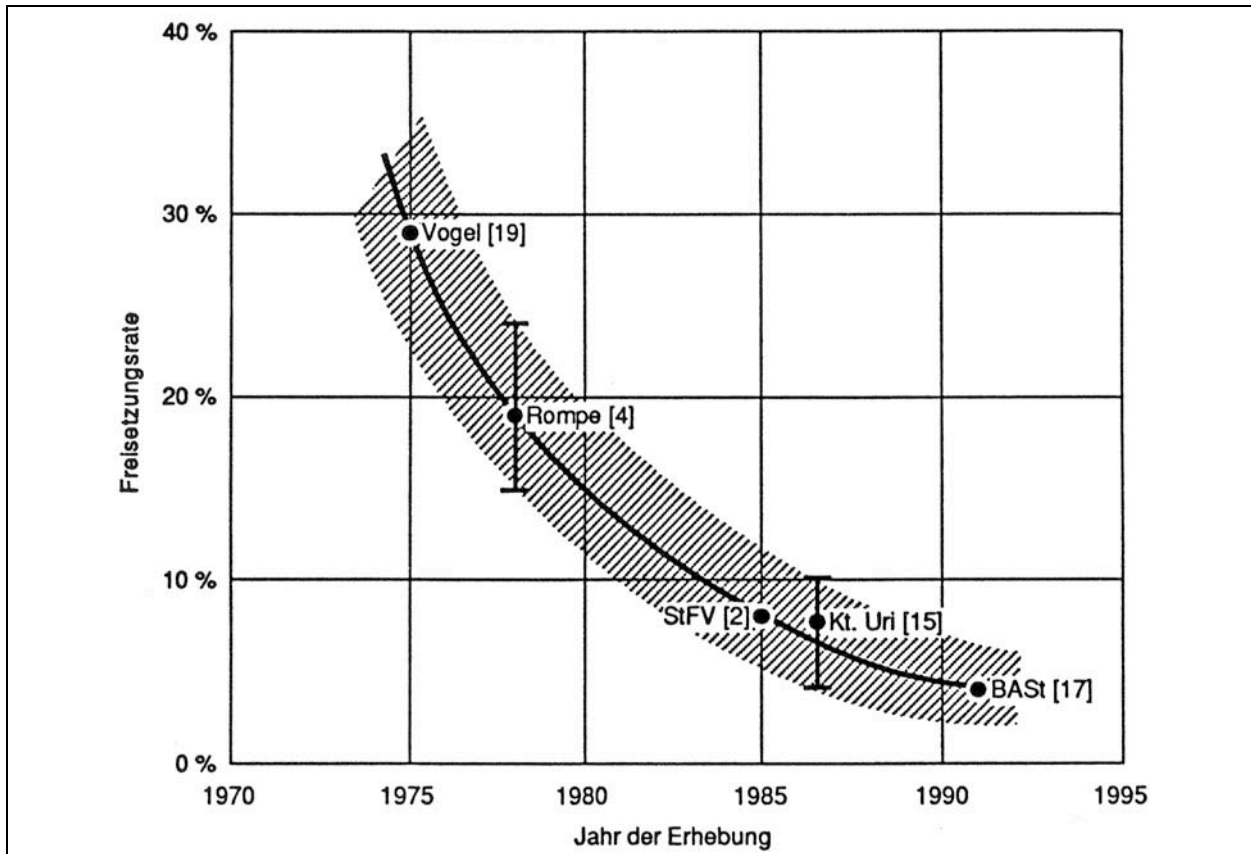


Bild 1: Zusammenstellung verschiedener Angaben über die Freisetzungsrate von Gefahrgut der SDR-Klasse 3 aus Transporttanks nach einem Unfall

Zum Bild 1 ist Folgendes festzustellen:

- Im Zusammenhang mit der Einführung von 40 t-Fahrzeugen ist das maximale Transportvolumen auf etwas über 30 m³ angestiegen.
- Wegen der Lage der Lecks fliesst kaum je der gesamte Inhalt des Transporttanks aus. Bei Heizöl oder Dieseltreibstoff ist in einigen Fällen auch ein Abdichten durch die Feuerwehr möglich.
- Die meisten in der Schweiz eingesetzten Tankfahrzeuge werden für die Verteilung zu den Verbrauchern eingesetzt. Es ist offen, ob dafür in einem grösseren Umfang 40 t-Tankfahrzeuge eingesetzt werden.

2.3 Gewässerschutz

2.3.1 Handbuch III zur Störfallverordnung

Geltungsbereich

Das Handbuch [7] regelt den Vollzug der Störfälle detailliert. Es enthält jedoch keine Angaben zur Beurteilung der Wirkung von Sicherheitsmassnahmen sowie deren Angemessenheit. Nachfolgend wird auf für den Schutz der Gewässer vor wassergefährdenden Flüssigkeiten massgebende Informationen hingewiesen.

Übersicht zu den Sicherheitsmassnahmen

◇ Massnahmen zur Herabsetzung des Gefahrenpotentials

Dazu gehören beispielsweise Mengenbeschränkungen des Transportgutes oder das Verbot des Transports bestimmter gefährlicher Güter. Diese Massnahmen liegen nur teilweise im Kompetenzbereich der Inhaber der Strasse. Auch eine kantonale Behörde kann von sich aus den Transport einer bestimmten wassergefährdenden Flüssigkeit auf einer Durchgangsstrasse nicht verbieten.

◇ Massnahmen zur Verhinderung von Störfällen

Dazu gehören die technischen und organisatorischen Massnahmen, die dem sicheren Transport wassergefährdender Flüssigkeiten dienen. Ebenfalls dazu gehören die aktive und die passive Sicherheit im Strassenraum.

◇ Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen von Störfällen

Diese Massnahmen werden bei einem Unfall wirksam. Dabei geht es vor allem um das Auffangen, Ableiten und Rückhalten von wassergefährdenden Flüssigkeiten.

Stand der Sicherheitstechnik

Die Schweiz ist einer der Pioniere im Bereich der Gewässerschutzmassnahmen bei der Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten auf Strassen mit grossem Tankfahrzeugverkehr. Bereits 1968 wurde die inzwischen ausser Kraft gesetzte EDI-Richtlinie [6] herausgegeben. Deshalb konnten in der Praxis entsprechende Erfahrungen gesammelt werden. Die Praxis beim Unterhalt und Betrieb der Sicherheitseinrichtungen haben gezeigt, dass die folgenden Anforderungen einen hohen Stand der Sicherheitstechnik gewährleisten:

- Hohes Niveau der Massnahmen zur Verhinderung von Freisetzungen
- Transparente, auf den Einsatz der Ereignisdienste ausgerichtete Massnahmen
- Unterhaltsgerechte und damit einfache Massnahmen

Wirtschaftliche Tragbarkeit

Die Störfallverordnung legt fest, dass der Inhaber eines Verkehrswegs alle zur Verminderung des Risikos geeigneten Massnahmen treffen muss, die nach dem Stand der Sicherheitstechnik verfügbar, aufgrund seiner Erfahrung ergänzt und wirtschaftlich tragbar sind (StFV Art. 3). Bei Ereignissen mit einer geringen Häufigkeit ist der Entscheid über die wirtschaftliche Tragbarkeit von Sicherheitsmassnahmen allgemein auf der Basis einer Grenzkostenberechnung zu fällen. Da eine solche Grundlage im Handbuch fehlt, wird sie im Entwurf zur Norm SN 640 364 (Anhang B) behandelt.

Grundsätze für allgemeine Sicherheitsmassnahmen

Im Anhang 2.3 der Störfallverordnung sind die Grundsätze für allgemeine Sicherheitsmassnahmen an Verkehrswegen festgelegt. Bei der Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten geht es vor allem um das Ausrüsten der Strasse mit den erforderlichen sicherheitstechnischen und baulichen Einrichtungen. Im Weiteren wird im Handbuch darauf hingewiesen, dass sich die "konkrete Ausgestaltung dieser Massnahmen" in Richtlinien und Normen der zuständigen Fachverbände finden. Mit diesem Hinweis wird eine Beziehung zur geplanten Norm SN 640 364 geschaffen.

Aufgaben des Strasseninhabers und der Behörde

Die massgebenden Elemente des Handbuches sind detaillierte Pflichtenhefte für die Inhaber von Strassen sowie die Behörden. Im Vordergrund stehen die Angaben zur Erstellung des Kurzberichts und der Risikoermittlung.

2.3.2 Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen

Die Wegleitung [9] behandelt die rechtlichen Grundlagen, die Planung der Abwasserbeseitigung, die Elemente von Strassenentwässerungsanlagen und die Schutzmassnahmen. Auf ergänzende Sicherheitsmassnahmen bei Unfällen mit wassergefährdenden Flüssigkeiten wird hingewiesen.

2.3.3 Wegleitung Grundwasserschutz

Übersicht

Die Wegleitung [10] legt die Kriterien für die Bezeichnung von Gewässerschutzbereichen sowie für die Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen und -arealen verbindlich fest. Massnahmen im Zusammenhang mit Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten werden allgemein in Grundwasserschutzzonen und -arealen vorgesehen. Es besteht somit eine Beziehung zwischen der Wegleitung und der Projektierung von Massnahmen an Strassenabschnitten in Zonen und Arealen. Deren Ausdehnung ist darauf ausgerichtet, dass wassergefährdende Stoffe aller Art von der Fassung ferngehalten werden.

Festlegung von Grundwasserschutzzonen

Da sich Strassen allgemein nicht in Zonen S1 (Fassungsbereich) befinden, sind für die Unfälle mit Tankfahrzeugen die Zone S2 (engere Schutzzone) und in den meisten Fällen die Zone S3 (weitere Schutzzone) von Bedeutung. Die Ausdehnung dieser Zonen soll unter anderem gewährleisten, dass bei drohender Gefahr - beispielsweise bei einer Havarie eines Tankfahrzeugs - für eine Intervention und Sanierungsmassnahmen genügend Zeit bis zu einer schädigenden Einwirkung auf die Grundwasserfassung zur Verfügung steht.

Ausbreitungswege von wassergefährdenden Flüssigkeiten

◇ Deckschichten und Boden

Unter Boden wird in der Wegleitung die oberste belebte Bodenschicht verstanden. Als Deckschicht wird der nicht wassergesättigte Untergrund bezeichnet. Beide Schichten bilden allgemein einen nachhaltigen Schutz des Grundwassers gegenüber

Belastungen durch versickerndes Wasser. Bei einer Freisetzung geringer Mengen wassergefährdender Flüssigkeiten kann eine mächtige Deckschicht zusammen mit dem Boden Schadstoffe zurückhalten. Im Fall eines Ausflusses einer grossen Menge von wassergefährdenden Flüssigkeiten aus einem Tankfahrzeug kann jedoch eine dünne Deckschicht günstiger sein, da eine Intervention bzw. eine Evakuierung der wassergefährdenden Flüssigkeiten über dem Kapillarsaum bzw. dem Grundwasserspiegel sehr rasch möglich ist.

◇ Mehrstöckige Grundwasservorkommen

In der Wegleitung wird auf den Schutz des zur Trinkwassernutzung geförderten Grundwassers im Fall eines mehrstöckigen Grundwasservorkommens hingewiesen. Wenn keine hydraulisch Verbindung zwischen dem oberflächennahen und dem tiefer liegenden genutzten Grundwasser besteht, ist das Letztere auch bei einer Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten geschützt.

◇ Karst-Grundwasser-Leiter

In der Wegleitung werden die Besonderheiten von Karst-Grundwasser-Leitern detailliert behandelt. Nach einem Tankfahrzeugunfall erfolgt die Ausbreitung wassergefährdender Flüssigkeiten sehr rasch. Zudem sind die Sickerwege nicht oder nur beschränkt erkennbar. In der Wegleitung wird auf die Vielfalt möglicher Ausbreitungswege bei Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten hingewiesen. Es wird auch festgestellt, dass die Gefahr einer Verschmutzung des gefassten Wassers häufig nicht mit zunehmender Entfernung des Gefahrenherdes von der Fassungstelle abnimmt. Dies bedingt, dass strassenbegleitende Sicherheitsmassnahmen auf grossen Längen vorgesehen werden müssen. Im Weiteren müssen vordringlich Mittel zur Herabsetzung des Gefahrenpotentials und allenfalls zusätzlich solche zur Verhinderung von Freisetzungen angerechnet werden.

Spezielle Angaben zu Strassen

In der Wegleitung findet sich eine Referenztabelle, welche Angaben zur Zulässigkeit von Strassen in unterschiedlicher Lage mit und ohne Benutzungsbeschränkung für Tankfahrzeuge aus der Sicht des Gewässerschutzes enthält. Strassen ausser Güter- und Waldstrassen sind in den Zonen S1 und S2 nicht zulässig. Ausnahmen aus wichtigen Gründen sind möglich. Es existieren jedoch heute noch zahlreiche Haupt- und Verbindungsstrassen, welche Zonen S2 durchqueren.

2.3.4 Störfallsicherheit von Kläranlagen und Gewässern

Übersicht

Die im Auftrag der Koordinationsstelle für Störfallvorsorge des Kantons Zürich bearbeitete Untersuchung [22] enthält basierend auf einer Umfrage bei Kantonen eine Übersicht über Schadenereignisse, Ursachen, Verursacher und Schäden. Für die vorliegende Forschungsarbeit waren vor allem die folgenden Elemente des Berichts von Interesse.

Umfrage bei Kantonen

Die beauftragte Stelle führte eine Umfrage bei 14 Kantonen zu Ereignissen mit Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten in den Jahren 1988 bis 1999 durch. Aus den Auswertungen ergaben sich die folgenden Feststellungen:

- Im Erhebungszeitraum ereigneten sich 6 Verkehrsunfälle mit einer Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten. Dabei kam es in 2 Fällen zu einer Gewässerverschmutzung, in 4 Fällen war eine Abwasserreinigungsanlage betroffen.
- Grundwasserkontaminationen als Folge von Exfiltrationen aus Oberflächengewässern traten keine auf.
- Das direkte Versickern von Schadstoffen führte in 2 Fällen zu einer Beeinträchtigung der Grundwasserqualität, welche die Stilllegung von Grundwasserfassungen (Pumpwerke) notwendig machte.
- Die Umfrage lieferte nur wenige Angaben zum finanziellen Ausmass von Schäden. Im Fall einer Boden- und Grundwasserkontamination wegen freigesetzten Öls mit einem Volumen von 35 m³ wurde ein finanzieller Schaden von ca. Fr. 1 Mio. angegeben.

Auswertung von Zeitungsartikeln

Ausgewertet wurden Meldungen im "Tages-Anzeiger" und in der "Neuen Zürcher Zeitung" im Zeitraum vom 01.12.1989 bis 01.12.1993. Aus insgesamt 820 Meldungen zu Ereignissen in der Schweiz wurden 59 ausgewählt, die eine Beeinträchtigung einer Abwasserreinigungsanlage oder eine Gewässerverschmutzung zur Folge hatten. Die Auswertung ergab die folgenden Resultate:

- Es wurden gesamthaft 11 Verkehrsunfälle mit Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten registriert. Davon handelte es sich bei 4 Fällen um "Öl" und bei 4 Fällen um Benzin.
- Der Anteil von Verkehrsunfällen liegt bei knapp 10%. Dabei handelte es sich in 75% der Fälle um "Öl" und Benzin.

2.4 Bodenschutz

2.4.1 Übersicht

Zwischen dem Boden- und dem Gewässerschutz bestehen im Bereich der diffusen Verschmutzung starke Beziehungen. Dies betrifft das Versprühen von Strassenabwasser in das Umfeld, das Entwässern über das Bankett bzw. das Versickern im Bankett in eine Oberbodenschicht auf einer fallenden Böschung oder in eine bewachsene Rinne.

Durch das grossflächige Versickern und das Kontaminieren des Oberbodens findet eine Behandlung des Strassenabwassers zu Gunsten des Gewässerschutzes statt. Demgegenüber sind Bodenverschmutzungen als Folge von Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten aus Tankfahrzeugen lokale Ereignisse sowie in Anbetracht ihrer Seltenheit und wegen der in den meisten Fällen nachhaltigen Sanierung vernachlässigbare Vorkommnisse.

2.4.2 Leitfaden Bodenschutz beim Bauen

Der Leitfaden [11] legt das Vorgehen bei Erdarbeiten fest, bei denen Bodenmaterial abgetragen, transportiert, zwischengelagert und wieder angelegt wird. Diese Arbeiten sind für Abdichtungen zum Auffangen und Ableiten von wassergefährdenden Flüssigkeiten notwendig. Im Hinblick auf die Filterwirkung des wieder angelegten Bodens gemäss der Wegleitung [9] sind die Vorschriften des Leitfadens zu beachten.

3 Beschreibung und Auswertung von Ereignissen

3.1 Hinweise zu den Recherchen

Die Forschungsstelle hat in den letzten Jahren Unfälle mit einer Beteiligung von Tankfahrzeugen sowie Kesselwagen der SBB bezüglich verschiedenster Aspekte recherchiert. Dabei handelt es sich um ausgewählte Ereignisse, die erhebliche finanzielle Schäden und in einigen Fällen erhebliches Aufsehen in den Medien verursacht haben.

In einigen Fällen war es möglich, vor Ort Informationen zu beschaffen. Die Qualität und der Umfang der beschafften Informationen waren dabei sehr unterschiedlich. Im Vordergrund standen Informationen zu den Ausbreitungswegen und zur Intervention der Ereignisdienste inklusive der mit Sanierungsarbeiten beauftragten Unternehmer.

Da der Forschungsstelle in keinem der recherchierten Fälle bleibende Schädigungen bekannt geworden sind, sind diesbezüglich keine eingehenden Untersuchungen durchgeführt worden. Insbesondere ist auch nur in einem Fall in einem Karstgebiet eine wenig schwerwiegende Einwirkung auf eine Grundwasserfassung registriert worden. Die nachfolgenden Beschreibungen weisen Unschärfen auf, die im Hinblick auf eine Auswertung für die Projektierung von Sicherheitsmassnahmen oder die Einsatzplanung von Ereignisdiensten jedoch ohne Bedeutung sind.

3.2 Übersicht über die Ereignisse

In der Tabelle 1 ist eine Übersicht über die recherchierten Ereignisse zusammengestellt. Detaillierte Beschreibungen der Unfallhergänge, örtlichen Verhältnisse, Ausbreitungswege der wassergefährdenden Flüssigkeiten, Einsatz der Ereignisdienste und Sanierungsmassnahmen mit Plänen und Fotos sind im Anhang A enthalten.

<i>Ort</i>	<i>Datum</i>	<i>Fahrzeug</i>	<i>Flüssigkeit</i>	<i>Freigesetzte Menge</i>
Birmenstorf AG	08.09.1986	Tanklastwagen mit Anhänger	Heizöl	7'500 l
Bahnhof Au SG	19.09.1988	Bahn-Zisternenwagen	Kerosen	370'000 l
Bahnhof Landquart GR	12.10.1991	Bahn-Zisternenwagen	Benzin	80'000 l
Hirzel ZH	15.10.1993	Tanklastwagen	Benzin	5'500 l
Bullingerstrasse Zürich	29.08.1998	Tanklastwagen	Benzin	23'000 l (grösstenteils verbrannt)
Menzingen ZG	02.03.2000	Tanklastwagen	Benzin	14'000 l
Kreuzlingen TG	02.06.2000	Tanklastwagen	Benzin	18'000 l (grösstenteils verbrannt)
Autobahn A4, Risch ZG	06.06.2001	Tanklastwagen mit Anhänger	Heizöl	8'700 l

Tabelle 1: Durch die Forschungsstelle recherchierte Strassenverkehrsunfälle mit Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten

3.3 Erkenntnisse und Folgerungen

Die Erkenntnisse und Folgerungen basieren auf der Auswertung der in der Tabelle 1 zusammengestellten acht Unfälle, sechs auf Strassen und zwei auf Bahnanlagen. Sie lauten wie folgt:

- Auf der Strasse dominieren Unfälle von Tankfahrzeugen in Kurven mit kleinen Radien. Von den sechs ausgewerteten Ereignissen haben sich vier (Hirzel, Zürich, Menzingen und Kreuzlingen) in engen Kurven ereignet. Im Übrigen liegt das Schwergewicht auf Hauptstrassen.
- Die freigesetzten Mengen wassergefährdender Flüssigkeiten sind allgemein erheblich kleiner als die transportierte Menge.
- In bindigen Böden und in Untergründen mit durchlässigen und undurchlässigen Schichten erfolgt die Ausbreitung wassergefährdender Flüssigkeiten vielfach in den aus Sand oder Kiessand bestehenden Umhüllungen von unterirdischen Leitungen sowie in Kabelkanälen aus Beton oder Zores-Kanälen. Dadurch können sich grossflächige Kontaminationen ergeben. Das Auffinden der kontaminierten Flächen ist bei diesen Fällen vielfach schwierig.
- Auch bei heterogenen Bodenverhältnissen an Abhängen ist der Einsatz der Ereignisdienste mit anschliessendem Abtrag von kontaminiertem Bodenmaterial effektiv und effizient.
- An Unfallstandorten mit Flussschotter bzw. kiesig-sandigen Böden ist der Einsatz einer Bodenluftabsauganlage eine wirksame und kostengünstige Sanierungsmethode.
- Der Einsatz der Ereignisdienste zusammen mit den nachfolgenden Sanierungsmaßnahmen konnte in allen Fällen eine Altlast verhindern.

Die oben zusammengestellten Schlussfolgerungen beziehen sich nur beschränkt auf Ereignisse in Karstgebieten, wo mit grösseren Schäden zu rechnen ist. Der einzige der Forschungsstelle bekannte Fall in einem Karstgebiet ist ein Unfall eines Tankfahrzeugs auf der J10 im Gemeindegebiet von Rochefort am 01.10.1993, bei dem eine Fassung der Wasserversorgung von Neuenburg durch Benzin kurzzeitig betroffen war.

4 Grundlagen für die Norm SN 640 364

4.1 Elemente und Struktur der Norm

Die Norm SN 640 364 ist eine Anleitung für die Beurteilung des Einsatzes von Sicherheitsmassnahmen bezüglich ihrer Wirkung sowie die technische Grundlage für die Projektierung der Massnahmen. Diese Elemente spiegeln sich im Aufbau der Norm, der aggregiert im Bild 2 dargestellt ist.

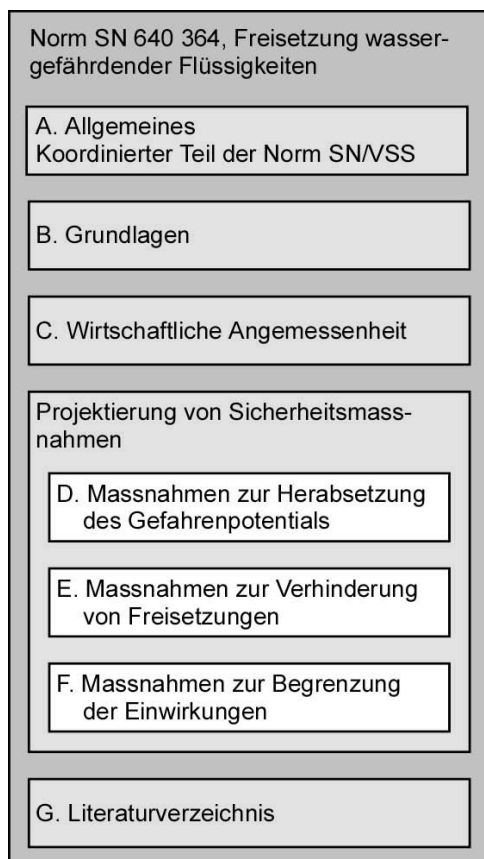


Bild 2: Elemente der Norm SN 640 364 «Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten»

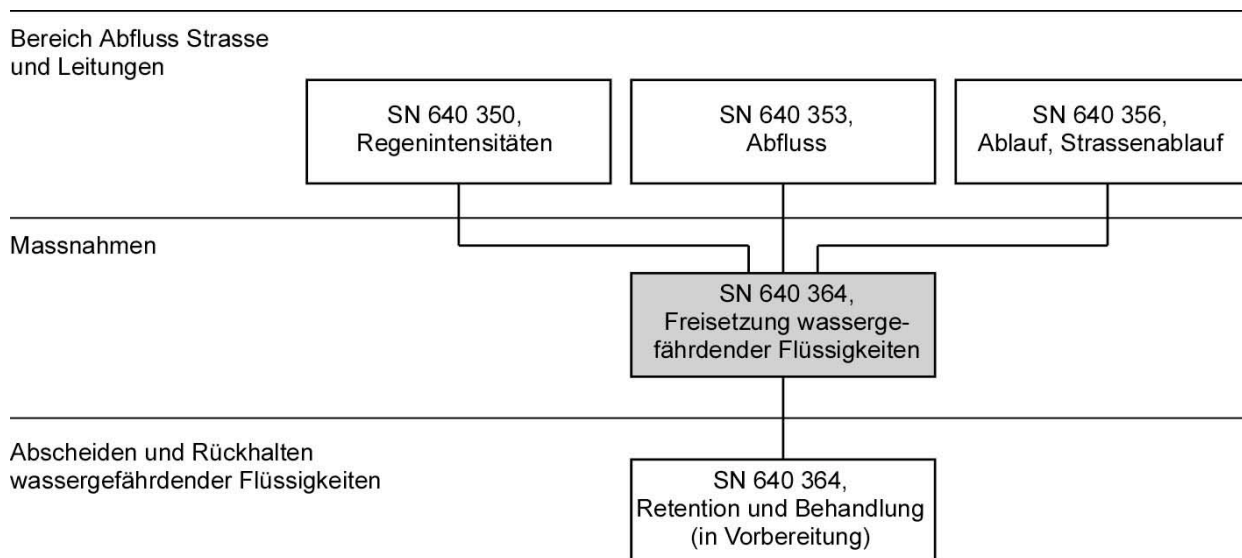


Bild 3: Beziehungen der Norm SN 640 364 in der Normengruppe Strassenentwässerung (Stand 2003)

4.2 Stellung der Norm SN 640 364 im VSS-Normenwerk

Die Beziehungen innerhalb der Normengruppe Strassenentwässerung sind im Bild 3 dargestellt. Sie bestehen aus den Bereichen Auffangen, Ableiten, Abscheiden und Rückhalten von wassergefährdenden Flüssigkeiten. Es ist jedoch zu beachten, dass auch Beziehungen zu anderen Normen bestehen, insbesondere in den bezüglich Massnahmen umfangreichen Fachbereichen der Aktiven und der Passiven Sicherheit.

4.3 Übersicht über die Szenarien

Die Szenarien der Abflüsse wassergefährdender Flüssigkeiten nach einer Freisetzung sind im Bild 4 dargestellt.

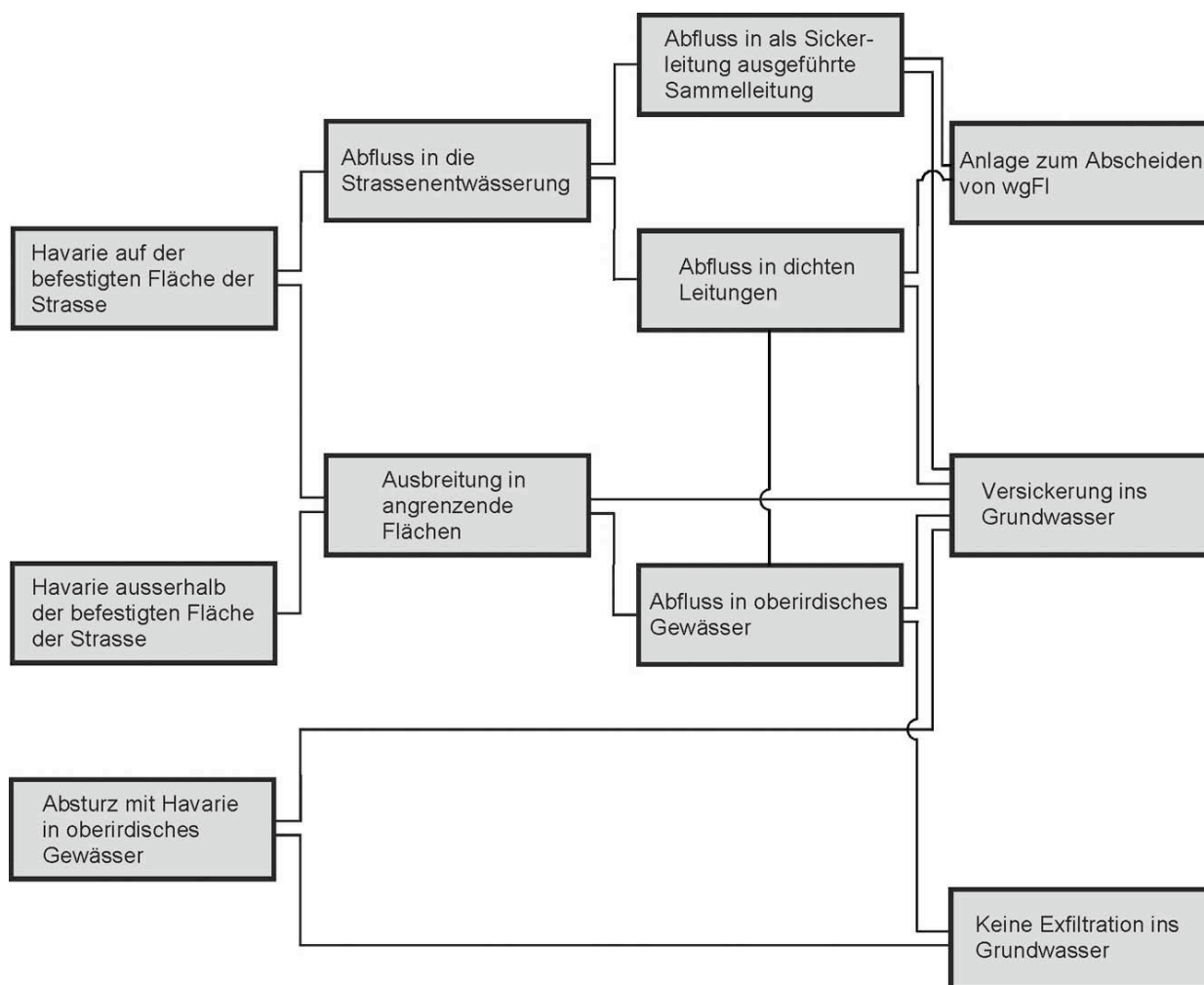


Bild 4: Szenarien der Abflüsse wassergefährdender Flüssigkeiten nach einer Freisetzung

4.4 Referenzstoffe

Als Referenzstoff für die Projektierung von Massnahmen wird von Mineralölprodukten (Benzin, Heizöl und Dieseltreibstoff) ausgegangen. Dies ist wie folgt begründet:

- Der Anteil von Mineralölprodukten am gesamten Transportvolumen auf Strassen beträgt ca. 70 %.
- An den von der Forschungsstelle recherchierten Ereignissen mit relevanten Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten an Strassen waren ausschliesslich

Tankfahrzeuge mit Benzin oder Heizöl beteiligt. Der Forschungsstelle sind Unfälle auf Strassen mit erheblichen Schäden im Zusammenhang mit sonstigen wassergefährdenden Stoffen nicht bekannt.

- Im Rahmen einer Untersuchung zur Störfallsicherheit von Kläranlagen und Gewässern [22] sind bei Freisetzung im Strassenraum nur selten andere Stoffe als Mineralölprodukte erwähnt worden.
- Flüssigkeiten mit einem sehr hohen Grad an Gefährlichkeit werden gemäss der Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse [4] so verpackt, dass die Freisetzungsraten gering sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Mineralölprodukte bei Unfällen mit Tankfahrzeugen und Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten für die Massnahmenprojektierung massgebend sind.

4.5 Massgebende Fahrzeuge

An den bekannten Unfällen mit Freisetzungen von grösseren Mengen von wassergefährdenden Flüssigkeiten waren immer Tankfahrzeuge (Lastwagen mit und ohne Anhänger, Sattelschlepper) beteiligt. Für die Projektierung von Sicherheitsmassnahmen ist deshalb immer von Unfällen mit Beteiligung von Tankfahrzeugen auszugehen. Detaillierte Angaben zu den Fahrzeugarten finden sich im Bericht der BAST [18].

5 Wirtschaftliche Tragbarkeit von Massnahmen

5.1 Allgemeines

Gemäss der Störfallverordnung (StfV) [3] ist die wirtschaftliche Tragbarkeit eine allgemein gültige Anforderung an Sicherheitsmassnahmen:

StfV Art. 3 Abs. 1

Der Inhaber eines Verkehrswegs muss alle zur Verminderung des Risikos geeigneten Massnahmen treffen, die nach dem Stand der Sicherheitstechnik verfügbar, aufgrund seiner Erfahrung ergänzt und wirtschaftlich tragbar sind.

Die wirtschaftliche Tragbarkeit ist im Handbuch III [7] unter Ziffer 2.2, Vorsorgliche Sicherheitsmassnahmen, konkretisiert:

Sicherheitsmassnahmen sind dann wirtschaftlich tragbar, wenn die dazu nötigen Aufwendungen in einem angemessenen Verhältnis sowohl zum erzielbaren Erfolg in der Risikominderung als auch zum Gesamtaufwand für Bau, Betrieb und Unterhalt des Verkehrswegs stehen.

Im zitierten Absatz wird ausdrücklich auch auf den Aufwand für Betrieb und Unterhalt hingewiesen. Dieser kann speziell im Fall von Pumpanlagen, Steuerungen, Fernwirk-systemen oder Alarmeinrichtungen erheblich sein.

Die wirtschaftliche Tragbarkeit ist also eine Anforderung, die alle Sicherheitsmassnahmen betrifft. Sie steht in keinem Widerspruch zum aktuellen Stand der Sicherheitstechnik. Dies gilt speziell im Fall von Massnahmen im Zusammenhang mit Havarien von Tankfahrzeugen. Hier stehen zahlreiche Mittel zur Verfügung, die es in vielen Fällen gestatten, mit wenig Aufwand einen erheblichen Sicherheitszuwachs zu bewirken. Es ist dabei auf verkehrslenkende oder beschränkende Massnahmen gemäss StfV Anhang 2.3, die Beseitigung von gefährlichen Hindernissen im Seitenraum der Strasse oder den Einsatz von ungefährlichen Tragwerken der Strassenausrüstung hinzuweisen.

5.2 Beurteilung der Notwendigkeit von Massnahmen

Die Praxis im Zusammenhang mit den EDI-Richtlinien [6] hat in der Vergangenheit gezeigt, dass die Notwendigkeit von Sicherheitsmassnahmen in den einzelnen Kantonen unterschiedlich beurteilt wurde. In verschiedenen Fällen wurden auch Massnahmen mit einer geringen Effizienz projiziert.

Das Handbuch III enthält keine Methode zur Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit. Die Angemessenheit von Investitionen kann insbesondere bei einer geringen Häufigkeit von Schadenereignissen nicht ohne weiteres geschätzt werden. Deshalb ist in solchen Fällen eine numerische Berechnung notwendig.

Gemäss dieser Ausgangslage bestehen keine Alternativen zur Methode der Berechnung von Grenzkosten für die Beurteilung des Einsatzes von Sicherheitsmassnahmen. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass auch die Berechnung von Grenzkosten ungenau ist.

5.3 Übersicht zur Berechnung der Grenzkosten

Die Berechnung von Grenzkosten basiert auf der Häufigkeit von Ereignissen und dem Schadenausmass. Beide Werte weisen generell grosse Ungenauigkeiten auf und sind deshalb bestenfalls als Schätzungen zu betrachten.

Es ist jedoch positiv zu bewerten, dass für die Häufigkeit statistische Grundlagen vorhanden sind und dass die Unterschiede der Schadenausmasse nicht extrem variieren. In zahlreichen anderen Fachbereichen sind die Ungenauigkeiten von geschätzten Grenzkosten erheblich grösser.

Die Grenzkosten berechnen sich nach der folgenden Formel (vgl. Bild 5):

$$\text{GKM} = \text{HF} \cdot \text{WHF} \cdot \text{SA} \cdot \text{WSA} \cdot \text{GWF}$$

GKM	[Fr km ⁻¹ a ⁻¹]	Grenzkosten von Massnahmen (Franken pro km und Jahr)
HF	[km ⁻¹ a ⁻¹]	Häufigkeit einer relevanten Freisetzung (Anzahl Ereignisse pro km und Jahr)
WHF	[-]	Wirkungsfaktor von Massnahmen zur Herabsetzung der Häufigkeit
SA	[Fr]	Schadenausmass bei einer relevanten Freisetzung
WSA	[-]	Wirkungsfaktor von Massnahmen zur Herabsetzung des Schadenausmasses
GWF	[-]	Gegenwartswertfaktor (vgl. Ziffer 5.8)

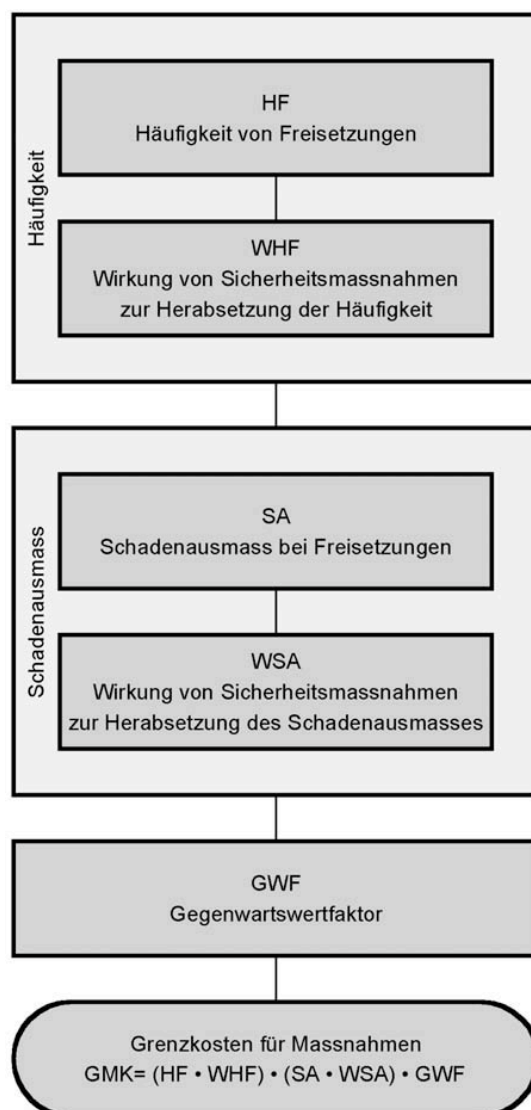


Bild 5: Elemente der Grenzkostenberechnung

5.4 Häufigkeit von Freisetzungen

Die Häufigkeit von Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten berechnet sich nach der folgenden Formel. Die Faktoren und ihre Ermittlung sind in den folgenden Ziffern dargelegt. Zu den meisten Faktoren finden sich Angaben im Handbuch [7].

$$HF = DTV \cdot 365 \cdot ASV \cdot AGS \cdot ASK \cdot UGV \cdot UAF \cdot RFZ$$

HF	[km ⁻¹ a ⁻¹]	Häufigkeit einer relevanten Freisetzung (Anzahl Ereignisse pro km und Jahr)
DTV	[Fz/d]	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
ASV	[-]	Anteil des Schwerverkehrs am Gesamtverkehr
AGS	[-]	Anteil des Gefahrgutverkehrs am Schwerverkehr
ASK	[-]	Anteil der massgebenden SDR-Klasse am Gefahrgutverkehr
UGV	[Fz ⁻¹ km ⁻¹]	Unfallrate des Gefahrgutverkehrs
UAF	[-]	Anteil der Unfälle mit Abirren an der Gesamtzahl der Unfälle
RFZ	[-]	Rate für die relevante Freisetzung

5.4.1 Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)

Angaben sind bei den für die entsprechenden Strassen zuständigen Strassenverwaltungen erhältlich.

5.4.2 Anteil Schwerverkehr am Gesamtverkehr (ASV)

Sicherheitsmassnahmen werden in den meisten Fällen an Strassen mit einer vergleichsweise grossen Verkehrsmenge ausgeführt. In solchen Fällen stehen bei den Strassenverwaltungen in der Regel ASV-Daten zur Verfügung.

5.4.3 Anteil Gefahrgutverkehr am Schwerverkehr (AGS)

Angaben sind teilweise bei den Strassenverwaltungen erhältlich. Auf Strassen mit grossem Verkehr kann er auch durch eine Zählung ermittelt werden. An Strassen mit regionalem Charakter kann er aus dem Versorgungsgebiet abgeleitet werden. In diesem Fall sind die Faktoren DTV, ASV, AGS und ASK nicht zu verwenden. Die Praxis hat gezeigt, dass die Bestimmung des täglichen Gefahrgutverkehrs mittels Zählungen oder basierend auf Versorgungsgebieten normalerweise nicht massgeblich von einander abweichende Zahlen ergeben.

5.4.4 Anteil der massgebenden SDR-Klasse am Gefahrgutverkehr (ASK)

Gemäss Ziffer 4.4 sind die Referenzstoffe bei Freisetzungen als Folge von Strassentransporten Mineralölprodukte. Diese decken im Wesentlichen die Klasse 3, entzündbare flüssige Stoffe, gemäss der SDR-Verordnung [4] ab. Für Hochleistungs- und Hauptstrassen kann gemäss dem Handbuch [7] im schweizerischen Mittel von einem Anteil von 0,70 am Gefahrgutverkehr ausgegangen werden.

Im Bericht der Bundesanstalt für Strassenwesen [20] wird bezüglich der Gefahrgutklassen bei Unfallereignissen auf die nachfolgend zitierten Grundlagen hingewiesen:

Im Zeitraum von 1991 bis 1993 ereigneten sich nach der amtlichen Verkehrsunfallstatistik (StBA, 1991 bis 1993) durchschnittlich ca. 74 Gefahrgutunfälle pro Jahr auf der Strasse. Die Verteilung der Unfälle auf die einzelnen Gefahrgutklassen ist in diesem sehr kurzen Zeitablauf relativ konstant. Mit einem Anteil von 75% ereigneten sich die meisten der insgesamt 2'233 Unfälle mit Gefahrgütern der Gefahrgutklasse 3 (entzündbare flüssige Stoffe). Die Sonderauswertung der Bundesanstalt für Strassenwesen zu Gefahrgutunfällen mit Tankfahrzeugen (BAST, 1989 bis 1991) kommt hinsichtlich der Verteilung der erfassten Unfälle auf die einzelnen Gefahrgutklassen zu folgendem Ergebnis: 103 (82 %) der 126 an einem Unfall beteiligten Gefahrgutfahrzeuge, bei denen Angaben zur transportierten Gefahrgutklasse vorliegen, hatten Produkte der Gefahrgutklasse 3 (wie z.B. Benzin und Heizöl) geladen. Die Auswertung der Unfallberichte der Fachzeitschrift Gefährliche Ladung (1988 bis 1994) unterstreicht dieses Ergebnis. Auch hier sind mit 62 % am häufigsten Gefahrgüter der Klasse 3 in Gefahrgutunfällen involviert.

Basierend auf diesen Grundlagen ist der Anteil der massgebenden SDR-Klasse am Gefahrgutverkehr $ASK = 0,70$ anzunehmen.

5.4.5 Unfallrate des Gefahrgutverkehrs (UGV)

Grundlagen im Handbuch III

Da bei den meisten Strassen keine Daten zum Unfallgeschehen vorliegen, finden sich im Handbuch III [7] Angaben zu den Unfallraten für den Gesamtverkehr. Diese beziehen sich auf die Strassenverkehrsstatistik 1990 und sind nachfolgend (mit Streubereichen) aufgeführt:

– Autobahnen	$0,45 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$	$(\pm 0,20 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km})$
– Autostrassen	$0,50 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$	$(\pm 0,10 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km})$
– Hauptstrassen ausserorts	$1,20 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$	$(\pm 0,40 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km})$
– Hauptstrassen innerorts	$2,10 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$	$(\pm 0,40 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km})$

Die Unfallrate des Schwerverkehrs ist im schweizerischen Durchschnitt etwa halb so gross wie jene des Gesamtverkehrs. Für die Unfallrate des Gefahrgutverkehrs ist kein Wert angegeben. Mangels genauerer Daten ist sie als gleich hoch anzunehmen wie jene des Schwerverkehrs.

Es ist festzustellen, dass diese Werte relativ ungenau sind. Auf Hauptstrassen mit un-
stetiger Linienführung ist zudem der Durchschnittswert nicht aussagekräftig. Dies gilt
speziell für Abkommensunfälle mit Tankfahrzeugen, die vergleichsweise häufig in
oder unmittelbar nach Kurven von der Strasse abkommen oder rollen und anschlies-
send so kippen, dass der havarierte Transporttank ausserhalb der befestigten Strassen-
fläche zu liegen kommt. Für diese Fälle wird der im Handbuch III nicht enthaltene Fak-
tor UAF (Ziffer 5.4.6) eingeführt.

Aktuelle Unfalldaten des Gesamtverkehrs

Für die Nachführung und Auswertung der Unfalldaten ist die Beratungsstelle für Un-
fallverhütung bfu verantwortlich. Diese lieferte der Forschungsstelle die folgenden
aktuellen Unfallraten für den Gesamtverkehr basierend auf dem Unfallgeschehen im
Jahre 2003:

– Autobahnen	$0,38 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$
– Hauptstrassen ausserorts inkl. Autostrassen	$0,70 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$
– Strassen innerorts	$2,37 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$

Unfallraten des Gefahrgutverkehrs

Basierend auf den oben angegebenen Werten werden für die Norm SN 640 364 die folgenden Unfallraten UGV vorgeschlagen:

◇ Autobahnen

Für den Gefahrgutverkehr wird der halbierte aktuelle bfu-Wert für den Gesamtverkehr angenommen:

$$\text{UGV (Autobahnen)} = 0,20 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$$

◇ Autostrassen

Für die Autostrassen fehlt eine Angabe seitens der bfu. Es wird ein Wert angenommen, der auf der Differenz zwischen Autobahnen und Autostrassen gemäss dem Handbuch III basiert:

$$\text{UGV(Autostrassen)} = 0,25 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$$

◇ Hauptstrassen ausserorts

Der Anteil der Autostrassen am gesamten Strassennetz ausserorts ist gering. Für Hauptstrassen ausserorts wird der halbierte Wert der bfu für den Gesamtverkehr auf Hauptstrassen ausserorts inkl. Autostrassen angenommen:

$$\text{UGV (Hauptstrassen ausserorts)} = 0,35 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$$

◇ Hauptstrassen innerorts

Für den Gefahrgutverkehr wird der halbierte aktuelle bfu-Wert für den Gesamtverkehr angenommen:

$$\text{UGV (Hauptstrassen innerorts)} = 1,20 \times 10^{-6} / \text{Fz} \cdot \text{km}$$

5.4.6 Anteil der Abkommensunfälle (UAF)

Allgemeines

Das Handbuch III [7] liefert nur schweizerische Durchschnittswerte für die Ermittlung der Häufigkeit von Unfällen mit Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten. Insbesondere auf Hauptstrassen mit unstetiger Linienführung ist jedoch die Unfallhäufigkeit wesentlich höher. Deshalb wird in Abweichung zum Handbuch III ein zusätzlicher Faktor für die lokalen Verhältnisse eingeführt.

Bei Abkommensunfällen mit Tankfahrzeugen erfolgt nach dem Verlassen der Fahrbahn entweder ein Anprall an ein festes Hindernis oder eine starke Rollbewegung beim Aufahren auf eine steigende Böschung oder beim Absturz über eine fallende Böschung. In diesen Fällen tritt häufig eine Havarie des Transporttanks auf.

Im VESIPO-Bericht [19] findet sich eine Zusammenstellung nach Unfallkategorien der im Jahre 2000 auf Strassen ausserorts Getöteten und Schwerverletzten basierend auf der Unfallstatistik des Bundesamtes für Statistik bzw. der Beratungsstelle für Unfallverhütung (Tabelle 2). Gemäss dieser Zusammenstellung beträgt der Anteil der Unfallkategorie "Kollision mit festem Hindernis ausserhalb der Fahrbahn" 24,2 % und jener der Kategorie "Schleuder-/Selbstunfall ohne Kollision" 10,1% am Unfallgeschehen.

Die Angabe, die sich auf schwerverletzte und getötete Personen bezieht, kann als Indiz für den Anteil der Abkommensunfälle von Tankfahrzeuge betrachtet werden. Tankfahrzeuge weisen bezüglich der aktiven Sicherheit im Vergleich zu anderen Strassenfahrzeugen ungünstige Charakteristiken auf, insbesondere die Höhe des Schwerpunktes des beladenen Fahrzeugs oder der variable Schwerpunkt als Folge von Schwall im Transporttank. Diese Eigenschaften können nicht nur das Abkommen von der Fahrbahn, sondern auch das Rollen ausserhalb der Fahrbahn begünstigen.

<i>Unfallkategorie</i>	<i>absolut</i>	<i>%</i>
Kollision beim Überholen mit einem entgegenkommenden Fahrzeug	692	27,5
Kollision mit festem Hindernis ausserhalb Fahrbahn	609	24,2
Kollision an Knoten	456	18,1
Schleuder-/Selbstunfall ohne Kollision	255	10,1
Total der 4 Unfallkategorien (Unfalltypen)	2'012	79,9

Tabelle 2: Getötete und Schwerverletzte ausserorts nach Unfallkategorien im Jahre 2000 (BFS, bfu)

In der Tabelle 3 findet sich eine Zusammenstellung von Ereignissen in den Jahren 1980 bis 1993 mit Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten mit Angaben zum Unfalltyp. In der Zusammenstellung sind 23 Ereignisse aufgeführt, 18 davon sind Selbstunfälle, 1 Unfall mit einer Kollision sowie 4 mit unbekanntem Typ. In Anbetracht dieser Zusammenstellung ist davon auszugehen, dass der Wert des Anteils der Abkommensunfälle bei 0,8 für Strassen ohne Richtungstrennung liegt.

<i>Ort</i>	<i>Jahr</i>	<i>Unfalltyp</i>	<i>Ort</i>	<i>Jahr</i>	<i>Unfalltyp</i>
Bonaduz GR	1980	Typ unbekannt	Eglisau ZH	1988	Selbstunfall
Susch GR	1983	Typ unbekannt	Ins BE	1988	Selbstunfall
Horw LU	1984	Selbstunfall	Reconvilier BE	1988	Selbstunfall
Schluen GR	1984	Typ unbekannt	Gurbrü BE	1988	Selbstunfall
Hettiswil BE	1985	Selbstunfall	Ernen VS	1988	Selbstunfall
Davos/Flüela GR	1985	Kollision	Maienfeld GR	1989	Typ unbekannt
La Joux FR	1986	Selbstunfall	Zurzach AG	1990	Selbstunfall
Birmenstorf AG	1986	Selbstunfall	Camarino TI	1993	Selbstunfall
Hendschiken AG	1987	Selbstunfall	Rochefort NE	1993	Selbstunfall
Beinwil AG	1987	Selbstunfall	Hirzel ZH	1993	Selbstunfall
Avenches FR	1987	Selbstunfall	Total 23 Unfälle in 13 Jahren davon Selbstunfälle 18 (78%)		
Ecublens VD	1987	Selbstunfall			
Gisikon LU	1987	Selbstunfall			

Tabelle 3: Unfalltypen von Ereignissen mit Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten aus Tanklastfahrzeugen 1980 bis 1993, Ereignisliste des BUWAL

Im Bericht der deutschen BAST [18] wird bezogen auf Gefahrguttransporte der Unfalltyp "Längsverkehr" aufgeführt. Dieser weist einen Anteil von 46 % auf und wird als häufigste Unfallart bezeichnet. Innerhalb dieses Unfalltyps hat die Unfallart "Auffahren auf ein fahrendes Fahrzeug" eine grosse Bedeutung. Diese Angaben weichen erheblich von einer Auswertung der Zusammenstellung des BUWAL gemäss Tabelle 3 ab. Dies

ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Auswertung der BAST sich auf Unfälle mit Personenschäden beschränkt. Die Praxis zeigt jedoch, dass bei Unfällen mit Tankfahrzeugen häufig kein Personenschaden entsteht.

Abweichung von den Durchschnittswerten

Die Abkommenswahrscheinlichkeit ist von folgenden Eigenschaften der Strasse und des Strassenraums abhängig:

- Horizontale Linienführung: Auf Strassen mit unstetiger Linienführung und engen Kurven ist die Abkommenswahrscheinlichkeit deutlich höher als der Durchschnitt.
- Vertikale Linienführung: Auf Strassen mit starker Längsneigung ist die Abkommenswahrscheinlichkeit überdurchschnittlich.
- Geschwindigkeit: Bei hohen gefahrenen Geschwindigkeiten ist die Abkommenswahrscheinlichkeit im Prinzip überdurchschnittlich. Weil aber die signalisierten Höchstgeschwindigkeiten dem Ausbaugrad der Strasse angepasst sind, ist dieser Einfluss von geringer Bedeutung.
- Bestehende Schutzeinrichtungen: Schutzeinrichtungen hindern Fahrzeuge bis zu einem gewissen Grad daran, von der Fahrbahn abzukommen. Ein voll beladenes Tankfahrzeug mit einer hohen Geschwindigkeit kann aber normalerweise von einer Schutzeinrichtung aus Stahl (Leitschranke) nicht aufgehalten werden. Schutzeinrichtungen aus Beton (Leitmauern) verursachen andererseits mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Leck am Transporttank.

Zur Abkommenswahrscheinlichkeit infolge Kurvigkeit der Strasse gibt es keine Daten. Immerhin zeigen die von der Forschungsstelle recherchierten Unfälle, dass die Kurvigkeit ein sehr massgebender Parameter bei der Schätzung der Häufigkeit von Unfällen darstellt (Ziffer 3). In vier der sechs beschriebenen Fälle (Hirzel, Bullingerstrasse, Menzingen, Kreuzlingen) war die Kurvigkeit in Kombination mit den oben erwähnten Charakteristiken von Tankfahrzeugen mit grosser Wahrscheinlichkeit der massgebende Auslöser des Ereignisses.

Abkommensunfälle auf Autobahnen

Auf Autobahnen sind die Trassees und die Rampen der Anschlüsse und Verzweigungen zu unterscheiden. Die Trassees weisen stetige Linienführungen, grosse Kurvenradien und geringe Längsneigungen auf. Dies ergibt verglichen mit den Rampen eine unterdurchschnittliche Abkommenswahrscheinlichkeit.

Gemäss Bundesamt für Statistik (www.bfs.admin.ch) und Bundesamt für Strassen (www.astra.admin.ch) beträgt die Gesamtlänge der Autobahnen in der Schweiz 1350 km. Das Netz weist rund 270 Anschlüsse und 35 Verzweigungen auf. Die Gesamtlänge der Rampen wird auf rund 500 km geschätzt, pro Fahrtrichtung also 250 km.

Es wird geschätzt, dass die Abkommenswahrscheinlichkeit auf den Rampen 5 Mal höher ist als auf dem Trassee. Somit ergeben sich folgende Faktoren UAF:

- Trassee von Autobahnen: **UAF = 0,80**
- Rampen von Anschlüssen und Verzweigungen: **UAF = 4,00**

Abkommensunfälle auf Autostrassen

Auf Autostrassen sind ebenfalls die Trassees und die Rampen der Anschlüsse zu unterscheiden. Es gibt 300 km nationale und geschätzte 100 km kantonale Autostrassen mit total etwa 100 Anschlüssen (ca. 60 km Rampenlänge pro Fahrtrichtung).

Es wird geschätzt, dass die Abkommenswahrscheinlichkeit wie auf Autobahnen auf den Rampen 5 Mal höher ist als auf dem Trasee. Es ergeben sich folgende Faktoren UAF:

- Trasee von Autostrassen: **UAF = 1,00**
- Rampen von Anschlüssen: **UAF = 5,00**

Hauptstrassen ausserorts

Für Hauptstrassen ausserorts sind zwei Kategorien zu unterscheiden:

- Stetige Strassen: Strassen mit stetiger Linienführung, grossen Kurvenradien und geringer Längsneigung.
- Kurvige Strassen: Strassen mit unstetiger Linienführung, kleinen Kurvenradien und/oder grossem Längsgefälle.

Da sich auf Hauptstrassen deutlich mehr Unfälle ereignen als auf Hochleistungsstrassen, ist anzunehmen, dass der Unterschied zwischen den zwei Kategorien geringer ist. Er wird auf einen Faktor 4 geschätzt. Mit einem geschätzten Anteil von 3/4 stetigen und 1/4 kurvigen Strassen am schweizerischen Hauptstrassennetz ergeben sich folgende Faktoren UAF:

- Stetige Strassen: **UAF = 1,50**
- Kurvige Strassen: **UAF = 6,00**

Die erwähnten Werte basieren zwar auf groben Schätzungen, sind jedoch unter den folgenden Aspekten als genügende Beurteilungsgrundlage zu betrachten:

- Der Faktor UAF bewirkt eine notwendige Verschiebung der Prioritäten von Sicherheitsmassnahmen in Richtung von kurvigen Strassenabschnitten.
- Die Kurvigkeit kann nicht exakt festgelegt werden. Generell handelt es sich um Kurven mit Radien von weniger als 50 bis 100 m. Entscheidend sind jedoch neben den Radien auch die Verkehrsgeschwindigkeit sowie Inhomogenitäten in der Linienführung.

Strassen innerorts

In Innerortsbereichen sind Sicherheitsmassnahmen ausser in sehr speziellen Fällen praktisch nicht realisierbar. Im Übrigen sind die Situationen derart unterschiedlich, dass die Häufigkeit von Unfällen von Tankfahrzeugen nicht geschätzt werden kann. Es wird auf das Ereignis "Bullingerstrasse" (Ziffer 3) hingewiesen, bei dem ein Tankfahrzeug beim Abbiegen in einem Knoten umkippte.

5.4.7 Rate für die relevante Freisetzung (RFZ)

Grundsätzliches

Das Handbuch III [7] behandelt ausschliesslich Grossereignisse (Störfälle) mit Schädigungen der Grundwasservorkommen als Folge von Freisetzungen in Grundwasserschutzzonen und -arealen. Nachfolgend findet sich dazu eine Anmerkung aus dem Handbuch:

Die Wahrscheinlichkeit eines Störfalles mit schweren Schädigungen der Grundwasservorkommen ist in der Regel nur für diejenigen Grundwasserschutzzonen (bzw. Grundwasserschutzareale) abzuschätzen, in denen Fassungen der öffentlichen Trinkwasserversorgung von wesentlicher Bedeutung vorhanden (bzw. vorgesehen) sind. Schwere Schädigungen sind nur dann möglich, wenn sich die Fassung in unmittelbarer Nähe der Strasse befindet, oder wenn das Grundwasser von der Strasse in Richtung der Fassung fliesst.

Freisetzungsrates gemäss Handbuch III

Die Rate RFZ ist im Handbuch III für Grundwasser und Fliessgewässer mit 0,004 angegeben. Diese bezieht sich auf eine freigesetzte Menge des Referenzstoffes von >10 t. In Anbetracht der extrem geringen Wahrscheinlichkeit von Grossereignissen basiert die Freisetzungsrates in der Norm SN 640 364 auf einer Menge >1 t.

Im Bild 6 ist eine Summenkurve dargestellt, in der die Beziehungen zwischen freigesetzten Flüssigkeitsmengen und Freisetzungsrates dargestellt sind. Eine freigesetzte Menge von 1 t weist eine doppelt so hohe Freisetzungsrates auf wie eine Menge von 10 t. Somit ergibt sich gerundet $RFZ = 0,01$ für Mengen >1 t.

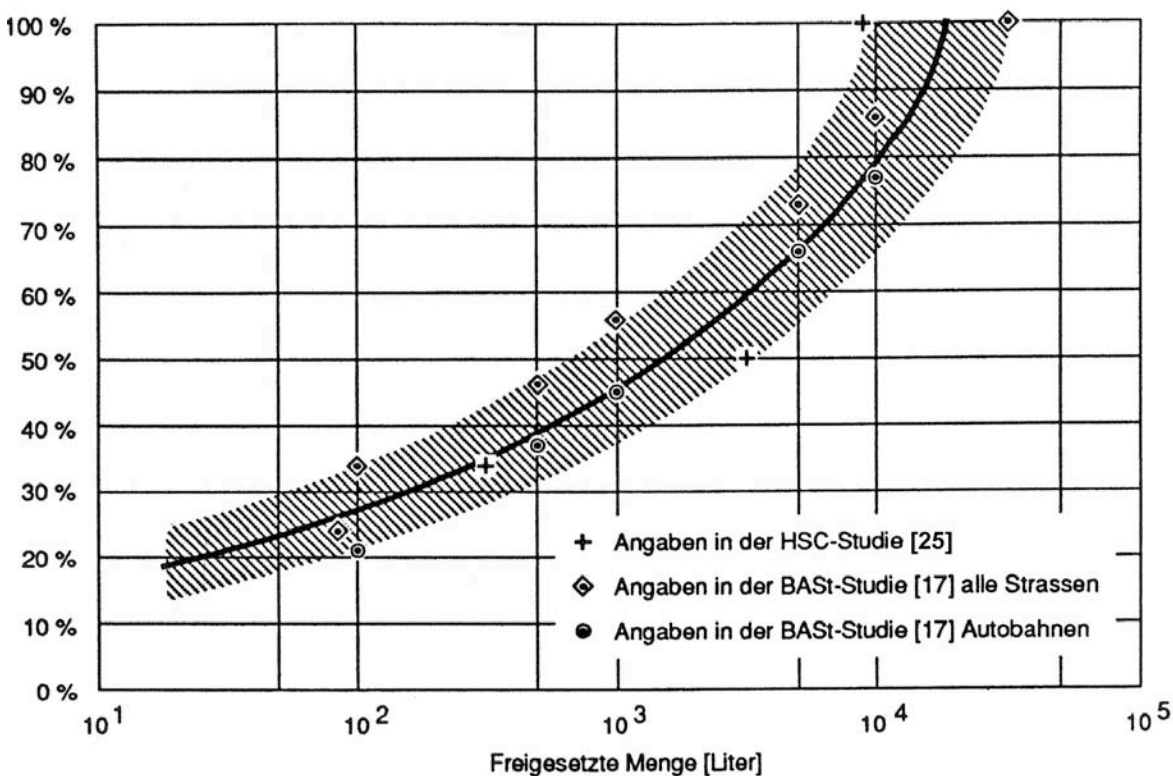


Bild 6: Bei Unfällen mit Tankfahrzeugen freigesetzte Flüssigkeitsmengen, Zusammenstellung von Angaben aus verschiedenen Quellen, Summenkurve gemäss [21]

Im Bild 1 sind die verschiedenen aus der Literatur bekannten Freisetzungsraten in Abhängigkeit ihres Erhebungszeitpunktes zusammengestellt. Es ist bemerkenswert, dass der Anteil an Unfällen, bei denen flüssiges Ladegut austritt, markant abgenommen hat.

Es ist aber davon auszugehen, dass sich die erwähnte Freisetzungsraten seit ihrer Erhebung nicht mehr massgebend verändert hat, obwohl Verbesserungen an den Transporttanks wie geschützte Armaturen und Verstärkungsbinden eine gewisse Verminderung bewirkt haben könnten.

Freisetzungsraten gemäss BAST-Bericht

Gemäss dem Bericht der BAST [17] kam es bei Unfällen mit insgesamt 871 beteiligten Gefahrgutfahrzeugen im Jahre 1991 in den alten Bundesländern in 34 Fällen zum Austritt von Gefahrgut. Bei diesen Angaben sind Unfälle mit allen Gefahrgutfahrzeugen berücksichtigt. 84% aller Unfälle traten mit dem Gefahrgut der SDR-Klasse 3 (entzündbare flüssige Stoffe) auf. Da dieser Anteil ebenfalls etwa der Fahrleistung mit Gefahrgut dieser Klasse entspricht, beträgt die Freisetzungsraten für entzündbare flüssige Stoffe gemäss der Untersuchung 0,04.

Die Rate von 0,04 basiert auf einer geringen minimalen Freisetzungsmenge bzw. darauf, dass jede Freisetzung berücksichtigt worden ist. Im Hinblick auf den Umstand, dass gemäss der Norm nur Mengen >1 t berücksichtigt werden, muss der Wert der Freisetzungsraten unter Berücksichtigung der Summenkurve im Bild 6 um etwa den Faktor 4 vermindert werden. Damit ergibt sich $RFZ = 0,01$.

Freisetzungsraten in der Norm SN 640 364

Die beiden Werte, die mittels des Handbuchs III und des BAST-Berichtes bestimmt wurden, liegen in der gleichen Grössenordnung.

In der Norm SN 640 364 soll deshalb für die Rate der relevanten Freisetzung bezüglich Grundwasser und Fliessgewässer ein Wert von $RFZ = 0,01$ festgelegt werden.

Freisetzungen in Seen

Gemäss Handbuch III sind freigesetzte Mengen von Mineralölprodukten < 50 t kaum in der Lage, eine schwere Schädigung auszulösen. In der Norm SN 640 364 wird von Freisetzungen von 1 bis 25 t ausgegangen. Der Hinweis im Handbuch gilt bei Unfällen mit Tankfahrzeugen in einem vermehrten Mass. Es ist zu berücksichtigen, dass Benzin und Heizöl, welche sich in Seen ausbreiten, nicht nur sehr weitgehend, sondern auch rasch entfernt werden können. Benzin verdunstet zudem vergleichsweise rasch auf der Wasseroberfläche.

5.5 Wirkung von Massnahmen zur Herabsetzung der Häufigkeit

5.5.1 Herabsetzung des Gefahrenpotentials

Fahrverbot für Tankfahrzeuge

Diese Massnahme verursacht eine Erhöhung der Transportkosten von Mineralölprodukten. Sie ist aus nicht bekannten Gründen in der Schweiz kaum verbreitet und beschränkt sich weitgehend auf Grundwasserfassungen zur Versorgung sehr grosser Siedlungsgebiete. Fahrverbote sollten im Fall von Strassen geprüft werden, welche Grundwasserschutz zonen S1 oder S2 durchqueren oder tangieren. Voraussetzung für das Verbot ist dabei, dass die zu versorgenden Gebiete mindestens durch zwei Strassen erschlossen sind. Die Mehrkosten bei den Transporten lassen sich basierend auf der Einwohnerzahl und den zusätzlichen Transportdistanzen einfach berechnen.

Lokale Geschwindigkeitsbegrenzung

Die Auswirkung auf die Sicherheit des Tankfahrzeugverkehrs wird als gering beurteilt.

Hindernisfreie Seitenstreifen

Auslaufstreifen neben der Fahrbahn sind in der Schweiz selten realisierbar. Es stehen deshalb keine Unfalldaten im Zusammenhang mit Tankfahrzeugen zur Verfügung. Die Schätzung der Wirkung von Auslaufstreifen basiert deshalb auf Informationen im Zusammenhang mit bekannten Unfallzahlen gemäss dem Bericht [17].

Im Forschungsauftrag zum Projekt VESIPO [19] wird auf Untersuchungen hingewiesen, nach denen auf Strassen mit einer Verkehrsgeschwindigkeit von 80 km/h mit hindernisfreien Seitenstreifen von 6 m Breite die Unfälle auf geraden Strecken um 45% und in kurvigen Strecken um 30% zurückgehen. Zudem wurden die Abirrdistanzen der Unfallfahrzeuge ermittelt. Im Zusammenhang mit dem Diagramm im Bild 7 lässt sich für hindernisfreie Seitenstreifen von 6 m Breite die in Bild 8 dargestellte Aussage machen:

- Bei 35% der abgeirrten Fahrzeuge erfolgt kein Anprall an ein Hindernis;
- bei 25% der abgeirrten Fahrzeuge ist die Anprallheftigkeit gering;
- bei den restlichen 40% ist der Anprall heftig.

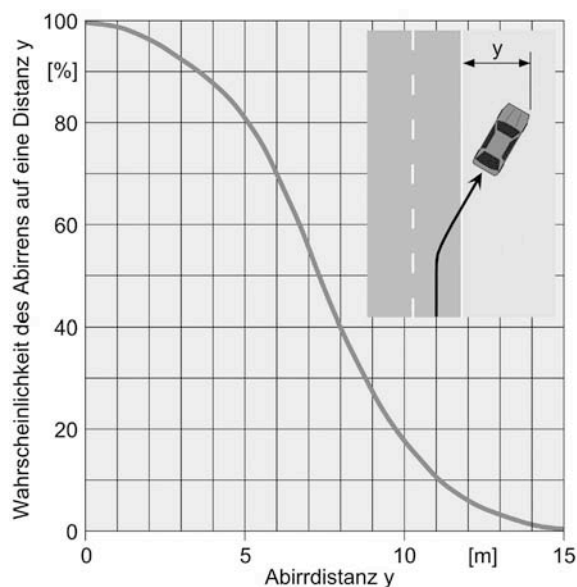


Bild 7: Beziehung von Abirrdistanzen und der Wahrscheinlichkeit des Erreichens einer Abirrdistanz

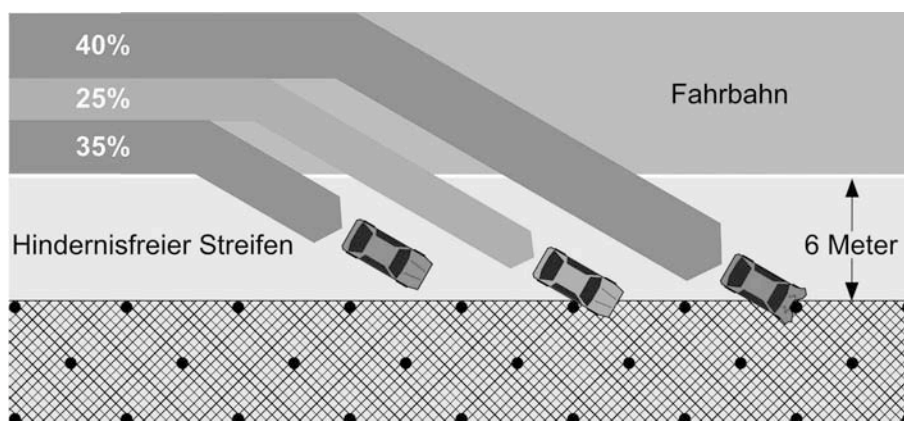


Bild 8: Anteile von leichtem und schwerem Anprall beim Abirren auf den Seitenstreifen

Die schadenmindernde Wirkung eines 6 m breiten hindernisfreien Seitenstreifens beträgt somit etwa 60% und liegt etwa bei der einer Leitschranke.

In Anbetracht des Umstandes, dass bei engen Kurven keine Seitenstreifen möglich sind, kann angenommen werden, dass ein Kippen des Tankfahrzeugs im Seitenstreifen weitgehend auszuschliessen ist. Somit kann bei 60% der Abirrvorgänge ein relevanter Unfall durch den hindernisfreien Seitenstreifen vermieden werden. Der Wirkungsfaktor beträgt somit **WF (Seitenstreifen) = 0,40**.

5.5.2 Leitschranken

Allgemeines zur Rückhaltewirkung

Angaben zur Wahl und zum Einsatz von Leitschranken finden sich in Ziffer 6.4 dieses Berichts. Grundsätzlich handelt es sich um Systeme mit der Aufhaltestufe H2 gemäss der Norm EN SN 1317-2 [15] bzw. der Richtlinie für Fahrzeugrückhaltesysteme des ASTRA [12]. Diese Systeme werden heute generell auf Kunstbauten angeordnet.

Die meisten der bisher auf Brücken in der Schweiz eingesetzten Leitschranken weisen bezüglich des Rückhaltens von Lastwagen generell eine geringere Wirkung als H2 auf. Trotzdem ereignete sich in der Schweiz seit dem Jahre 1970 kein Absturz eines Schwere Lastfahrzeugs über ein Brückenrand mit einer Leitschranke. Der einzige Absturz eines Lastwagens ereignete sich auf dem Flamatter Viadukt der A12 im Kanton Freiburg. Auf diesem Bauwerk war am Brückenrand eine Kombination von Leitmauer mit geringer Höhe und Leitbord angeordnet. Beim Anprall an das Bord wurde eine Rollbewegung eingeleitet, die zum Absturz des Lastwagens führte. Bei den wenigen Unfällen mit einem Anprall von Schwere Lastfahrzeugen an eine Brückenleitschranke wurden diese aufgehalten. Dies ist mindestens als Indiz für eine relevante Wirkung von Brückenleitschranken zu werten.

Im Weiteren ist zu berücksichtigen, dass ca. die Hälfte der verkehrenden Tankfahrzeuge nur eine Teilladung mit einer geringen Masse aufweist.

Wahrscheinlichkeit eines Durchbruchs

Als Beurteilungskriterium für die Rückhaltewirkung von Leitschranken kann die bei einem Fahrzeuganprall aufgenommene kinetische Energie verwendet werden. Massgebend ist dabei die Anprallenergie, die aus der senkrecht zur Leitschranke wirkenden Geschwindigkeitskomponente resultiert. Die Anprallenergie ist deshalb neben der Anprallgeschwindigkeit (v) und der Fahrzeugmasse (m) vom Anprallwinkel (α) abhängig.

Zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, mit der eine Leitschranke mit Aufhaltestufe H2 beim Anprall eines Tankfahrzeugs durchbrochen wird, wurden vier unterschiedliche Strassensituationen definiert. Für diese Situationen wurden die Anprallbedingungen auf Grund von Expertenmeinungen geschätzt. In der Tabelle 4 sind die rechteckig verteilten Anprallgeschwindigkeiten (v) und Anprallwinkel (α) dargestellt und kommentiert.

Die kinetische Energie, die von Leitschrankensystemen mit der Aufhaltestufe H2 aufgenommen werden kann, ist bekannt: sie beträgt etwa 300 kNm.

Mit den angegebenen Verteilungen der Anprallgeschwindigkeiten und Anprallwinkel für die vier definierten Strassensituationen wurden die Wahrscheinlichkeiten berechnet, bei denen eine grössere Anprallenergie vorhanden ist, als dass sie von Leitschranken mit der Aufhaltestufe H2 aufgenommen werden kann. Diese Wahrscheinlichkeit eines Durchbruchs (p_f) ist in Abhängigkeit der Fahrzeugmasse (m) im Bild 9 aufgetragen.

<p>Hochleistungsstrassen Trasse:</p> <p>Vergleichsweise hohe Anprallgeschwindigkeiten, kleine Anprallwinkel mit schwacher Streuung</p>	
<p>Anprallgeschwindigkeit v $\mu = 65,0 \text{ km/h} = 18,1 \text{ m/s}$ $\sigma = 5,77 \text{ km/h} = 1,60 \text{ m/s}$</p>	<p>Anprallwinkel α $\mu = 12,5^\circ = 0,218 \text{ rad}$ $\sigma = 1,44^\circ = 0,025 \text{ rad}$</p>
<p>Hochleistungsstrassen Anschlüsse und Verzweigungen:</p> <p>Tiefe Anprallgeschwindigkeiten mit starker Streuung, grosse Anprallwinkel mit schwacher Streuung wegen relativ einheitlichen Kurvenradien</p>	
<p>Anprallgeschwindigkeit v $\mu = 45,0 \text{ km/h} = 12,5 \text{ m/s}$ $\sigma = 5,77 \text{ km/h} = 1,60 \text{ m/s}$</p>	<p>Anprallwinkel α $\mu = 17,5^\circ = 0,305 \text{ rad}$ $\sigma = 1,44^\circ = 0,025 \text{ rad}$</p>
<p>Hauptstrassen stetig:</p> <p>Tiefe Anprallgeschwindigkeiten und leicht grössere Anprallwinkel mit stärkerer Streuung als bei Hochleistungsstrassen</p>	
<p>Anprallgeschwindigkeit v $\mu = 50,0 \text{ km/h} = 13,9 \text{ m/s}$ $\sigma = 5,77 \text{ km/h} = 1,60 \text{ m/s}$</p>	<p>Anprallwinkel α $\mu = 15,0^\circ = 0,262 \text{ rad}$ $\sigma = 2,89^\circ = 0,050 \text{ rad}$</p>
<p>Hauptstrassen kurvig:</p> <p>Tiefe Anprallgeschwindigkeiten mit schwacher Streuung, grosse Anprallwinkel mit starker Streuung</p>	
<p>Anprallgeschwindigkeit v $\mu = 37,5 \text{ km/h} = 10,4 \text{ m/s}$ $\sigma = 4,33 \text{ km/h} = 1,20 \text{ m/s}$</p>	<p>Anprallwinkel α $\mu = 22,5^\circ = 0,393 \text{ rad}$ $\sigma = 4,33^\circ = 0,076 \text{ rad}$</p>

Tabelle 4: Massgebende Anprallgeschwindigkeiten und Anprallwinkel für die Berechnung der Durchbruchwahrscheinlichkeit von Leitschranken mit Aufhaltestufe H2

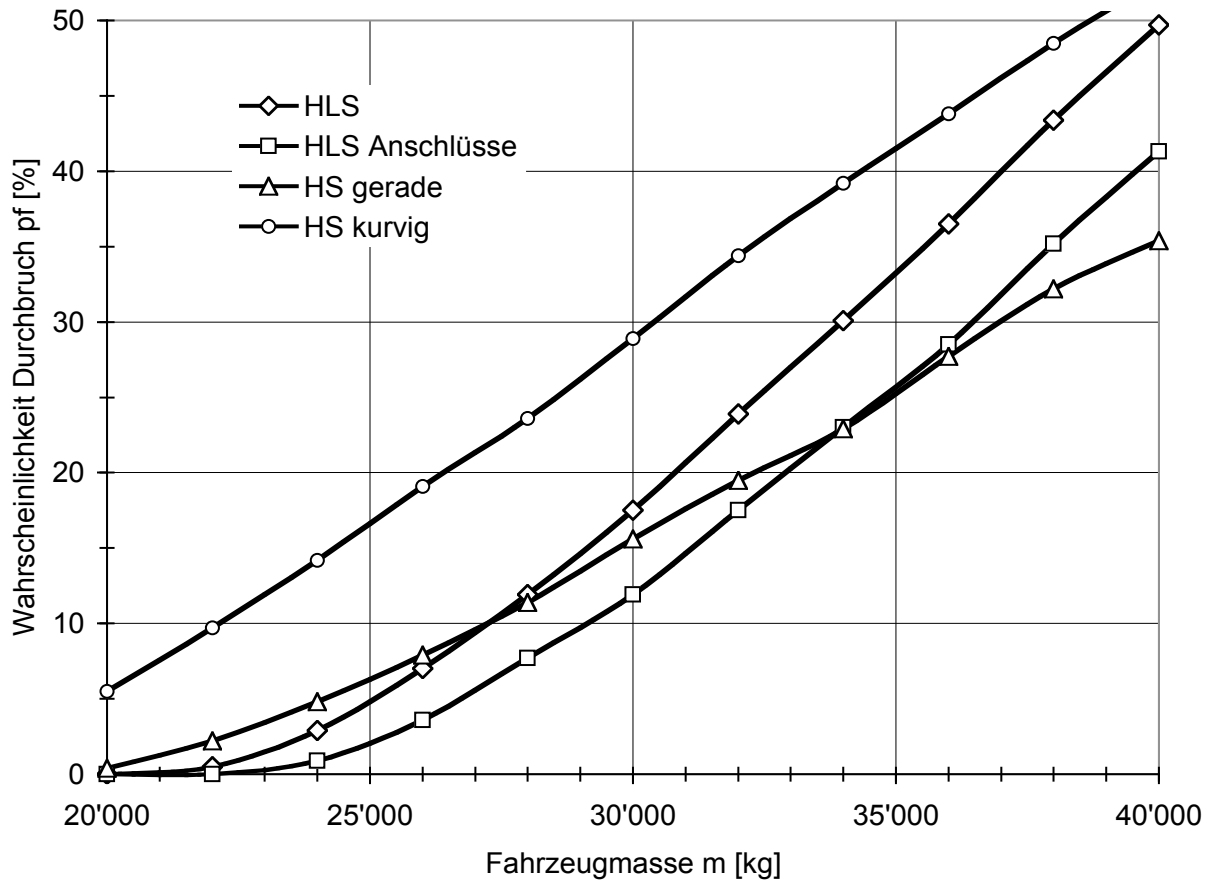


Bild 9: Wahrscheinlichkeit eines Durchbruchs beim Anprall eines Fahrzeugs an ein Leitschranksystem mit Aufhaltstufe H2 in Abhängigkeit von der Fahrzeugmasse

Wirkungsfaktoren

In der Annahme, dass ein Tankfahrzeug durchschnittlich 30 Tonnen schwer ist, können die Wirkungsfaktoren von Leitschranksystem mit Aufhaltstufe H2 an Hand der oben berechneten Durchbruchwahrscheinlichkeiten wie folgt angegeben werden:

- Hochleistungsstrassen Trasse: **WF = 0,15**
- Hochleistungsstrassen Anschlüsse und Verzweigungen: **WF = 0,15**
- Hauptstrassen stetig: **WF = 0,15**
- Hauptstrassen kurvig: **WF = 0,30**

5.6 Schadenausmass ohne Sicherheitsmassnahmen

5.6.1 Freisetzungsmengen

Ein Parameter für die Schätzung des Schadenausmasses ist die bei einer Havarie des Transporttanks freigesetzte Menge der Referenzflüssigkeit. Beim Schaden am Tank handelt es sich um Risse oder um Perforationen, die durch einen heftigen Anprall oder durch Rollen des Fahrzeugs entstehen. Vielfach werden auch Armaturen beschädigt. Angaben zu den freigesetzten Flüssigkeitsmengen finden sich unter Ziffer 3. Die freigesetzte Menge übersteigt in keinem Fall 25 m^3 , da sich der Transporttank nicht gänzlich entleert. Oft verbrennt bei Freisetzungen von Benzin auch ein Teil des Tankinhalts, ein weiterer Anteil verdunstet.

Die Schäden an Transporttanks sind oft so gross, dass die Flüssigkeit rasch ausfliesst. Das Dichten der Lecks durch die Feuerwehr ist normalerweise erst möglich, wenn das tiefste Flüssigkeitsniveau fast erreicht ist. Unter Berücksichtigung der recherchierten Ereignisse sowie des Diagramms im Bild 6 mit der Summenkurve der bei Unfällen mit Tankfahrzeugen freigesetzten Flüssigkeit wird bei der Abschätzung des Schadenausmasses von einem konservativen Wert von $10'000 \text{ l}$ ausgegangen, der nur in 20% der Ereignisse überschritten wird.

Grundsätzlich ist jedoch festzustellen, dass die Charakteristiken des Unfallortes und der Umgebung bezüglich des Schadenausmasses allgemein massgebender als die freigesetzte Menge der Referenzflüssigkeit sind.

5.6.2 Örtliche Verhältnisse

Grundlagen

In der Literatur finden sich keinerlei Grundlagen zur Schätzung des Schadenausmasses in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen. Die Angaben im Entwurf zur Norm SN 640 364 basieren auf Auswertungen der Forschungsstelle von Unfallereignissen sowie auf Abklärungen für die Projektierung von Sicherheitsmassnahmen. Wegen den fehlenden Daten weisen die Angaben zum Schadenausmass eine erhebliche Ungenauigkeit auf.

Die unter Ziffer 3 dieses Berichts dokumentierten Recherchen lieferten Informationen zu einem beinahe fixen Kostenelement, dem Einsatz der Ereignisdienste. Dieses umfasst nicht nur die Leistungen der "Blaulicht-Organisationen" und der Stäbe, sondern auch weiterer eingesetzter Verwaltungsstellen und Experten. Die Kosten der Einsätze betragen jeweils ca. **Fr. 0,1 Mio.**

Abfluss in die Strassenentwässerung und in den Vorfluter

◇ Entwässerungsnetz mit dichten Leitungen

Der Einbau von mehrfachen Sperren für Mineralölprodukte in Oberflächengewässern durch die Feuerwehr ist dank moderner Ausrüstungen sehr effektiv. Benzin verdunstet zudem teilweise auf der Wasseroberfläche. Dagegen wirkt sich der Einsatz von Löschschaum mit Sperren und Abscheidern für Leichtflüssigkeiten auf einen Rückgewinn ungünstig aus. Im günstigsten Fall von Benzin ohne Vermischung mit Löschschaum und einer grossen Abflussmenge wird die Schadenssumme **Fr. 0,2 Mio.** nicht übersteigen.

Ungünstiger sind die Verhältnisse bei Vorflutern, wenn eine Exfiltration ins Grundwasser möglich ist. Der Forschungsstelle sind keine Fälle bekannt, wo wassergefährdende Flüssigkeiten nach einem Unfall mit einem Tankfahrzeug von einem Bach ins Grundwasser exfiltriert sind. In Anbetracht der beschränkten Abmessungen von Grundwasserschutz zonen und der in jedem Fall geringen Mengen von exfiltrierter wassergefährdender Flüssigkeit ist nicht mit einem hohen Schadenausmass zu rechnen.

◇ Autobahn, Sammelleitung als Sickerleitung ausgeführt

Ein Aufliessen von Mineralölprodukten aus der Sammelleitung kann nur eine geringe Kontamination bewirken. In Anbetracht des Bauwerks Autobahn und der Lage der Sammelleitung im Mittelstreifen ist jedoch eine Sanierung mit einem sehr grossen Aufwand verbunden. Es ist jedoch zu beachten, dass solche Sammelleitungen in der Regel ein grosses Retentionsvolumen aufweisen und damit die Füllung bei einem Flüssigkeitsvolumen von einigen Kubikmetern nicht in jedem Fall bis zu den Löchern im Rohrscheitel ansteigt.

◇ Strassen ausser Autobahnen, Sammelleitung als Sickerleitung ausgeführt

Da Sanierungsarbeiten einfacher als bei Autobahnen auszuführen sind, ist kein Schaden von mehr als **Fr. 2,0 Mio.** zu erwarten.

Ausbreitung in angrenzende Flächen

Diese Unfallereignisse sind zusammen mit Hinweisen zum Ausbreitungspfad und den Angaben zu den Schadenausmassen in der Tabelle 3 des Normentwurfs SN 640 364 aufgeführt. Die Schadenausmasse basieren auf den Auswertungen der unter Ziffer 3 vorgestellten Unfälle.

5.7 Wirkung von Sicherheitsmassnahmen zur Herabsetzung des Schadenausmasses

5.7.1 Abdichtung von Mittelstreifen auf Autobahnen

In der Schweiz wurden viele Mittelstreifen aus gestalterischen Gründen und im Hinblick auf den Blendschutz bepflanzt. Diese Ausführung ist eher unterhaltsaufwändiger als ein Aufbau mit einem Belag. Der Einsatz von Belägen im Hinblick auf Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten ist deshalb mindestens kostenneutral. Die Wirkung hinsichtlich der Penetration von Mineralölprodukten liegt im Wesentlichen bei 100%.

5.7.2 Abdichten von Böschungen

Das Abdichten von Böschungen ist eine wirksame Massnahme, um eine Ausbreitung wassergefährdender Flüssigkeiten ausserhalb der befestigten Fläche zu verhindern. Die Kosten sind jedoch sehr hoch. Aus diesem Grunde ist die Massnahme in seltenen Fällen angemessen. In Kombination mit einer Leitschranke sinkt die Effizienz erheblich, da der zusätzliche Sicherheitsgewinn durch die Abdichtung gering ist. Der Wirkungsfaktor beträgt 95%.

5.7.3 Einsatz von Abscheidern für Leichtflüssigkeiten

Abscheider für Leichtflüssigkeiten müssen immer in Kombination mit Schutzeinrichtungen (Leitschranken, Leitmauern) eingesetzt werden. In diesen Fällen ist es vor allem der Einsatz von Löschschaum, der die Wirkung vermindert. Bei der Festlegung des Wirkungsfaktors ist zu prüfen, ob das Ölrückhaltevolumen mindestens 20 m³ beträgt. Da beim Bau und Unterhalt der vom Rückhaltevolumen unabhängige Kostenanteil sehr hoch ist, sinkt die Kosteneffizienz bei geringeren Rückhaltevolumen sehr rasch.

Für die Kombination von Abscheidern und Schutzeinrichtungen ist von einem **Wirkungsfaktor von 0,1** auszugehen.

5.7.4 Kanalnetzspeicher

Kanalnetzspeicher sind grundsätzlich eine wirksame Massnahme. Um die Wirksamkeit zu gewährleisten, sind gemäss Ziffer 20.1.6 der Norm SN 640 364 verschiedene Voraussetzungen während der gesamten Betriebsdauer zu erfüllen. Bei Kanalnetzspeichern besteht auch die Gefahr, dass beim Zusammentreffen eines stärkeren Regens und einem Unfall die wassergefährdende Flüssigkeit an einem hinsichtlich eines Schadens ungünstigen Ort austritt. Die Wahrscheinlichkeit eines solchen Falls ist jedoch eher gering.

5.8 Gegenwartswertfaktoren

5.8.1 Charakteristiken

Mit den Gegenwartswertfaktoren werden Schadenausmasse pro Jahr (Schadenausmass multipliziert mit Häufigkeit bzw. dividiert durch Wiederkehrperiode in Jahren) auf das "zeitliche" Niveau von aktuellen Investitionen umgerechnet. Für den Vergleich wird die Nutzungsdauer der zur Beurteilung stehenden Sicherheitsmassnahmen herangezogen. Die Lebensdauern der Sicherheitsmassnahmen sind in der Tabelle 5 aufgelistet.

<i>Massnahme</i>	<i>Spezifikation</i>	<i>Nutzungsdauer [a]</i>
Fahrzeug-Rückhaltesysteme	Leitschranken, Leitmauern	30
Abdichtung von Böschungen	- Bindiger Boden - Bentonitmatten - Kunststoff-Dichtungsbahnen	30 40 50
Hindernisfreier Seitenstreifen		50
Abwasserleitungssystem		50
Abscheider für Leichtflüssigkeiten	Ölrückhaltebecken B'	50
Kombination Abscheider/Absetzbecken		50
Kanalnetzspeicher		50

Tabelle 5: Nutzungsdauer von Sicherheitsmassnahmen

5.8.2 Massgebender Zinssatz

Massgebend für den Zinssatz ist grundsätzlich der aktuelle Zinssatz, der im Fall von Anleihen dem Strasseninhaber belastet wird. Allgemein wird jedoch bei öffentlichen Bauten vom Zinssatz von Staatsanleihen ausgegangen. Spekulationen über Zinsentwicklungen sind nicht anzustellen.

5.8.3 Faktoren

Die Gegenwartswertfaktoren wurden dem Lehrbuch [27] entnommen und sind für verschiedene Zinssätze und Nutzungsdauern in der Tabelle 6 aufgelistet. Ein Berechnungsbeispiel für die Grenzkosten findet sich im Anhang C.

Zinssatz \ Nutzungsdauer [a]	2,5 %	3,0 %	3,5 %	4,0 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	6,0 %
25	18,4	17,4	16,5	15,6	14,8	14,1	13,4	12,8
30	20,9	19,6	18,4	17,3	16,3	15,4	14,5	13,8
35	23,1	21,5	20,0	18,7	17,5	16,4	15,4	14,5
40	25,1	23,1	21,3	19,8	18,4	17,2	16,0	15,0
45	26,8	24,5	22,5	20,7	19,2	17,8	16,5	15,5
50	28,4	25,7	23,5	21,5	19,8	18,3	16,9	15,8

Tabelle 6: Gegenwartswertfaktoren

5.8.4 Wirtschaftliche Tragbarkeit

Sicherheitsmassnahmen sind dann wirtschaftlich tragbar, wenn deren Grenzkosten nicht wesentlich höher sind als das Schadenausmass pro Jahr. Die Grenzkosten berechnen sich aus den Investitionskosten der Massnahme dividiert durch den Gegenwartswertfaktor.

6 Massnahmen zur Verhinderung von Freisetzungen

6.1 Aktive Sicherheit von Strassen

Die aktive Sicherheit von Strassen ist generell auf den Personenwagenverkehr und auf nicht professionelle Fahrzeuglenker ausgerichtet. Die schweizerischen Strassen sind heute weitgehend mit den Normen des Verbandes Schweizerischer Strassen- und Verkehrsfachleute VSS konform. Diese gewährleisten die aktive Sicherheit der Strassen. Massgebende Beziehungen zwischen Unfällen mit Tankfahrzeugen und der aktiven Sicherheit sind ausser bei engen Kurven und allenfalls bei grossem Gefälle nicht erkennbar.

6.2 Hindernisfreiheit im Seitenraum von Strassen

Feste Objekte (Hindernisse) im Seitenraum und Mauern am Strassenrand können für Tankfahrzeuge einen heftigen Anprall oder ein Rollen bewirken. Dies kann eine Havarie des Tanks durch Versagen von Schweissnähten oder das Aufreissen oder Durchstanzen des Transporttanks verursachen. Das Beseitigen von Hindernissen im Seitenraum ist allgemein die effizienteste Sicherheitsmassnahme zur Verhinderung von Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten aus Tankfahrzeugen. Als Folge der Ausrüstung zahlreicher Strassen mit zusätzlichen Signalisierungen und Einrichtungen der Telematik sind in den letzten Jahren gefährliche Hindernisse wie Stützen von Signalbrücken, Masten, Elektroverteiler und Nischen geschaffen worden.



Bild 10: Gefährlicher Unterbruch eines Schutzwalls am Aussenrand einer Autobahn



Bild 11: Gefährliche Felsblöcke am Rand einer Ausserortsstrasse



Bild 12: Hindernisfreier Seitenraum an einer Autobahn



Bild 13: Hindernisfreier Seitenraum an einer Hauptverkehrsstrasse (Grundwasserschutzzone)

Die Hindernisfreiheit ist eine generelle Forderung seitens der Passiven Sicherheit. Hindernisfreie Seitenräume bewirken für alle Verkehrsteilnehmer einen Sicherheitsgewinn. Sie können jedoch in Anbetracht des notwendigen Raumbedarfs selten so ausgebildet werden.

6.3 Fahrzeugrückhaltesysteme

6.3.1 Einsatz von Leitschranken

Weil hindernisfreie Seitenstreifen eher in Ausnahmefällen realisiert werden können, ist der Einsatz von Leitschranken die häufigste und effizienteste Sicherheitsmassnahme. Leitschranken sind im Gegensatz zu Leitmauern in den meisten Fällen in der Lage, Tankfahrzeuge und andere Fahrzeuge zum Transport gefährlicher Güter ohne Leck am Transporttank oder an Versandstücken oder Containern zu verursachen. Die Rückhaltewirkung von Leitschranken ist jedoch geringer als die von Leitmauern.

6.3.2 Wahl von Leitschranken

Im Entwurf zur Norm SN 640 364 wird vorgeschlagen, dass Leitschranken mit der Aufhaltstufe H2 und einer Höhe von 1,15 m gemäss der Richtlinie [12] angeordnet werden. Zu diesem Vorschlag ist folgendes anzumerken:

- Die Aufhaltstufe H2 weist eine erhebliche Wirkung auf, wie unter Ziffer 5.5.2 im Zusammenhang mit der Beurteilung von Leitschranken dargestellt wird.
- Die Höhe von 1,15 m steht in einer Beziehung zu den Systemen mit der Aufhaltstufe H2 gemäss der Richtlinie [12].
- Beim recherchierten Unfall in Kreuzlingen (Anhang A Ziffer 7) ist das Tankfahrzeug auf die rund 0,7 m hohe Leitschranke mit einem Kastenprofil 130/150 mm (Kurzbezeichnung "LS 130'150") gekippt, wobei der Transporttank perforiert wurde. Es ist offen, wie relevant dieser Vorgang einzustufen ist. Immerhin ist zu berücksichtigen, dass beim Unfall an der Bullingerstrasse in Zürich (Anhang A Ziffer 5) eine sehr ähnliche Situation bestanden hat. Gemäss diesem Hinweis ist es sinnvoll, ausschliesslich Leitschranken mit einer Höhe von mindestens 1,15 m einzusetzen.



Bild 14: Leitschranke System 66, LS 2x 150'180 - 50'100 1,33 m mit Aufhaltstufe H2 gemäss [12]

6.3.3 Vergleich von Leitschranken und Leitmauern

Im Entwurf der Norm SN 640 364 findet sich ein Vergleich von Leitschranken und Leitmauern bezüglich ihres Einsatzes als Sicherheitsmassnahme. Nach der Publikation der Richtlinie betreffend Gewässerschutz beim Strassenbau von 1968 [6] sind an wenigen Autobahnabschnitten in Gewässerschutzzonen Leitmauern angeordnet worden, da auf den Anprall von Tanklastfahrzeugen ausgerichtete Systeme nicht bekannt waren. Heute stehen mehrere Leitschrankensysteme mit der Aufhaltestufe H2 zur Verfügung.

Beim Einsatz von Leitmauern ist zu berücksichtigen, dass nach einem Anprall von Tankfahrzeugen mit erheblicher Wahrscheinlichkeit Lecks am Transporttank auftreten. Der Einsatz von Leitmauern kann deshalb wegen der Freisetzung flüchtiger gefährlicher Stoffe eine Herabsetzung des Sicherheitsniveaus für die Bevölkerung bewirken.

7 Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen

7.1 Grundlagen

Richtlinien des Eidgenössischen Departements des Innern betreffend Gewässerschutzmassnahmen beim Strassenbau [6]

Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen sind seit der Publikation dieser Richtlinien im Jahre 1968 an vielen Strassen in der Schweiz realisiert worden, insbesondere eine grosse Anzahl von Ölrückhaltebecken. Zum Einsatz weiterer Massnahmen wie insbesondere Abdichtungen liegen keine Informationen vor. Die Richtlinien sind im Hinblick auf die vorzubereitende Norm SN 640 364 keine massgebliche Grundlage.

Richtlinien für bautechnische Massnahmen in Wasserschutzgebieten RiStWag [14]

Diese deutschen Richtlinien liefern umfassende Informationen über bautechnische Massnahmen in Wasserschutzgebieten. Verschiedene Elemente der Richtlinien sind in den Entwurf zur Norm SN 640 364 eingeflossen. Nachfolgend finden sich Hinweise im Zusammenhang mit der Übernahme von Informationen:

- Die Richtlinien liefern Angaben zum Einsatz von Sicherheitsmassnahmen bezogen auf die einzelnen Gewässerschutzzonen. In Anbetracht der grossen Unterschiede der situationsspezifischen Gefährdungen ist dies nach Meinung der Forschungsstelle nicht sinnvoll.
- Die konstruktionsbezogenen Darstellungen entsprechen weitgehend den Vorstellungen der Forschungsstelle. Sie wurden teilweise modifiziert übernommen.
- Die Richtlinien weisen einen sehr grossen Detaillierungsgrad auf. Dies betrifft insbesondere ausführungstechnische Angaben. Diese wurden in wenigen Bereichen, in denen schweizerische Normen fehlen, übernommen.

Informationen der Tiefbau- und Strassenverwaltung des Kantons St. Gallen

Die Tiefbau- und Strassenverwaltung des Kantons St. Gallen hat für den Bau von Kombinationen von Abscheidern, Absetz- und Retentionsanlagen sowie Anlagen zur Behandlung von Strassenabwasser innovative Lösungen entwickelt. Diese basieren auch auf Analysen der Anforderungen seitens der Ereignisdienste.

7.2 Anforderungen an die baulichen Sicherheitsmassnahmen

Zahlreiche Anlageteile der Strassenentwässerung stehen in einer Beziehung zum Einsatz der Ereignisdienste. Die Forschungsstelle hat im Rahmen von Recherchen nach Tankfahrzeug-Unfällen die Anforderungen im Hinblick auf Interventionen der Ereignisdienste analysiert. Diese sind als wichtige Elemente in der Norm SN 640 364 enthalten. Sie basieren auf den Grundsätzen der Einfachheit und der Übersichtlichkeit.

7.3 Auffangen und Ableiten wassergefährdender Flüssigkeiten

7.3.1 Beläge

Freisetzungen von wassergefährdenden Flüssigkeiten sind Ereignisse von kurzer Dauer. Entsprechend kurzzeitig bedeckt die austretende Flüssigkeit den Belag. Der Einsatz von speziell dichten Belägen wie beispielsweise Gussasphalt ist u.a. deshalb nicht notwendig.

7.3.2 Borde

Die vorgeschlagene Bordhöhe von 70 mm ist im Zusammenhang mit dem Einsatz von Leitschranken ein Standardmass. Gemäss Versuchen des Centre d'Etudes des Tunnels [26] ist diese Bordhöhe zum Ableiten von Flüssigkeiten aus havarierten Transporttanks von Tankfahrzeugen ausreichend.

7.3.3 Bankette und Böschungen

Abdichtungen mit bindigem Boden

Diese Ausführung ist bezüglich Kosten und Dauerhaftigkeit günstig. Sie bedingt jedoch ein sorgfältiges Verdichten des Bodens basierend auf Materialuntersuchungen sowie einer intensiven Überwachung der Ausführung. Anforderungen an die Verdichtung von Böden finden sich in der Norm SN 640 585a [16]. Diese bezieht sich jedoch insbesondere bezüglich der Kontrollversuche auf wesentlich grössere Kubaturen als bei Abdichtungen eingebaut werden. Wertvolle Angaben zur Ausführung von "Abdichtungen aus mineralischen Böden und Bodengemischen" finden sich in den RiStWag [14].

Abdichtungen mit Kunststoff-Dichtungsbahnen

In der Schweiz besteht eine Praxis bezüglich der Ausführung von Abdichtungen mit Kunststoff-Dichtungsbahnen. So sind in den verschiedensten Anlageteilen von Strassenentwässerungen solche Abdichtungen erstellt worden. Als erhebliches Problem haben sich die Anschlüsse an die Strassenränder erwiesen. Detaillierte wertvolle Angaben zur Ausführung von Abdichtungen mit Kunststoff-Dichtungsbahnen finden sich in den RiStWag [14].



Bild 15: Böschungsabdichtung mit Kunststoff-Dichtungsbahnen



Bild 16: Bankettabdichtung mit Kunststoff-Dichtungsbahnen



Bild 17: Anschluss einer Dichtungsbahn an den Belagsrand

Abdichtungen mit Bentonitmatten

Der Einsatz von Bentonitmatten ist im Zusammenhang mit der Strassenentwässerung in der Schweiz wenig bekannt. Aus diesem Grund findet sich im Entwurf zur Norm SN 640 364 ein den RiStWag [14] entnommener und gekürzter Text.

7.3.4 Ergänzende Angaben

Ausführung von Banketten

Für die Ausführung von Banketten ist eine Forschungsarbeit in Vorbereitung. Darauf basierend werden Banketttypen entwickelt, die situationsbezogen auf unterschiedliche Anforderungen ausgerichtet sind. Es ist davon auszugehen, dass diese Typen mit den Ausführungen gemäss den Bildern in der Norm kombiniert werden können.

Anordnung der Leitschranken

Die Anordnung der Leitschranken erfolgt so, dass beim Anprall eines Tankfahrzeugs die Leitschranke nicht über das Bankett hinaus deformiert wird. Dazu wird der systemspezifische Wirkungsbereich gemäss der EN 1317-2 [15] eingeführt. Dieser ist als der Raum definiert, den das System beim Anprall umfasst. Er ist in der Richtlinie [12] angegeben.

7.4 Abscheiden und Rückhalten wassergefährdender Flüssigkeiten

7.4.1 Ausgangslage und neues Konzept

Bis Ende der Achzigerjahre sind im Hinblick auf die Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten Ölrückhaltebecken gemäss den Richtlinien [6] und nach 1976 der modifizierte Beckentyp B' gemäss [13] gebaut worden. In der Folge wurde seitens verschiedener Strassenverwaltungen darauf hingewiesen, dass dieser Typ keine massgebende Wirkung als Absetzbecken aufweist.

Anfangs der Neunzigerjahre entwickelte das Gewässerschutzamt des Kantons Zürich ein Ölrückhaltebecken Typ K. Bei diesem Typ wurde Strassenabwasser bei Regenbeginn mit dem Ziel einer Sedimentation von Schmutzpartikeln gestapelt. Damit erhoffte man sich eine massgebende Abscheidung von Schadstoffen. Im Jahre 1999 wurde vom Tiefbauamt des Kantons Zürich ein Auftrag zur Untersuchung der Wirkung eines Beckens Typ K zur Überprüfung der Reinigungswirkung in Auftrag gegeben. Gemäss dem Bericht [23] wird die Reinigungswirkung negativ beurteilt. Die Schlussfolgerungen sind nachfolgend zitiert.

Die Interpretation der Messresultate zeigt, dass die ursprünglich erwartete Rückhaltewirkung im Ölabscheider Typ K bezüglich der Schadstoffe aus dem normalen Strassenabwasser sehr gering ausfällt.

Die Einleitbedingungen in ein Gewässer bezüglich des GUS-Gehalts können mit dem Ölabscheider Typ K nicht erfüllt werden.

Der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) sowie der totale organische Kohlenstoff (TOC) kann mit dem Ölabscheider Typ K nicht eliminiert werden. Die Stoffe treten verzögert im Abfluss wieder auf. Die Konzentrationen liegen zum Teil über den gesetzlichen Vorschriften.

Die Konzentrationen der Schwermetalle und der Kohlenwasserstoffe waren bereits im Zulauf unter den Grenzwerten bezüglich der Anforderungen an Einleitungen in ein Gewässer.

Fazit: Der Ölabscheider Typ K erfüllt keine wesentliche Reinigungsfunktion für das normale Strassenabwasser. Der Nutzen des Ölabscheiders Typ K dient hauptsächlich dem Rückhalt von wassergefährdenden, aufschwimmenden Flüssigkeiten im Havariefall.

Basierend auf diesem Bericht wird im Entwurf zur Norm SN 640 364 nicht auf das Ölrückhaltebecken Typ K eingegangen.

Ebenfalls in den Neunzigerjahren wurden durch die Tiefbau- und Strassenverwaltung des Kantons St. Gallen innovative Ideen für Sicherheitsmassnahmen bei Unfällen mit Tankfahrzeugen kombiniert mit der Retention und Behandlung von Strassenabwasser entwickelt. Dabei handelt es sich um Kombinationen von Abscheidern und Absetzanlagen, in denen der Spülstoss über eine lange Dauer zurückgehalten wird. Untersuchungen zur Wirkung dieser Anlagen liegen leider nicht vor. Ein Vorteil der vorgeschlagenen Massnahmen ist auch, dass mit diesen Abscheidern das Rückhalten sämtlicher wassergefährdenden Stoffe abgedeckt wird.

7.4.2 Abscheider für Leichtflüssigkeiten

Wo die Platzverhältnisse den Einsatz von Kombinationen Abscheider und Absetzanlagen nicht gestatten, ist ein Abscheider für Leichtflüssigkeiten anzuordnen. Im Entwurf zur Norm SN 640 364 wurde der Typ B' aufgenommen und beschrieben.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz USG) vom 7. Oktober 1983 (SR 814.01)
- [2] Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz GSchG) vom 24. Januar 1991 (SR 814.20)
- [3] Verordnung über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung StFV) vom 27. Februar 1991 (SR 814.012)
- [4] Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR) vom 29. November 2002 (SR 741.621)
- [5] Durchgangsstrassenverordnung vom 18. Dezember 1991 (SR 741.272)
- [6] Richtlinien des Eidgenössischen Departements des Innern betreffend Gewässerschutzmassnahmen beim Strassenbau vom 27. Mai 1968 (ausser Kraft gesetzt)
- [7] Handbuch III zur Störfallverordnung, Richtlinien für Verkehrswege, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1992
- [8] Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR), Bundesamt für Polizeiwesen, Bern
- [9] Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2002
- [10] Wegleitung Grundwasserschutz, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2003
- [11] Bodenschutz beim Bauen, Leitfaden Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2001
- [12] Richtlinien für Fahrzeugrückhaltesysteme, Bundesamt für Strassen, Bern, 2002
- [13] Empfehlungen für die Projektierung von Ölrückhaltebecken Typ B', Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau AGW, Zürich, 1976
- [14] Richtlinien für bautechnische Massnahmen an Strassen in Wasserschutzgebieten RiStWag, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Köln, 2002
- [15] SN EN 1317-2, Rückhaltesysteme an Strasse - Teil 2: Leistungsklassen, Abnahmekriterien für Anprallprüfungen und Prüfverfahren für Schutzeinrichtungen, 1998
- [16] SN 640 585a, Verdichtung, Anforderungen, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute VSS, Zürich, 1971
- [17] Strassenverkehrsunfälle von Transportguttankfahrzeugen 1989 bis 1991, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft M 5, Bergisch Gladbach, 1993
- [18] Strassenverkehrsunfälle beim Transport gefährlicher Güter 1992 bis 1995, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft M 101, Bergisch Gladbach, 1998
- [19] Erarbeitung der Grundlagen für eine Strassenverkehrssicherheitspolitik des Bundes (VESIPO), Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu und Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr Energie und Kommunikation, Bundesamt für Strassen, Bern 2002
- [20] Risikoanalyse des Gefahrguttransports, A. Brenck, St. Mondry, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft M 95, Bergisch Gladbach, 1998

- [21] Brandsicherheit von Brückenentwässerungssystemen, Bürkel Baumann Schuler, Bundesamt für Strassenbau, Bern, 1993
- [22] Störfallsicherheit von Kläranlagen und Gewässern, Colombi Schmutz Dorthe AG, Koordinationsstelle für Störfallvorsorge des Kantons Zürich, Regensberg, 1994
- [23] A3 Zürich - Sargans, Ölabscheider Grütstrasse ab km 108.300, Gemeinde Adliswil, Messkampagnen, Überprüfung der Reinigungswirkung, F. Preisig AG, Labor Roth AG, Tiefbauamt des Kantons Zürich, Zürich, 1999
- [24] Proceedings of the OECD Symposium on Road Drainage held in Berne, Switzerland, on 22nd to 24th May 1978, report, Bern, 1980
- [25] Major hazard aspects of the transport of dangerous substances, Report and appendices, Health & Safety Commission HSC, London UK, 1991
- [26] Essais en vraie grandeur de systèmes de recueil des liquides enflammés répandus sur la chaussée d'un tunnel routier, Centre d'Etudes des Tunnels, Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, Bron, 1996
- [27] Principles of Engineering Economy, Eugene L. Grant, W. Grant Ireson, New York

9 Anhang

- | | | |
|---|--|------------------|
| A | Beschreibung und Auswertung von Schadenereignissen | Seite A-1...A-28 |
| B | Normentwurf SN 640 364 | Seite B-1...B-26 |

Anhang A:

**Beschreibung und
Auswertung von Ereignissen**

Anhang A: Beschreibung und Auswertung von Ereignissen

Hinweise zu den Recherchen

Die Forschungsstelle hat in den letzten Jahren Unfälle mit einer Beteiligung von Tankfahrzeugen sowie Eisenbahn-Kesselwagen bezüglich verschiedenster Aspekte recherchiert. In einigen Fällen war es möglich, vor Ort Informationen zu beschaffen. Die Qualität und der Umfang der beschafften Informationen waren dabei sehr unterschiedlich. Im Vordergrund standen Informationen zu den Ausbreitungswegen und zur Intervention der Ereignisdienste inklusive der mit Sanierungsarbeiten beauftragten Unternehmen. Da der Forschungsstelle in keinem der recherchierten Fälle bleibende Schädigungen bekannt geworden sind, sind diesbezüglich keine eingehenden Untersuchungen durchgeführt worden. Insbesondere ist auch nur in einem Fall in einem Karstgebiet eine wenig schwerwiegende Einwirkung auf eine Grundwasserfassung registriert worden. Die nachfolgenden Beschreibungen weisen Unschärfen auf, die im Hinblick auf eine Auswertung für die Projektierung von Sicherheitsmassnahmen oder die Einsatzplanung von Ereignisdiensten jedoch ohne Bedeutung sind.

1 Unfall mit einem Tanklastzug in Birmenstorf AG

Übersicht

Datum:	Montag, 8. September 1986
Ereignis:	Selbstunfall mit Tanklastzug mit umgekipptem Anhänger
Freigesetzte Flüssigkeit:	Heizöl
Im Anhänger transportierte Menge:	10'500 l
Ausgeflossene Menge:	ca. 7'500 l
Kosten Sanierung:	ca. Fr. 0,4 Mio.

Unfallhergang

Der Tanklastzug fuhr auf der Kantonsstrasse in Richtung Dättwil. Am Ortseingang von Birmenstorf wich er wegen eines entgegenkommenden Lastwagens nach rechts aus. Dadurch wurde ein Rollen des Anhängers eingeleitet, das im Siedlungsgebiet dessen Kippen bewirkte. Dabei wurden die beiden Einfüllstutzenverschlüsse abgetrennt. Das Heizöl trat sehr rasch aus und floss in eine angrenzende Liegenschaft sowie weiter längs der Strasse zu einem Sickerschacht am Ortsrand. Von diesem Schacht aus verteilte sich das Heizöl grossflächig längs der Verdämmungen der Werkleitungen aus Sand oder Kiessand sowie in Kabelkanälen in Richtung Dorf.

Örtliche Situation

Der Unfall ereignete sich im Wesentlichen im ebenen Gelände. Der Untergrund besteht aus einem bindigen wenig durchlässigen Material. Massgebend für die grossflächige Verteilung war vor allem die Strassenentwässerung mit einem Sickerschacht am Ortseingang. Dieser verursachte lokal eine "grossflächige" Kontamination sowie ein Einsickern von Heizöl in das kommunale Versorgungsnetz. Betroffen waren Leitungen der

Elektrizitätsversorgung im Zusammenhang mit der nahe gelegenen Trafostation sowie von Anlagen weiterer Versorgungsunternehmen. Die Ausbreitungswege waren nicht nur sehr ausgedehnt, sondern auch schwer erkennbar. In den Bildern sind die Sanierungsarbeiten sowie Situationen mit freigelegten Leitungen dargestellt.



Bild A1.1: Freisetzungsort

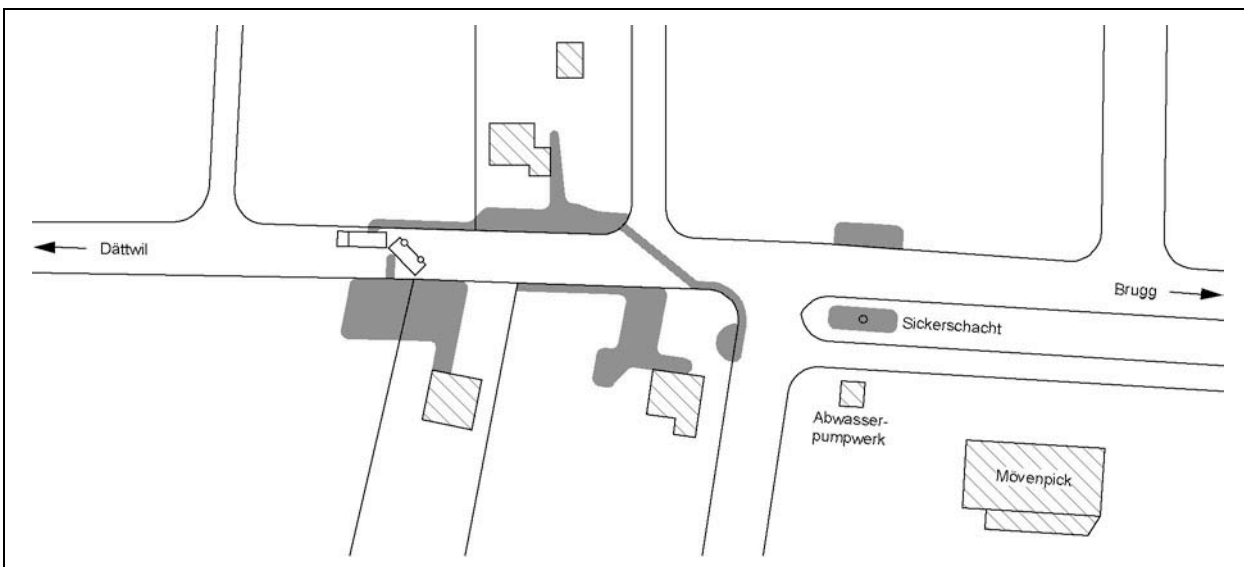


Bild A1.2: Übersicht über Abfluss des Heizöls, Einsickerbereiche und kontaminierte Flächen



Bild A1.3: Grossvolumige Kontamination beim Sickerschacht am Ortsrand



Bild A1.4: Freigelegte Leitungen in der Umgebung des Sickerschachtes



Bild A1.5: Aushub in einem Gartenbereich



Bild A1.6: Aushub bei einer Garagenabfahrt



Bild A1.7: Freigelegte Leitungen



Bild A1.8: Aushub längs der Kantonsstrasse beim Sickerschacht

Sanierungsmassnahmen

Die Sanierungsarbeiten bestanden im Wesentlichen aus dem Abtrag und der Entsorgung von kontaminiertem Bodenmaterial. In einzelnen Fällen mussten Rohrleitungen abgebrochen und ersetzt werden. Einen erheblichen Aufwand bewirkten auch die Instandstellungsarbeiten bei den betroffenen überbauten Liegenschaften. Es ist davon auszugehen, dass die Sanierungsmassnahmen verglichen mit 1986 heute im Hinblick auf die aktuellen Entsorgungskosten wesentlich aufwändiger wären. In Anbetracht der grossflächigen Ausbreitung des Heizöls ist jedoch der Schadenumfang als vergleichsweise gering zu beurteilen.

Folgerungen

Sickerschächte insbesondere im überbauten Gebiet sind bei Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten der Ausgangspunkt einer grossflächigen Kontamination über die aus durchlässigem Material bestehenden Umhüllungen von Werkleitungen oder längs undichter Kabelkanäle.

2 Unfall mit Zisternenwagen in Au SG

Übersicht

In Anbetracht der sehr grossen Freisetzungsmenge von Kerosen ist das Ereignis nicht mit einem Unfall eines Tankfahrzeugs zu vergleichen, bei welchem die maximal austretende Menge einer wassergefährdenden Flüssigkeit 25'000 l kaum je übersteigt. Das Ereignis ist jedoch bezüglich der örtlichen Verhältnisse und der Ausbreitungswege von Interesse.

Datum:	Montag, 19. September 1988
Freigesetzte Flüssigkeit:	Kerosen
Transportierte Menge:	570'000 l
Ausgeflossene Menge:	370'000 l
Verbrannte Menge:	250'000 l
Versickerte und als Emulsion abgeflossene Menge:	120'000 l

Unfallhergang

Wegen eines Radbruchs entgleiste ein Wagen eines Zuges mit Zisternenwagen, die alle mit Kerosen beladen waren. Von den insgesamt 18 Kesselwagen sprangen beim Bahnhof Au SG im hinteren Bereich des Zuges acht Wagen aus den Schienen und verkeilten sich ineinander. Dabei wurden die Wagen beschädigt und fingen an zu brennen.

Örtliche Verhältnisse

Die Unfallstelle befindet sich oberhalb einer Böschung am Ufer des Binnenkanals (Bild A2.2). Der Damm besteht mindestens teilweise aus nicht bindigem Material. Im Weiteren befinden sich im Perimeter der Unfallstelle eine unterirdische Hochspannungs- und eine Wasserleitung, die beide als Sickerwege gewirkt haben. Der Binnenkanal mündet in den Alten Rhein und dieser bei Altenrhein in den Bodensee.



Bild A2.1: Unfallstelle mit havarierten Zisternenwagen



Bild A2.2: Situation am Bahnhof Au mit dem Binnenkanal



Bild A2.3: Doppelte Ölsperre (vier Tage nach dem Ereignis)



Bild A2.4: Probeentnahme am Binnenkanal



Bild A2.5: Probeentnahme von Bodenmaterial aus dem Binnenkanal



Bild A2.6: Aushub von kontaminiertem Boden



Bild A2.7: Grossflächiger Abtrag der Böschung



Bild A2.8: Abladestelle für das Schüttmaterial



Bild A2.9: Verdichten des Schüttmaterials

Ausbreitungswege

In Anbetracht der grossen Menge von verbranntem Kerosen und der ebenfalls grossen Menge von später ausgehobenem kontaminiertem Material ist ein grosser Teil in der Böschung versickert. Es ist davon auszugehen, dass trotzdem ein erheblicher Teil über den Oberboden, durchlässige Schichten sowie Umhüllungen der beiden Leitungen in den Binnenkanal ausgelaufen ist.

Einsatz der Ereignisdienste

◇ Brandbekämpfung

Die Brandbekämpfung war prioritär auf den Gewässerschutz ausgerichtet. Dies bedeutet, dass die havarierten brennenden Zisternenwagen mit einem beschränkten Einsatz von Wasser gekühlt wurden. Dabei waren 9 Wasserwerfer mit einer Leistung von 12'000 l/min im Einsatz. Löschschaum wurde erst in einer späten Phase und für das Aufgleisen der Wagen eingesetzt.

◇ Chemiewehr Wasser

Die Bodenseeregion hat zum Schutz des Sees eine leistungsfähige und mit mehreren Ölauffangschiffen ausgerüstete Organisation aufgebaut. Diese ist mit voller Stärke zum Auffangen von Kerosen mit zahlreichen doppelten Ölsperren zwischen Au und der Mündung des Alten Rheins auf dem Bodensee im Mündungsbereich eingesetzt worden. Dieser Einsatz hat es ermöglicht, eine Verschmutzung des Bodensees fast gänzlich zu verhindern. Das aufgefangene Kerosen-Wasser-Gemisch wurde mit Tankfahrzeugen in das Katastrophenbecken einer ARA transportiert.

Sanierungsarbeiten

In den Bildern A2.6 bis A2.9 sind die Erdarbeiten zum Austausch des kontaminierten Bodenmaterials dargestellt.

3 Havarie eines Zisternenwagens im Bahnhof Landquart

Übersicht

Datum:	Samstag, 12. Oktober 1991
Ereignis:	Perforation eines Kesselwagens beim Rangieren
Freigesetzte Flüssigkeit:	Benzin
Transportierte Menge:	80'000 l

Unfallhergang

Beim Rangieren auf dem Areal des Bahnhofs Landquart touchierte eine Draisine einen Zisternenwagen und perforierte dessen Tankwand.

Örtliche Verhältnisse

Der Bahnhof Landquart befindet sich auf einer Schotterebene des Rheins. Ablagerungen der Landquart haben mindestens lokal zu dichten Schichten geführt, welche einsickernde Flüssigkeiten aufhalten.

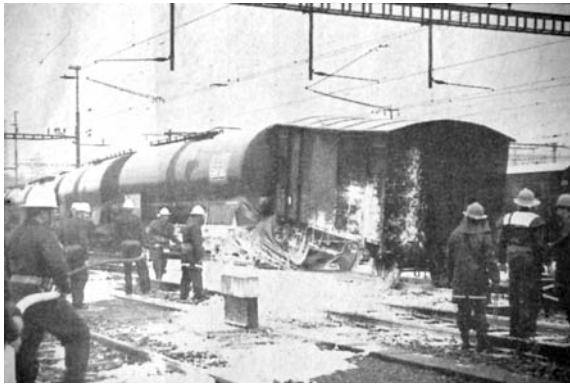


Bild A3.1: Unfallstelle



Bild A3.2: Unfallstelle, Blick vom Bahnhofgebäude



Bild A3.3: Angehöriger des Messtrupps



Bild A3.4: Anfahrt der Bohrequipe



Bild A3.5: Bohrausrüstung



Bild A3.6: Transport des Benzinabscheiders



Bild A3.7: Abscheider und Zisternenwagen für Abwasser



Bild A3.8: Beginn der Sanierung neben dem Bahnverkehr



Bild A3.9: Verlegen von Schlauchleitungen unter den Geleisen



Bild A3.10: Bohrkerne



Bild A3.11: Evakuiertes Benzin und Wasser

Ausbreitungsweg

Es erfolgte eine vertikale Ausbreitung bis zu einer dichten Schicht oberhalb des Grundwasserspiegels.

Einsatz der Ereignisdienste

In Anbetracht der vertikalen Versickerung in den Rheinschotter ergaben sich für die Feuerwehr einfache Verhältnisse. Günstig war auch der Umstand, dass ein Geologe zur Verfügung stand, der bei einer früheren Freisetzung einer wassergefährdenden Flüssigkeit in der Nähe im Einsatz war und der die hydrogeologischen Verhältnisse im Detail kannte.

Sanierungsarbeiten

Der Forschungsstelle sind lediglich die Massnahmen unmittelbar nach dem Ereignis bekannt. Es wurde eine Bohrfirma beauftragt, eine Bohrung so abzuteufen, dass keine dichte Schicht oberhalb des Grundwassers penetriert wird. In der Folge wurde auch eine schwebende Benzinschicht angetroffen und Benzin gefördert.

Folgerungen

- In sandigen kiesigen Böden findet eine vertikale Ausbreitung statt.
- Während der ersten Stunden nach der Freisetzung haben in den Oberflächenkabelkanälen mehrere Verpuffungen stattgefunden, die jedoch keine Personen gefährdeten.
- Im Hinblick auf zweckmässige Massnahmen ist der Einsatz einer mit der lokalen Geologie vertrauten Fachperson trotz der vergleichsweise einfachen Verhältnisse von grosser Bedeutung.

4 Unfall mit einem Tanklastwagen in Hirzel ZH

Übersicht

Datum:	Freitag, 15. Oktober 1993
Ereignis:	Selbstunfall Tankfahrzeug
Freigesetzte Flüssigkeit:	Benzin
Transportierte Menge:	23'500 l
Direkt aus dem Tank abgepumpte Menge:	18'000 l
Abgesaugt aus Schächten und Sihlkanal:	2'000 l
Verdunstete Menge:	3'500 l
Zurückgewonnene Menge:	20'000 l
Geschätzter Schaden für Ereignisbewältigung und Sanierung:	Fr. 0,2 bis 0,3 Mio

Unfallhergang

Der Tanklastwagen stürzte im sogenannten Schiffflirank über die Böschung und führte dabei eine Rollbewegung von vermutlich 270° aus. Wie aus dem Bild A4.3 ersichtlich ist, traten an zwei Stellen Havarien auf, die sich vergleichsweise hoch über UK des verunfallten Fahrzeugs befanden. Die Lage des Fahrzeugs nach dem Rollen ist im Bild A4.4 dargestellt.

Örtliche Verhältnisse

Eine Übersicht über die örtlichen Verhältnisse findet sich in den Bildern A4.1 bis A4.3 aus dem Bericht des Geologischen Büros Dr. Lorenz Wyssling AG.

Angaben zu den örtlichen Verhältnissen sind im Bericht des erwähnten geologischen Büros enthalten. Nachfolgend finden sich Zitate aus diesem Dokument.

Die Unfallstelle liegt im Gewässerschutzbereich A, da diese sich im nahen Einzugsgebiet der Sihl befindet, welche 10 bis 15 km weiter flussabwärts mit den dortigen genutzten Grundwasservorkommen von Langnau a. A. und Adliswil in Verbindung steht.

An der Unfallstelle besteht der Untergrund aus tonig-kiesigem Gehängeschutt und verbreitet aus mächtigem lehmig-blockigem Auffüllmaterial, herrührend von den in diesem Gebiet getätigten früheren Leitungs- und Strassenbauten. Darunter ist in wenigen Metern Tiefe die aus Mergeln und Sandsteinen bestehende Felsunterlage der Oberen Süsswassermolasse zu erwarten. Beim Aushub für einen neuen Kontrollschacht wurde der aus verwittertem Mergel bestehende Molassefels in 0,80 m Tiefe u. T. angetroffen. Etwa um Kote 566 m ü. M. unterhalb der Hirzelstrasse verläuft im Untergrund die Grenze zwischen Molassefels und darüber liegendem Schotter, welcher weiter nördlich bergseits der Hirzelstrasse genutzte Quellwasservorkommen aufweist. Diese höher gelegenen Quellwasservorkommen wurden durch den hier zu beurteilenden Benzinunfall nicht tangiert.

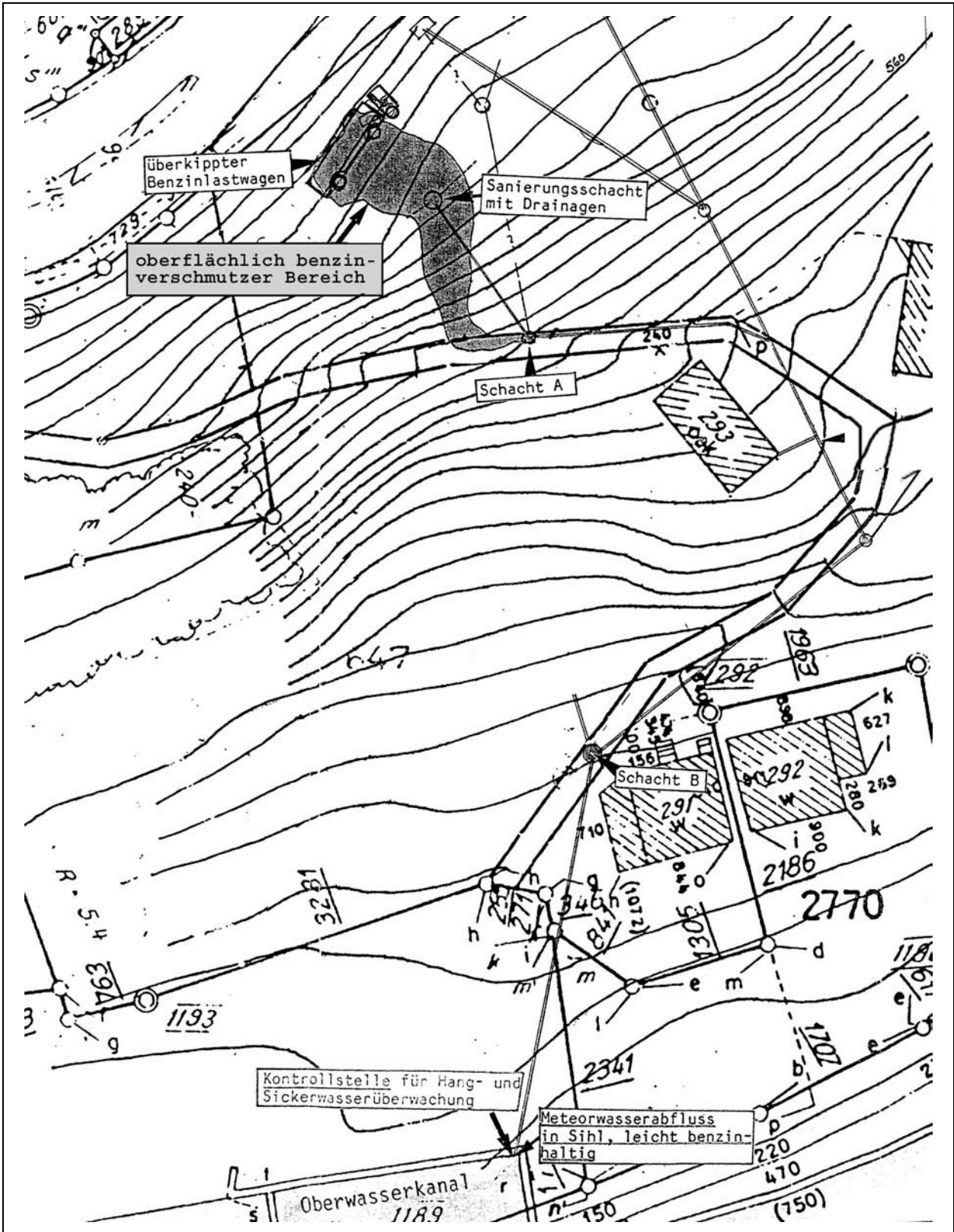


Bild A4.1: Situation der Unfallstelle und der Ausbreitung des Benzins gemäss Bericht des Geologen

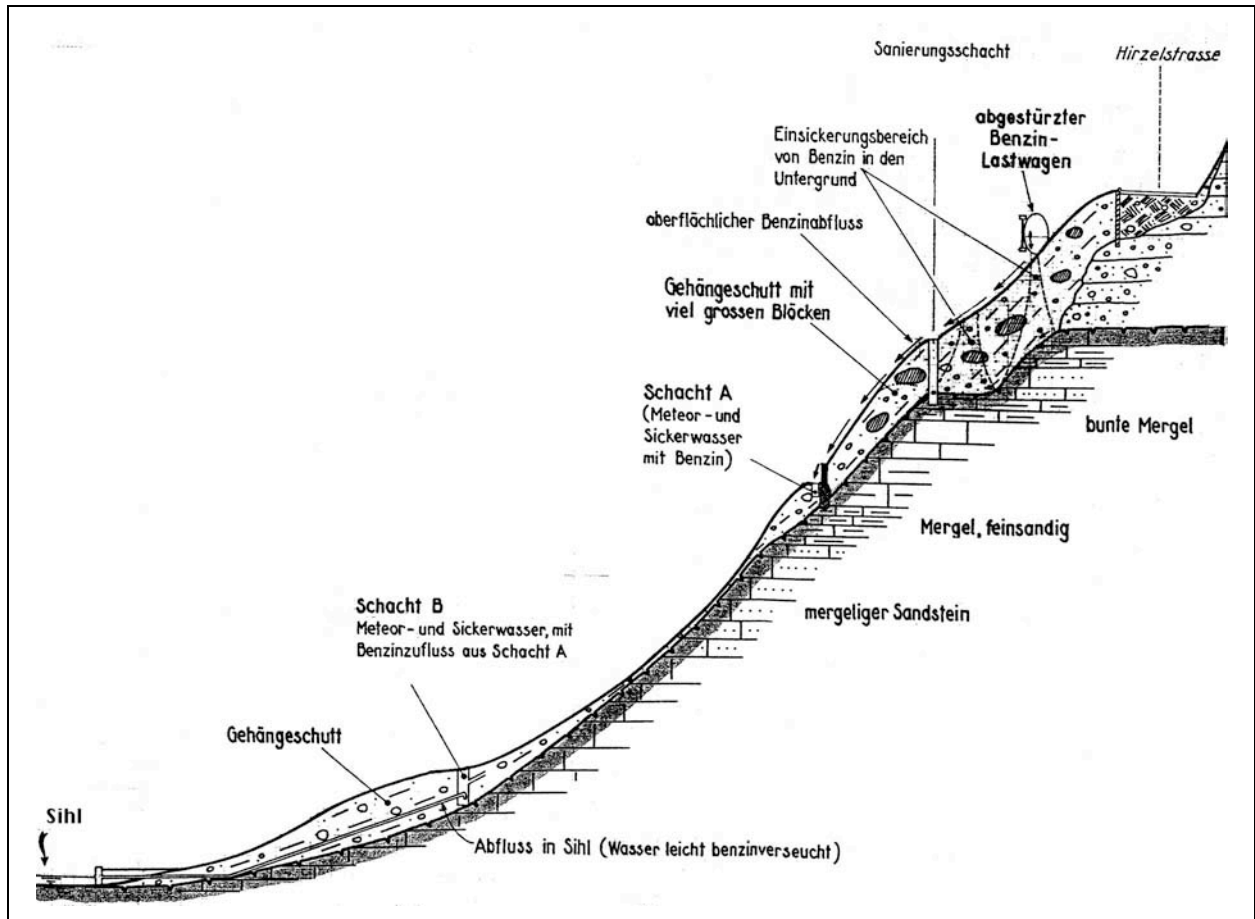


Bild A4.2: Profil mit Einsickerungsbereichen gemäss Bericht des Geologen

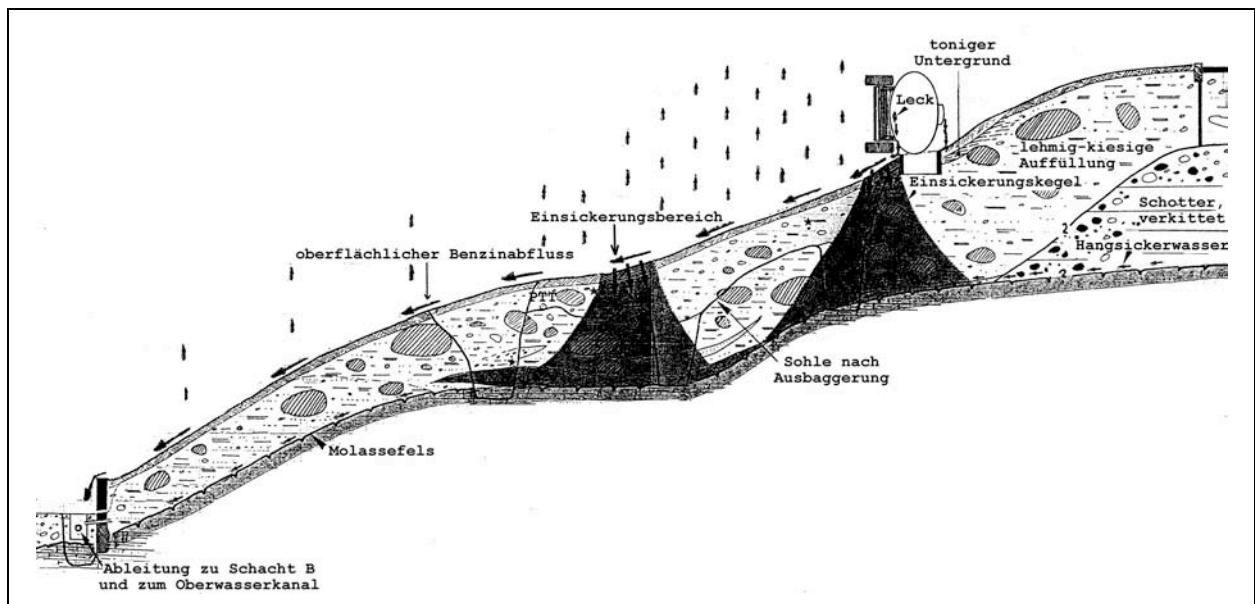


Bild A4.3: Geologisches Detailprofil gemäss Bericht des Geologen



Bild A4.4: Lage des Tankfahrzeugs

Ausbreitungswege

Angaben aus dem Bericht des Geologen sind nachfolgend zusammengestellt.

Die an Ort und Stelle gemachten Beobachtungen über die Ausbreitung des benzinverseuchten Materials sind in den Bildern 4.1 bis 4.3 eingezeichnet.

Jener Anteil des ausgeflossenen Benzins, welches nicht mittels Auffangwannen und Einsatz von Bindemitteln (Schaumteppich) direkt an der Terrainoberfläche wiedergewonnen werden konnte, sickerte einerseits beim gekippten Tankwagen örtlich in den Untergrund ein und floss andererseits noch max. ca. 20 m weit auf der Wiese hangabwärts bis zum bergseitigen Rand des dortigen Strässchens. Ein weiter hangabwärts reichender Oberflächenabfluss wurde nicht festgestellt.

Das in den Untergrund einsickernde Benzin gelangte teilweise in eine alte private Drainageleitung, welche in einen 25 m talseits der Unfallstelle im dortigen Strässchen liegenden Schacht einmündet und dort durch die Feuerwehr abgepumpt werden konnte. Um ein weiteres Versickern von Benzin durch die (vermutlich) undichte Schachtsohle zu verhindern, wurde diese mit einer aufblasbaren Dichtung noch am Freitag Nachmittag verschlossen. Von diesem Schacht gelangte Benzin via Vollrohrleitung in den Schacht beim unteren Haus und von dort in den Sihlkanal, wo das Benzin durch die Feuerwehr oberflächlich gebunden und abgepumpt werden konnte.

Ein weiterer mengenmässig allerdings nur sehr geringer Anteil Benzin (welches bei der Bergung des Tankwagens auf der Hirzelstrasse noch ausgelaufen war) gelangte zusammen mit dem auf der Hirzelstrasse eingesetzten Bindemittel via Strassenentwässerung in den Sihlkanal und konnte dank der dort installierten Benzinsperre durch die Feuerwehr ebenfalls abgesaugt werden.

Einsatz der Ereignisdienste

Durch die Feuerwehr wurde um das Tankfahrzeug ein Schaumteppich gelegt und das aus der Leckage beim Tankeinfüllstutzen ausfliessende Benzin aufgefangen. Im Weiteren wurde der talseits der Unfallstelle liegende Sihlkanal und die Sihl durch Angehörige der Feuerwehr überwacht. Zudem wurde eine Bachsperre installiert. Mehrere Stunden nach dem Unfall gelangte Benzin aus einer Drainageleitung unterhalb der Unfallstelle in den Sihlkanal. Das Benzin wurde von der Feuerwehr abgesaugt. Ein Einsatz der an der Sihl bereitgestellten Ölsperren wurde nicht notwendig.

Sanierungsarbeiten

Gemäss dem Bericht des Geologen wurden die folgenden Sanierungsarbeiten durchgeführt:

- Im Wesentlichen wurde unterhalb der Unfallstelle Oberboden mit einer Dicke von 0,2 bis 0,3 m abgetragen und entsorgt. Dabei handelte es sich um eine vergleichsweise geringe Menge von lediglich 120 m³.
- An der talwärts führenden Güterstrasse wurde ein Kontrollschacht kombiniert mit einem Ölabscheider eingebaut.
- Ein "Sanierungsschacht" mit Drainagen wurde unmittelbar unter der Unfallstelle erstellt (Bild A4.2). Die Drainagen wurden über dem Molassefels verlegt.

Verdunsten von oberflächlich ausgeflossenem Benzin

Der Bericht enthält die folgenden interessanten Angaben zum Verdunsten von Benzin:

Verdunstung des oberflächlich ausgeflossenen Benzins während der ersten Stunde nach dem Unfall, vor dem Ausbringen des Schamteppichs durch die Feuerwehr. Benzinverschmutzte Oberfläche (Wiese) ca. 200 m². Gemäss unpublizierten Versuchsergebnissen der EMPA Zürich verdunsteten ca. 10 l/m² in der ersten Stunde nach Ausbringen des Benzins auf dem Boden (Temp. Luft: 11 - 17° C, leichter Wind), gemäss mündlicher Mitteilung Dr. Hans Jäckle, EMPA Zürich, vom 26.10.93. Oberflächlich verdunstete Benzinmenge somit ca. 200 x 10 l = ca. 2'000 l Benzin.

Verdunstung von Benzin während der anschliessenden Aushubarbeiten des benzinverschmutzten Untergrundes. Das Ausmass des Aushubes betrug ca. 135 m³ à 1,8 t = 343 t. Schätzung der Benzinverdunstung gemäss Versuchsergebnissen der EMPA beträgt ca. 1'000 - 2'000 l Benzin.

Total der verdunsteten Benzinmenge vom 15. - 30.10.93: ca. 3'000 - 4'000 l.

Folgerungen

- Oberboden an Böschungen auf einem dichten Untergrund ist in der Lage, grössere Mengen von freigesetzten Flüssigkeiten zu puffern.
- Es ist auch im Fall von Benzin unter Beachtung der Windverhältnisse möglich, nach dem Aufbringen eines Löschschaumteppichs am Transporttank ausfliessende Flüssigkeiten mit Behältern aufzufangen.
- Drainagen mit Kontrollschächten können einen massgeblichen Beitrag leisten, um freigesetzte Flüssigkeiten zurückzugewinnen.

5 Unfall mit einem Tanklastwagen an der Bullingerstrasse in Zürich

Übersicht

Datum:	Samstag, 29. August 1998
Ereignis:	Selbstunfall Tanklastfahrzeug
Freigesetzte Flüssigkeit:	Benzin
Transportierte Menge:	23'800 l
Versickerte Menge:	2'500 l
Aushub / Materialersatz:	350 l
Bodenluftabsaugung:	1'350 l
Biologischer Abbau:	500 l
Abbau im Grundwasser:	25 l
Restmenge im Untergrund:	60 l

Unfallhergang

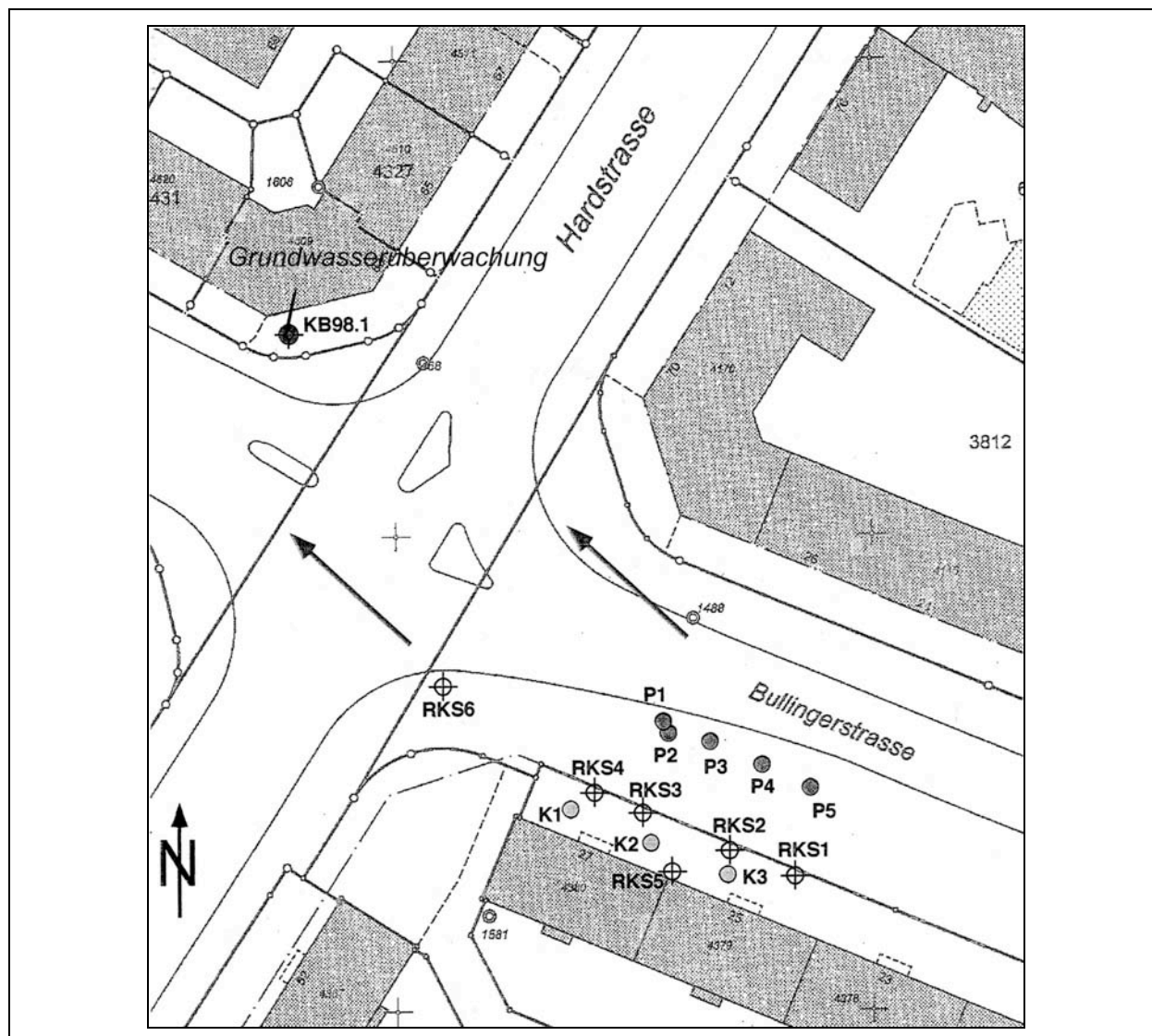
Der Tanklastwagen kippte am Ende einer Linkskurve im Knoten Hardstrasse / Bullingerstrasse um. Das anschliessend ausfliessende Benzin gelangte sofort in Brand. Personen kamen bei dem Ereignis keine zu Schaden.



Bild A5.1: Brand des ausfliessenden Benzins

Örtliche Verhältnisse

Die örtlichen Verhältnisse sind in den Bildern A5.2 bis A5.4 dargestellt. Die Unfallstelle liegt im Bereich des intensiv genutzten Limmat-Grundwasserstroms, der von der Limmat und der Sihl gespeist wird. Die Mächtigkeit des Grundwasserstromes beträgt ca. 20 m und die der Deckschicht ca. 10 m. Die Strömungsgeschwindigkeit wird auf 1 m/d geschätzt.



Legende: K Kontrollbohrungen P Bohrungen für Bodenluftmessungen an der Unfallstelle

Bild A5.2: Situation mit Messstellen

Einsatz der Ereignisdienste

Die Feuerwehr liess zur Herabsetzung der Explosionsgefahr und im Hinblick auf den Gewässerschutz das ausfliessende Benzin brennen und beschränkte sich darauf, die benachbarten Häuser zu kühlen. Erst in einer späten Phase wurde Löschschaum eingesetzt. Im Weiteren setzte die Feuerwehr Sperren ein, um ein Einfliessen in das Abwasserleitungssystem zu verhindern. Eine nicht bekannte Menge von Benzin ist jedoch in die Kanalisation gelangt und in der ARA angekommen. Schäden als Folge von Verpuffungen oder anderen Ursachen im Abwasserleitungssystem oder in der ARA sind nicht bekannt. Im Weiteren ist in den Vorgärten Benzin in einem Umfang von 2'500 l in die Deckschicht (Schicht über dem Grundwasserleiter) eingesickert.

Sanierungsarbeiten

An der Unfallstelle wurde im Strassenbereich der Belag ausgebaut und der anstehende kontaminierte Boden bis auf eine Tiefe von 6,0 m ausgehoben, Dabei konnten ca. 550 l Benzin zurückgewonnen werden. Eine nicht bekannte Menge von Benzin verblieb je-

doch im Untergrund. Eine Abklärung der Situation ergab, dass dadurch keine unmittelbare Gefahr für das Pumpwerk des Schlachthofes bestand.

Im Hinblick auf einen Kontakt der Schadstoffe mit dem Kapillarsaum bzw. der Grundwasseroberfläche sowie der Gefährdung der Anwohner durch eine Gaswolke im Untergrund wurde ein Konzept zur Beseitigung des zurückgebliebenen Benzins vorbereitet. Zur Beurteilung der Situation wurden an der Unfallstelle fünf Bohrungen abgeteuft und Proben aus den Bohrkernen auf Benzin untersucht. Dabei wurden erhebliche Konzentrationen festgestellt. Basierend auf der Untersuchung wurde eine Bodenluftabsaugung mit einer katalytischen Verbrennung des Benzins installiert. Die Einrichtung war während 300 Tagen in Betrieb. Es konnten 1'000 kg Benzin zurückgewonnen werden. Im Weiteren wurden auch in einem stromabwärts gelegenen Perimeter Proben genommen und schwach mit Benzin belastetes Wasser gepumpt. Die zurückgewonnene Benzinsmenge war sehr gering.



Bild A5.3: Unfallstelle kurz nach den Sofortmassnahmen



Bild A5.4: Bohrarbeiten zur Messung von Bodenluftpegeln

Folgerungen

- Im Fall eines Brandes des ausfliessenden Benzins wird ein erheblicher Teil davon vernichtet. Aus Gründen der Explosionsgefahr darf der Brand mindestens im überbauten Gebiet nicht gelöscht werden.
- Im kiesig-sandigen Boden sind Sanierungen mit einer Bodenluft-Absauganlage eine kostengünstige und effektive Massnahme.
- Dank des Umstandes, dass die Versickerung im Vorgartengebiet stattgefunden hat und der Untergrund sehr durchlässig war, hat keine schwer erkennbare Ausbreitung über durchlässige Leitungsumhüllungen oder gasdurchlässige Kabelschutzrohre stattgefunden. Dies ist. u.a. ein Grund für einen vergleichsweise geringen Schadenumfang.

6 Unfall mit einem Tanklastwagen bei Menzingen ZG

Übersicht

Datum:	Donnerstag, 2. März 2000
Ereignis:	Selbstunfall Tanklastfahrzeug
Freigesetzte Flüssigkeit:	Benzin
Transportierte Menge:	23'500 l
Ausgeflossene Menge:	14'000 l
Verdunstete Menge:	9'000 l
Zurückgewonnene Menge:	4'000 l
Restmenge im Untergrund:	60 l
Gewässerschutzzone:	Ausserhalb, jedoch nahe
Kosten Sanierung:	Fr. 0,4 - 0,5 Mio.

Unfallhergang

Der Tanklastwagen fuhr auf der Kantonsstrasse 381 von Ägeri Richtung Zug. In einer Kurve irrte das Fahrzeug nach links ab, kippte nach dem Überfahren des Banketts und führte in der Folge eine Rollbewegung von 270° aus. Das Abirren von der Fahrbahn ist evtl. auf Winterglätte zurückzuführen. Das Rollen bewirkte Schäden am Transporttank im Bereich der Schweissnähte der Verbindungen Tank und Fahrzeug sowie an Armaturen. Es ist davon auszugehen, dass die Ausflussrate unmittelbar nach dem Unfall gross war.

Örtliche Verhältnisse

Die Unfallstelle liegt an einer Böschung über einem tiefen Geländeeinschnitt, in dem die Lorze fliesst. In der nahen Umgebung oberhalb der Strasse findet sich eine Grundwasserschutzzone. Der Unfall verursachte jedoch keine Beeinträchtigung der Quellfassung. Als Übersicht findet sich ein Auszug aus dem Bericht zum Ereignis. Zur Geologie und zu den Ausbreitungswegen liegen wertvolle Unterlagen des Geologischen Büros Dr. Lorenz Wyssling AG vor, die im Folgenden auszugsweise zitiert sind. Eine Situation und Querschnitte aus dem Bericht finden sich in den Bildern A6.1 bis A6.4.

Die Unfallstelle liegt im Gewässerschutzbereich A. Die Zuordnung dieses Gebietes in den Gewässerschutzbereich A erfolgt auf Grund des Umstandes, dass man sich hier im nahen Einzugsgebiet der Lorze befindet, welche 6 km weiter flussabwärts in Baar mit dem dort genutzten Grundwasservorkommen in direkter Verbindung steht.

Das Unfallgebiet liegt im südlichen Abschnitt des ausgeprägten Rutschhanges von Nidfuren. Die Rutschmasse besitzt eine sehr heterogene Zusammensetzung, bestehend aus Sand, Schottern und Moränenablagerungen. Unter der Rutschmasse folgen wasserführende sandig-kiesige Schotterschichten und kompakte Moränenablagerungen sowie undurchlässige glaziale Seeablagerungen.

An der Unfallstelle besteht der Untergrund aus gut durchlässigen Sand- und moränenartigen Kiesschichten, welche durch die Rutschung stark deformiert worden sind. Im talseitigen Abschnitt der Unfallstelle folgt über den Sand- und Kiesschichten körniger Kalktuff mit Lagen von tonigem Torf.

Beim Aushub wurde der Hangwasserspiegel bereits zwischen 1,2 und 2,4 m Tiefe unter Terrain freigelegt. Die darunter liegenden, z.T. kohäsionslosen, wassergesättigten siltigen Sande zeigten beim Aushub Grundbrucherscheinungen.

Im talseitigen Abschnitt wurden in 2,5 m Tiefe die siltig-tonigen Seeablagerungen, welche den regionalen Grundwasserstauer bilden, freigelegt.

Im Unfallgebiet erfolgt die natürliche Entwässerung oberflächennah in den durch die Rutschung deformierten Sand- und Kiesschichten. Das Hangwasser tritt in kleinen im Wald gelegenen Quellen an die Oberfläche aus. Zur Stabilisierung des Rutschhanges und zur Trockenlegung der Wiesen wurden früher zahlreiche Dreinagen angelegt, welche bei den Aushub- und Sanierungsarbeiten örtlich angetroffen worden sind.

Ausbreitungswege

Angaben zu den Ausbreitungswegen finden sich im nachfolgend zitierten Bericht des Geologen. Die Ausbreitungswege sind auch in den Bildern A6.1 bis A6.4 dargestellt.

Der Anteil des ausgeflossenen Benzins, welcher nicht mittels Auffangwannen und Einsatz von Bindemitteln direkt an der Terrainoberfläche wiedergewonnen werden konnte, sickerte einerseits beim gekippten Tankwagen und unmittelbar talseits davon in der Wiese in den Untergrund ein und floss andererseits noch ca. 50 m weit in den leicht vertieften Fahrrinnen des Feldweges hangabwärts bis in die flache Geländemulde. Hier wurde das Benzin in einem durch die Chemiewehr mit Kunststofffolien angelegten Weiher (in der Folge als "Benzinweiher" bezeichnet) aufgefangen. Ein Teil des Benzins vom Feldweg gelangte entlang des Waldrandes teils oberflächlich, teils durch alte Drainageleistungen in das unmittelbar talseits der Unfallstelle beginnende Bächlein, welches in Halbschalen zur Lorze hinab fließt.

Der grösste Teil des ausgeflossenen Benzins gelangt im flachen Wiesenabschnitt unmittelbar talseits des umgekippten Tankwagens in den Untergrund. Die Versickerung durch die Oberbodenschicht wurde dadurch begünstigt, dass die darin vorhandenen Regenwürmer in unmittelbarer Folge der Havarie fluchtartig den Boden verliessen. Durch die von uns beobachteten vielen offenen Wurmgänge gelangte in der Folge das Benzin sehr schnell durch die Oberbodenschicht hindurch in die darunter liegenden, gut durchlässigen Sand- und Kiesschichten. In diesen Sand- und Kiesschichten über dem Hangwasserspiegel erfolgte die weitere Ausbreitung des Benzins hangabwärts.

Das in den Untergrund einsickernde Benzin gelangte teilweise auch in eine alte Drainageleitung, welche in einen 40 m südwestlich der Unfallstelle gelegenen Schacht mündet und dort nur teilweise von der Feuerwehr aufgefangen werden konnte. Von diesem Schacht aus gelangte Benzin via Vollrohrleitung in den 50 m weiter südwestlich am Waldrand beginnenden Bach, welcher in die Lorze fließt. Das in den Bach ausfliessende Benzin wurde von der Feuerwehr mit mehreren Sperren aufgefangen. Eine geringe Benzinnmenge breitete sich durch eine alte defekte Drainageleitung in südlicher Richtung aus und trat 35 m südwestlich der Unfallstelle wieder an die Oberfläche aus, was hier in der Wiese auf einer Grundfläche von 8 - 10 m² zu einer isolierten oberflächennahen Benzinkontamination führte.

Einen bevorzugten Ausbreitungspfad für das im Untergrund talwärts sickernde Benzin bildete auch der aufgefüllte, etwas besser durchlässige Leitungsgraben der Wasserleitung der WEZ, entlang welchem sich das Benzin in südlicher Richtung ausbreitete.

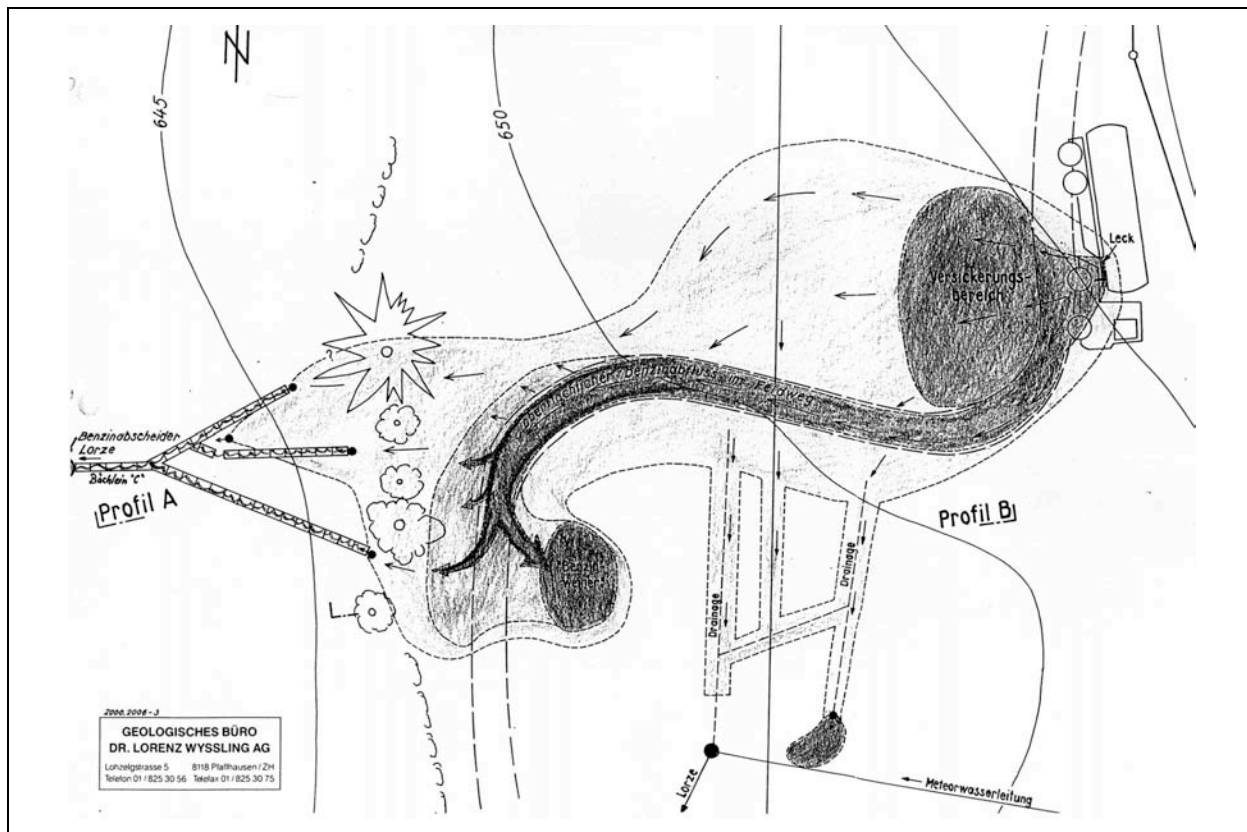


Bild A6.1: Ausbreitungswege vom havarierten Tanklastwagen bis zum Kretenrand des Einschnitts der Lorze mit der Fassung am Beginn der steil abfallenden Rinne aus Halbschalen zur Lorze

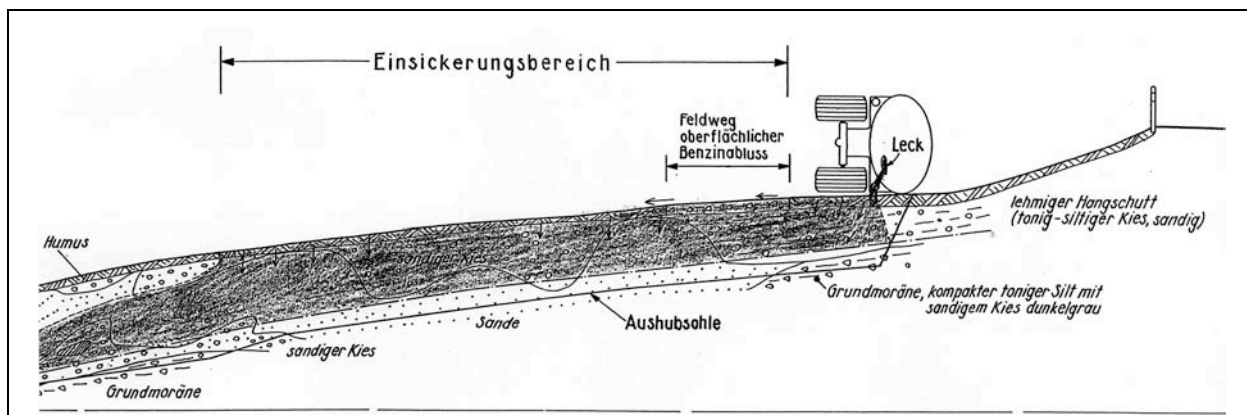


Bild A6.2: Profil A, Einsickerungsbereich beim havarierten Tanklastwagen

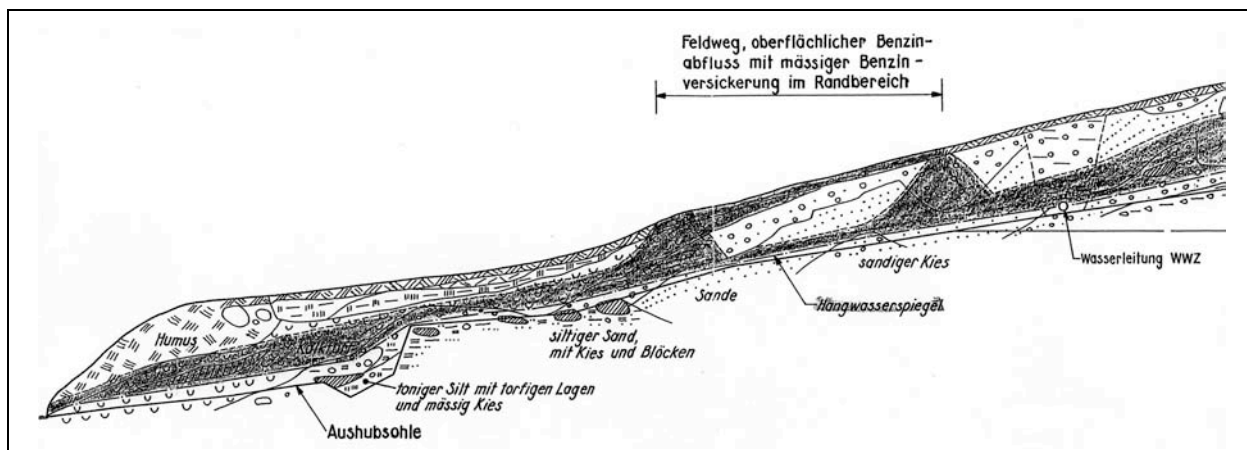


Bild A6.3: Profil A, Teil der Böschung unterhalb des Einsickerungsbereichs

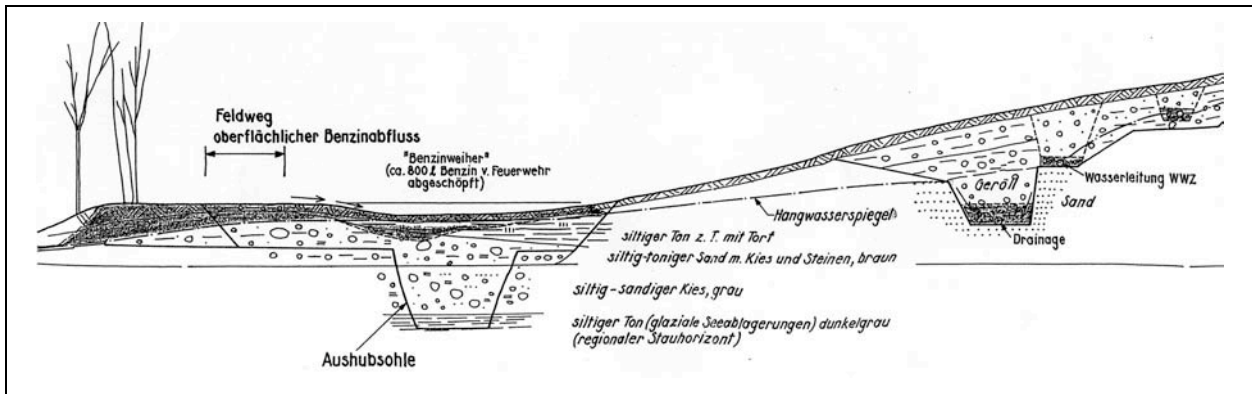


Bild A6.4: Profil B, Ausbreitungsweg zum "Benzinweiher" und längs unterirdischer Leitungen

Einsatz der Ereignisdienste

Auf verschiedene Massnahmen der Feuerwehr ist im Bericht des Geologen zum Auffangen von Benzin sowie zum Einbau von Sperren des Baches, der zur tiefer gelegenen Lorze fliesst, bereits hingewiesen worden. In einem ebenfalls wichtigen Dokument der Firma Telba AG, Benzinunfall vom 2. März 2000, Durchgangsstrasse Nr. 381, finden sich detaillierte Angaben zu Einsätzen von Elementen der Ereignisdienste. Nachfolgend findet sich ein Auszug aus dem Bericht mit Informationen zum Einsatz der Feuerwehr sowie Anordnungen des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug.

Der Tanklastwagen und die Unfallstelle wurden grossflächig mit einem Schaumteppich belegt, um das Verdunsten des Benzins zu vermindern. Diese Massnahmen und die relativ kühle Witterung (0 - 8°C) führten dazu, dass ausser in der Nähe des Havarieortes die laufend durchgeführten Messungen keine explosionsfähigen Gemische anzeigten. Grossflächig erfolgte die Einrichtung einer Absperrzone, welche laufend den Windverhältnissen angepasst wurde.

Das im Tankwagen verbliebene und das durch die Chemiewehr aufgefangene Benzin wurde vor der Bergung des Unfallfahrzeuges in bereitgestellte Tanks umgepumpt und der Wiederverwendung bzw. gesetzeskonformen Entsorgung zugeführt. Um die Verschmutzung der Lorze durch die oberflächlichen sowie die erdverlegten Drainagen zu verhindern, wurden durch die Feuerwehr Benzinsperren eingerichtet. Das aufgefangene Benzin und jenes aus einem Schacht der Hangentwässerung wurden fortwährend abgeschöpft bzw. abgepumpt.

Nach Rücksprache mit dem Amt für Umweltschutz des Kantons Zug als zuständige Kontrollbehörde erfolgte das Versetzen eines Benzinabscheiders im Lorzetobel, um das benzinkontaminierte Bachwasser (Hangsickerwasser) zu fassen.

Sanierungsarbeiten

Die Sanierungsarbeiten sind im folgenden Auszug aus dem Bericht des Büros Dr. Lorenz Wyssling AG dargestellt.

Am Nachmittag des 2. März 2000 musste zunächst eine Zufahrtsrampe zum Unfallgelände erstellt werden. Mit dem Aushub der benzinverseuchten Bodenschichten wurde am 3. März begonnen. Zunächst wurde der Einsickerungsbereich des Benzins bei der Unfallstelle ausgehoben. Wegen der bautechnisch sehr schwierigen Untergrundverhältnisse im Rutschhang (stark grundbruchgefährdete, wassergesättigte siltige Sandschichten) konnte nur in kleinen Etappen ausgehoben werden, welche jeweils nach Entfernen der benzinkontaminierten Bodenschichten wieder aufgefüllt werden mussten, bevor mit der nächsten Aushubetappe begonnen werden konnte. Zur Stabilisierung des Hanges musste gut durchlässiges Material eingebaut und das Hangwasser mit Drainagen aufgefangen und abgeleitet werden.

Im Haupteinsickerungsbereich des Benzins war die Oberbodenschicht, durch welche das Benzin in den Untergrund sickerte, infolge der starken Benzinverdunstung nur noch sehr wenig belastet. Die durchgeführten chemischen Analysen ergaben für die Oberbodenschicht nur einen geringen Gesamtkohlenwasserstoffgehalt. Die darunter folgenden Sande und sandigen Kiese waren mit fortschreitender Aushubtiefe zunehmend stärker mit Benzin belastet. Über dem Hangwasserspiegel in 1,1, bis 1,8 m Tiefe unter Terrain war der Untergrund mit Benzin gesättigt. Beim Freilegen dieser Schichthorizonte sammelte sich das Benzin an der Aushubsohle. Unterhalb des Hangwasserspiegels war keine Benzinkontamination des Bodenmaterials mehr zu verzeichnen. Unter dem Hangwasserspiegel in 1,4 m Tiefe entnommene und chemisch analysierte Bodenproben ergaben durchwegs Werte, welche unter dem BUWAL-Richtwert für unverschmutzten Aushub liegen.

Zur Bestimmung des Benzingehalts in der Luft am Unfallstandort während der Aushubarbeiten wurden mit Dräger-Röhrchen (CH26101; Kohlenwasserstoffe 0,1% b; geeicht auf Butan) Einzelmessungen durchgeführt. Die Messungen ergaben in der Bodenluft erhöhte KW-Werte und 1,5 Volumen % /15'000 ppm). In der Luft, ca. 1 m über der Terrainoberfläche, lag der KW-Gehalt unter 0,1 Volumen % und somit unter dem MAK-Wert (BRD 1989) von 1'000 ppm.

Im Zeitraum vom 3. - 14. März 2000 wurden insgesamt 1'650 m³ Aushubmaterial zur Zwischenlagerung abgeführt.

Sanierungsmassnahmen

Die Sanierungsarbeiten bestanden im Wesentlichen aus dem Abtrag und der Entsorgung von kontaminiertem Material. Die Bilder A6.5 bis A6.10 zeigen Ausschnitte im Zusammenhang mit den Sanierungsmassnahmen.



Bild A6.5: Übersicht über die Sanierungsarbeiten im Einsickerbereich



Bild A6.6: Aushubarbeiten unterhalb des Einsickerbereichs



Bild A6.7: Aushubarbeiten über dem Sickerwasserspiegel



Bild A6.8: Kontrollschacht mit infiltriertem Wasser-Benzin-Gemisch



Bild A6.9: Notfassung am unterem Ende der Abflussrinne zur Lorze



Bild A6.10: Abscheider am Ufer der Lorze

Folgerungen

Die Folgerungen sind nachfolgend zusammengestellt:

- Eine abschliessende Sanierung mit einem angemessenen Aufwand ist auch bei inhomogenen Bodenverhältnissen möglich.
- Es hat sich als günstig erwiesen, dass das Benzin nur bis zum relativ hoch liegenden Hangwasserspiegel (geringe Dicke der Deckschicht) einsickern konnte.
- Im Boden abfliessendes Benzin sammelte sich in einer Mulde.
- Benzin ist in Drainageleitungen, in einem mit körnigem Material aufgefüllten Graben einer Wasserleitung sowie oberflächlich in den Fahrspuren einer Güterstrasse abgeflossen.

7 Unfall mit einem Tanklastwagen in Kreuzlingen

Übersicht

Datum:	Freitag, 2. Juni 2000
Ereignis:	Selbstunfall Tanklastfahrzeug innerorts
Freigesetzte Flüssigkeit:	Benzin
Transportierte Menge:	18'000 l
Gewässerschutzzone:	Ausserhalb
Kosten Sanierung:	Fr. 2,0 - 2,5 Mio.

Unfallhergang

In einer Linkskurve mit einem vergleichsweise kleinen Radius begann das Fahrzeug ca. 30 m vor der Unfallstelle zu rollen und kippte am Kurvenende auf eine Leitschranke mit einem Kastenprofil 130/150 mm. Das Rollen stellte sich ein, ohne dass das Fahrzeug vorher ein Hindernis oder einen Randabschluss touchierte. Beim Kippen auf die Schutzeinrichtung am Gehwegrand penetrierten Leitschrankenpfosten in den Transporttank (Bild A7.4). Das rasch auslaufende Benzin brannte sofort (Bild A7.2). Das nicht verbrannte Benzin floss am Strassenrand bergabwärts bis zu einem Ablauf und von dort in die Abwasserleitung bis zu einem Regenklärbecken, wo es zurückgehalten werden konnte (Bild A7.5).

Bauart des Tanklastwagens

Das Tankfahrzeug neuester Bauart mit drei Achsen verfügte über ein Tankvolumen von 24'000 l (Bild A7.6). Es wies zwei Kammern sowie insgesamt fünf mit Schwallwänden ausgerüstete Zellen auf (Bild A7.7). Die Wände des Transporttanks waren seitlich mit aufgeschweissten Aluminiumblechen verstärkt. Die Leitschrankenpfosten sind auch im Bereich der Verstärkungen eingedrungen.



Bild A7.1: Unfallstelle



Bild A7.2: Brand des Tankfahrzeugs



Bild A7.3: Unfallstelle mit Leitschranke

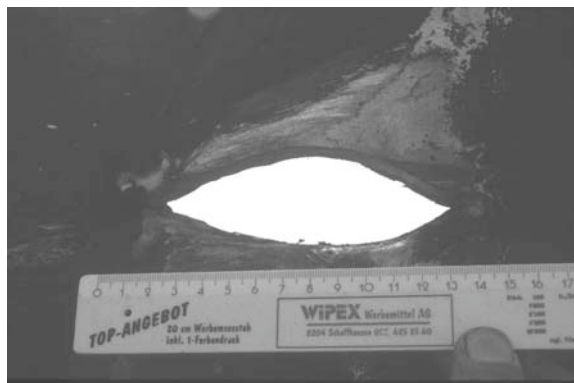


Bild A7.4: Durch Leitschrankenpfosten verursachtes Loch im Transporttank



Bild A7.5: Einsatz der Feuerwehr am Ende des Benzinabflusses am Strassenrand



Bild A7.6: Ausgebranntes Tankfahrzeug



Bild A7.7: Verbrannte Schwallwände im Transporttank



Bild A7.8: Mit Benzin belasteter Garten unterhalb der Unfallstelle

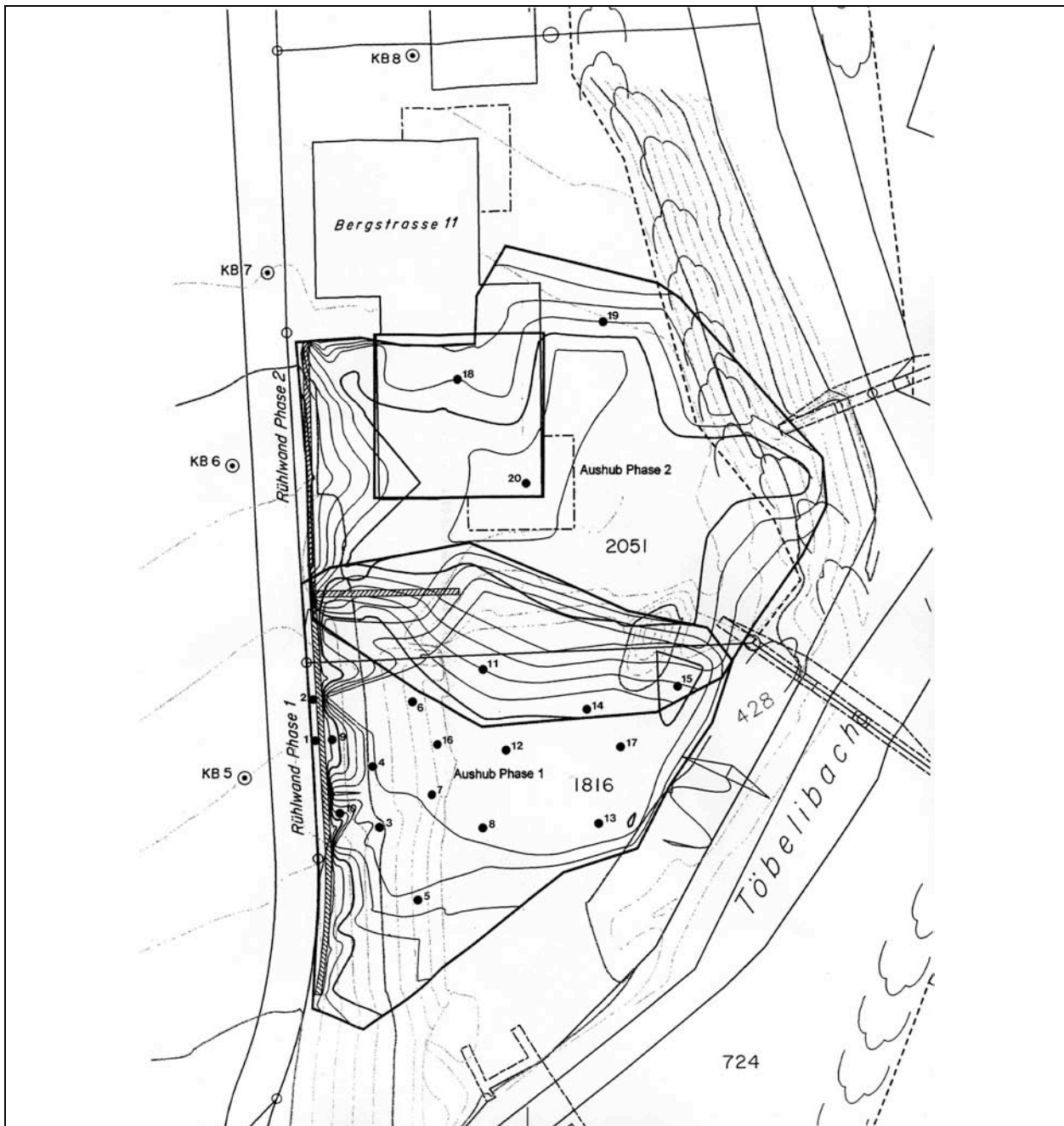


Bild A7.9: Situation betroffener Bereiche mit Angabe der Sondierschlitz und Bohrungen für Probeaufnahmen sowie Rühlwand

Örtliche Verhältnisse

Der Unfall ereignete sich am Anfang eines vergleichsweise steilen geraden Strassenabschnitts. Unmittelbar neben der Unfallstelle befindet sich ein mehrstöckiges Gebäude mit einem seitlich angeordneten Garten (Bild A7.9). Dieser umfasst strassenseits eine Böschung und grenzt an den Töbelibach. Zur Geologie im Umkreis des Gebäudes liegen Berichte der Arbeitsgemeinschaft Büchi und Müller sowie IPG Keller AG vor. Aus einem wird nachfolgend zitiert.

Bereich der Strasse

Die Moräne besteht häufig aus schwach tonigem Silt (CL-ML), tonigem Silt (CL) oder stark tonigem Kies (GC-CL) und stark tonigem Sand (SC-CL). Sie ist kompakt und kaum wasser-durchlässig. In die Moräne eingelagert sind Schichten aus Sand/Silt oder aus siltigem Kies, die in geringem Masse wasserführend sind.

Der Felsuntergrund bzw. die Molasse erscheint je nach Höhenlage der Bohrung in 4,5 bis 7,0 m Tiefe. Er besteht aus tonig/feinsandigem Mergel und ist von kohligen Schichten durchzogen.

Bereich Garten

Humus, Erde, Lehm, Steine, Bauschutt, Aushubmaterial, bis max. 2,8 m Tiefe reichend, geschüttet für Gartengestaltung, Strassenböschung, Baugruben-Hinterfüllung. Diese Auffüllungen weisen eine geringe Durchlässigkeit auf. Aus ihnen wurden keine Wasserzutritte in die Sondierlöcher festgestellt.

In SL 6 (Böschung) und SL 9 (Garten/Spielplatz) wurde künstlich aufgefüllter, wasserführender, sandiger Kies angetroffen, der mit Aushub und Bauschutt vermischt ist.

Schwach toniger Silt (CL-ML) bis toniger Silt (CL) mit organischen Resten. In der Moräne wurde keine Wasserführung beobachtet. Generell ist von einer geringen vertikalen Durchlässigkeit der überwiegend siltigen Materialien auszugehen. Innerhalb der Moräne finden nur geringe Wasserbewegungen in sandigen Zwischenschichten statt. Die horizontale Durchlässigkeit ist deutlich grösser als die vertikale, was die Einschichtung von Schadstoffen begünstigt. Eine eigentliche Grundwasser-Zirkulation findet in den vereinzelt angetroffenen, durchlässigen sandigen und kiesigen Schichten (künstlich aufgefüllt) statt.

Ausbreitungswege

◇ Ausbreitungswege im Boden

Im erwähnten Bericht finden sich auch Angaben über die Ausbreitungswege im Boden. Wie bereits dargelegt, ist ein erheblicher Anteil des aus dem Tank ausgeflossenen Benzins über die Böschung in den Garten (Bild A7.8) gelangt. In der Folge ist das Benzin in den Oberboden eingedrungen und mit dem Hangwasser (Grundwasser) in einer Tiefe von 1,0 - 2,5 m unter das Gebäude und um das Gebäude herum im Moränenmaterial talabwärts bzw. teilweise in Richtung des anstossenden Baches gesickert. Auf dem Grundwasserspiegel wurde Benzin in Phasen festgestellt. Die kontaminierte Fläche betrug ca. 600 m².

◇ Ausbreitungsweg von auf der Strasse ausgeflossenem Benzin

Das auf der Strasse ausgetretene Benzin ist auf der abfallenden Strasse am Rand bis zu einem Ablauf und in einer Abwasserleitung durch die Gemeinde in ein Regenbecken geflossen. Von diesem Becken aus wurde das kontaminierte Wasser entsorgt. Eine Freisetzung in ein Gewässer konnte vermieden werden.

◇ Ausbreitung im Strassenperimeter

Es gelangte kein Benzin in die Fundationsschicht der Strasse. Im Weiteren wurde auch kein Benzin längs Werkleitungen verschleppt.

Einsatz der Ereignisdienste

In Anbetracht der grossen Brandleistung, der massgeblichen Gefährdung der Anwohner und der ARA sowie der Auswirkungen auf den Verkehr waren neben den Feuerwehren von Kreuzlingen, Konstanz und Weinfelden alle Elemente der Ereignisdienste sowie aufgebotene Experten - insgesamt 150 Personen - im Einsatz. Dies verursachte Kosten von ca. Fr. 150'000. Der Einsatz umfasste im Wesentlichen die folgenden Leistungen:

- Vorbereiten einer Kühllaktion am Tankfahrzeug im Hinblick auf einen kontrollierten Abbrand und den Schutz des Gebäudes auf der gegenüberliegenden Strassenseite
- Löschangriff zum Schutz des Wohnhauses direkt neben dem brennenden Fahrzeug
- Fluten der Abwasserleitung mit Schaum zur Verhütung von Verpuffungen oder Explosionen in der Leitung oder in angeschlossenen Bauten
- Grossräumige Sperrung des Umgeländes durch Feuerwehr und Polizei
- Durchführung von Ex-Messungen
- Kontrolle des Töbelibaches und Einbau von zwei Bachsperrern
- Absperren des Abflusses zur ARA am Regenklärbecken sowie Entleeren und Entsorgen des zufließenden Wasser-Benzin-Gemisches
- Abpumpen von Restmengen von Benzin aus dem Tankfahrzeug
- Einbau einer weiteren Bachsperre
- Umleiten des Verkehrs

Sanierungsarbeiten

Übersicht über die Massnahmen

Gemäss dem Bericht der ARGE Büchi + Müller und IPG Keller AG wurden die folgenden Massnahmen durchgeführt:

- Erstellen von zwei Sickerschächten zur Aufnahme von Benzin in der Phase über dem Grundwasser bzw. zum Schutz des Töbelibaches
- Erstellen einer Drainageabschirmung zwischen den Sickerschächten und einer Folientauchwand zur Abkoppelung des Baches vom Grundwasser
- Aushub von kontaminiertem Boden im Versickerungsbereich sowie unter dem Wohnhaus. Dabei wurden ca. 2'200 m³ ausgehoben, wovon ca. 1'200 m³ als Sonderabfall entsorgt werden mussten.
- Pumpbetrieb als hydraulische Barriere zur Verhinderung der Ausbreitung von kontaminiertem Grundwasser bzw. zum Schutz des angrenzenden Töbelibaches

8 Unfall mit einem Tanklastwagen auf der A4 bei Risch ZG

Übersicht

Die nachfolgenden Angaben basieren auf einem Bericht des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug.

Datum:	Mittwoch, 6. Juni 2001
Ereignis:	Selbstunfall Tanklastfahrzeug mit Anhänger
Freigesetzte Flüssigkeit:	Heizöl
Transportierte Menge:	21'000 l, Anhänger 10'000 l
Aus Anhänger ausgeflossene Menge:	8'700 l
Verdunstete Menge:	9'000 l
Im Entwässerungssystem zurückgewonnene Menge:	7'300 l
Menge Ölsperre:	1'300 l
Schaden:	Fr. 0,05 - 0,10 Mio.

Unfallhergang

Der Unfall ereignete sich auf der Autobahn A4 bei Risch ZG, Fahrtrichtung Zürich. Infolge Unaufmerksamkeit des Fahrers kollidierte das Fahrzeug mit der Mittelstreifenleitschranke. Dabei rollte sowohl das Tankfahrzeug als auch der Anhänger um 90°. Der Tank des Anhängers wurde leckgeschlagen. Dabei liefen 8'700 l Heizöl aus.



Bild A8.1: Unfallstelle



Bild A8.2: Lage des Unfallfahrzeugs

Ausbreitungswege

An der Unfallstelle umfasst das Entwässerungssystem einen zweiteiligen Kanal mit je einem Teil für das Strassenabwasser und einen Bach. Der Kanal führte bis zu einem Einsteigbauwerk, von wo aus das Strassenabwasser über den Bach als Vorfluter in den Zugersee gelangt. Im Zeitpunkt des Unfalls regnete es vergleichsweise stark. Es dauerte ca. eine halbe bis dreiviertel Stunde bis das mit Heizöl belastete Strassenabwasser das Einsteigbauwerk erreichte. Dadurch war die Feuerwehr in der Lage, aus diesem Bauwerk das verschmutzte Strassenabwasser zu evakuieren und eine grössere Verschmutzung des Zugersees zu verhindern.

Intervention der Ereignisdienste

Die Stützpunktfeuerwehr Zug unterstützt durch die lokale Ortsfeuerwehr führte gemäss dem erwähnten Bericht die folgenden Interventionen durch:

- Binden des ausgelaufenen Heizöls auf der Autobahn mittels Ölbinder
- Abpumpen der Meteorwasserschächte im Bereich der Unfallstelle
- Umpumpen des im Tank zurückgebliebenen Heizöls auf der Unfallstelle
- Abpumpen des Heizöls im Einstiegsbauwerk Zweiern in einen Saugwagen. Im Bauwerk konnte ein grosser Teil des Heizöls zurückgehalten werden, nachdem eine Tauchwand (Schütz) hochgezogen wurde und so als Ölsperre diente.
- Installation einer inneren und einer äusseren Sperre beim Bacheinlauf
- Binden des Mediums beim Bacheinlauf und gleichzeitiges Absaugen in einen Saugwagen
- Reinigung der Strasse
- Entsorgung des Öl-/Bindemittelgemisches

Folgerungen

- Einfache kostengünstige Massnahmen in ohnehin notwendigen Bauwerken von Entwässerungssystemen können im Fall von Freisetzungen wassergefährdender Flüssigkeiten eine grosse Wirkung aufweisen. Das Beispiel des Einstiegsbauwerks zeigt dies.
- Mehrfache Ölsperren weisen eine gute Wirkung auf.
- Der Einsatz von Löschschaum bei Freisetzung wassergefährdender Flüssigkeiten ist zur Verhütung von Emulsionen zu vermeiden.

Anhang B:

Strassenentwässerung

Unfälle, Havarien

Entwurf



Strassenentwässerung

Unfälle, Havarien

INHALTSVERZEICHNIS	Seite
A. Allgemeines	2
1. Geltungsbereich	2
2. Gegenstand	2
3. Zweck	2
4. Begriffe	2
B. Grundlagen	4
5. Übersicht über die Szenarien	4
6. Übersicht über die Sicherheitsmassnahmen	4
B. Wirtschaftliche Angemessenheit	6
7. Vorgehen	6
8. Grenzkosten	7
D. Wirkung von Sicherheitsmassnahmen	9
9. Wirkung von Sicherheitsmassnahmen zur Herabsetzung der Häufigkeit von Freisetzungen	9
10. Wirkung von Sicherheitsmassnahmen zur Herabsetzung des Schadenausmasses	10
E. Massnahmen zur Herabsetzung des Gefahrenpotentials	11
11. Verbot von Transporten wgFI oder Befahren mit beschränkten Mengen	11
12. Geschwindigkeitsbegrenzungen	11
F. Massnahmen zur Verhinderung von Freisetzungen	11
13. Aktive Sicherheit von Hochleistungsstrassen	11
14. Aktive Sicherheit von übrigen Strassen	11
15. Hindernisfreiheit des Strassenraums	11
16. Hindernisfreier Seitenstreifen	11
17. Tragkonstruktionen der Strassenausrüstung	11
18. Fahrzeugrückhaltesysteme	12
G. Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen	13
19. Anforderungen an die baulichen Sicherheitsmassnahmen	13
20. Auffangen und Ableiten wgFI	14
21. Abscheiden und Rückhalten wgFL	20
22. Massnahmen auf Brücken	25
H. Literaturverzeichnis	26

Herausgeber:

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Bearbeitung: VSS - Kommission 2, Planung und Projektierung

Genehmigt: 2005

Editeur:

Union des professionnels suisses de la route (VSS)
Seefeldstrasse 9, 8008 Zürich

Elaboration: Commission VSS 2, Planification et projets

Adoptée: 2005

A. Allgemeines

1. Geltungsbereich

Diese Norm gilt für die Projektierung von baulichen Massnahmen an Strassen im Zusammenhang mit der Freisetzung von wassergefährdenden Flüssigkeiten. Sie beschränkt sich grundsätzlich auf Massnahmen zum Schutz von Grund- und Quellwasser im Bereich von Grundwasserschutzzonen und -arealen. Sie kann jedoch in speziellen Fällen auch von Gewässerschutzbereichen A sowie von oberirdischen Gewässern und deren Uferbereiche angewendet werden.

2. Gegenstand

Gegenstand der Norm sind Massnahmen zum Schutz von Gewässern im Zusammenhang mit Transporten wassergefährdender Flüssigkeiten auf der Strasse.

3. Zweck

Zweck der Norm ist die Lieferung von Grundlagen für die Projektierung von Sicherheitsmassnahmen.

4. Begriffe

Abscheider

Bauwerk innerhalb einer Entwässerungsanlage, in dem wassergefährdende Flüssigkeiten abgeschieden und zurückgehalten werden.

Absetzbecken

Bauwerk innerhalb einer Entwässerungsanlage, in dem durch die Verringerung der Fliessgeschwindigkeit und/oder lange Standzeiten absetzbare Stoffe zurückgehalten werden

Aktive Sicherheit im Strassenraum

Massnahmen zur Verhinderung des Abkommens von Fahrzeugen von der Fahrbahn, von Unfällen auf der Fahrbahn und von Kollisionen (Geometrie, Griffbarkeit, Signalisation, Winterdienst)

Ereignisdienst

Dienst, welcher für Leistungen bei ausserordentlichen Ereignissen organisiert, ausgerüstet und ausgebildet ist. Er umfasst einen Führungsstab, die Feuerwehr, den Unterhalts-, den Polizei- sowie den sanitätsdienstlichen Rettungsdienst und private Organisationen und Personen

Exfiltration

Versickern von Flüssigkeiten von einem in ein anderes Medium

Fahrzeugrückhaltesystem

Massnahme des passiven Schutzes, welche von der Fahrbahn abgeirrte Fahrzeuge umlenkt oder abbremst. Fahrzeugrückhaltesysteme sind u.a. Leitschranken, Leitmauern und Leitborde.

Grenzkosten

Grundlage für die Beurteilung der Effizienz von Investitionen für Sicherheitsmassnahmen. Betrag in Geldeinheiten, der für Sicherheitsmassnahmen investiert werden kann.

Havarie

Verkehrsunfall mit einer Freisetzung von wassergefährdenden Flüssigkeiten.

Kontrollschacht

Bauwerk, das den Zugang für Unterhalts- und Kontrollzwecke zu Abwasser- und Sickerleitungen ermöglicht.

Leichtflüssigkeit

Flüssigkeit mit kleinerer Dichte als die des Wassers.

Passiver Schutz im Strassenraum

Massnahme ausserhalb der Fahrbahn zur Verminderung der Folgen des Abkommens von Fahrzeugen von der Fahrbahn (Eliminieren von Hindernissen, Einsatz umfahrebarer Strassenausrüstungen, Fahrzeugrückhaltesysteme usw.)

Randabschluss

Begrenzung zur Wasserführung wie Randabschlüsse, Wulste, Leitborde, Dämme geringer Höhe

Retentionsbecken

Anlageteil eines Entwässerungssystems zur Dämpfung von Abflussspitzen

Schlammsammler

Ablauf zur Fassung des Oberflächenwassers auf der Strasse, bestehend aus einem Schacht mit einem Absetzraum und einem Aufsatz

Spülstoss

Unmittelbar nach Regenbeginn abfliessendes Strassenabwasser mit Konzentrationsspitzen von Schadstoffen

Tauchwand

Bauliche Vorrichtung, welche aufschwimmende Stoffe zurückhält.

Versickerungsanlage

Bauliche Anlage zum Einleiten von Abwasser in durchlässige Bodenschichten

Wassergefährdende Stoffe

Stoffe, die in der Lage sind, die physikalische und chemische oder biologische Beschaffenheit des Wassers nachteilig zu verändern oder die im Wasser vorkommenden Lebewesen schädigen können.

Wirkungswert

Reduktion der Häufigkeit eines Schadenereignisses oder des Schadenausmasses

B. Grundlagen

5. Übersicht über die Szenarien

Die massgebenden Szenarien sind in der Abb. 1 zusammengestellt.

Für den Gewässerschutz wird von der Freisetzung von Mineralölprodukten und stark wassergefährdenden Flüssigkeiten ausgegangen. Als Referenzstoff werden die Warengruppen Heiz-/Dieselöl sowie Benzin angenommen. Im Folgenden wird für den Referenzstoff die Abkürzung wgFI (wassergefährdende Flüssigkeit) verwendet.

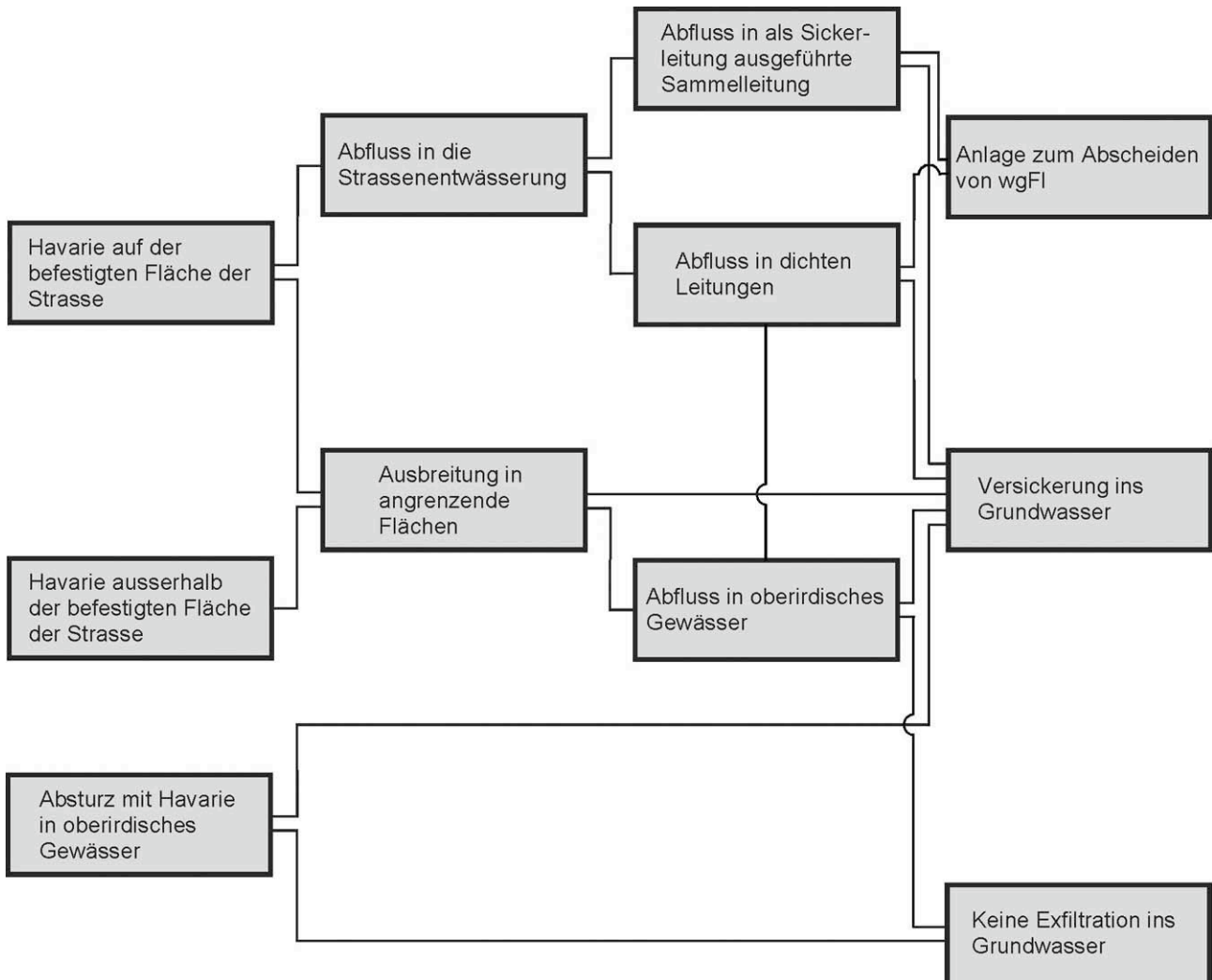


Abb. 1
Übersicht über die massgebenden Szenarien

6. Übersicht über die Sicherheitsmassnahmen

Eine Übersicht über die Sicherheitsmassnahmen findet sich in der Abb. 2.

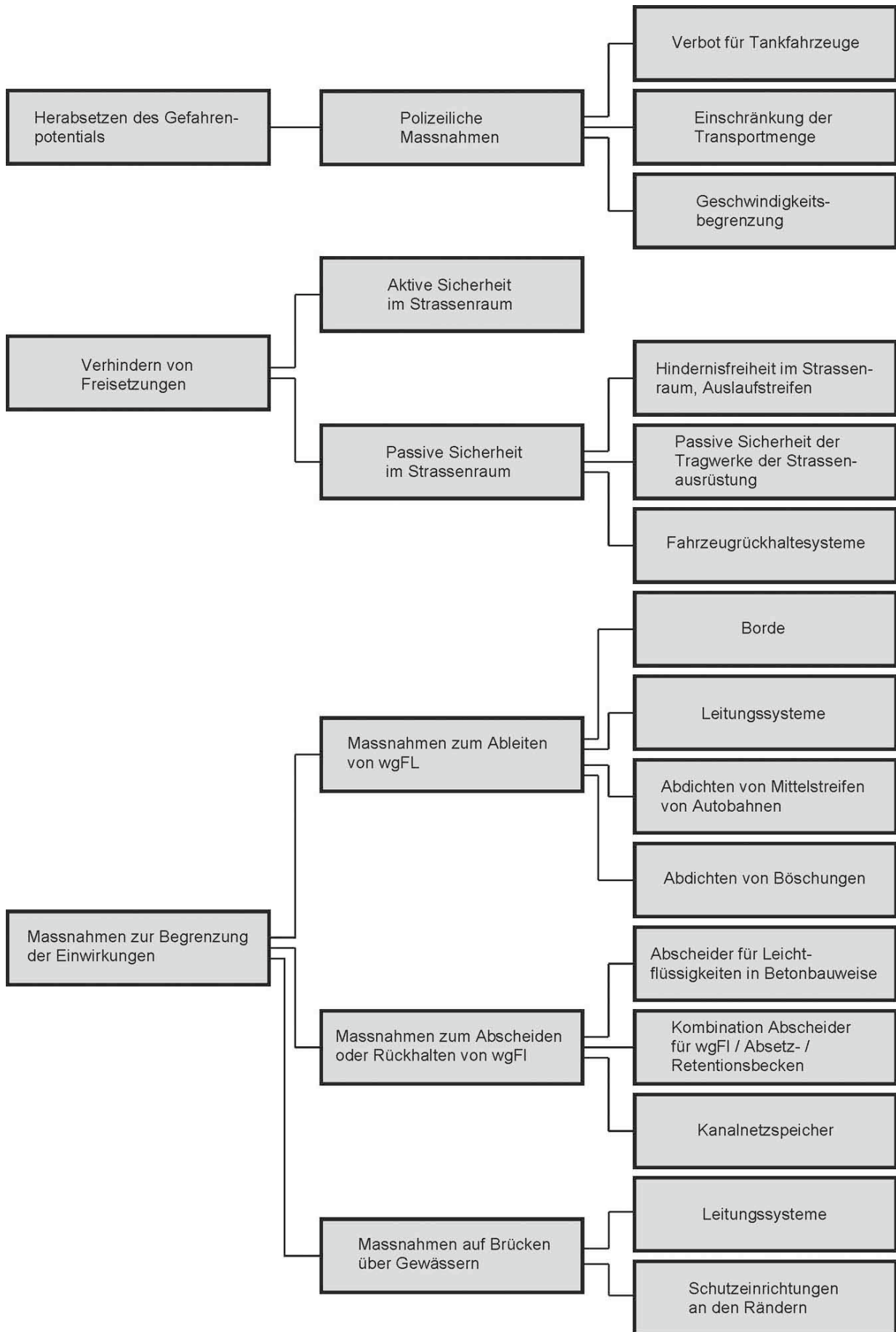


Abb. 2
Übersicht über die Sicherheitsmassnahmen

C. Wirtschaftliche Angemessenheit von Massnahmen

7. Vorgehen

Das Vorgehen zur Beurteilung der wirtschaftlichen Angemessenheit ist in der Abb. 3 dargestellt.

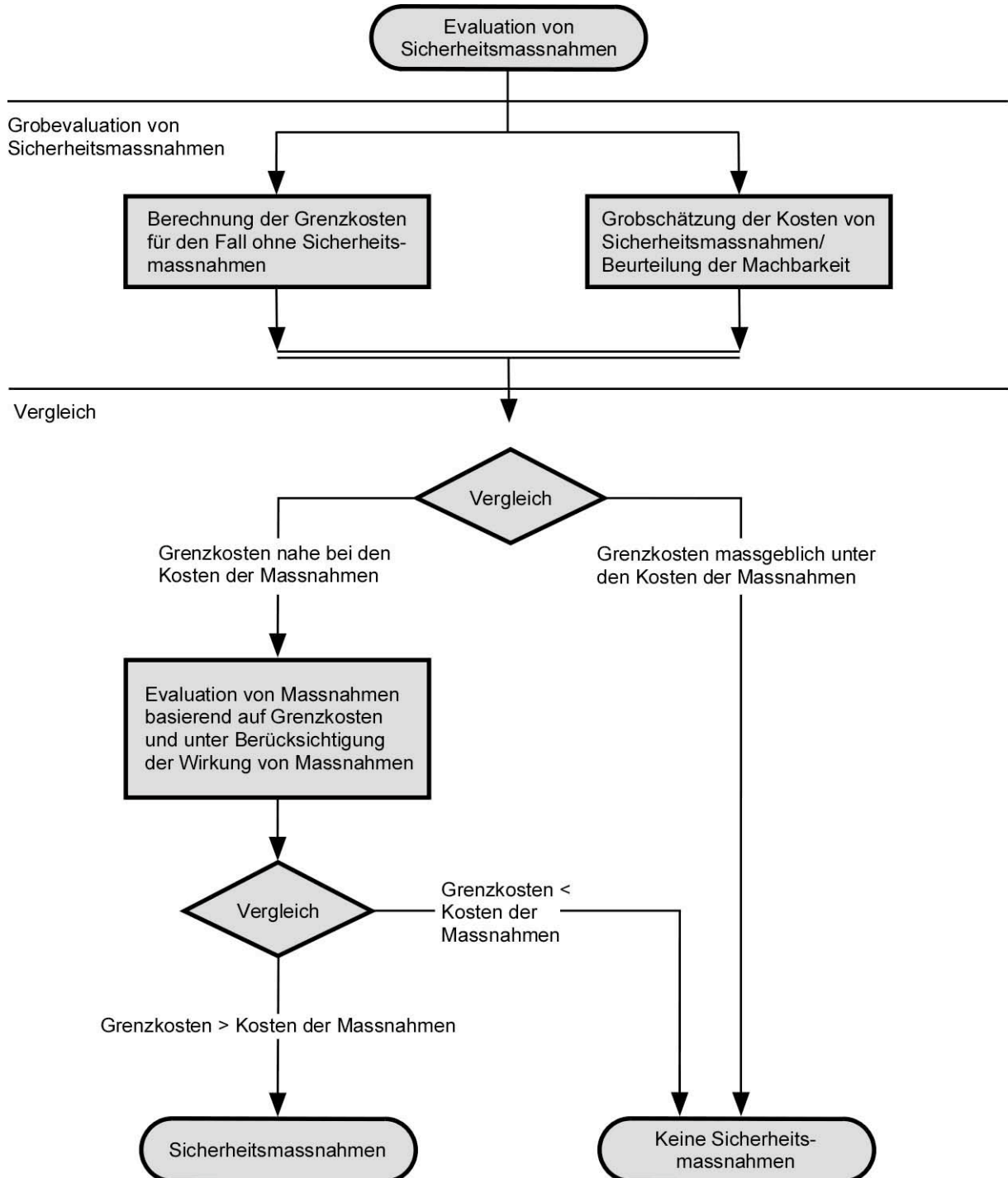


Abb. 3
 Vorgehen zur Beurteilung der Notwendigkeit von Massnahmen und zu deren Evaluation

8. Grenzkosten

8.1 Berechnung der Grenzkosten

Die Grenzkosten werden basierend auf statistischen Daten aus dem Handbuch [14], Erhebungen von Schäden, der Beurteilung der Wirkung von Sicherheitsmassnahmen sowie den jeweils aktuellen Zinssätzen bestimmt. Das Resultat ist als Schätzung zu betrachten. Die Berechnungsformel und der Ablauf ist in der Abb. 4 dargestellt und besteht aus folgenden Faktoren:

- HF [1 / km a]: Häufigkeit einer relevanten Freisetzung
- WHF [-]: Wirkungsfaktoren von Massnahmen zur Herabsetzung der Häufigkeit
- SA [Fr]: Schadenausmass bei einer relevanten Freisetzung
- WSA [-]: Wirkungsfaktoren von Massnahmen zur Herabsetzung des Schadenausmasses
- GWK [-]: Gegenwartswertfaktor
- GKM (Fr / km a): Grenzkosten von Massnahmen

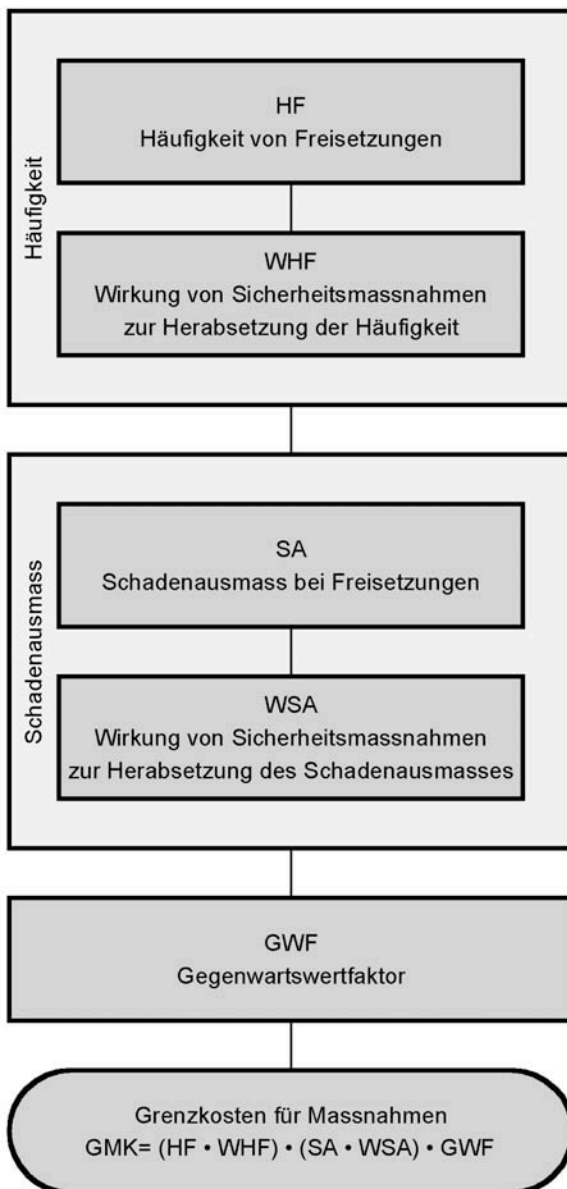


Abb. 4
Ablauf und Formel zur Bestimmung der Grenzkosten

8.2 Häufigkeit von Freisetzungen (HF)

Die Häufigkeit repräsentativer Ereignisse pro km und Jahr (HF) ergibt sich aus der Multiplikation der folgenden Faktoren:

- DTV [Fz / d]: Durchschnittlicher täglicher Verkehr
- 365 d/a
- ASV [-]: Anteil Schwerverkehr am Gesamtverkehr
- AGS [-]: Anteil Gefahrgutverkehr am Schwerverkehr
- ASK [-]: Anteil der massgebenden SDR-Klasse am Gefahrgutverkehr
- UGV [1 / Fz km]: Unfallrate des Gefahrgutverkehrs
- UAF [-]: Anteil Abkommensunfälle am Unfallgeschehen
- ARF [-]: Anteil der relevanten Freisetzungen bei Gefahrgutunfällen

Parameter im Einzelnen

Die Parameter werden wie folgt ermittelt:

- Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV)
Angaben sind bei den Strassenverwaltungen erhältlich.
- Anteil Schwerverkehr am Gesamtverkehr (ASV)
Angaben zum ASV oder dem durchschnittlichen täglichen Schwerverkehr können bei den Strassenverwaltungen beschafft werden.
- Anteil Gefahrgutverkehr am Schwerverkehr (AGS)
Angaben zum Gefahrgutverkehr am Schwerverkehr sind für Hochleistungsstrassen teilweise bei den Strassenverwaltungen erhältlich. Bei anderen Strassentypen kann der Transport wassergefährdender Flüssigkeiten bzw. der durchschnittliche tägliche Verkehr von Tankfahrzeugen direkt bestimmt werden. Grundlage ist das mit Mineralölprodukten zu versorgende Gebiet oder die geschätzten Zu- und Wegfahrten bei Tanklagern.
- Anteil der massgebenden SDR-Klasse am Gefahrgutverkehr (ASK)
Für Gewässerschutz-Massnahmen an Strassen sind die Transporte von Mineralölprodukten massgebend. Der Wert ist mit $ASK = 0,70$ einzusetzen.
- Unfallrate des Gefahrgutverkehrs (UGV)
Die Unfallraten des Schwer- und des Gefahrgutverkehrs sind etwa halb so gross wie jene des Gesamtverkehrs. Sie sind in der Tab. 1 dargestellt.

Strassenkategorie	Unfallrate des Gefahrgutverkehrs (UGV)
Autobahnen	$0,20 \times 10^{-6} / \text{Fz km}$
Autostrassen	$0,25 \times 10^{-6} / \text{Fz km}$
Strassen ausserorts	$0,35 \times 10^{-6} / \text{Fz km}$
Strassen innerorts	$1,20 \times 10^{-6} / \text{Fz km}$

Tab. 1

Unfallraten des Gefahrgutverkehrs

- Anteil Abkommensunfälle am Unfallgeschehen (UAF)
Diese sind insbesondere vom Strassentyp und der Linienführung abhängig und sind in der Tab. 2 aufgelistet. Für Strassen innerorts sind keine Angaben möglich, weil die Situationen zu unterschiedlich sind.

Kategorie	Anteil Abkommensunfälle am Unfallgeschehen (UAF)
Autobahnen:	
- Trasse	0,80
- Anschlüsse	4,00
Autostrassen:	
- Trasse	1,00
- Anschlüsse	5,00
Hauptstrassen ausserorts:	
- Stetige Strassen	1,50
- Kurvige Strassen	6,00
Strassen innerorts	Keine Angaben

Tab. 2
Anteil der Abkommensunfälle am Unfallgeschehen

— Anteil der relevanten Freisetzungen bei Gefahrgutunfällen (RFZ)

Der Wert beträgt für Grundwasservorkommen und fließende Gewässer RFZ = 0,01.

Zur Freisetzung in Seen finden sich Angaben im Handbuch [14].

D. Wirkung von Sicherheitsmassnahmen

9. Wirkung von Sicherheitsmassnahmen zur Herabsetzung der Häufigkeit von Freisetzungen

9.1 Fahrverbot für Tankfahrzeuge

Die Wirkung ist in jedem Fall so gross, dass keine zusätzlichen Sicherheitsmassnahmen notwendig sind.

9.2 Zonenbezogene Geschwindigkeitsbegrenzung

Die Wirkung als Sicherheitsmassnahme ist vernachlässigbar gering.

9.3 Hindernisfreier Seitenstreifen

Ein 6 m breiter hindernisfreier Seitenstreifen reduziert die Wahrscheinlichkeit eines relevanten Unfalls um 60 %. Der Wirkungsfaktor beträgt somit 0,40.

9.4 Einsatz von Leitschranken

Die Wirkungsfaktoren sind in der Tab. 3 angegeben.

Strassentyp/Linienführung	Wirkungsfaktor
Hochleistungsstrassen Trasse	0,15
Hochleistungsstrassen Anschlüsse und Verzweigungen	0,15
Hauptstrassen stetig	0,15
Hauptstrassen kurvig	0,30

Tab. 3
Wirkungswerte von Massnahmen der passiven Sicherheit

10. Wirkung von Sicherheitsmassnahmen zur Herabsetzung des Schadenausmasses

10.1 Kombination von Massnahmen

Die Wirkung von Sicherheitsmassnahmen ist nachfolgend zusammengestellt. Einzelne Massnahmen haben nur in Kombination mit anderen Massnahmen eine massgebliche Wirkung. In anderen Fällen sind Kombinationen von Sicherheitsmassnahmen nicht effizient.

10.2 Abwasserleitungssystem

In den folgenden Fällen ist immer ein Abwasserleitungssystem notwendig:

- Beim Einsatz von Leitschranken
- Beim Abdichten von Böschungen
- Eine Entwässerung über das Bankett ist gemäss der Wegleitung [16] nicht zulässig.

10.3 Abdichtung von Mittelstreifen auf Autobahnen

Mittelstreifen auf Autobahnen sind im Bereich von Grundwasserschutzzonen und -arealen mit einem Belag gemäss Ziffer 20.1 auszuführen. Ausserhalb von Grundwasserschutzzonen und -arealen ist die Notwendigkeit zu prüfen. Die Wirkung ist 100 % (Wirkungsfaktor 0,00).

10.4 Abdichten von Böschungen

Das Abdichten von Böschungen gemäss Ziffer 20.5 wirkt im Wesentlichen identisch wie der Einsatz von Massnahmen der passiven Sicherheit. Die Wirkung beträgt 95% (Wirkungsfaktor 0,05). Eine Kombination von Massnahmen der passiven Sicherheit verbunden mit dem Abdichten von Böschungen ist allgemein nicht effizient.

10.5 Abscheiden oder Rückhalten von wassergefährdenden Flüssigkeiten

Havarien treten meistens als Folge eines Anpralls von Fahrzeugen an Hindernisse oder eines Umkippens auf. Dies kann durch Leitschranken weitgehend verhindert werden. Ohne Leitschranken oder Abdichtungen von Böschungen tritt die Havarie ausserhalb der befestigten oder abgedichteten Fläche auf. Die ausfliessende wgFI kann in diesem Fall weder in einen Abscheider noch in eine Rückhalteinlage abgeleitet werden. Die Wirkungswerte für Sicherheitsmassnahmen für den Fall einer Freisetzung auf der befestigten Fläche der Strasse sind in der Tab. 4 zusammengestellt.

Massnahme	Wirkungsfaktor
Abscheider und Kombination mit Absetzanlage ¹⁾	0,01
Ölrückhaltebecken B'	0,10
Kanalnetzspeicher ²⁾	0,20

¹⁾ Die Kombination Abscheider/Absetzanlage/Retentionsbecken weist gegenüber dem Abscheider in Betonbauweise eine verbesserte Wirkung bezüglich Stoffen schwerer als Wasser (CKW, diverse Weichmacher usw.), wasserlöslichen Stoffen sowie Säuren und Laugen auf.

²⁾ Kanalnetzspeicher weisen bezüglich ihrer Wirkung grosse Streuungen auf.

Tab. 4

Wirkungsfaktoren von Massnahmen zum Abscheiden und Rückhalten von wgFI

E. Massnahmen zur Herabsetzung des Gefahrenpotentials

11. Verbot von Transporten wgFI oder Befahren mit beschränkten Mengen

Diese Fälle sind in der Verordnung [12] geregelt. Die betroffenen Strassen sind in einer Liste aufgeführt. Das Verbot von Transporten ist eine sehr wirksame Sicherheitsmassnahme. Die Wirkung von Mengenbeschränkungen ist eher klein.

12. Geschwindigkeitsbegrenzungen

Auf Hochleistungsstrassen und Strassen innerorts werden selten Geschwindigkeitsbegrenzungen verfügt. Die Wirkung der Begrenzung ist allgemein nicht erheblich.

F. Massnahmen zur Verhinderung von Freisetzung

13. Aktive Sicherheit von Hochleistungsstrassen

In Anbetracht der Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit von Schwere Lastfahrzeugen stehen Unfälle mit Tankfahrzeugen in keiner massgeblichen Beziehung zur aktiven Sicherheit von Hochleistungsstrassen. Massnahmen in diesem Bereich sind deshalb nicht wirksam.

14. Aktive Sicherheit von übrigen Strassen

Massgebende Beziehungen zwischen Unfällen mit Tankfahrzeugen und der aktiven Sicherheit bestehen nicht. Unfälle von Tankfahrzeugen stehen jedoch in einer Beziehung zur Kurvigkeit der Strassen.

15. Hindernisfreiheit des Strassenraums

Das Beseitigen von festen Gegenständen ist allgemein die effizienteste Sicherheitsmassnahme zur Verhinderung von Havarien. Angaben zur Hindernisfreiheit des Strassenraums finden sich in der Norm [6].

16. Hindernisfreier Seitenstreifen

Hindernisfreie Seitenstreifen haben die folgenden Anforderungen zu erfüllen:

- Breite gemessen ab Lichtraumprofil der Strasse 6 m
- Fläche ohne feste Objekte (gefährliche Hindernisse)
- Ausreichende Befahrbarkeit (Wiese an trockenem Standort, Kiesrasen mit geringer Oberbaudicke)

17. Tragkonstruktionen der Strassenausrüstung

Ungefährliche Tragkonstruktionen der Strassenausrüstung sind gemäss der Norm [8] unabhängig von der Gefahr von Havarien einzusetzen. Innerhalb des Siedlungsgebietes sind die Verhältnisse im Einzelnen gefährdungsbezogen zu beurteilen.

18. Fahrzeurückhaltesysteme

18.1 Grundlagen

Der Einsatz und die Wahl von Schutzeinrichtungen sind in den Normen [6] [7] behandelt. Grundlagen zur Ausführung von Fahrzeurückhaltesystemen finden sich in den Richtlinien [15].

18.2 Einsatz von Schutzeinrichtungen

Es gelten folgende Grundsätze für den Einsatz:

- Schutzeinrichtungen gemäss Ziffer 17.3 sind ausschliesslich an den Aussenrändern von Strassen anzuordnen. Auf Mittelstreifen vorhandene Schutzeinrichtungen, welche die Anforderungen der Norm [] erfüllen, weisen ein ausreichendes Sicherheitsniveau auf.
- Schutzeinrichtungen müssen eine minimale Länge von 200 m exkl. Anfangs-, End- bzw. Übergangskonstruktionen aufweisen. Sie dürfen auf der ganzen Länge in keinem Fall unterbrochen werden.

18.3 Wahl von Schutzeinrichtungen

Die Wahl des Schutzeinrichtungssystems gemäss der Richtlinie [15] erfolgt nach den folgenden Kriterien:

- Es sind grundsätzlich unabhängig vom Strassentyp Leitschranken der Aufhaltstufe H2 gemäss der Norm [7] anzuordnen.
- Die minimale Höhe der Schutzeinrichtung hat ausser auf Mittelstreifen von Autobahnen 1,15 m zu betragen.

18.4 Vergleich von Leitschranken und Leitmauern

Der Vergleich findet sich in der Tab. 5. Beim Einsatz von Leitmauern ist zu berücksichtigen, dass beim Anprall von Tankfahrzeugen mit erheblicher Wahrscheinlichkeit Lecks an Transporttanks, Versandstücken und Containern auftreten. Der Einsatz von Leitmauern kann deshalb wegen Freisetzungen flüchtiger gefährlicher Stoffe eine Herabsetzung des Sicherheitsniveaus für die Bevölkerung bewirken.

Es ist auch zu berücksichtigen, dass beim Anprall von Tankfahrzeugen an Leitmauern auch erhebliche Mengen von wgFI auf der Aussenseite freigesetzt werden können.

Charakteristiken	Beurteilung	
	Leitschranke	Leitmauer
Aufhaltevermögen von Lastfahrzeugen	hoch	sehr hoch
Leck nach Anprall	geringe Wahrscheinlichkeit	erhebliche Wahrscheinlichkeit*
Rückhalten von wgFI	mit Bord gewährleistet	gewährleistet
Anprallheftigkeit	günstig	ungünstiger

* Einsatz nur in Kombination mit Anlagen zum Abscheiden von wgFI mit einem Volumen des Auffangraumes für Leichtflüssigkeiten von 25 m³

Tab. 5
Vergleich von Leitschranken und Leitmauern

18.5 Anfänge von Leitmauern

Anfänge von Leitmauern stellen hinsichtlich Havarien von Tankfahrzeugen eine ausserordentliche Gefährdung dar. Um diese herabzusetzen, sind die folgenden Massnahmen erforderlich:

- Anordnung einer Leitschranke mit einer minimalen Höhe von 1,15 m vor dem Anfang der Leitmauer
- Anordnung einer Übergangskonstruktion zwischen der Leitschranke und der Leitmauer gemäss der Richtlinie [15]

18.6 Schutzeinrichtungen vor Hindernissen

Es gelten folgende Grundsätze:

- Wenn der Abstand des Hindernisses zum Lichtraumprofil weniger als 6,00 m beträgt, sind Schutzeinrichtungen anzuordnen.
- Das System ist gemäss Ziffer 18.3 und der Richtlinie [15] zu wählen.
- Der Abstand zwischen der Schutzeinrichtung und dem Hindernis hat dem Mass des Wirkungsbereichs des gewählten Systems gemäss der Norm [7] zu entsprechen. Bei beengten Verhältnissen auf Hochleistungsstrassen mit Standstreifen kann die Schutzeinrichtung direkt am Standstreifen angeordnet werden.

18.7 Schutzeinrichtungen im Siedlungsgebiet

In Anbetracht des grossen Raumbedarfes für Schutzeinrichtungen inkl. Anfangs- und Endkonstruktionen können diese im Siedlungsgebiet in der Regel nicht angeordnet werden.

G. Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen

19. Anforderungen an die baulichen Sicherheitsmassnahmen

19.1 Ziele für die Intervention im Ereignisfall

Die baulichen Sicherheitsmassnahmen haben einen direkten Bezug zum Einsatz der Ereignisdienste mit folgenden übergeordneten Zielen:

- Verkürzen der Zeitdauer zwischen Ereignisbeginn und Intervention der Ereignisdienste
- Vereinfachen und damit Beschleunigen der Intervention der Ereignisdienste
- Gewährleisten der Evakuierung wassergefährdender Stoffe mit den Mitteln der Ereignisdienste

19.2 Ziele für den Unterhalt

Die baulichen Sicherheitsmassnahmen stehen in einer engen Beziehung zum Unterhalt. Dabei sind die folgenden Ziele zu verfolgen:

- Geringer Unterhaltsaufwand
- Kein Beizug von Spezialisten notwendig
- Unterhalt ohne spezielle Geräte möglich

19.3 Anforderungen

Die folgenden Anforderungen sind zu beachten:

- Übersichtliche, einfach konzipierte Sicherheitsmassnahmen (von Hand bedienbare Klappen anstelle von Schiebern usw.)
- Ausrüstung möglichst ohne Mess-, Steuer und Regleinrichtungen
- Ausrüstung, insbesondere Mess-, Steuer- und Regleinrichtungen weitgehend wartungsfrei
- Einsatz von Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen nur in Räumen mit günstigen klimatischen Bedingungen sowie an Orten, wo die notwendige Infrastruktur wie insbesondere Elektrizität zur Verfügung steht.

20. Auffangen und Ableiten wgFI

20.1 Dichte Ausführung des Strassenquerschnitts

Als dicht gelten rissfreie Deckschichten aus Asphaltbeton.

20.2 Randabschlüsse

Randabschlüsse zur Sammlung von Wasser sind mit einer Höhe von 70 mm auszuführen. Es sind Asphaltborde oder konventionelle Randabschlüsse mit gedichteten Fugen und einem gedichteten Belagsanschluss vorzusehen.

20.3 Abwasserleitungen und Rinnen

Ausführung

- Die Leitungen sind mit dichten Muffen auszuführen.
- Rinnen sind mit dichten Fugen auszuführen.

20.4 Abdichtungen in Banketten und Mittelstreifen

20.4.1 Ausführung

Die Abdichtungen in Banketten und Mittelstreifen sind wie folgt auszuführen:

- Es ist eine dichte Deckschicht einzubauen.
- Die Abschlüsse der Deckschicht an Borde oder Einbauteile der Strassenentwässerung sind mit einem bewährten System abzudichten.
- Wo die örtlichen Verhältnisse es zulassen, sind die Pfosten von Schutzeinrichtungen zu rammen. Der beim Rammen der Pfosten entstehende Spalt ist mit einer Heissvergussmasse abzudichten.

20.4.2 Abdichtungen in Banketten

Die Breite der Abdichtungen auf Banketten muss 0,20 m grösser sein als der Wirkungsbereich der Schutzeinrichtung gemäss der Norm [7]. Ein Querschnitt des Fahrbahnrandes und des Banketts ist in der Abb. 3 dargestellt.

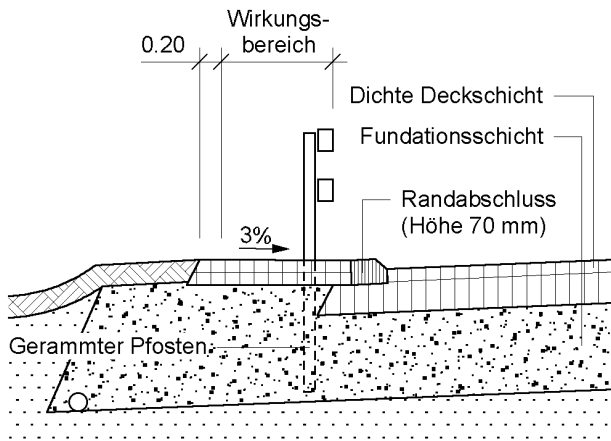


Abb. 3
 Beispiel einer Abdichtung eines Banketts am unteren
 Fahrbahnrand mit einem dichten Belag

20.5 Abdichtungen in Böschungen

20.5.1 Vergleich der Abdichtungssysteme

Ein Vergleich findet sich in der Tab. 6.

Kriterien	Bindiger Boden	Kunststoff-Dichtungsbahnen	Bentonitmatten
Anforderungen an die Sorgfalt beim Verlegen	hoch ¹⁾	gering	gering
Gefahr von Schäden durch Leitschrankenpfosten	gering	hoch	hoch
Gefahr von Schäden durch Wurzeln	gering	gering ²⁾	gering ²⁾
Anschlüsse an Randabschlüsse, Belagränder, Schächte	aufwändig ¹⁾	aufwändig	einfach
Schäden als Folge von Grabarbeiten nach Freisetzung wgFI	nicht massgebend		

¹⁾ Das Verdichten kleinflächiger Schichten und in Bereichen längs von Einbauteilen ist schwierig auszuführen.

²⁾ Es sind wurzelfeste Folien oder Matten zu verwenden.

Tab. 6
 Übersicht und Beurteilung von Abdichtungssystemen in Böschungen

20.5.2 Abdichtung mit bindigem Boden

Die Ausführung hat folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Die Dicke der Abdichtung hat 0,50 m zu betragen.
- Das Bodenmaterial hat die folgende Zusammensetzung aufzuweisen:
 - Ton, Anteil $\geq 10\%$
 - Geringer Anteil von organischen Beimengungen
- Die Verdichtung gemäss der Norm [9] hat mit einem Trockenraumgewicht $\gamma_{d,max} = 100\%$ gemäss AASHO-Standard zu erfolgen.
- Die Stabilität der Böschungen ist unter Einbezug der Abdichtungen zu überprüfen.

20.5.3 Abdichtung mit Kunststoff-Dichtungsbahnen

Die Ausführung hat folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Die Dicke der Bahnen hat mindestens 2 mm zu betragen.
- Massgebend sind die gleichen Anforderungen wie an Grundwasserabdichtungen gemäss der Norm [11] gestellt werden.
- Gegenüber mechanischer Beanspruchung bei der Verlegung auf kiesigem oder steinigem Untergrund ist die Unter- und die Oberseite der Bahnen zu schützen. Die Schutzschichten können aus Sand mit einer minimalen Dicke von 0,10 m oder Geotextilien bestehen. Die untere Schutzschicht ist im Fall von Sand zu verdichten und zu glätten. Die Überdeckung der oberen Schutzschicht hat min. 0,60 m zu betragen.

20.5.4 Bentonitmatten

Bentonitmatten sind geosynthetische Tondichtungsbahnen. Sie haben die folgenden Anforderungen zu erfüllen:

- Zur Erhaltung der Dichtheit sind die Matten hinsichtlich Austrocknung - insbesondere durch Frost - auf einer Tiefe von mindestens 0,80 m einzubauen.
- Die folgenden mechanischen Einwirkungen insbesondere während des Einbaus sind zu beachten:
 - Schütтарbeiten und Verdichten
 - Baustellenverkehr
 - Auflast der Überschüttung und dynamische Einwirkungen des Verkehrs
- Für die Stabilität der Böschungen ist die Übertragung der böschungsparellen Scherkräfte in den Kontaktflächen zwischen den Bentonitmatten und dem Untergrund bzw. der Schüttung nachzuweisen. Im Weiteren ist die Übertragung der inneren Scherfestigkeit der Bentonitmatten nachzuweisen.
- Die Ausführung bedingt ein sorgfältiges Vorgehen. Nachfolgend sind dazu Hinweise aufgeführt:
 - Vorbereitung eines Verlegeplans
 - Verlegen auf ebene verdichtete Unterlage ohne herausragende Steine
 - Verlegen der trockenen Bahnen bei trockener Witterung und Überschütten vor Regenbeginn
 - Abrollrichtung möglichst im Fallliniengefälle
 - Vermeiden von Vierfachüberlappungen an Hoch- oder Tiefpunkten
 - Prüfen von Einbindegräben
 - Falten- und verzerrungsfreies Verlegen
 - Prüfen der Notwendigkeit einer Schutzschicht über der Matte
 - Mindestdicke von 0,30 m der ersten Lage der Überschüttung und Schütten über Kopf.

20.5.5 Standardausführungen von Abdichtungen

In der Tab. 7 sind die Standardausführungen der verschiedenen Abdichtungstypen zusammengestellt.

Bedingungen	Abdichtungssysteme	
	Bindiger Boden	Kunststoffdichtungsbahnen und Bentonitmatten
Damm – oberer Fahr- bahnrand – unterer Fahr- bahnrand	Abb. 4	Abb. 5
	Abb. 6	Abb. 7
Einschnitt – oberer Fahr- bahnrand – unterer Fahr- bahnrand	Abb. 8	Abb. 9
	Abb. 10	Abb. 11

Tab. 7
Zusammenstellung von Ausführungen von Abdichtungen
in Böschungen

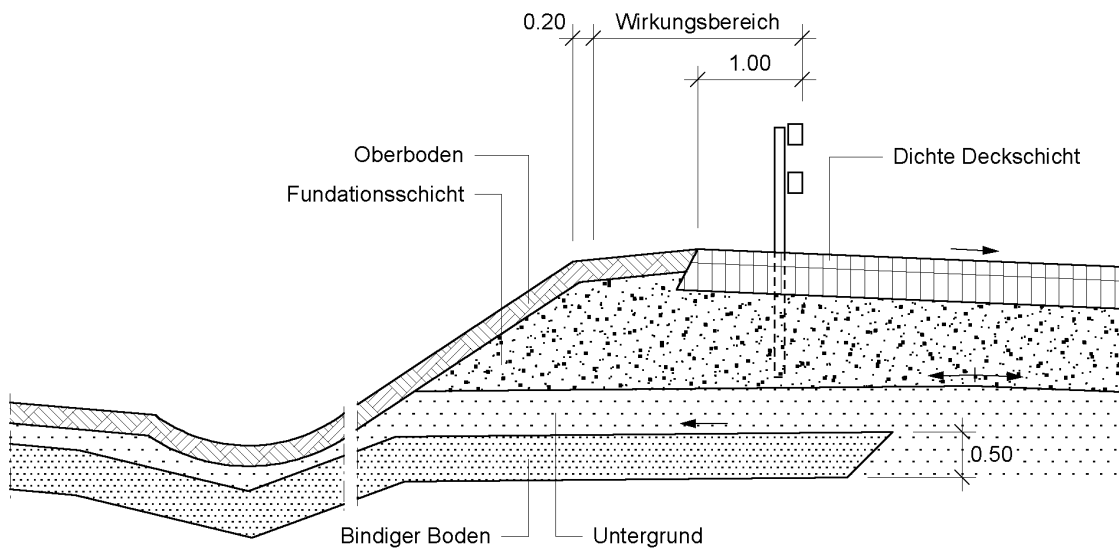


Abb. 4
Abdichtung mit bindigem Boden auf Damm am oberen Fahrbahnrand

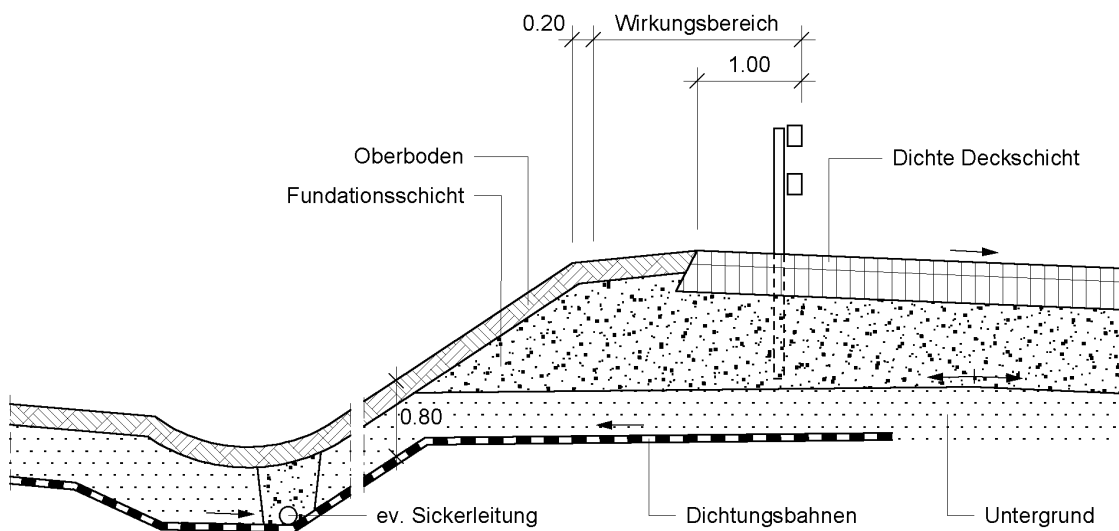


Abb. 5
Abdichtung mit Dichtungsbahnen auf Damm am oberen Fahrbahnrand

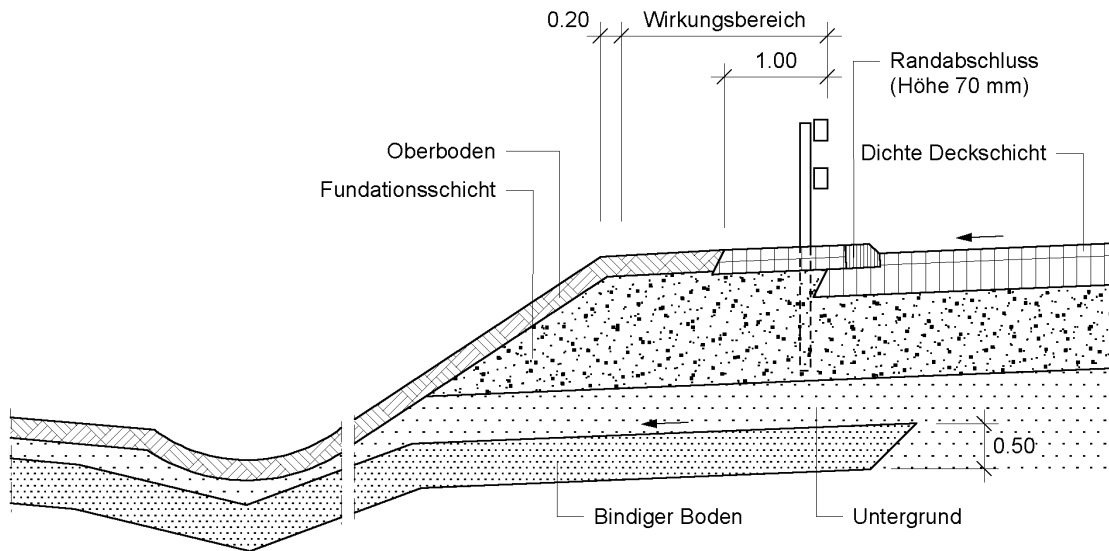


Abb. 6
Abdichtung mit bindigem Boden auf Damm am unteren Fahrbahnrand

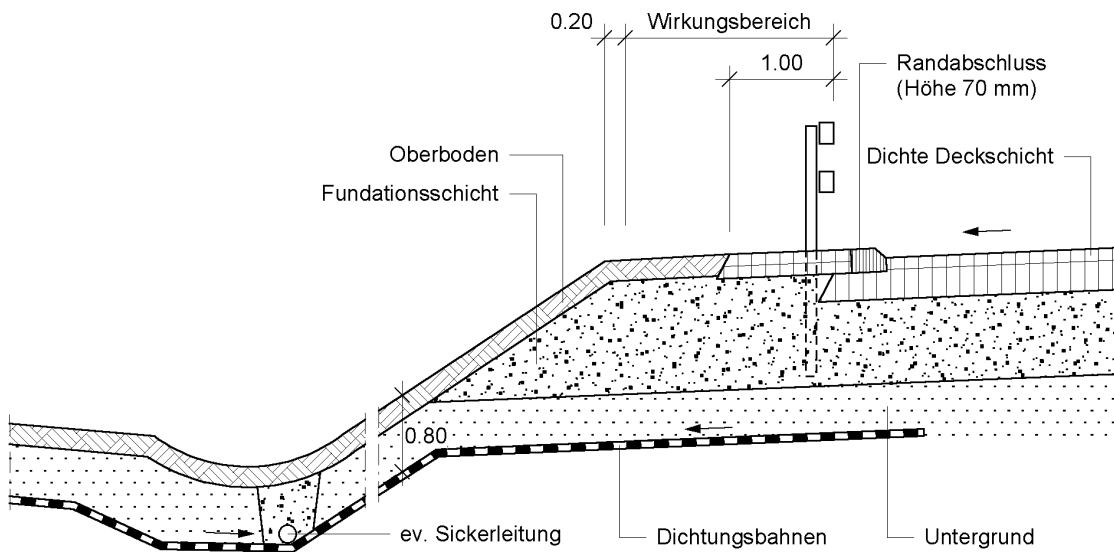


Abb. 7
Abdichtung mit Dichtungsbahnen auf Damm am unteren Fahrbahnrand

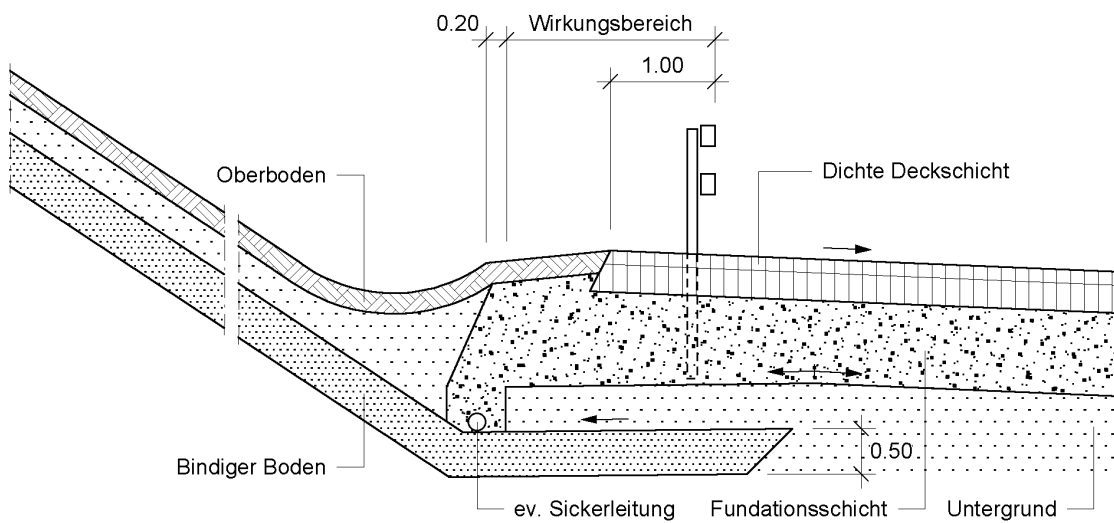


Abb. 8
Abdichtung mit bindigem Boden im Einschnitt am oberen Fahrbahnrand

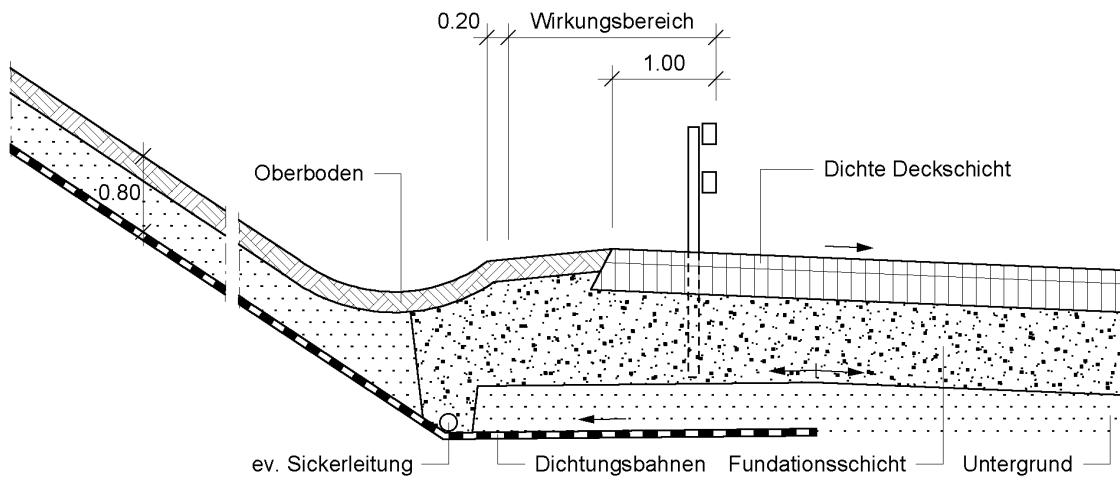


Abb. 9
Abdichtung mit Dichtungsbahnen im Einschnitt am oberen Fahrbahnrand

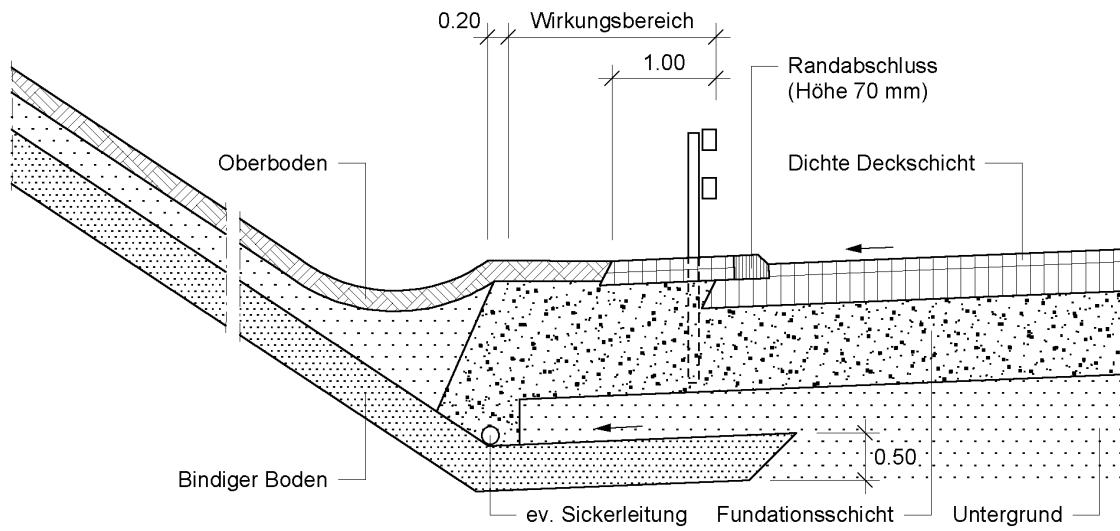


Abb. 10
Abdichtung mit bindigem Boden im Einschnitt am unteren Fahrbahnrand

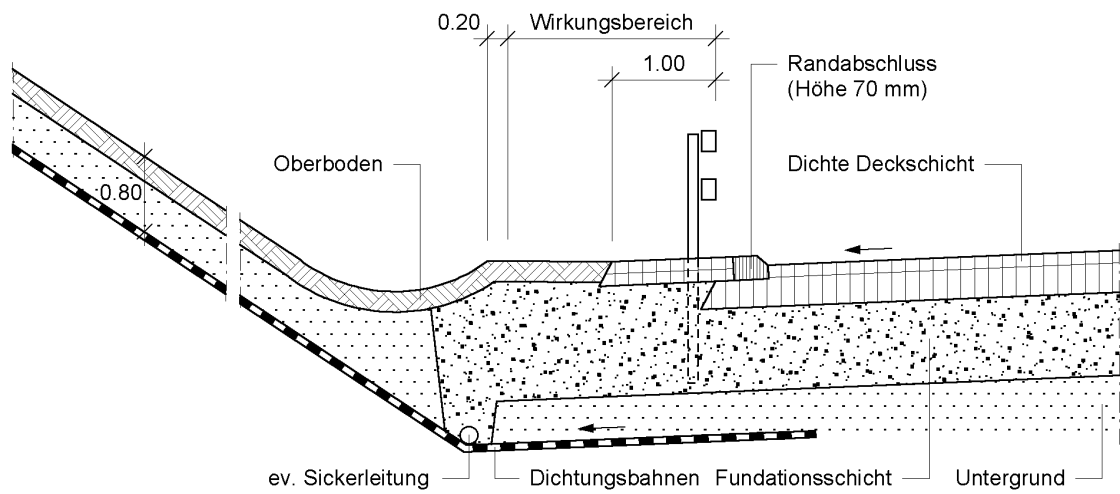


Abb. 11
Abdichtung mit Dichtungsbahnen im Einschnitt am unteren Fahrbahnrand

21. Abscheiden und Rückhalten wgFI

21.1 Übersicht und Grundlagen

21.1.1 Zweck

Anlagen zum Abscheiden und Rückhalten von wgFI haben die folgenden Aufgaben:

- Abscheiden und Rückhalten von Leichtflüssigkeiten (Mineralölprodukte)
- Rückhalten von anderen wgFI als Leichtflüssigkeiten wie insbesondere Säuren und Laugen

Das Abscheiden und Rückhalten von Leichtflüssigkeiten (Mineralölprodukte) hat in jedem Fall eine höhere Priorität als das Rückhalten von anderen wgFI.

21.1.2 Übersicht und Angaben zur Wahl von Anlagen

Die Abb. 12 liefert Angaben, für welche Stoffe welche Anlagenart eingesetzt wird. Die Grundlagen zur Beurteilung und zum Einsatz von Massnahmen zum Abscheiden und Rückhalten von wassergefährdenden Stoffen finden sich in der Tab. 8.

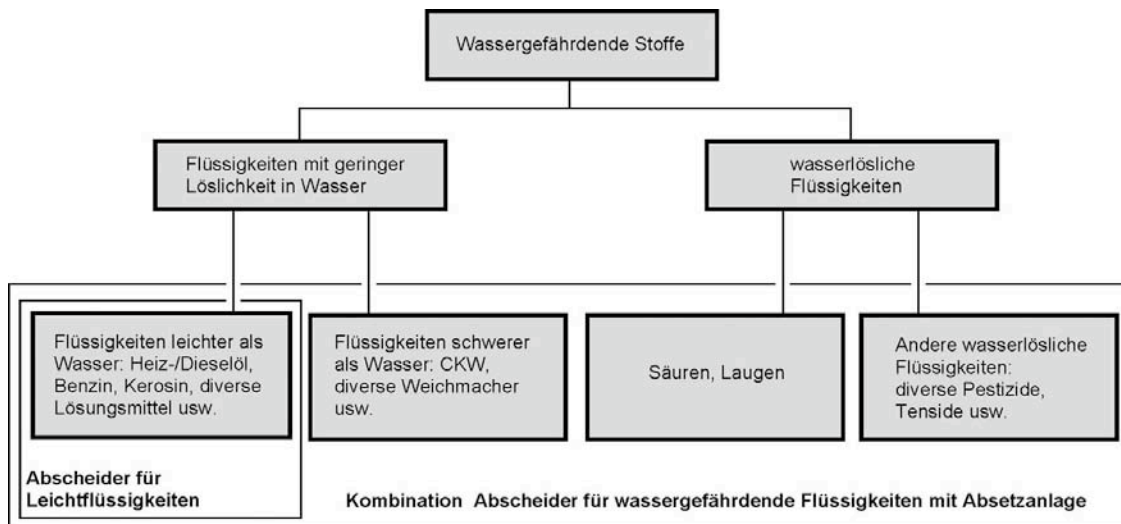


Abb. 12 WgFI und Massnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen von Freisetzungen

Massnahme	Rückhaltewirkung für wgFI				Wirkung als Absetzanlage		Projektbezogene Charakteristiken				
	Wirkung bezüglich Leichtflüssigkeiten		wgFI ausser Leichtflüssigkeiten		Vorbehandlung für Versickerung	Behandlung für Einleitung in Vorfluter	Bauweise	Flächenbedarf	Kosten		Gesamteffizienz
	Normalbetrieb	Starkregen	Normalbetrieb	Starkregen					Erstellung	Unterhalt	
Abscheider für Leichtflüssigkeiten	xx	xx ¹⁾	x	x	–	–	Betonbecken	gering	gross	gross	gering
Kombination Abscheider/ Absetzbecken	xx	xx	xx	xx	xx	x ²⁾	Erdbecken	mittel	gering	gering	gross
Kombination Abscheider/ Absetzbecken/ Retentionsbecken	xx	xx	xx	xx	xx	x ²⁾	Erdbecken	gross	gering	gering	gross
Kanalnetzspeicher	x	–	x	–	–	–	Leitung	kein	sehr gering ²⁾	sehr gering ²⁾	variabel

Legende: xx gute Wirkung x beschränkte Wirkung – keine massgebende Wirkung

¹⁾ Massgebende Starkregen sind seltene Ereignisse

²⁾ Eine Wirkung wird nur mit einer raschen Intervention der Feuerwehr oder mit einer Havariearmatur mit einer MSR-Einrichtung erreicht. MSR-Einrichtungen sind bezüglich Sytemüberwachung und Unterhalt sehr aufwändig.

Tab. 8

Einsatzbezogene Beurteilung von Massnahmen zum Abscheiden und Rückhalten von wassergefährdenden Stoffen

21.1.3 Abscheider für Leichtflüssigkeiten

Auf Strassen, die mit einem Abscheider für Leichtflüssigkeiten ausgerüstet werden, muss das Strassenabwasser allgemein auch behandelt werden. Die Behandlung umfasst in jedem Fall ein Becken zum Absetzen von Feststoffen, an die Schadstoffe gebunden sind. Abscheider für Leichtflüssigkeiten in Betonbauweise sind dazu auch mit Modifikationen nicht in der Lage. Abscheider für Leichtflüssigkeiten sind allgemein nur bei Entwässerungssystemen für eine Behandlung des Strassenabwassers und bei beschränkten Platzverhältnissen zu erstellen.

21.1.4 Kombination Abscheider und Absetzanlage

Dieser Anlagentyp ist immer als Erdbecken mit Dauerstau, einer Tauchwand am Beckenende und einem Absperrorgan am Ausfluss ausgerüstet. Das Volumen ist so gross, dass auch andere wgFI als Leichtflüssigkeiten ohne Absperrorgan mit einem elektrischen oder pneumatischen Antrieb am Abfluss des Beckens zurückgehalten werden können. In vielen Fällen sind die Mehrkosten für die Ausrichtung des Beckens auf das Rückhalten von wgFI nicht massgebend.

21.1.5 Kombination Abscheider, Absetz- und Retentionsanlage

Diese Anlage ist baulich grundsätzlich identisch mit der Kombination Abscheider und Absetzanlage. Sie weist jedoch keinen Dauerstau auf. Das Becken wird allgemein auf das Retentionsvolumen bemessen und der Abfluss gedrosselt.

21.1.6 Kanalnetzspeicher

Für die Nutzung von Strassenabwasserleitungen als Rückhalteinlage für wgFI müssen die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein:

- Keine Anschlüsse von Liegenschaften
- Die Gewährleistung der dauernden Funktion der Sicherheitsausrüstung oder die Gewährleistung einer raschen Intervention im Ereignisfall durch die Feuerwehr

21.2 Abscheider für Leichtflüssigkeiten

21.2.1 Funktionsweise

In den Abscheider einfließende Leichtflüssigkeiten verdrängen das Wasser im Rückhalteraum für Leichtflüssigkeiten und werden dort zurückgehalten.

21.2.2 Leistung

Der Abscheider gewährleistet das Rückhalten von Leichtflüssigkeiten bis zum Volumen des Fangraumes.

21.2.3 Ausführung

Für die Ausführung sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Grundlagen für die Konstruktion und hydraulische Bemessung finden sich in den Empfehlungen zur Projektierung von Ölrückhaltebecken Typ B' [13]. Die den Abfluss von der Strasse betreffenden Grundlagen finden sich in den Normen [2] [3] [4].
- Abscheider mit einem kleinen Rückhaltevolumen sind nicht effizient. Das Fangvolumen hat 20 bis 30 m³ betragen.
- Entlastungen vor dem Abscheider sind wegen ihrer geringen Effizienz wegzulassen.
- Ein temporärer Rückstau in die Sammelleitung ist zulässig.
- Mit einer Umgehungsleitung kann der Unterhalt vereinfacht werden. Die Notwendigkeit ist im Einzelfall zu prüfen. Eine Umgehungsleitung bedingt den Einbau von Absperrorganen im Abscheider.
- Die Anordnung der Unterhaltsöffnungen und deren Abmessungen und Abdeckungen sind auf folgende Massnahmen auszurichten:
 - Geräte des Unterhaltsdienstes zum Absaugen der Schwimmschicht und des Schlammes
 - Absauggerät für Leichtflüssigkeiten
- In Gegenden mit Amphibien (Wald, Riedgebiet usw.) ist ein Amphibienausgang vorzusehen. Amphibien bewegen sich auf das Licht zu. Ausgangskonstruktionen sind auf diesen Umstand auszurichten.
- Es ist eine Zufahrtsstrasse für Lastwagen bis zu den Unterhaltsöffnungen zu erstellen. Eine Erschliessung mit Versorgungsleitungen ist nicht notwendig.

21.3 Kombination Abscheider und Absetzanlage

21.3.1 Funktionsweise

Die Anlage nimmt das zufließende Strassenabwasser auf. Das zufließende Wasser und der Spülschlag nach Regenbeginn wird im Erdbecken je nach der Folge von

Regenereignissen über Wochen gespeichert. Zufließende Leichtflüssigkeiten sammeln sich an der Wasseroberfläche und werden mit einer Tauchwand zurückgehalten. Beim Zufluss von wgFI ausser Leichtflüssigkeiten wird der Ablauf gesperrt und das Becken temporär eingestaut. Die Anlage wird im Übrigen ohne Einstau betrieben. Ein Beispiel findet sich in der Abb. 13.

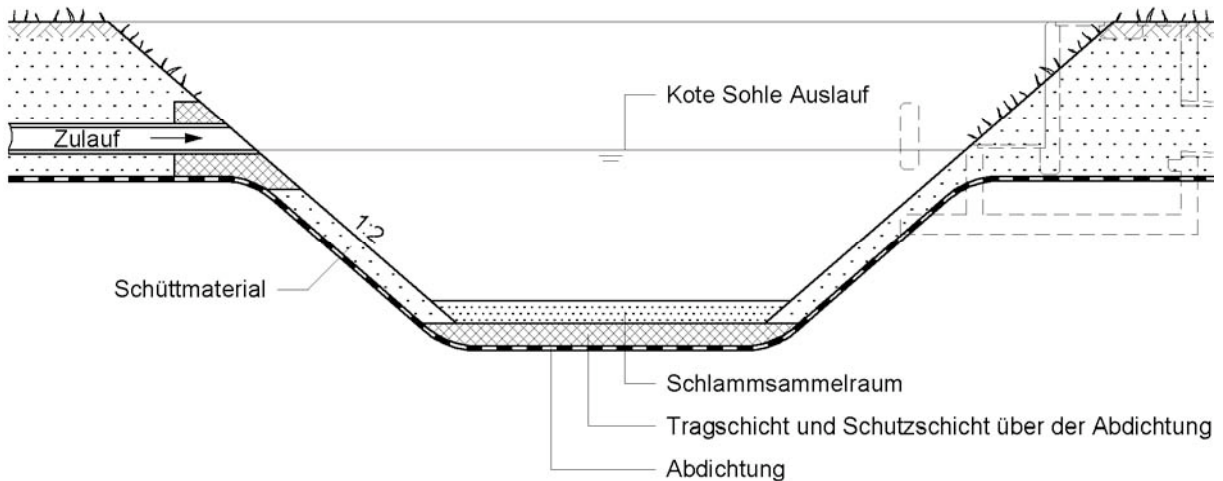


Abb. 13
Beispiel einer Kombination Abscheider für Leichtflüssigkeiten und Absetzanlage als Erdbecken ausgeführt

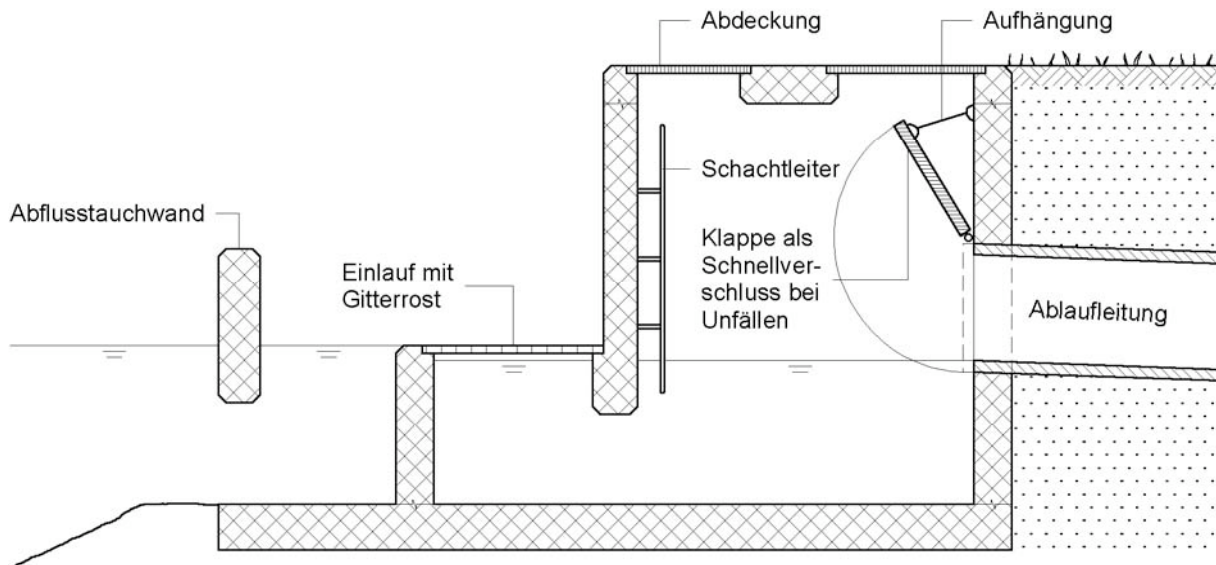


Abb. 14
Beispiel einer Kombination Abscheider für Leichtflüssigkeiten und Absetzanlage als Erdbecken ausgeführt, Schnitt durch das Auslaufbauwerk

21.3.2 Leistungen

Die Anlage erbringt die folgenden Leistungen:

- Sie gewährleistet das Rückhalten von Leichtflüssigkeiten in unbeschränkter Menge.
- Sie gewährleistet das Rückhalten von wgFI ausser Leichtflüssigkeiten in unbeschränkter Menge.
- Sie bewirkt ein Absetzen der mit Schadstoffen belasteten Feinpartikel von Strassenabwasser. Damit wird eine direkte Ableitung in den Vorfluter möglich. Bei einer Versickerung des Wassers wird die Belastung des Filters nachhaltig herabgesetzt.

21.3.3 Ausführung

Hydraulische Bemessung

Grundlage zur Bemessung des Beckenvolumens finden sich in der Norm [5]. Die den Abfluss von der Strasse betreffenden Grundlagen finden sich in den Normen [2] [4]. Die horizontale Fließgeschwindigkeit des Abflusses unter der Tauchwand bei einem Regen mit der Dauer von 15 Minuten und einer Wiederkehrperiode von einem halben Jahr darf 0,05 m/s nicht überschreiten. Die Unterkante der Abflusswand hat mindestens 0,30 m unter der Ablaufhöhe zu liegen.

Ausführung der Abdichtungen

Die Abdichtungen der Becken sind grundsätzlich wie die Abdichtungen von Böschungen gemäss Ziffer 19.5.5 auszuführen. Bei Abdichtungen in Grundwasserschutzzonen und -arealen sind Abdichtungen aus Kunststoff-Dichtungsbahnen gemäss der Norm [10] auszuführen.

Ausführung der Böschungen

- Es ist eine Böschungsneigung von 1:2 zu wählen.
- Im Hinblick auf den Unterhaltsaufwand und den Naturschutz ist für die Böschung der Vegetationstyp Ruderalvegetation gemäss der Norm [10] zu wählen.
- Wenn ein Ausbaggern des Schlammes vom Beckenrand aus nicht möglich ist, ist auf der ganzen Sohlenfläche oder im Bereich eines Fahrstreifens eine Tragschicht aus zementstabilisiertem Bodenmaterial oder Magerbeton für ein Aushubgerät und allenfalls Transportfahrzeuge sowie eine Abfahrtsrampe zur Sohle zu erstellen.

Eine schematische Darstellung des Auslaufbauwerks findet sich in der Abb. 14. Die folgenden Hinweise sind zu beachten:

- Schwemmgut ist beispielsweise mit einem zugänglichen Gitterrost wie in der Abb. 14 vor der Ablaufleitung fernzuhalten.
- Als Absperrorgan sind grundsätzlich Klappen einzusetzen, die im geöffneten Zustand an einer Kette in ihrer Position gehalten werden.
- Auf Absperrorgane mit einem elektrischen oder pneumatischen Antrieb und einer Auslösung mit einem Fernwirksystem ist grundsätzlich zu verzichten. In Karstgebieten ist der Einsatz solcher Absperrorgane zu prüfen.

21.4 Kombination Abscheider, Absetz- und Retentionsanlage

21.4.1 Funktionsweise

Die Funktionsweise ist grundsätzlich mit derjenigen der Kombination Abscheider für Leichtflüssigkeiten und Absetzbecken identisch. Die Anlage wird jedoch durch die Schaffung des notwendigen Retentionsraumes und einer Einrichtung zur Drosselung des Abflusses ergänzt. Ein Schema findet sich in der Wegleitung [16].

21.4.2 Leistungen

Die Anlage erbringt die Leistungen wie die Kombination Abscheider für Leichtflüssigkeiten und Absetzanlage und gewährleistet zusätzlich die Retention von Strassenabwasser.

21.4.3 Ausführung

Hydraulische Bemessung:

- Die Bemessung erfolgt wie die der Kombination Abseider für Leichtflüssigkeiten und Absetzanlage.
- Die Berechnung des Volumens des Retentionsraums erfolgt gemäss der Norm [5].

Zur Ausführung gelten die Angaben unter Ziffer 20.3.3.

21.5 Kanalnetzspeicher

21.5.1 Funktionsweise

Kanalnetzspeicher bestehen aus einer Sammelleitung, einem Leitungsnetz oder einem Netzteil und einem Absperrorgan am Ablauf. WgFI werden zurückgehalten, indem nach einer Freisetzung allgemein ein am Leitungsende angeordnetes Absperrorgan geschlossen wird.

21.5.2 Leistung

Der Kanalnetzspeicher kann grundsätzlich alle wgFI zurückhalten. Seine Wirkung wird durch dessen Volumen, die Zeit zwischen Freisetzung und Schliessen des Absperrorgans und dem Verlauf eines Regens zwischen der Freisetzung und der Evakuierung der Flüssigkeit bzw. des Gemischs mit Wasser bestimmt.

21.5.3 Höheres Risiko bei Regen

Bei Kanalnetzspeichern besteht bei Regen die Gefahr eines unkontrollierten Austritts von wgFI über Abläufe, Kontrollschächte und in besonderen Fällen über Anschlussleitungen.

21.5.4 Ausführung

Hydraulische Bemessung

Die Berechnung des Speichervolumens basiert auf der akzeptierten Häufigkeit eines Überlaufens sowie dem Volumen des massgebenden Regens mit der Dauer zwischen der Freisetzung und dem Verschliessen des Absperrorgans bzw. der Evakuierung der wgFI aus dem Kanalnetzspeicher.

Absperrorgan

Basierend auf dem Sicherheitsplan ist die Notwendigkeit eines elektrischen oder pneumatischen Stellantriebs am Absperrorgan sowie von Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen abzuklären.

22. Massnahmen auf Brücken

Übersicht

Es gelten grundsätzlich die gleichen Bestimmungen wie für Strassen. Es sind jedoch die folgenden besonderen Angaben zu beachten.

Schutzeinrichtungen an den Aussenrändern

Brücken von Hochleistungsstrassen weisen generell Leitschranken mit der Aufhaltstufe H2 auf. Damit wird eine ausreichende Wirkung erreicht. Leitmauern weisen noch höhere Aufhaltstufen auf. Beim Anprall eines Tankfahrzeugs ist jedoch auch eine Freisetzung hinter der Leitmauer möglich.

Im Fall von Brücken ausser solchen von Hochleistungsstrassen sind wegen der geringen Länge des gefährdeten Perimeters allgemein keine besonderen Anforderungen an die Schutzeinrichtungen festzulegen.

Schutzeinrichtungen an den Brückenenden

Abstürze von Fahrzeugen ereignen sich ausser an Hochleistungsstrassen häufiger vor als auf Brücken. Im Einzelfall sind die Übergänge Strasse - Brücke hinsichtlich des Einsatzes von Schutzeinrichtungen zu prüfen.

H. Literaturverzeichnis

- [1] SN 640 200a, Geometrisches Normalprofil; Allgemeine Grundsätze, Begriffe und Elemente
- [2] SN 640 353, Strassenentwässerung; Abfluss
- [3] SN 640 356, Strassenentwässerung; Ablauf, Strassenablauf
- [4] SN 640 357, Strassenentwässerung; Bemessung der Leitungen
- [5] SN 640 361, Strassenentwässerung; Retention und Behandlung (in Vorbereitung)
- [6] SN 640 560, Passive Sicherheit im Strassenraum; Grundlagen
- [7] SN 640 561; Passive Sicherheit im Strassenraum; Fahrzeugrückhaltesysteme
- [8] SN 640 569, Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausrüstung
- [9] SN 640 585a, Verdichtung; Anforderungen
- [10] SN 640 660, Grünräume; Grundlagen
- [11] SN 564 280, SIA 280, Kunststoff-Dichtungsbahnen
- [12] Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse (SDR, SR 741.621)
- [13] Empfehlungen für die Projektierung von Ölrückhaltebecken Typ B', Baudirektion des Kantons Zürich
- [14] Handbuch III zur Störfallverordnung, Richtlinien für Verkehrswege, BUWAL, Bern, 1992
- [15] Richtlinie für Fahrzeugrückhaltesysteme, ASTRA, Bern, 2002
- [16] Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen, BUWAL, 2002
- [17] Richtlinien für bautechnische Massnahmen an Strassen in Wasserschutzgebieten, RiStWag, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Köln, 2002