

# Risikobewertung für den Transport gefährlicher Güter

**Gefahrguttransporte finden täglich statt, überall, in grossem Massstab. Sie sind nötig und haben sich im Grossen und Ganzen als sicher erwiesen. Dennoch: Tunnelbrände, wie vor kurzem im Mont-Blanc-Tunnel, illustrieren auch die Problematik grosser Schäden für die Infrastruktur und die Volkswirtschaft. Dementsprechend ist die Reduzierung von Gefahren und Risiken eine lohnende Daueraufgabe. Eine neue Methode erlaubt eine rasche und interaktive Risikobeurteilung.**

VON ADRIAN V. GHEORGHE

Die Anforderungen an Analysemethoden sind hoch und steigen weiter: Sie müssen (im Voraus) eine umfassende Bewertung ermöglichen, auf verschiedene Aufgabenstellungen und Phasen (Vorsorge, Krisenmanagement, strategische Entscheide etc.) behördlich anwendbar sein und dem fortschreitenden Stand der Informationstechnologie folgen.

Die Vielfalt der Möglichkeiten, ob auf der Schiene oder Strasse, und die Komplexität der Systeme für den Transport gefährlicher Güter, verlangt für die Risikoanalyse und -bewertung neue Methoden, die über den klassischen, rein statistischen Ansatz hinausgehen. Die bisherige Begrenzung auf statistische Mittelwerte (zum Beispiel mittlere Anzahl Todesopfer per Tonnen und Kilometer) kann angesichts der starken Abhängigkeit von lokalen Gepflogenheiten und der zeitlichen und räumlichen Dimension möglicher Unfallfolgen nicht befriedigen; neue, auch für Vorher-

sagen geeignete Methoden und Hilfsmittel (Tools) müssen bereitgestellt werden. Sie können vom heutigen Stand der Informationstechnologie, künstlichen Intelligenz und fortgeschrittenen Methoden der Risikoanalyse profitieren.

## Hilfe durch Decision Support Systems (DSS)

Decision Support Systems (DSS) sind computerbasierte Hilfsmittel, die Entscheidungsprozesse unterstützen. Dank der Fortschritte bei geografischen Informationssystemen (GIS) und ihrer Integration in DSS kann in kürzester Zeit verwertbares Wissen auch über unstrukturierte oder komplexe Probleme zur Verfügung gestellt werden.

Ein DSS für ein effizientes Risikomanagement technischer Systeme braucht eine enge Verbindung zwischen Natur- und Ingenieurwissenschaften einerseits sowie Sozial- und Geisteswissenschaften andererseits, wie ein Polyprojekt «Risiko und Sicherheit technischer Systeme» zeigte: In einem multi-kriteriellen Entscheidungsprozess müssen Risiko und Sicherheit mit anderen Kriterien (zum Beispiel Ökonomie und Umwelt) in Einklang gebracht werden.

Von speziellem Interesse dabei ist:

- einen umfassenden Satz von Risikoindikatoren (z. B. Anzahl Todesopfer, Sachschäden) zu benützen,
- die Risiken verschiedener Transportrouten, das heisst Optionen, vergleichen zu können,
- Methoden zu entwickeln, um verschiedene Unfallszenarien voraussagen und beschreiben zu können,
- eine Balance zwischen technischen und nicht-technischen Risiken herzustellen.

Durch die ETHZ als eine Forschungseinheit geschaffen, hat sich KOVERS als Ziel gesetzt, auf dem Gebiet der integrierten Risiko-einschätzung für den Transport gefährlicher Güter in einem freien Markt eine in sich geschlossene Methodik zu entwickeln. Hierfür kombinieren die jetzt vorhandenen DSS eine Vielzahl von Informationsquellen:

Ein Transport gefährlicher Güter führt durch unterschiedliche geografische Regionen. Risiko-einschätzungen für solche Aktivitäten müssen mit Landkarten sowie Informationen über die Bevölkerungsdichte, Topografie und Umwelt in Verbindung gebracht werden. Chemie-Datenbanken stellen Wissen über Substanzen zur Verfügung und meteorologische Datenbanken dienen als Schnittstelle zu ortsabhängigen Ausbreitungsmodellen. Schliesslich wird eine Methodik angewendet, die eine vergleichende Beurteilung und Einordnung von alternativen Routen bei der Planung eines Transports gefährlicher Güter unter gleichzeitiger Berücksichtigung vieler verschiedener Kriterien erlaubt.

## Interaktive Lagebeurteilung dank Informationstechnologie

Heute besteht allgemein die Tendenz dazu, Informationstechnologie (IT) in verschiedene Bereiche menschlicher Aktivitäten zu involvieren, und zwar vor allem dort, wo Komplexität und ein dynamisches Systemverhalten eine Rolle spielen und Entscheidungen schnell getroffen werden müssen. Auch die Überwachung des Transports von gefährlichen Gütern mit Hilfe mathematischer Modelle und digitalisierten Kartenmaterials wurde in den letzten Jahren immer wichtiger.

Dr. Adrian V. Gheorghe ist Senior Scientist im Kompetenzverbund «Risiko & Sicherheitswissenschaften» (KOVERS) der ETH Zürich.

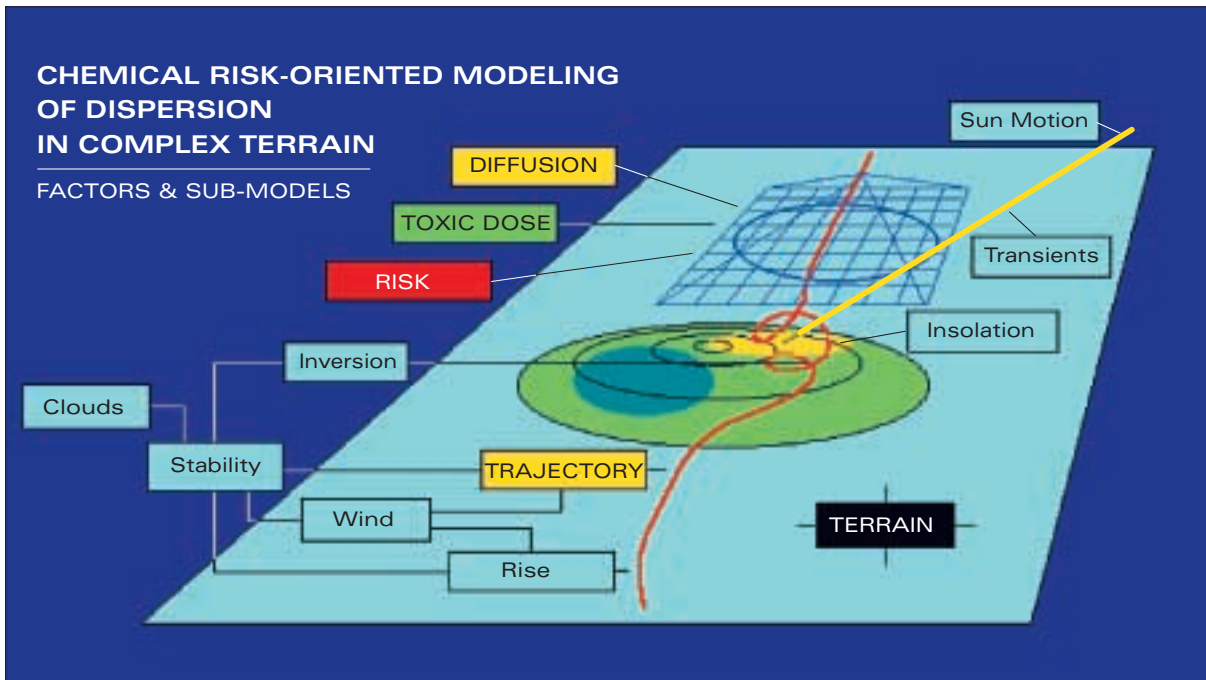


Abbildung 1: Ein risikoorientiertes Modell von chemischer Dispersion auf einem komplexen Terrain.

Als DSS weisen sie eine Reihe von Merkmalen auf, die je nach Anwendungsfall und Komplexität der Modellrechnungen unterschiedlich zum Tragen kommen:

- Sie beinhalten ein umfassendes GIS-Umfeld (24 Informationsschichten, sog. «Layers»), das sich auf die Schweiz bezieht.
- Sie ermöglichen komplizierte Berechnungen der Luftverteilung auf einem komplexen Terrain.
- Sie berechnen die Folgen der Ausbreitung (gefährlicher) chemischer Substanzen in Gewässern, also in Flüssen oder Seen, sowie die unmittelbaren Folgen einer Freisetzung, beispielsweise nach einer Explosion.

KOVERS-DSS ist ein kompaktes, effizientes Computerwerkzeug mit starker Nutzung existierender kommerzieller Karten (Swiss Map 100). Der potenzielle Nutzen solcher Systeme für Aktivitäten im Zusammenhang eines Risikodialoges mit verschiedenen Interessengruppen ist hoch. KOVERS-DSS sind so konstruiert, dass sie in der Lage sind, Risikoeinschätzungen in Interaktion mit Stakeholders durchzuführen.

#### KOVERS-DSS und seine Merkmale

Besondere Kennzeichen des KOVERS-DSS sind:

- die Verwendung von Datenbanken für chemische und nukleare Substanzen und meteorologische Daten,
- der Einsatz von GIS-Tools, beispielsweise zur Darstellung der Folgen von Explosionen, Integration von Statistiken, Berücksichtigung besonders gefährdeter Gebiete («Hot Spots»), Smog, Nebel,
- die Evaluation der Folgen chemischer Unfälle (Explosion, Ausbreitung von Stoffen in einem komplexen Terrain) mit Hilfe von Risikoindikatoren,
- multikriterielle Analysen, die die Auswahl von Handlungen in Unfallsituationen (beispielsweise Umleitung eines Transportes aus einem unfallgefährdeten Gebiet) ermöglichen.

Durch die Verwendung digitalisierter Informationen über die interessierende Region, beispielsweise Niederschlagsmengen, in einem DSS kann man anspruchsvolle Modelle einsetzen, die die Darstellung der Ausbreitung freigesetzter Substanzen und ihrer Einwirkungen in einer

komplexen Topografie (Terrain, Schluchten, Gebäude etc.) ermöglichen. Die analytischen Merkmale solcher Modelle werden in Abb. 1 beschrieben. Die Trajektorien müssen folgende Faktoren berücksichtigen wie Aufstieg, Wind, Stabilitätsklasse, Wolkenabdeckungen und Inversionslagen. Diese Elemente müssen beispielsweise mit Hilfe von topografischen Informationen mit den Charakteristiken des entsprechenden Gebietes verknüpft werden.

Die Fähigkeiten dieses DSS-Modells kommen insbesondere dann zur Geltung, wenn es um die Risikoeinschätzung auf lokaler oder regionaler Ebene geht. Das vorliegende DSS repräsentiert und vergleicht verschiedene Unfallszenarien und Transportmodelle und zeigt Möglichkeiten auf, um Unfallfolgen zu mildern. Ein solches System verlangt unter anderem folgende Angaben:

- Unfallbeschreibung und Häufigkeitsabschätzungen,
- Dosis-Wirkungs-Modelle zur Folgeabschätzung und Risikobewertung,

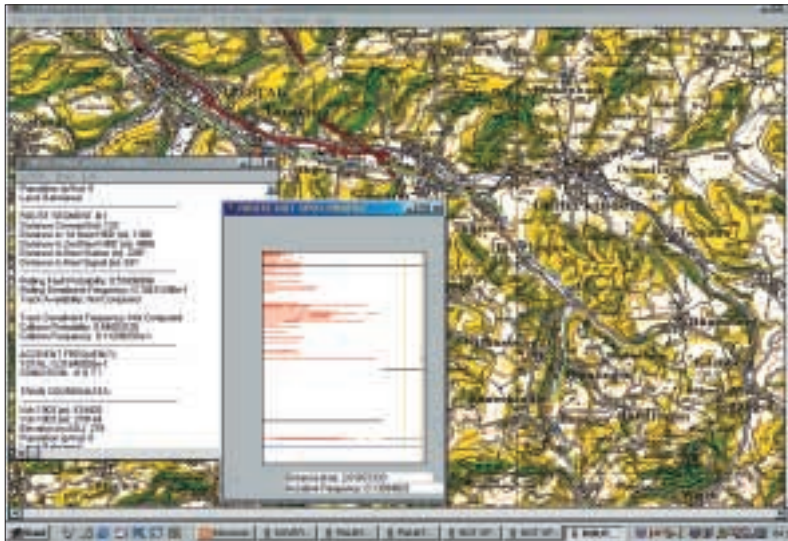


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeitsbewertung zur Szenarioeinschätzung für einen Zugunfall.

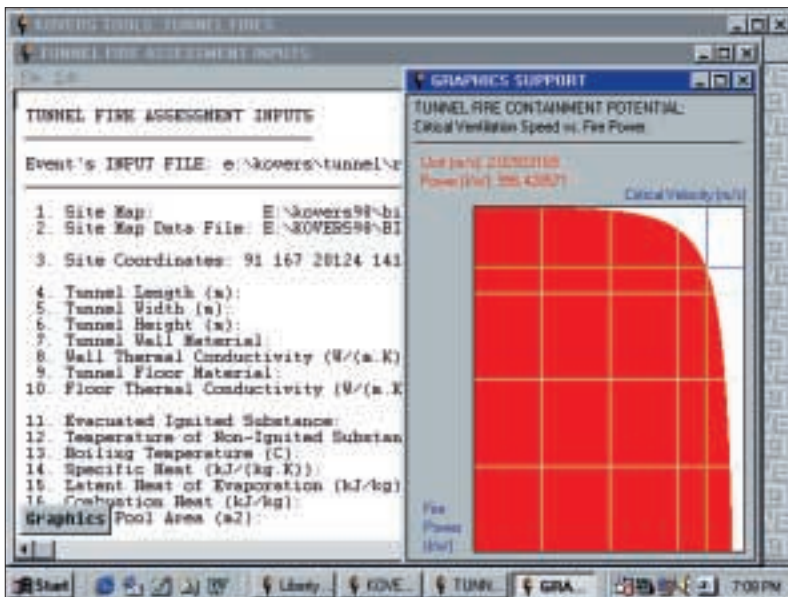


Abbildung 3: Berechnung und Darstellung des Indikators «kritische Entlüftungsgeschwindigkeit» in Tunnels.

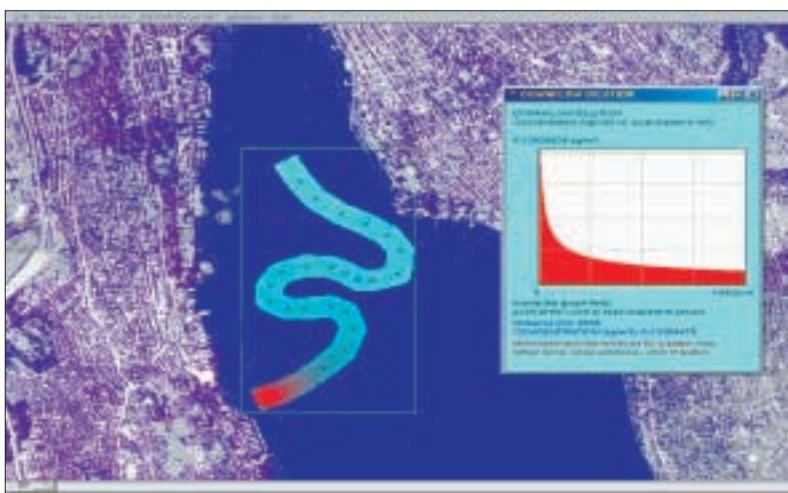


Abbildung 4: Ausflüsse in Gewässern.

- Indikatoren zur vergleichenden Einschätzung der Transportarten und -wege,
- Einbezug des rechtlichen Rahmens,
- Folgeneinschätzungen für Luft, Wasser, Erde, Firmen und Volkswirtschaft,
- Routenmerkmale (zum Beispiel Bevölkerungsdichte, Zahl der Benutzer einer Infrastruktur, anfällige Umweltgebiete).

Die Modelle für die Ausbreitung chemischer Substanzen auf einem komplexen Terrain beinhalten eine GIS-Plattform, die bei Entscheidungsprozessen im Fall eines folgenschweren Chemieunfalles helfen kann. Spezifische Gesundheits- und Umweltschäden, die durch verschiedene Faktoren verursacht werden (Feuer, Explosionen, Trümmerwurf etc.), sind in der DSS-Struktur vollkommen integriert (Verteilungskarten, Risikokonturen etc). Instrumente für eine «Multicriteria Decision Analysis», die das Finden des «optimalen Weges» ermöglichen, sind ebenfalls Teil des einsatzbereiten Systems. Aktuelle Entwicklungen in der Informations- und Softwaretechnologie erlauben die Integration von Kenntnissen und Daten sogar bei nicht-linearem Systemverhalten (geplant für die nächste Phase des Projekts).

Viele Anwendungen sind bereits möglich, beispielsweise die Auswahl von Transportwegen, Identifikation von «Hot Spots» mit Hilfe eines Expertensystems, Bewertung verschiedener Risikogrößen für ein vorgegebenes Unfallszenario. Der Einbezug von Indikatoren, beispielsweise die Steilheit des ausgewählten Transportweges, Anzahl der Kurven, Bevölkerungsdichte, Landausnutzung und Gegenwart hochsensibler Ökosysteme, kann für die Gesellschaft ein tieferes Verständnis und gegebenenfalls auch Akzeptanz eines Risikos bedeuten. Eine vollständige Berücksichtigung von Kosten und Nutzen würde weiter in Richtung einer

### DSS im praktischen Einsatz

Die KOVERS-DSS werden zurzeit im Rahmen einer Fallstudie eingesetzt, in der es um «Stakeholder-Prozesse» (Entscheidungsträger aus Wirtschaft und Behörden) für eine integrierte Risikobeurteilung für den Transport gefährlicher Güter in der Schweiz geht.

Die Ziele dieser Studie sind:

- eine de minimis Beurteilung einer virtuellen, gefährlichen Frachtmmission als Teil einer Planungsphase durchzuführen, mit dem Ziel, die unterwegs (durch ungeplantes Entweichen der Substanz aus ihrem Behälter) für die Umwelt und die Bevölkerung entstehenden Risiken zu minimieren;
- die Funktionalität und praktische Verwendbarkeit des KOVERS-DSS zu testen.

Die Studie beginnt mit der Definition der Frachtmmission: Transport einer Ladung Vinylchlorid (28 000 kg) zwischen Basel Pratteln und dem Ziel Zürich Güterbahnhof.

Eine Reihe von Fragen bezüglich der Risiken beim Transport wird dabei aufgeworfen:

- Wie gefährlich ist die Substanz, die man transportiert?
- Wie bedroht sind Land und Bevölkerung entlang der Transportroute?
- Welche Strecke eignet sich am besten (unter Berücksichtigung möglichst vieler Kriterien)?
- Was verdient auf der Strecke besondere Aufmerksamkeit, basierend auf potenziellen Verlustwahrscheinlichkeiten und virtuellen Konsequenzen («Hot Spots»)?
- Was wären die Konsequenzen in einem «Worst-Case Szenario» bezogen auf Behördenreaktionen und Kosten?
- Welche zusätzliche Risiken sollten berücksichtigt werden?
- Wie kann der Fahrer besser vorbereitet werden, um den Transport möglichst sicher durchzuführen?

Kontaktperson:

Adrian V. Gheorghe

www.kovers.ethz.ch

E-Mail:

adrian.gheorghe@switzerland.org

Bewertung der Akzeptierbarkeit verschiedener Transportoptionen führen.

### Unfallsequenzanalyse: Entgleisung und Zusammenstoss

Die Praxis der Risikoeinschätzung für den Transport gefährlicher Güter mit der Bahn beruht bis heute auf einer aus der Statistik abgeleiteten Häufigkeit potenzieller Unfälle mit unterschiedlichen Konsequenzen für Bevölkerung und Umwelt. Andererseits können Risikoeinschätzungen, die auf Szenarien basieren, zusammen mit einer Abschätzung der Unfallhäufigkeit, Einblicke in die Ursachen und Entwicklungen des Unfalles geben und Möglichkeiten, diese zu verhindern.

Eine andere Methode, neben einer simplen Routeneinschätzung aufgrund von Unfallhäufigkeiten, basiert auf dem Konzept der Hot Spots.

Sie sind definiert als Stellen in einer Region mit einer hohen Unfallwahrscheinlichkeit und hohen Expositionsfolgen. Die Relevanz für Risikoanalysen dieser verteilten Spots für Transportrouten besteht in ihrer Identifikation und darin, dass das Risiko in ihnen berechnet wird. Das KOVERS-DSS umfasst hierfür Module, die folgende Modelle beinhalten:

- Entgleisungen (quantitativ),
- Kollision mit festen Strukturen, zum Beispiel Brücken, Tunnels oder mit einem anderen Zug,
- Kollision eines Wagens während des Rangierens.

### Der Tunnel als Hot Spot

Eine Bewertung der Transporte gefährlicher Güter, die nur auf dem Risiko ausserhalb der Tunnels basiert, wäre unvollständig, da das Risiko des ganzen Transportablaufes von diesem Hot Spot stark beeinflusst werden kann.

Das «Tunnel Fires Modul» des KOVERS-DSS implementiert ein Modell zur Charakterisierung eines Brandes, wobei der Begriff der kritischen Geschwindigkeit von

Entlüftungssystemen von besonderer Bedeutung ist. Das heisst: Wenn die Entlüftungsgeschwindigkeit so gewählt ist, dass sie der Tunnelgeometrie und der Temperaturhöhe entspricht, dann kann die Feuerfront in der unmittelbaren Nachbarschaft der Quelle gehemmt werden.

Das Unfallrisiko als Funktion der Fluchtzeit für die Personen, die sich im Tunnel befinden und der Hitze ausgesetzt sind, wird in EXPECTED FATALITIES ausgedrückt. Das Todesfallrisiko (Fatality Risk) der Personen, die den Brandgasen ausgesetzt sind, wird als Funktion der Fluchtzeit angegeben (Abb.3).

### Stakeholders und der Gebrauch von DSS im Risikomanagement

Moderne Entscheidungsprozesse verlangen eine multikriterielle Entscheidungsanalyse, um Konsequenzen bestimmter Entscheidungen und Handlungen im Voraus abschätzen zu können. Abbildung 4 zeigt zum Beispiel die Konsequenzen eines Unfalls in der Umgebung eines Gewässers. Neuere Arbeiten im Bereich des Risikomanagements, und insbesondere die Arbeiten über den Transport gefährlicher Güter, unterstützen die vorliegende Methode, obwohl Stakeholders noch zögern, dieses Instrumentarium zu benützen. Zurzeit wird an einer Fallstudie gearbeitet, die sich mit Risikoeinschätzungen für den Transport von Vinylchlorid auf virtuellen Routen durch die Schweiz (zwischen Basel und Zürich) beschäftigt. Die Stakeholders wirken in den verschiedenen Phasen des Gebrauchs von Entscheidungshilfeeinstrumenten und der Risikoeinschätzung mit. Die Interaktion zwischen Modellwelt und Stakeholders auf zu meist methodisch einfachere Art und Weise ist inzwischen eine fast alltägliche Vorgehensweise.

*Übersetzung aus dem Englischen von Vanja Cucak*