

Risikoanalyse einer komplexen Verkehrsanlage

Risk Analysis for a Complex Traffic Facility

Dipl.-Ing. **Daniel Schuler**, Dipl.-Ing. **Peter Bürkel**,
Bürkel Baumann Schuler, Ingenieure + Planer AG, Winterthur/CH

Zusammenfassung

Auf dem am stärksten belasteten Autobahnteilstück der Schweiz wird zur Zeit eine ein Kilometer lange Galerie (Autobahnüberdeckung) erneuert und ausgebaut. Die Autobahn mit sechs Fahrstreifen und einem durchschnittlichen täglichen Verkehr von über 100'000 Fahrzeugen liegt unmittelbar neben einem ausgedehnten Industrieareal mit Produktionsbetrieben der chemischen Industrie. Über der Autobahngalerie befindet sich Gleisanlagen der Bahn. Das örtliche Zusammentreffen grosser Verkehrssysteme und Chemieanlagen in einer dicht bebauten Region war der Grund, dass bereits vor Beginn der Projektierung die Risikosituation dieses Gebiets untersucht wurde. Die dabei erstellte Risikoanalyse war eine massgebende Entscheidungsgrundlage für die Durchführung des grossen Bauvorhabens.

Summary

As part of one of the most-frequented highways in Switzerland, a structure like a lateral open tunnel, a so-called gallery, is under reconstruction at the moment. The highway has an average daily traffic (ADT) of more than 100'000 vehicles. The gallery, with a length of more than one kilometer, is situated in the proximity of an industrial site with chemical production and storage installations. There is a railway facility over the gallery. The coincidence of important traffic facilities and industrial installations with hazardous potential is the reason why the risk situation of the whole area was studied in an early stage of the project. In the sequel a risk assessment was carried out. The paper describes the methodology used for the risk analysis and its most important results.

1 Einleitung

1.1 Situation

Mit einem durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) von mehr als 100'000 Fahrzeugen ist die richtungstrennte sechsspurige Autobahn A2/A3 zwischen den Anschlüssen Pratteln und Hagnau in der Nähe von Basel die am meisten befahrene Autobahn der Schweiz. Bei Schweizerhalle verläuft die Autobahn in einer 1028 Meter langen seitlich nach Norden offenen Galerie (Bild 1). In diesem Bereich befindet sich direkt neben der Autobahn ein ausgedehntes Industrieareal mit Produktionsstätten von Unternehmen der chemischen Industrie. Auf der Galerie befinden sich die Gleisanlagen des Rangierbahnhofs Muttenz der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB). Die Bahngesellschaft betreibt zudem auch Industriegleise auf dem Areal der Chemiebetriebe.

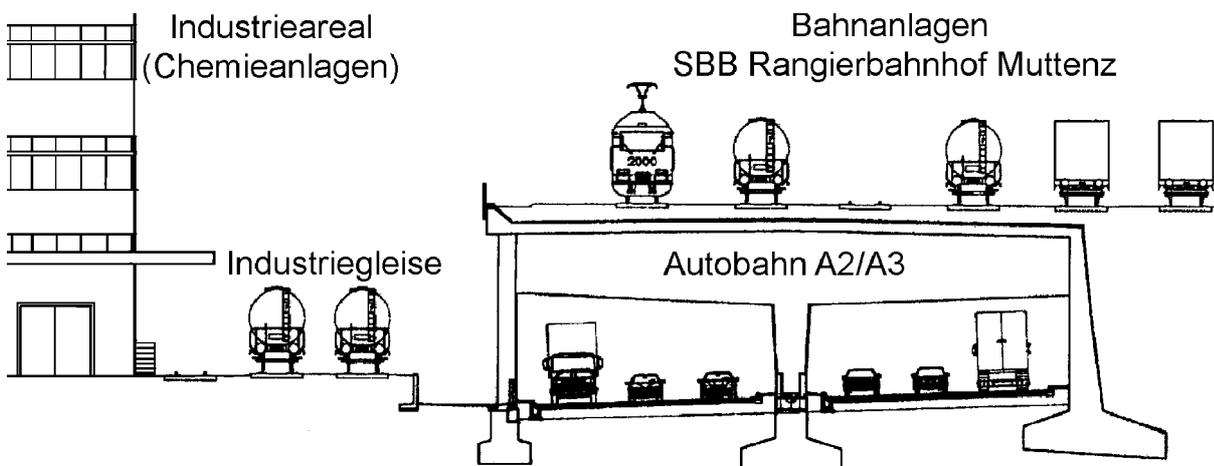


Bild 1 Galerie Schweizerhalle

Fig. 1 Gallery Schweizerhalle

1.2 Ausgangslage

Als Folge der unzulässig hohen von der Autobahn ausgehenden Lärmemissionen, der notwendigen Erneuerung des Tragwerks der Galerie und des Entwässerungssystems, und wegen verkehrstechnischen Mängeln (fehlender Standstreifen, ungenügende Signalisation) wurde vor zehn Jahren damit begonnen, eine Gesamt-erneuerung des Bauwerks zu planen. Das wesentlichste Element des damit verbundene Ausbaus ist der Abschluss der seitlich offenen Galerie mit einer Trennwand und damit der Umbau in einen Strassentunnel.

Das Gebiet bei Schweizerhalle ist wegen der ausserordentlichen Kumulation von Strassen-, Bahn- und Chemieanlagen jedenfalls für schweizerische Verhältnisse ein einzigartiger Fall. Als eine der Entscheidungsgrundlagen für die Realisation des Umbaus der Galerie in einen Tunnel, wurde deshalb von der Verwaltung (Tiefbauamt des Kantons Basel-Landschaft) der Auftrag erteilt, die Risikosituation in diesem Gebiet zu untersuchen und zu beurteilen.

2 Vorgehen und Methodik

2.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die Bearbeitung einer Risikobeurteilung erfolgt allgemein in vier Phasen, welche seriell bearbeitet werden (Bild 2). Um definierte Randbedingungen zu erhalten, muss in einem ersten Schritt das zu untersuchende System eingegrenzt werden. In der eigentlichen Risikoanalyse im darauffolgenden Schritt werden mögliche Ereignisszenarien, ihre Relevanz bzw. ihre Eintretenswahrscheinlichkeit sowie ihre Konsequenzen analysiert. Ebenso von zentraler Bedeutung ist der dritte Schritt, in dem die ermittelten Risiken bewertet werden. Auf Grund dieser Bewertung kann in einem letzten Schritt entschieden werden, ob die vorhandenen Risiken akzeptiert werden oder ob technische oder organisatorische Massnahmen zur Verminderung des Gefahrenpotentials, zur Abwehr von Gefährdungen oder zur Bewältigung von Ereignissen vorzusehen sind.

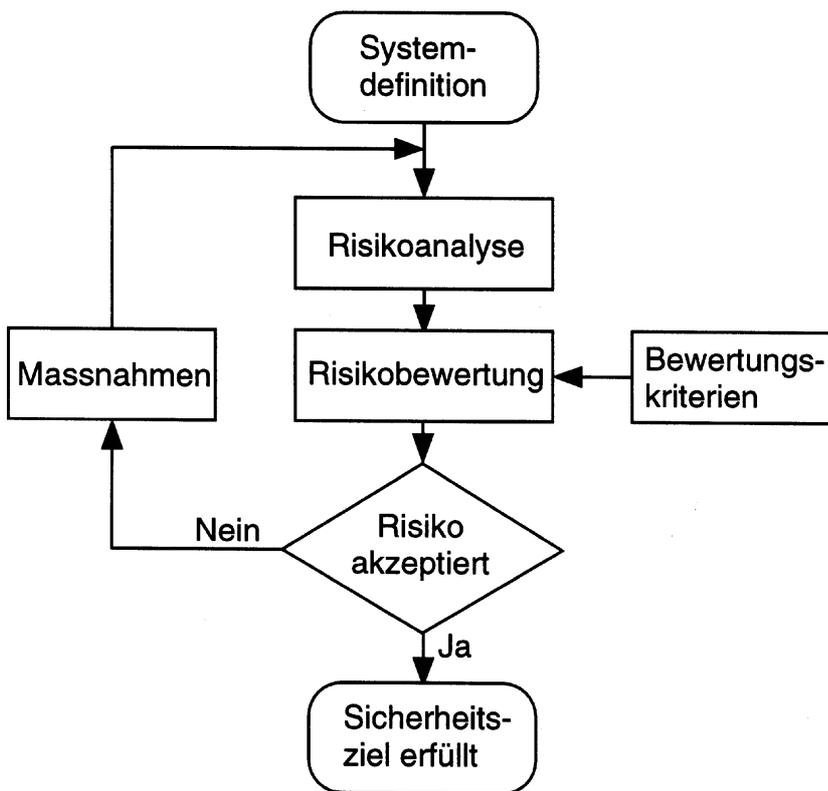


Bild 2 Vorgehen bei der Durchführung einer Risikobeurteilung

Fig. 2 Flow chart – Fundamental performing for a risk assessment

2.2 Spezielle vergleichende Vorgehensweise

Für die Risikobeurteilung der Galerie Schweizerhalle wurde das im Bild 2 dargestellte generelle Vorgehen erweitert. Die spezielle Methodik, bei der die Systeme "Galerie" und "Tunnel" parallel untersucht werden, hat gegenüber dem seriellen Vorgehen zahlreiche Vorteile. Da bei diesem Vorgehen ein Risikovergleich an die Stelle der Risikobewertung tritt, ist die Beurteilung weniger stark von der absoluten Genauigkeit der Risikoanalyse und damit vom verfügbaren Datenmaterial abhängig. Das Hauptgewicht der Bearbeitung kann deshalb stärker auf eine umfassende Berücksichtigung aller Ereignisszenarien und Risiken gelegt werden.

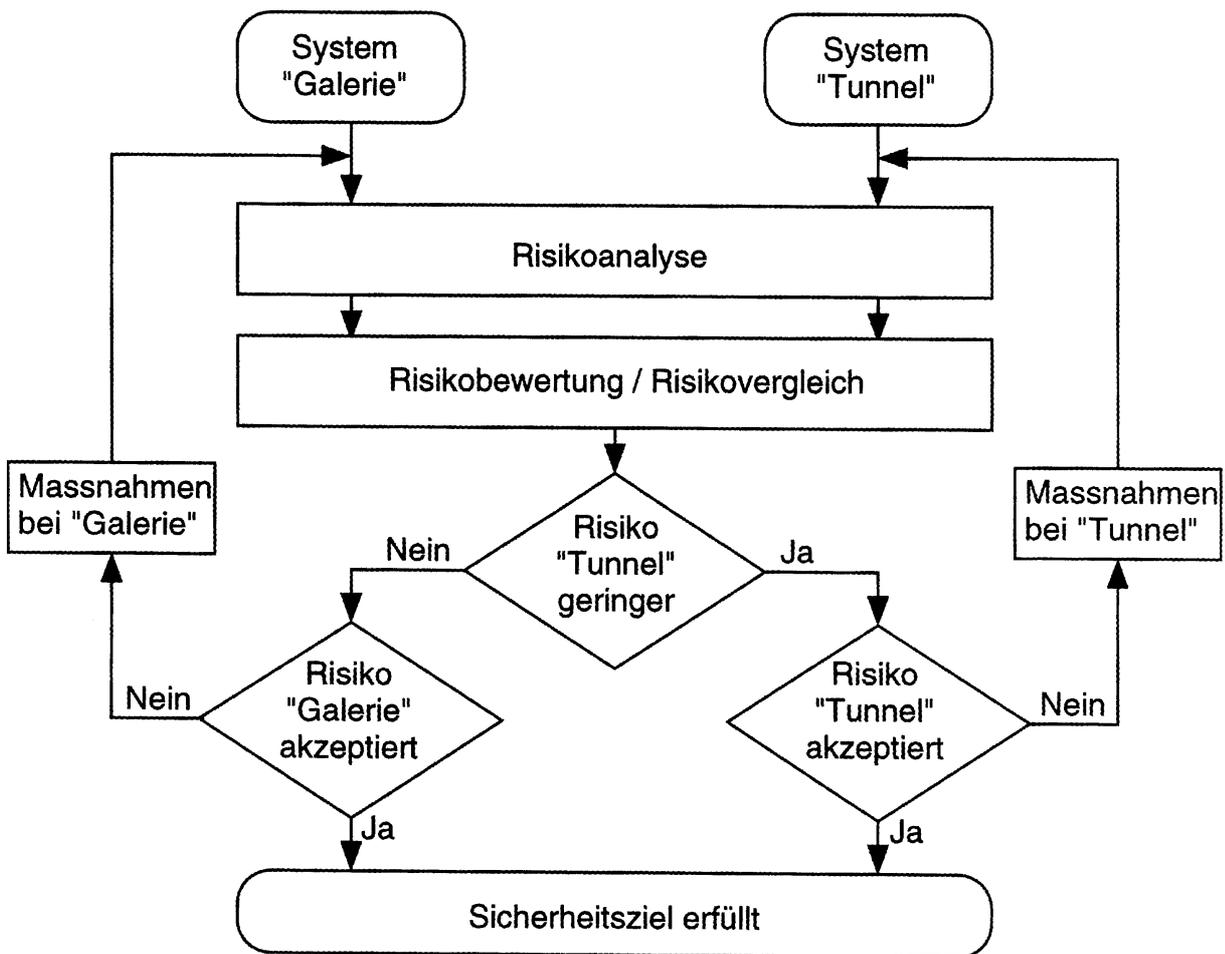


Bild 3 Vorgehen für die Risikobeurteilung Galerie Schweizerhalle

Fig. 3 Flow chart – Performing for the risk assessment Gallery Schweizerhalle

2.3 Qualitative und quantitative Risikoanalyse

Die Risikoanalyse ist das Kernstück der gesamten Risikobeurteilung. Sie beinhaltet eine Ereignisanalyse und eine Konsequenzanalyse. In der Ereignisanalyse werden mögliche Ursachen und die daraus resultierenden Ereignisse untersucht. In der Konsequenzanalyse werden die Auswirkungen, beispielsweise die Ausbreitung gefährlicher Stoffe, und die sich daraus ergebenden Schäden analysiert.

Wegen der risikotechnischen Komplexität des Gebiets bei Schweizerhalle wurde die Analyse der Verkehrs- und Industrieanlagen in einem ersten Schritt qualitativ durchgeführt. Das Ziel war dabei einen umfassenden Überblick über alle denkbaren Ereignisszenarien zu erhalten. Die Relevanz der Ereignisse war von untergeordneter

Bedeutung. Die Szenarien wurden in dieser Phase postuliert und nicht im Einzelnen begründet. Im Rahmen der Konsequenzanalyse wurden keine Ereigniswahrscheinlichkeiten berechnet.

Aus der ausserordentlich grossen Zahl möglicher Ereignisabläufe konnten mit Hilfe der qualitativen Risikoanalyse die bezüglich des Gesamtrisikos dominierenden Szenarien ermittelt werden. Die qualitative Analyse wurde deshalb für diese Ereignisse verfeinert und mit Hilfe der Berechnungen von Wahrscheinlichkeiten, dem Einsatz von Freisetzungs- und Ausbreitungsmodellen und der Berücksichtigung von Dosis/Wirkungs-Beziehungen in die quantitative Risikoanalyse überführt.

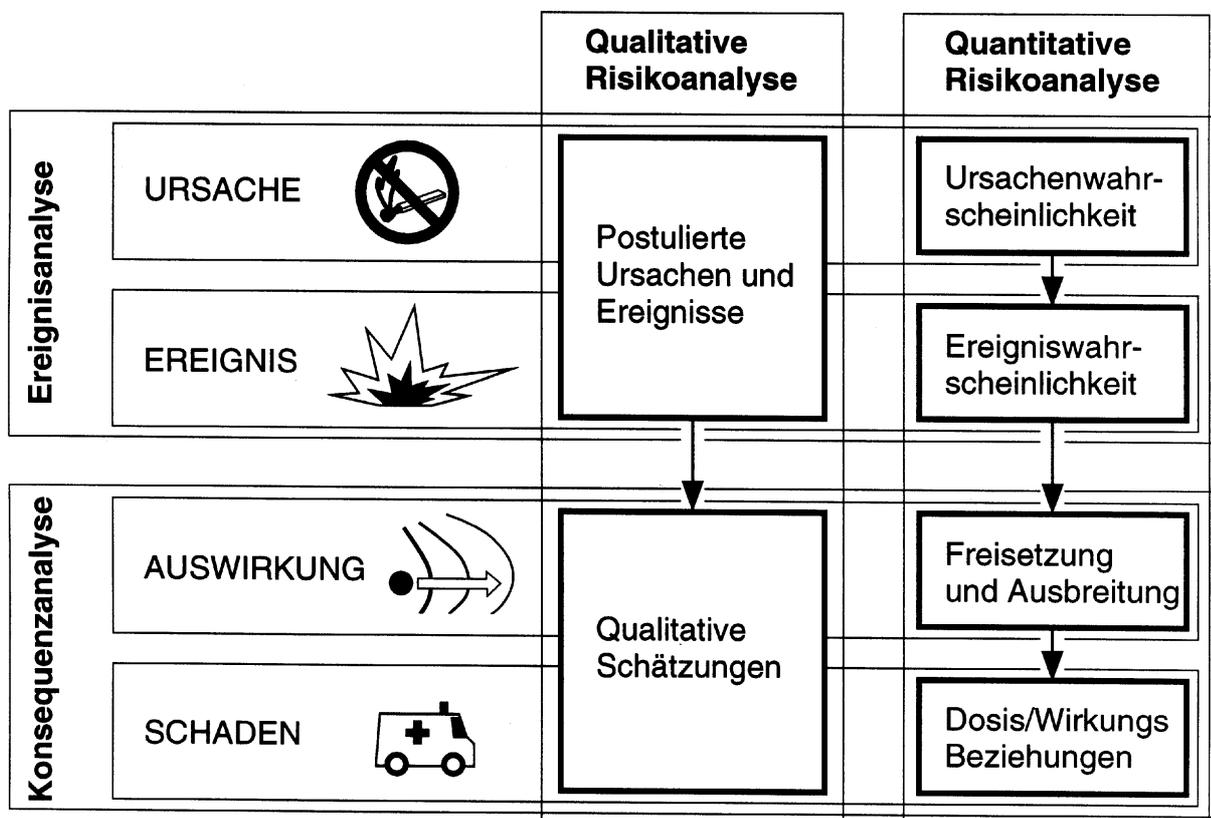


Bild 4 Ereignis- und Konsequenzanalyse, qualitative und quantitative Risikoanalyse
Fig. 4 Hazard and consequence analysis, qualifying and quantifying risk analysis

3 Qualitative Risikoanalyse

3.1 Ereignisanalyse

Die im Rahmen der qualitativen Risikoanalyse bearbeitete Ereignisanalyse wurde umfassend für das gesamte System Schweizerhalle durchgeführt. In die Analyse wurden die Teilsysteme "Autobahn", "Gleisanlagen", "Chemiebetriebe" sowie die "Umgebung" miteinbezogen. Innerhalb der so definierten Systemgrenzen wurden mögliche Ereignisse und ihre Ursachen postuliert (vorläufige Gefahrenanalyse) und ohne Berücksichtigung der Eintretenswahrscheinlichkeit in Listen festgehalten. Auf Grund der räumlichen Nähe zwischen den Verkehrs- und Industriesystemen sind die Wechselwirkungen von Ursachen und die daraus folgenden Ereignisse über die Systemgrenzen hinaus von grosser Bedeutung.

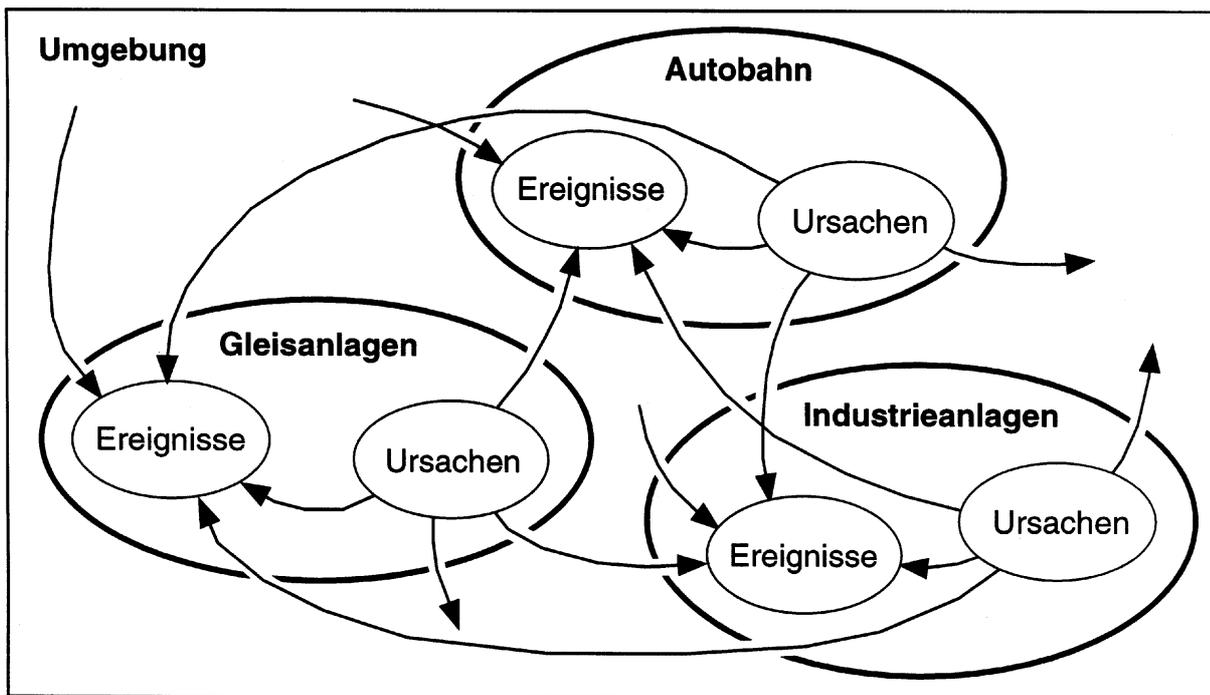


Bild 5 Wechselwirkungen von Ursachen und Ereignissen im definierten System

Fig. 5 Interaction of causes and hazards within the defined system

Um die in Listen zusammengestellten Ursachen und Ereignisse miteinander zu Ereignisabläufen zu verknüpfen, wurde ein Matrixverfahren gewählt. Dieses Verfahren ist ein sehr geeignetes Hilfsmittel, um eine grosse Anzahl möglicher Abläufe zu identifizieren und zu dokumentieren. Ähnliche Verfahren werden beispielsweise auch in der chemischen Industrie angewendet /5/. Für die qualitative Risikoanalyse

der Verkehrsanlagen bei Schweizerhalle wurde ein mehrstufiges Matrixverfahren entwickelt, mit dem Ereignisabläufe beschrieben werden können, bei denen ein Ereignis selbst wieder die Ursachen für ein Folgeereignis darstellt. Mit diesem Verfahren konnten annähernd 300 verschiedenen Ereignisabläufe identifiziert werden.

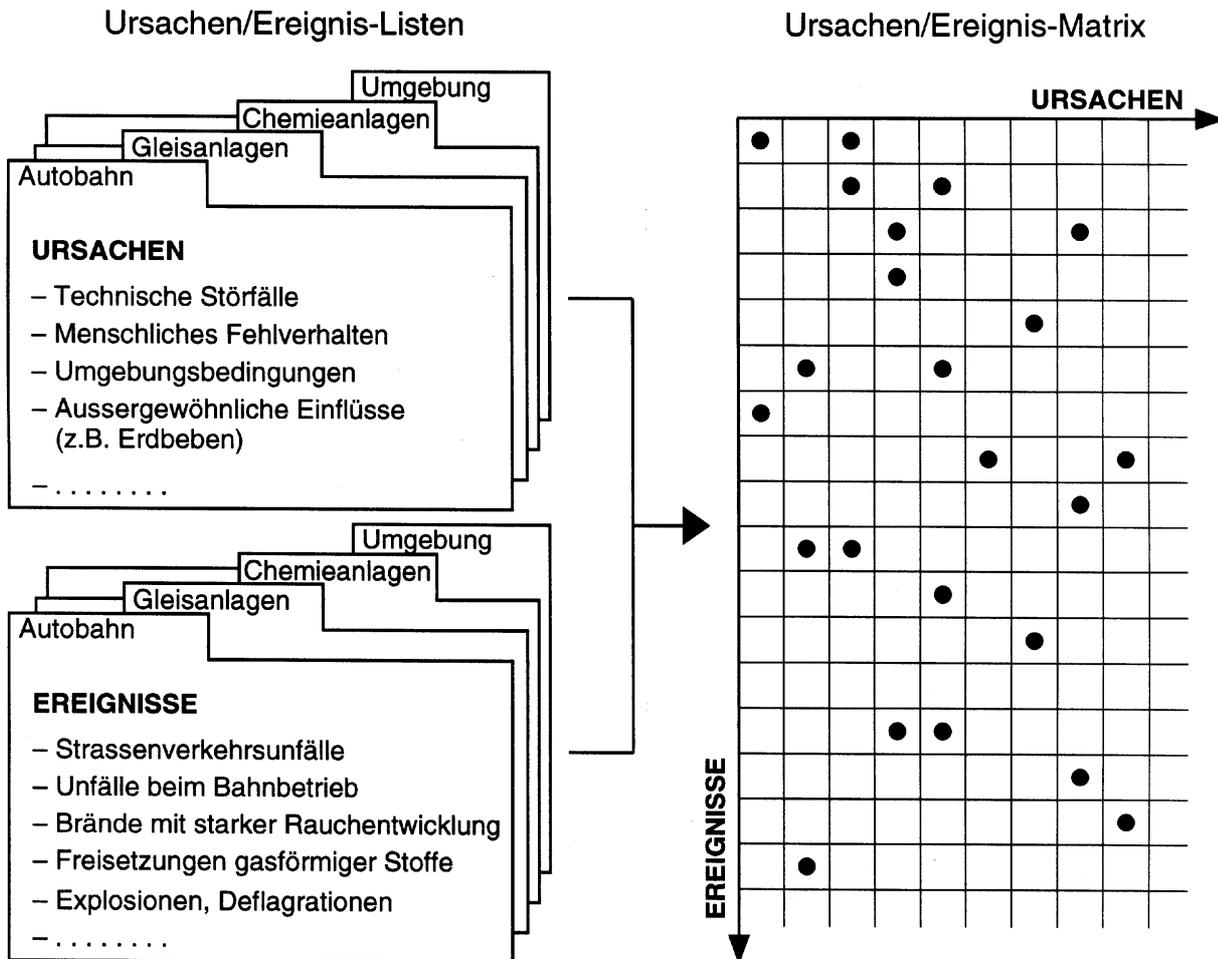


Bild 6 Methodik der Ereignisanalyse mit einem Matrixverfahren

Fig. 6 Matrix procedure for the hazard analysis

3.2 Konsequenzanalyse

Die im Rahmen der qualitativen Risikoanalyse durchgeführte Konsequenzanalyse hatte die Zielsetzung aus der grossen Anzahl der durch die Ereignisanalyse identifizierten Ereignisabläufe, diejenigen mit den relevanten Risiken zu evaluieren. Mit diesem Vorgehen konnten die aufwendigen Berechnungen, die für die folgende quantitative Risikoanalyse auf wenige Ereignisszenarien beschränkt werden. Die

Ereignisse wurden zu diesem Zweck mit Hilfe allgemein gültiger Angaben aus der Literatur beurteilt. Für die Abschätzung der Ereigniswahrscheinlichkeiten konnte statistisches Datenmaterial verwendet werden. Die Abschätzung des Ereignisumfangs wurde auf Grund der Konsequenzen vergangener Störfälle durchgeführt (z.B. /1/ /2/ /3/ /4/ /5/ /6/ /7/).

Von den annähernd 300 in dieser Weise qualitativ analysierten Ereignisabläufen konnten schliesslich rund drei Viertel (73%) als nicht relevant ausgeschieden werden. Das Relevanzkriterium wurde in Geldeinheiten ausgedrückt etwa bei einem jährlichen Risiko von CHF 10'000 angesetzt. Das Bild 7 zeigt die Bewertung aller analysierten Ereignisabläufe.

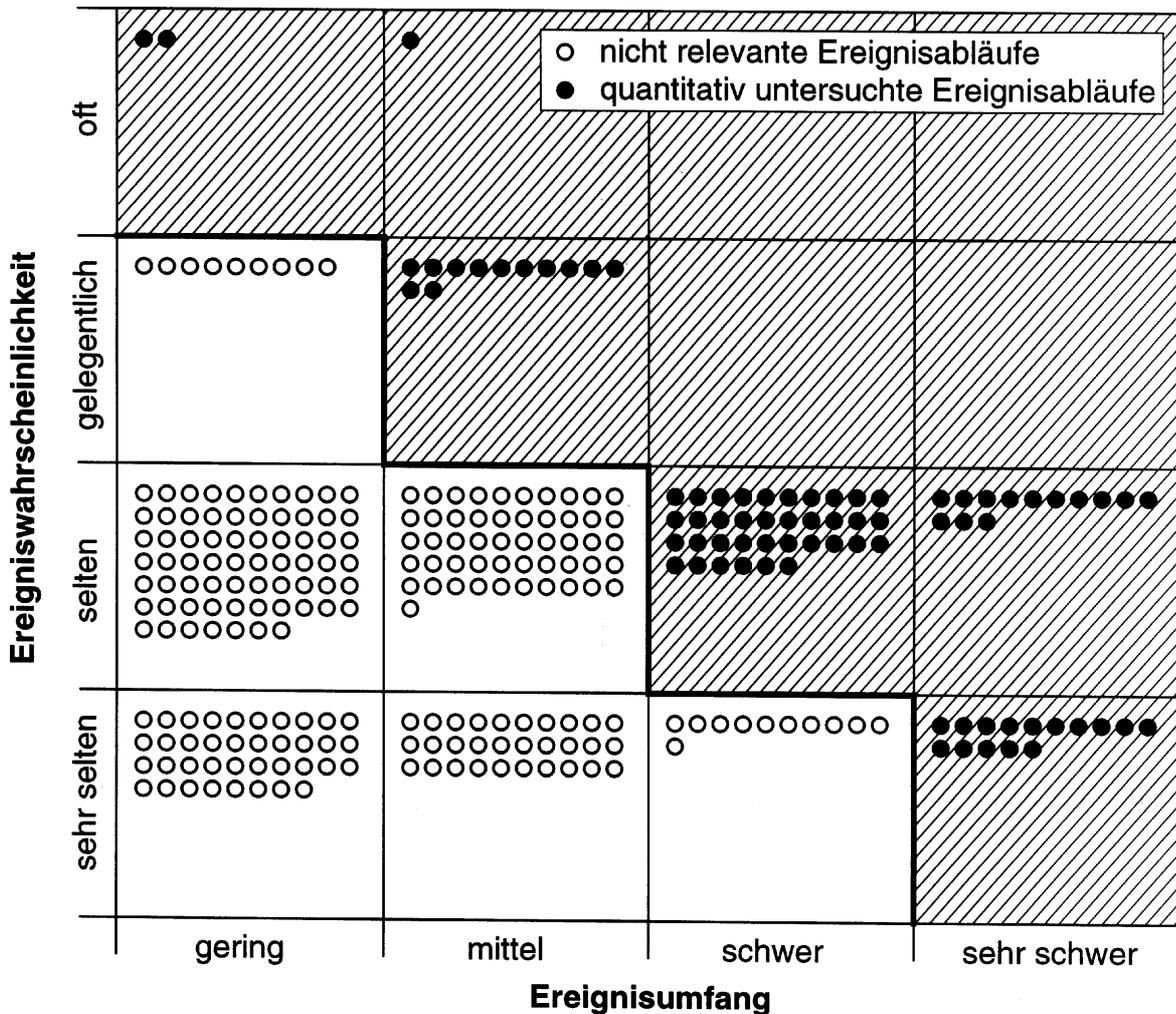


Bild 7 Selektion der Ereignisabläufe für die quantitative Risikoanalyse
Fig. 7 Selection of hazard scenarios for the quantified risk analysis

4 Quantitative Risikoanalyse

4.1 Methodik der vergleichenden Analyse

Für die Bearbeitung quantitativer Risikoanalysen werden allgemein grosse Datenmengen benötigt. Für die Analyse technischer Anlagen beispielsweise müssen detaillierte Kenntnisse der Ausfallwahrscheinlichkeiten der einzelnen Anlagekomponenten bekannt sein. Mit bekannten Methoden wie z.B. der Fehlerbaumanalysen kann mit Hilfe dieser Ausfallwahrscheinlichkeiten dann die Störfallwahrscheinlichkeit in einer Anlage bestimmt werden (Bild 8a). Ein solches Vorgehen kann für eine einzelne Anlage durchgeführt werden /7/. Für die Gesamtzahl der Chemieanlagen im untersuchten Gebiet im Raum Schweizerhalle war dieses Vorgehen wegen den fehlenden Grundlagen jedoch nicht möglich.

Bei der analytischen Erfassung von Ereignisauswirkungen, z.B. der Ausbreitung gasförmiger Stoffe, ergeben sich ähnliche Schwierigkeiten, da die dazu notwendigen Ausbreitungsberechnungen massgeblich von den Umgebungsbedingungen abhängen und allgemein nur idealisiert beschrieben werden können /8/ /9/. Im Weiteren sind die Dosis/Wirkungs-Beziehungen eines Grossteils der toxischen Stoffe nicht bekannt und schliesslich sind die für eine abschliessende Risikobewertung notwendigen gesellschaftlichen Bewertungskriterien sehr kontrovers und schwierig festzulegen.

Die Durchführung einer quantitativen Risikoanalyse mit dem Vorgehen wie es im Bild 8a dargestellt ist, war für das ausgedehnte und vielschichtige Untersuchungsgebiet nicht möglich. Es wurde deshalb eine Analysemethode entwickelt, die nicht auf der exakten Beschreibung einzelner Parameter, sondern auf grundsätzlichen Zusammenhängen basiert. Mit Hilfe dieser Zusammenhänge wurden die Risikosituationen für die beiden Systeme "Galerie" und "Tunnel" miteinander verglichen (Bild 8b). Ein Beispiel für einen dem Modell zu Grunde gelegten Zusammenhang ist die Dosis/Wirkungs-Beziehung toxischer Stoffe. Generell gilt, dass die Wirkung auf den Menschen proportional dem Produkt aus Stoffkonzentration und Expositionszeit ist, wobei die Konzentration mit einem Exponenten von 2 ... 3 behaftet ist /10/.

Die vergleichende Risikoanalyse hat im Weiteren den Vorteil, dass an Stelle der problematischen und schwierig quantifizierbaren Bewertung der Risiken ein Vergleich der Risiken tritt. Das Ergebnis der Bewertung beinhaltet als Resultat jedoch keine Aussage über die absolute Grösse des Risikos, sondern sagt nur etwas über die Risikodifferenz der verglichenen Systeme aus. Im Rahmen der Beurteilung der Verkehrsanlagen der Galerie Schweizerhalle war dies jedoch unerheblich, da die Aufgabenstellung einen Risikovergleich forderte.

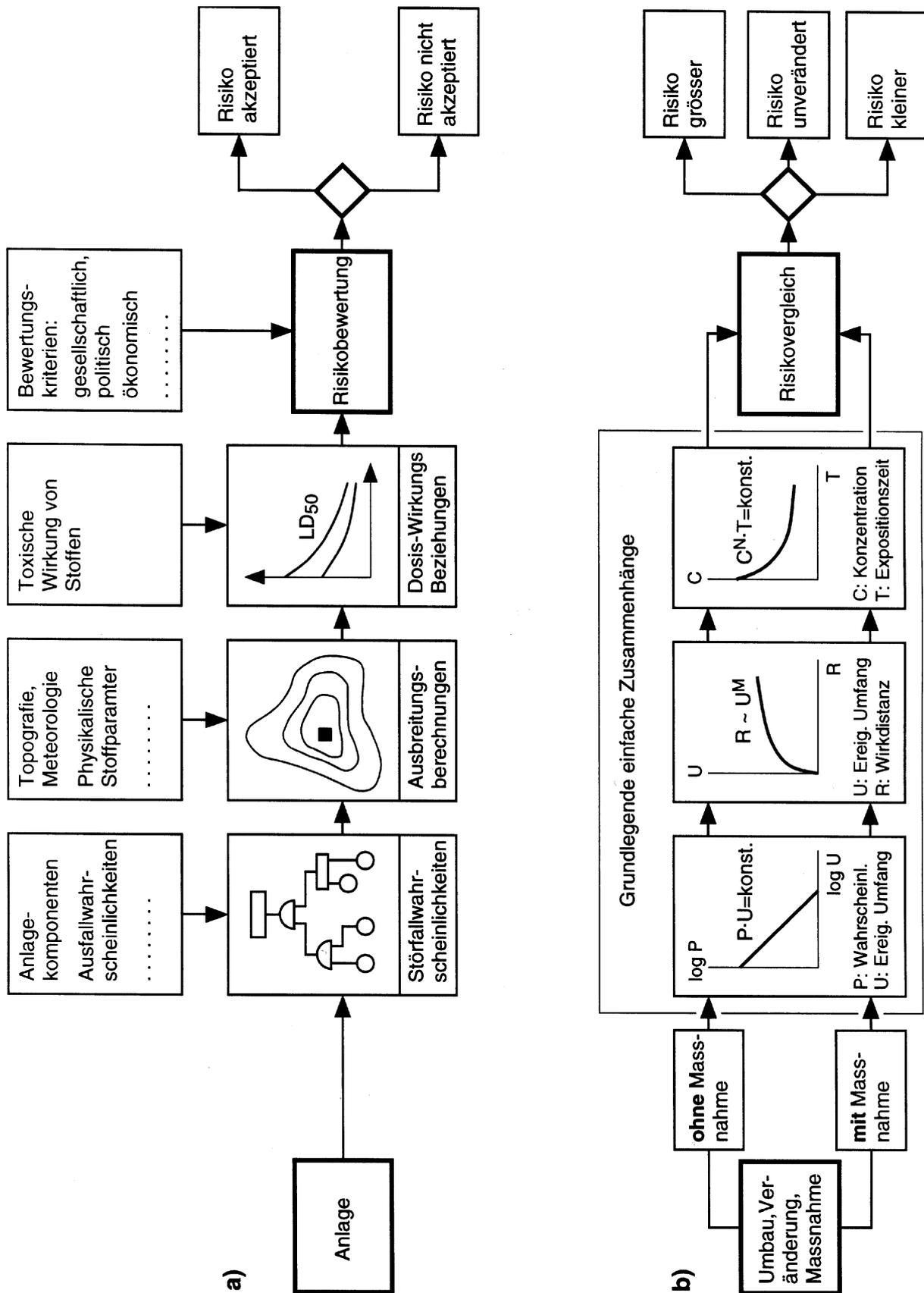


Bild 8 Vorgehensweise: a) Absolute Risikoanalyse b) vergleichende Risikoanalyse
Fig. 8 Methodology: a) Absolute risk analysis, b) Comparing risk analysis

4.2 Immissionen toxischer Gase

Als Beispiel wird im Folgenden der Risikovergleich für Ereignisabläufe beschrieben, welche eine Immission toxischer gasförmiger Stoffe auf der Autobahn A2/A3 zur Folge haben. Dieses Szenario ist relevant, wenn es in einer Chemieanlage oder beim Bahntransport auf dem Industrieareal zu einer Freisetzung toxischer Stoffe kommt.

Die seitlich offene Galerie bietet keinen Schutz gegenüber einer Gasausbreitung (Bild 9). Gase können die Verkehrsteilnehmer auf der Autobahn gefährden, wenn diese Stoffe durch den Luftwechsel in die Galerie eingeschleppt werden. Das Ereignisausmass ist dabei u.a. von der Länge des betroffenen Strassenabschnitts abhängig. Dieser ist im Fall der Galerie vergleichsweise kurz. Er beträgt lediglich 150 m bis 200 m. Im Fall eines seitlichen Abschlusses (Tunnel) können gasförmige Stoffe nur dann auf die Autobahn gelangen, wenn die Immissionen bei den Tunnelportalen auftreten. In diesem Fall werden die Gase mit der im Tunnel zirkulierenden Luftströmung angesogen (Kolbenströmung wegen Verkehr und mechanischer Lüftung) und mit einer Geschwindigkeit von ca. 8 m/s auf die gesamte Tunnellänge verteilt. Die Wahrscheinlichkeit dieses Ereignisses ist geringer, das Ereignisausmass ist jedoch grösser.

Im Bild 9 ist das Resultat der Berechnungen für die beiden Systeme "Galerie" und "Tunnel" in einem sog. Wahrscheinlichkeits/Ausmass-Diagramm eingezeichnet. Im Rahmen der Berechnungen wurden relative Risiken für variierende Immissionszeiten berechnet. Das Resultat zeigt, dass sich das Risiko bezüglich der Gefährdung durch gasförmige toxische Stoffe bei einem Umbau der Galerie in einen Tunnel nur sehr geringfügig verringert. Eindeutig geht jedoch hervor, dass sich die Risikosituation durch einen Umbau von wahrscheinlicheren Ereignissen mit kleinem Umfang zu wenig wahrscheinlicheren Ereignissen mit grösserem Umfang verschiebt.

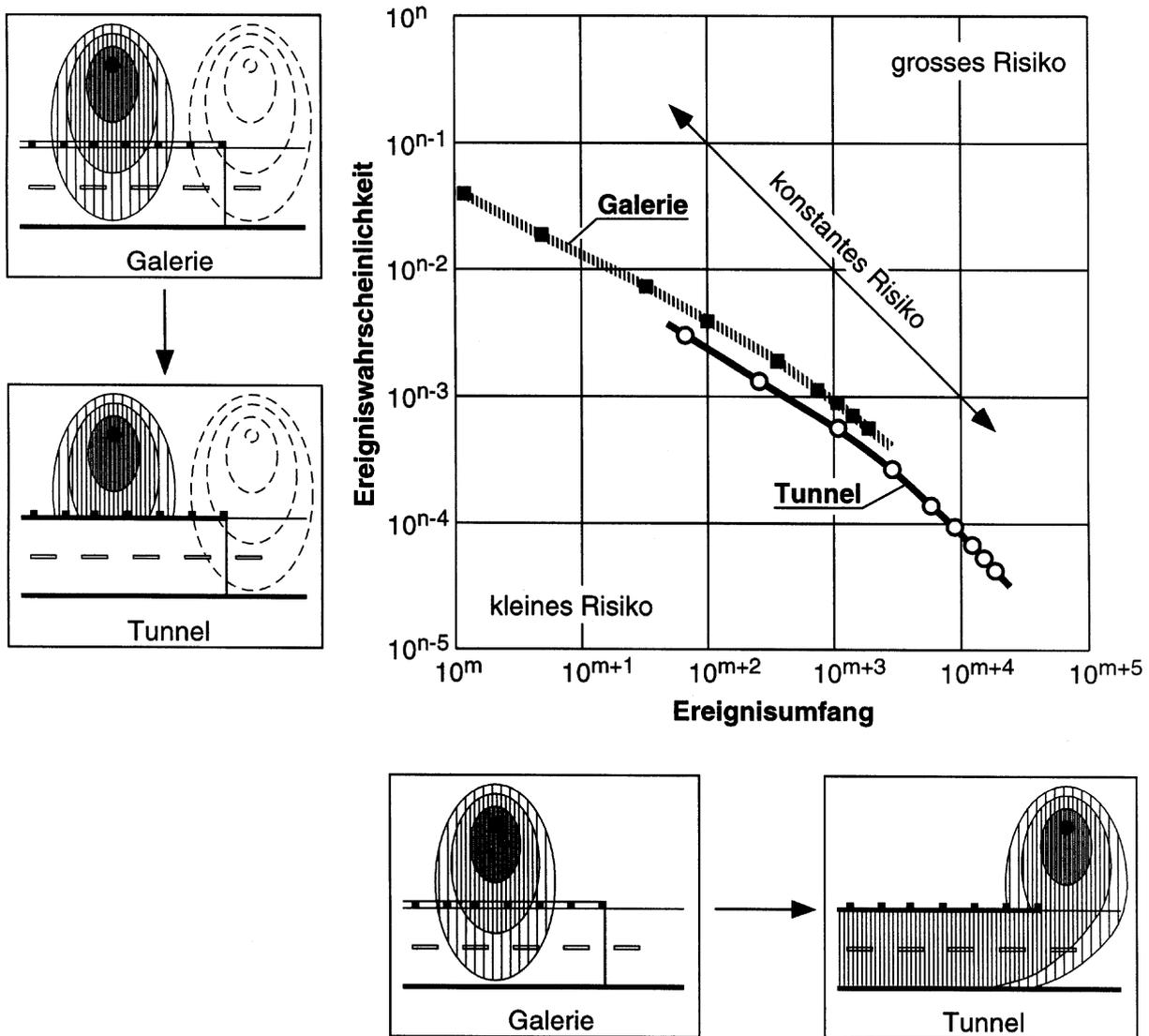


Bild 9 Risikovergleich für Ereignisse mit Immissionen toxischer Gase
Fig. 9 Risk comparison for hazards with a toxic gas release outside the gallery/tunnel

5 Schlussfolgerungen und Resultate

Das Gebiet bei Schweizerhalle in der Nähen von Basel stellt mit seinen bedeutenden eng beieinander liegenden Verkehrs- und Industrieanlagen für schweizerische Verhältnisse eine risikotechnische Besonderheit dar. Dem Umbau der durch dieses Gebiet führenden seitlich offenen Autobahngalerie in einen geschlossenen Tunnel ging deshalb eine umfassende Risikobeurteilung voraus. Diese Beurteilung wurde zweistufig durchgeführt, wobei in der ersten Phase die möglichen Störfallereignisse bzw. die dazu führenden Ereignisabläufe erfasst wurden. Zur Erfassung langer

Ursachen/Ereignis-Ketten wurde ein spezielles Matrix-Verfahren entwickelt. Die Risikobeurteilung aller in dieser Bearbeitungsphase identifizierten Ereignisabläufe wurde qualitativ durchgeführt. Durch die qualitative Analyse konnten schliesslich drei Viertel der insgesamt 300 untersuchten Ereignisabläufe ausgeschieden werden, da das Risiko dieser Ereignisse als nicht massgebend beurteilt wurde.

Im zweiten Analyseschritt wurden die als relevant identifizierten Ereignisse quantitativ untersucht. Für die quantitative Risikoanalyse wurden vergleichende Untersuchungsmethoden entwickelt. Diese Methoden wurden eingesetzt, weil die teilweise sehr komplexen Zusammenhänge damit erfasst werden konnten, und weil die Resultate der Berechnungen nicht so massgeblich von den vielen mit grossen Unsicherheiten behafteten Parameter abhängig sind. Als Ergebnisse der Berechnungen resultierten Risikodifferenzen zwischen der Autobahnführung in der seitlich offenen Galerie und im geschlossenen Tunnel. Um die ermittelten Risikodifferenzen für die verschiedenen Ereignisarten (z.B. Unfall im Strassenverkehr, Störfall in Chemieanlage) miteinander vergleichen zu können, wurden diese schliesslich noch unterschiedlich stark gewichtet.

Durch den Vergleich und die Gewichtung der Risiken aller quantitativ untersuchten Ereignisszenarien wurde für den Umbau der Galerie in einen Tunnel ein Sicherheitszuwachs prognostiziert. Der Zuwachs ergibt sich primär aus tieferen Risiken bezüglich der Gefährdung der Autobahn durch Ereignisse in einer Chemieanlage. Für Ereignisse, welche in der Folge eines Verkehrsunfalls auf der Autobahn oder eines Bahnunfalls auftreten, ergaben sich nur geringfügige Risikodifferenzen. In Bezug auf Strassenverkehrsunfälle wurde eine sehr kleine Risikoerhöhung prognostiziert. Im ausgeführten Projekt werden diese Risiken jedoch durch zusätzliche Massnahmen wie die Signalisation, die Tunnelbeleuchtung, die Tunnelbelüftung und die Strassenentwässerung reduziert /11/ /12/. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass im Tunnel auch bezüglich den Verkehrsunfallereignissen ein Sicherheitszuwachs gegenüber der Galerie vorhanden ist.

Literatur

- /1/ Uebing, D.: Risiken beim Transport gefährlicher Güter. In: Hartwig, S. (Hrsg.): Grosse technische Gefahrenpotentiale – Risikoanalysen und Sicherheitsfragen, Springer-Verlag, Berlin, 1983
- /2/ Jäger, P. Unfälle von Tankfahrzeugen, Umschau, Heft 22, S. 684, 1984
- /3/ Helsby, G. H., White, R. F.: Criteria for Use in the Assessment and Control of Major Hazards, The Institution of Chemical Engineers Symposium, Series No. 93, Pergamon Press, Oxford, 1985
- /4/ Thoma, J.: Verkehrssicherheit in Autobahntunnels – Unfallkennzahlenvergleich Freie Strecke/Tunnel, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, 1989
- /5/ Hartwig, S.: Prognostische Konsequenzermittlung bei grösseren Sörfällen. In: Lange, S. (Hrsg.): Ermittlung und Bewertung industrieller Risiken, Springer-Verlag, Berlin, 1984
- /6/ Health & Safety Commission (HSC): Major Hazard Aspects of the Transport of Dangerous Substances – Report and Appendices, Library and Information Services, Sheffield, London, 1991.
- /7/ Haastrup, P.: Design Error in the Chemical Industry, Risø National Laboratory, Roskilde Denmark, 1984
- /8/ Havens, J. A.: The Atmospheric Dispersion of Heavy Gases – An Update. In: The Assessment and Control of Major Hazards, the Institution of Chemical Engineers Symposium Series No. 93, Pergamon Press, Oxford, 1985
- /9/ Zumsteg, F.: Laborversuche zur instationären Ausbreitung kalter Gaswolken, Dissertation ETH-Zürich Nr. 8644, 1988
- /10/ Cox, R. A. et al.: Models for Evaluating the Probabilities and Consequences of Possible Outcomes Following Releases of Toxic or Flammable Gases. In: Hartwig, S. (Ed.): Heavy Gas and Risk Assessment, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1980.
- /11/ Sato, H., Obara, K.: Accidents in Motorway Tunnels in Japan in Relation to Lighting. In: SLG: Beleuchtung von Tunnelleinfahrzonen, CIE-SLG Symposium Dok. No. 700/89, Agno/Lugano, Oktober 1989
- /12/ Förster, H. et al.: Gemischausbreitung im Tunnel beim Ausfliessen grosser Kraftstoffmengen. In: Hartwig, S. (Ed.): Heavy Gas and Risk Assessment, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1980.