

BETRACHTUNGEN ZUR RISIKOANALYSE IM EISENBAHNBAU

OSTERMANN, N., SCHÖBEL, A.; TU WIEN

1. ALLGEMEINES

Der grundsätzlich hohe Sicherheitsstandard der Eisenbahn läßt sich zahlenmäßig auf einfache Weise mittels auf Verkehrsleistungen bezogener Schadenswerte (z.B. Tote pro Milliarde Personenkilometer) belegen. Der Faktor 100 gegenüber dem Straßenverkehr bzw. 3,5 gegenüber dem Luftverkehr (Basis DB, 1989 – 1993) verdeutlicht dies.

Dennoch ist im Zusammenhang mit Planung, Errichtung und Inbetriebnahme von Neu- und Ausbaustrecken eine Diskussion darüber entbrannt, ob und in welchem Ausmaß genügend Sicherheitseinrichtungen im Eisenbahnbetrieb vorgesehen sind, um eingetretene Unfälle und Schadensfolgen in vertretbaren Grenzen zu halten. Die Geringfügigkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit wird in dieser Diskussion jedoch meist außer acht gelassen, obwohl die bisherige Betrachtungsweise von Sicherheitsfragen stets vom sogenannten Risiko $R_0 = \sum W_j \cdot A_j$, also dem Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses j und der Anzahl der Todesopfer beim Ereignis j ausgegangen ist. Ausgangspunkt für die erwähnte Diskussion ist die Unterschiedlichkeit der Interessenslagen der jeweiligen Diskussionsteilnehmer. Diese sind im allgemeinen

- die Infrastrukturerichtungsgesellschaft,
- der spätere Betreiber der Eisenbahnstrecke,
- Einsatz- bzw. Rettungsorganisationen,
- Anrainer sowie solche, die sich das Neu- bzw. Ausbauprojekt betroffen fühlen.

Begünstigt werden Vehemenz und Andauer der Diskussion durch den Umstand, daß das einschlägige Richtlinienwesen weder national noch international gesehen mit der Entwicklung des Eisenbahnbaues im Zusammenhang der öffentlichen Meinungsbildung Schritt halten konnte. Jene Anteile der Projektkosten, die zur Erlangung des öffentlichen Konsenses für den Ausgleich der unterschiedlichen Interessenslagen unter den gegebenen Randbedingungen aufgewendet werden müssen, stellen neue, bisher wenig berücksichtigte Faktoren für die Errichtung von Eisenbahnstrecken dar. Im Hinblick auf das öffentliche Interesse an Sicherheitsfragen im Eisenbahnwesen muß eine volkswirtschaftliche Betrachtung künftighin über die reine betriebswirtschaftliche Sichtweise der Betreiber hinaus gestattet sein.

2. RISIKOBETRACHTUNGEN

2.1 Begriffsbestimmungen

Zur Beschreibung des Sicherheitsniveaus eines Systems wie zum Beispiel des Eisenbahnbetriebes sind im Rahmen der Sicherheitsplanung drei Ansätze denkbar. Es sind dies

- empirische
- maßnahmenorientierte
- risikoorientierte Ansätze.

Der empirische Ansatz basiert weitgehend auf dem Prinzip von „trial and error“, er entwickelt das System sozusagen mit der laufenden Erfahrung bei der Benützung. Sinnvoll ist dieser Ansatz überall dort, wo aus häufigen Schadenfällen – die kleine Wirkung haben – Erfahrungen für notwendige Verbesserungen gewonnen werden können.

Maßnahmenorientierte Ansätze gehen einen anderen Weg. Hier wird die Frage nach den überhaupt möglichen und denkbaren Sicherheitsmaßnahmen gestellt. Das Ziel dieser Betrachtungsweise liegt darin, eine Anlage (den Betrieb) so sicher wie möglich zu machen. Die Gefahr, die daraus resultiert, ist meist die Unwirtschaftlichkeit, da weder Kosten noch Wirksamkeit der Maßnahmen in diese Betrachtungsweise einfließen.

Der risikoorientierte Ansatz hingegen stellt mit der Einbeziehung von Kosten und Wirksamkeit von geplanten Maßnahmen in die probabilistische Sicherheitsbeurteilung den modernsten und für Vergleichszwecke übersichtlichsten Weg dar. Alle Rechengrößen sind dabei ingenieurmäßig erfaßbar und miteinander verknüpft. Daß die Diskussion von Ergebnissen dennoch Auffassungsunterschiede zutage treten läßt, liegt oftmals daran, daß sowohl die Bestimmung von Ausgangsrisiken als auch die Wirksamkeit von geplanten Maßnahmen zur Reduktion des Ausgangsrisikos Annahmen enthält, die nur auf der Erfahrung des Gutachters beruhen und daher subjektiv geprägt sind. Eine gleichwertige Subjektivität haftet allerdings auch jedem allfälligen Diskussionsteilnehmer an.

Wird also ein risikoorientierter Ansatz der Sicherheitsplanung zugrunde gelegt, so kann hinsichtlich der Personenrisiken, die für Reisende, Unterhalts- und Fahrpersonal sowie für Anrainer gelten, in zwei Risikogrößen unterschieden werden [Oet98].

2.1.1. Individuelles Risiko für Personen

Dieses stellt ein Maß für die Gefährdung einer einzelnen betroffenen Person dar. Als Meßgröße r_j dient die Wahrscheinlichkeit W_j dafür, daß die betrachtete Person i in einem bestimmten Zeitraum oder auf eine bestimmte Streckenlänge infolge von Stör- oder Unfällen getötet wird:

$$r_i = \sum_j W_j \cdot V_{ij} \cdot A_{ij}$$

mit W_j Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses j
 V_{ij} Anwesenheitswahrscheinlichkeit von Person i bei Ereignis j
 A_{ij} Wahrscheinlichkeit, daß Person i getötet wird

International übliche Größenordnungen für das individuelle Risiko betragen für

Reisende: $5 \cdot 10^{-10}$ Todesfall/Passagierkilometer
Anrainer: $1 \cdot 10^{-6}$ Todesfall/Jahr

2.1.2 Kollektives Risiko für Personen

Das kollektive Risiko R_0 entspricht der jährlich zu erwartenden Anzahl der tödlich verunfallten Personen im betrachteten System bezogen auf die Transportleistung.

$$R_0 = \sum_j W_j \cdot A_j = \sum_j r_j$$

mit W_j Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses j
 A_j Anzahl der Todesopfer beim Ereignis j

Das kollektive Risiko ist für die Beurteilung der Sicherheit und der Anrainer erfahrungsgemäß die aussagekräftigste Größe.

2.1.3 Das Risiko für die Umwelt

Unfälle im Eisenbahnbetrieb können Gefährdungen für die Umwelt bedeuten. Eine Erfassung dieser potentiellen Gefährdungen wurde möglich durch eine systematische Beschreibung des Begriffes Umwelt sowie durch die Definition von sogenannten Schutzzielen. Der Begriff Umwelt wird derzeit vielfach durch die Schutzgüter

- Wasser,
- Boden,
- Luft,
- Flora und Fauna sowie
- Naturdenkmäler

bestimmt. Zur Beurteilung der Umweltrisiken werden bei der Bahn meist Meßgrößen in bezug auf die Kontaminierung von unter- und oberirdischen Gewässern stellvertretend für alle möglichen Umweltschäden herangezogen.

2.1.4. Das Bauwerksrisiko

Höhere Fahrgeschwindigkeiten, größere Zugmassen sowie höhere Zugdichten als bisher prägen den heutigen Eisenbahnverkehr. Unfallschwere und -häufigkeit müssen daher zukünftig auch in der Bemessung statisch konstruktiv wirksamer Bauteile (z.B. Brückenpfeiler) berücksichtigt werden. Auch der Brandfall stellt einen bisher noch nicht ausreichend untersuchten Lastfall – insbesondere in Tunnelanlagen – dar, obwohl gerade die Standsicherheit eines Tunnels ein geradezu symbolisches Charaktermerkmal für die Unerschütterlichkeit eines Verkehrssystems wie das der Eisenbahn darstellt.

2.2. Bewertung der festgestellten Risiken

Die Sicherheitsplanung für einen neuen Streckenabschnitt muß aus der Sicht einer Infrastrukturerrichtungsgesellschaft – vor allem wenn sie sich im Eigentum des Staates befindet – unter folgenden Prämissen stehen:

- a.) Gewährleistung eines Gesamtsicherheitsniveaus, das in einem sinnvollen Verhältnis zu anderen Streckenabschnitten steht.
- b.) Optimaler Einsatz der beschränkten Geldmittel, das heißt, daß die geplanten Maßnahmen zur Reduktion des Ausgangsrisikos ein sinnvolles Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis aufzuweisen haben.
- c.) Ausgewogenheit der Maßnahmen in baulicher, eisenbahntechnischer und organisatorischer Hinsicht unter Berücksichtigung der Entwicklungsdynamik des sogenannten „Standes der Technik“. Diese Forderung ergibt sich aus den großen Zeiträumen, die zwischen der

Planung eines Bauvorhabens, den Behördenverfahren und der Inbetriebnahme des dann baulich umgesetzten Planungsgegenstandes liegen.

Daß gerade die unter b) genannte Optimierung in der Öffentlichkeit schwer argumentierbar ist, folgt aus dem Umstand, daß Grenzkosten festgelegt werden müssen, die auf Menschenleben Bezug nehmen. Diese Grenzkosten dokumentieren, welche Kosten im Maximum entstehen dürfen, um das Risiko (gemeint ist in bezug auf Reisende und Anrainer das kollektive Risiko) um eine Einheit (in der Regel ist dies ein Todesopfer) zu senken. Dennoch wird mit gerade diesem Ansatz gewährleistet, daß mit den eingesetzten Geldmitteln insgesamt die größtmögliche Risikoreduktion erzielt wird. Als Höhe der Grenzkosten ΔK sind der Literatur Größenordnungen von ATS 80 – 100 Mio. in den Risikokategorien „geringe Selbstbestimmung“ sowie „unfreiwillig“ zu entnehmen.

Die Anwendung des Grenzkostenkriteriums hat bisher plausible und gut nachvollziehbare Ergebnisse für Neubauabschnitte gebracht. Bei vergleichender Anwendung auf Bestandsstrecken zeigte sich stets die hohe Wirksamkeit der geplanten Sicherheitsmaßnahmen. Somit konnte mit dieser Methode der Nachweisführung auch das Kriterium der Verhältnismäßigkeit zu anderen Streckenabschnitten (vgl. 2.2.a) erfüllt werden. Die Höhe der Kosten für Sicherheitsmaßnahmen sind in diesem Fall für den Projektwerber schon in relativ frühen Projektstadien kalkulierbar und können daher frühzeitig in Kostenschätzungen und -berechnungen Eingang finden. Darüber hinaus können diese Projektskostenanteile gegenüber dem Eigentümer des Projektwerbers sowie gegenüber verfahrensführenden Behörden und Sachverständigen argumentiert werden.

In jüngster Zeit wird diese Vorgangsweise bzw. werden Ergebnisse, die aus der Anwendung des Grenzkostenkriteriums entstehen, einer öffentlichen, teilweise heftigen Diskussion unterzogen. Weitere Nahrung erhalten diese auch schon eingangs erwähnten Diskussionen durch den hohen medialen Effektivwert einiger Unfallereignisse – unabhängig davon, ob es sich um Straßen- oder Eisenbahnunfälle handelt – und durch das mangelnde Vermögen der Betreiber und Aufsichtsbehörden, diese seltenen Großereignisse medial zu verarbeiten. Darüber hinaus erscheint es – zumindest in Österreich – als Manko, daß bei Neubaustrecken zwar Störfallanalysen und Tunnelsicherheitskonzepte bei den Behördenverfahren zur Genehmigung vorzulegen sind, Akzeptanzwerte analog einem ALARP-Kriteriums (As Low As Reasonably Possible) wie etwa in der Schweiz jedoch nicht vorgegeben sind. Dieser Umstand behindert den Projektwerber nachhaltig, Forderungen, die seitens diverser Einsatzorganisationen (z.B. Feuerwehren) im besten Sinne ihrer eigenen Intentionen erhoben werden, abzuwehren, da sie mangels allgemein gültiger Regeln nicht abwehrbar sind und das Grenzkostenkriterium nur einseitige (projektwerberseitige) Gültigkeit besitzt. Diese Wehrlosigkeit kann aber auch von Projektgegnern und Bürgerinitiativen

ausgenutzt werden, um aus dem Titel der Erhöhung der Sicherheit (für wen auch immer) möglichst kostenintensive Maßnahmen zu verlangen. Dies geschieht umso leichter, da die Urheber dieser Forderungen weder Verantwortung tragen hinsichtlich der tatsächlich erzielten Reduktion des Ausgangsrisikos durch eine Vielzahl ergriffener Maßnahmen noch hinsichtlich der damit verbundenen Projektkosten.

2.3. Der Risikoansatz in den CENELEC-Normen

Aus dem Fachgebiet der Elektrotechnik kommend, gibt es Europäische Normen, die sich mit dem Risiko bzw. der Sicherheit im Eisenbahnsystem beschäftigen:

- EN 50126: Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) [CEN99]
- EN 50128: Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme [CEN02]
- EN 50129: Bahnanwendungen – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik [CEN00]

Diese wurden vom Europäischen Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) verabschiedet und sind für die gesamte Eisenbahntechnik gültig.

Die EN 50126 [CEN99] definiert Sicherheit als „Nichtvorhandensein eines unzulässigen Schadensrisikos“. Durch diese Sicherheitsdefinition werden implizit schon zwei wesentliche Aspekte der Sicherheitsphilosophie deutlich gemacht. Zum einen werden Risikobetrachtungen notwendig, zum anderen müssen Risikoakzeptanzkriterien festgelegt werden. Außerdem wird keine absolute Sicherheit, die es nicht geben kann, gefordert, sondern sichere Systeme werden als solche definiert, wo die Risiken unter einem Grenzwert liegen.

Der Begriff „Risiko“ wird normgemäß als mittleres Risiko aufgefaßt. Dies entspricht auch dem praktischen Verständnis, da ein Risiko um einen Wert schwanken wird, weil statistische Unsicherheiten in den Eingangswerten vorliegen oder auch Expertenmeinungen mit Unsicherheiten behaftet sind. Hier bietet sich die mathematische Formulierung mittels Unschärfer Zahlen gerade zu an, um nicht mit unsicheren scharfen Werten rechnen zu müssen.

Die Verlässlichkeit als zentraler Oberbegriff umfaßt die Teilbereiche Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Instandhaltung und Sicherheit (RAMS). Die Umsetzung der meist sprachlich-begrifflich beschriebenen Sachverhalte in mathematisch formalisierte Algorithmen unterliegt zwangsläufig gewissen Interpretationsspielräumen, die durch die Anwendung von qualitativen und quantitativen Modellierungen in den Griff zu bekommen sind. Ein Vorschlag um die Verlässlichkeit eines Verkehrssystems graphisch darzustellen, ist das Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm von [Sch03]. Als Ansatz werden verlässlichkeitsbezogene Zustände eines technischen Systems definiert, die durch mehr oder weniger komplexe Ursache-Wirkungsketten verbunden sind. Um die graphische Darstellung von Verfügbarkeit und Sicherheit in einem kartesischen Koordinatensystem zu erreichen, wird die Orthogonalität von Verfügbarkeit und Sicherheit über die Unterscheidung von wirtschaftlich und gesetzlich gerechtfertigt. Die unterschiedlichen Systemzustände können nun qualitativ in dieser Ebene plaziert werden. Zur Quantifizierung der Zustände können noch die beiden Achsen skaliert werden.

Kurios erscheint die Forderung, daß zwar Risikoanalysen gefordert werden, aber in der EN 50126 [CEN99] keine genauen Vorgaben für die Risikoanalyse und deren Durchführung gemacht werden. Beispielhaft wird eine Risikomatrix dargestellt, sowie sie auch für die Risikoprofile Infrastruktur, Zug und Umfeld in dieser Arbeit verwendet wird, aber ohne Anwendungsregeln (die Vielfalt der mathematischen Algorithmen zur Auswertung von Matrizen ist groß) und ohne Vorschläge für die Skalierung der beiden Achsen (Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß). Aus dieser Darstellung läßt sich ein Problem bei der Anwendung sehr leicht ersehen, da für jeden Anwendungsfall diese Risikomatrix kalibriert werden muß.

Häufigkeit von Gefahrenfällen	Risikostufen			
	häufig			
wahrscheinlich				
gelegentlich				
selten				
unwahrscheinlich				
unvorstellbar				
	unbedeutend	marginal	kritisch	katastrophal
	Gefahrenstufen			

Abb.1. „Häufigkeit – Konsequenz“ – Matrix aus [CEN99]

Einen Überblick über die Analysemethoden zur Identifizierung von Risiken gibt u.a. [Sch01]:

- Gefahrenanalyse zur systematischen Analyse von Gefahren
- Failure Modes, Effects and Criticality Analysis als induktive Methode zur Betrachtung aller Ausfallarten der untersuchten Komponente

- Fehlerbaumanalyse als deduktive Methode zur Untersuchung von Ausfall- und Ereigniskombinationen, die zu gefährlichen Ereignissen führen können
- Ereignisablaufanalysen zur systematischen Untersuchung und quantitativen Analyse von Ereignisabläufen
- Wartbarkeitsanalyse zur Untersuchung der Instandsetzungsstrategie und ihrer Auswirkung auf Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sowie Sicherheitsfunktionen
- Operating und Support Hazzard Analysis zur systematischen Analyse von Gefahren die bei Betrieb und Wartung auftreten können
- Interface Hazard Analysis, die auf systematische Weise die Gefahren untersucht, die sich an den Schnittstellen des Systems und den Subsystemen ergeben.

Ein ganz wichtiger Schritt der Risikoanalyse ist die Dokumentation der Ergebnisse, die in einem Gefahrenprotokoll festgehalten werden. Ein Anwendungsbeispiel der Fehler-Möglichkeiten-Einfluß-Analyse für das Teilsystem der Festen Fahrbahn kann in [Abl02] gefunden werden. Für die einzelnen Felder in der Matrix wird eine Zuordnung zu qualitativen Risikokategorien vorgeschlagen, wobei die Zuweisung der Begriffe zu den einzelnen Feldern jedem Anwendungsfall überlassen wird.

Risikokategorie	Anzuwendende Maßnahmen
intolerabel	muß ausgeschlossen werden
unerwünscht	darf nur akzeptiert werden, wenn eine Risikominderung praktisch nicht durchführbar ist und eine Zustimmung entweder des Bahnunternehmens oder der für die Sicherheit zuständigen Aufsichtsbehörde vorliegt
tolerabel	akzeptierbar bei geeigneter Überwachung und mit der Zustimmung des Bahnunternehmens
vernachlässigbar	akzeptierbar mit/ohne weitere Zustimmung des Bahnunternehmens

Abb.2. Qualitative Risikokategorien nach [CEN99]

Für Anwendungen in der Eisenbahnsignaltechnik ist ein systematischer Prozeß zur Ableitung von Sicherheitsanforderungen in der EN 50129 [CEN00] beschrieben. Auch hier werden keine expliziten Vorgaben gemacht, welche Methode zur Risikoanalyse verwendet werden soll, aber die Dokumentation der Ergebnisse ist normativ festgelegt.

Die grundlegenden Anforderungen an den Prozeß hat [Bra02] folgendermaßen zusammengefaßt:

- Der Ansatz muß risikoorientiert sein und

- die Vorgehensweise soll diskriminierungsfrei sein, d.h. die Definition von Sicherheitsanforderungen darf weder bestimmte technische Lösungen noch Hersteller bevorzugen.
- Die Vorgehensweise soll flexibel und offen für neue Technologien sein.
- Die Verantwortung der verschiedenen Beteiligten soll klar festgelegt werden.

Der Mittelpunkt des Prozesses ist eine Schnittstelle zwischen den betrieblichen Anforderungen und dem Sicherungssystem als der technischen Lösung. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen einer Risikoanalyse, die der Betreiber zu erstellen hat, und einer Gefährdungsanalyse, die der Hersteller verpflichtend durchführen muß.

Jeder Systemfunktion wird eine Stufe ausreichender Sicherheit, das sogenannte SIL-Niveau, zugeordnet, d.h. es sind bestimmte Maßnahmen in Design und Herstellung nachzuweisen. Die zweite Grenze ist die der tolerablen Rate des gefährlichen Versagens, die auch unterschritten werden muß. Darin zeigt sich auch die Tatsache, daß eine kleine Wahrscheinlichkeit für einen gefährlichen Ausfall akzeptiert wird, weil man davon ausgeht, daß sich derartige Unfälle nie ganz vermeiden lassen. Damit wird einem Erfahrungswert der Technik entsprochen, denn trotz aller Maßnahmen, die zur Verhinderung von Unfällen gesetzt werden, wird es doch immer Unfälle geben. Umgekehrt wird aber schon gefordert, daß diese Unfälle nur selten auftreten dürfen, also eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen. In [CEN99] wird auch ein Beispiel für eine Risikomatrix angeführt, wobei diese Einteilung nicht als Vorgabe mißverstanden werden darf.

Häufigkeit eines Gefahrenfalls*)	Risikostufen			
	häufig	unerwünscht	intolerabel	intolerabel
wahrscheinlich	tolerabel	unerwünscht	intolerabel	intolerabel
gelegentlich	tolerabel	unerwünscht	unerwünscht	intolerabel
selten	vernachlässigbar	tolerabel	unerwünscht	unerwünscht
unwahrscheinlich	vernachlässigbar	vernachlässigbar	tolerabel	tolerabel
unvorstellbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar
	unbedeutend	marginal	kritisch	katastrophal
	Gefahrenstufen			
*) Die quantitative Bewertung der Häufigkeit von Gefahrenfällen hängt von der jeweiligen Anwendung ab (4.6.2.2).				

Abb.3. Beispiel einer Risikobewertung nach [CEN99]

2.4. Risikoakzeptanzkriterien nach CENELEC

Es gibt generell drei mögliche Vorgehensweisen, das akzeptable Risiko eines Eisenbahnsystems zu bestimmen, die die Norm EN 50126 [CEN99] (Anhang D) kennt:

- As Low as Reasonably Practicable (ALARP)

Dieses Vorgehen kommt aus dem angelsächsischen Raum. Gegenstand der Betrachtung ist das kollektive Risiko, d.h. das Risiko, das insgesamt von einer bahntechnischen Anlage ausgeht. Hierbei wird für unterschiedliche Klassen von Unfällen jeweils eine maximale Eintrittswahrscheinlichkeit vorgegeben. Dieser Maximalwert darf auf keinen Fall überschritten werden. Es gibt jedoch noch eine zweite Grenze, die unter dieser liegt. Wenn die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit über der unteren Grenze liegt, jedoch unter dem Maximalwert, sind Maßnahmen zur Risikoverminderung zu ergreifen, sofern das wirtschaftlich sinnvoll ist. In den Fällen, wo beide Grenzen unterschritten werden, sind keine Maßnahmen zur Risikoreduzierung erforderlich.

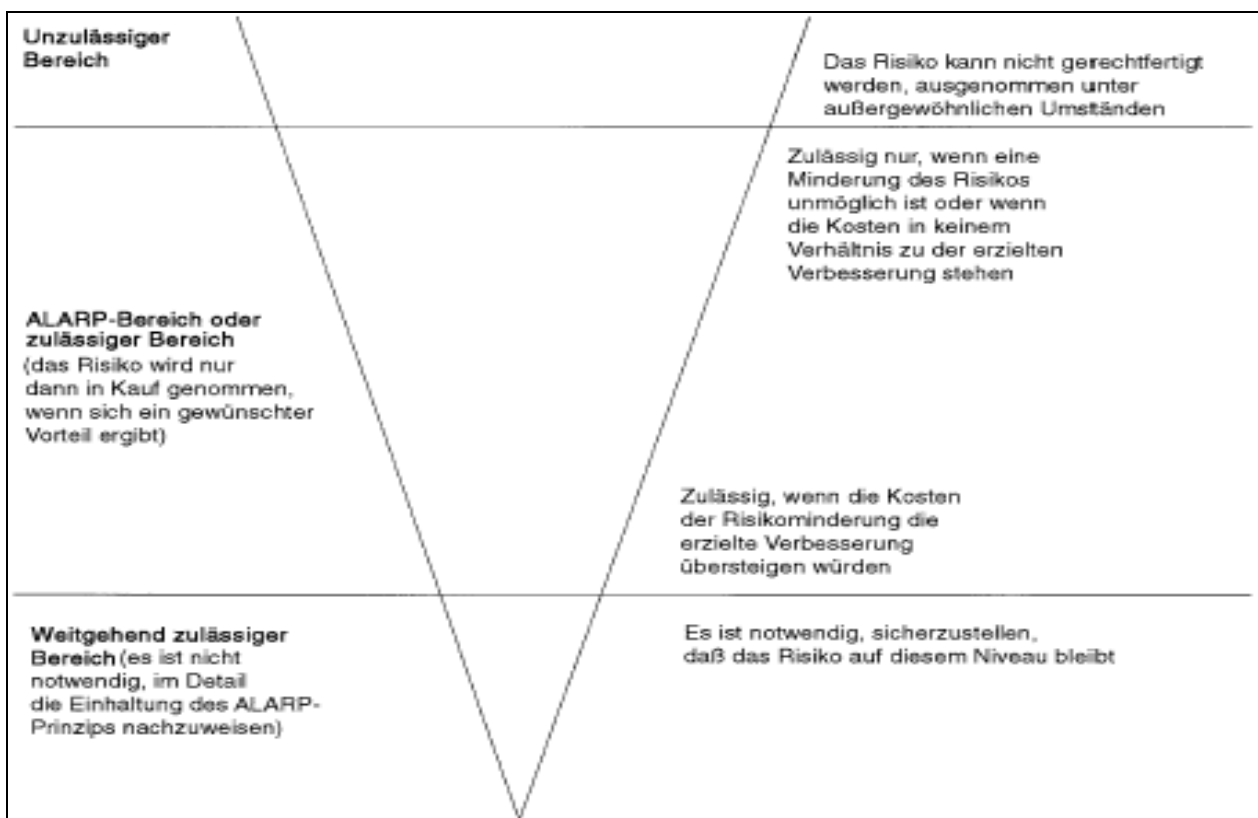


Abb.4. Diagramm zu ALARP aus [CEN99]

- Globally as least as good (GAMAB)

Diese Vorgehensweise kommt aus dem französischen Raum. Hierbei ist nachzuweisen, daß ein neuartiges System mindestens so gut ist, wie das bisher verwendete System. Dabei wird wiederum das kollektive Risiko betrachtet. In [CEN99] wird das Kriterium anhand eines Beispielles illustriert:

C = Beförderungskapazität eines Zuges (Fahrgäste/Zug)
 F = Zugfolge (Züge/Std)
 r = mittlerer Besetzungsgrad (Zug nicht komplett besetzt)
 n_c = Anzahl der Toten bei einem Zusammenstoß in diesem neuen System
 D_m = Durchsatz (Fahrgäste/Std) = $r \times C \times F$

$$col = (\lambda_{c,ref}/n_c) \times (\text{Zusammenstöße/Fahrgast})$$

$$\begin{aligned} \lambda_c &\leq col \times D_m \\ &= (\tau_{c,ref}/n_c) \times D_m \\ &= \tau_{c,ref} \times (r \times C/n_c) \times F \text{ Zusammenstöße/Std.} \end{aligned}$$

Die Bemerkungen zu diesem Beispiel weisen schon auf deutliche Schwächen für die praktische Anwendung hin:

- Es wird angenommen, daß der Anteil der Toten unter den Fahrgästen im gleichen Zug für das vorhandene System gleich hoch ist wie für das projektierte, d. h. $n_c/r \times C = \text{konstant}$;
- λ_c kann eine hohe Anforderung bei einer schlechten Servicequalität bedeuten, besonders bei einem niedrigen Wert von F (Zugfrequenz);
- die Verbesserung wird durch das Zeichen \leq erzielt;
- der Konstrukteur/Lieferant ist frei bei der Aufteilung von λ_c zwischen den Strecken- und Fahrzeugausrüstungen.

- Minimum Endogenous Mortality (MEM)

Das Verfahren der minimalen Todesrate kommt aus dem deutschsprachigen Raum. Die kleinste natürliche Sterberate, in MEM Minimale Endogene Mortalität genannt, dient als Vergleichsgröße für die Risiken der Technik. Der Ansatz geht von der Betrachtung einer Einzelperson aus, behandelt also das individuelle Risiko, im Unterschied zu den beiden anderen Verfahren. Man geht dabei von der minimalen endogenen Todesrate des menschlichen Individuums aus. Diese hat im Altersbereich vom 5. bis zum 15. Lebensjahr ein ausgeprägtes Minimum und beträgt für eine 15-jährige Person $2 \cdot 10^{-4}$ pro Jahr. Dieser Wert ist in allen Industrieländern praktisch gleich groß. Aus der Forderung heraus, daß ein neues technisches System diese Todesrate nicht um mehr als 5 % erhöhen darf, leitet man ab, daß ein neues technisches System höchstens eine Todesrate von 10^{-5} pro Jahr haben darf. Interessanterweise ist festzustellen, daß diese Rate in etwa der Rate von 10^{-9} pro Stunde entspricht, die in der Luftfahrt für tödliche Unfälle als Grenzwert angegeben werden.

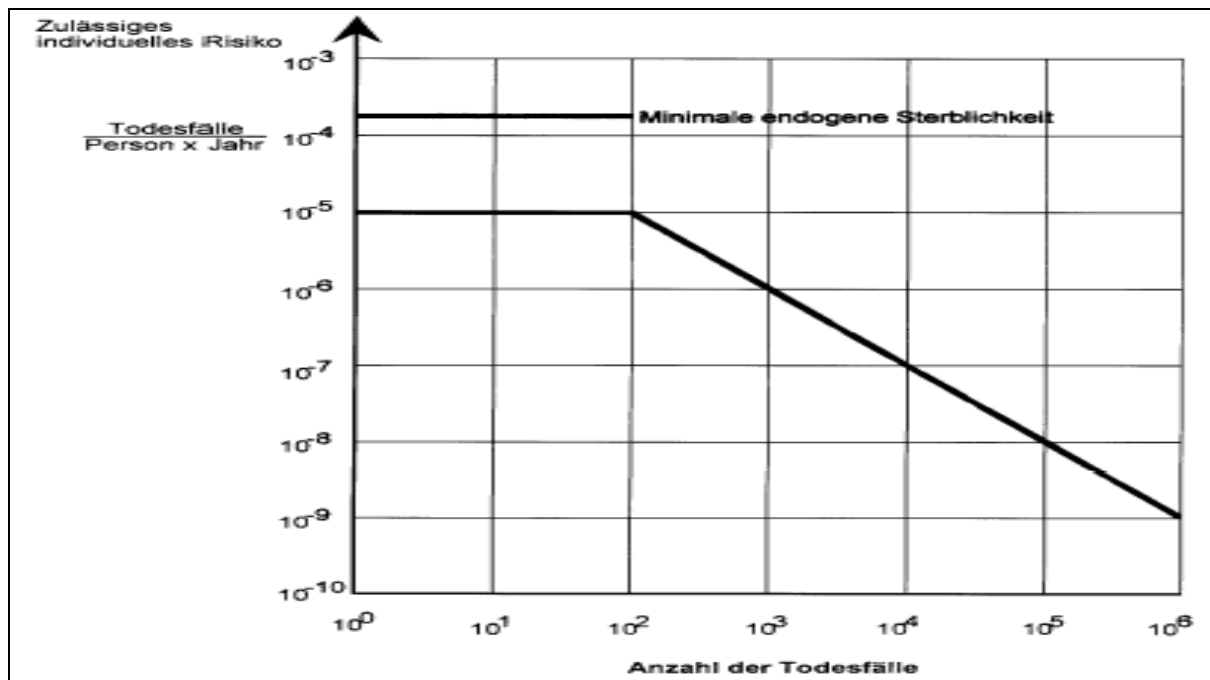


Abb.5. Darstellung des MEM-Kriteriums nach [CEN99]

Bei den meisten Projekten wird das jeweils anzuwendende Verfahren sowie die jeweiligen Grenzwerte von der zuständigen Behörde vorgegeben. Die Anwendung des Risikoakzeptanzkriteriums ALARP entspricht einer Kosten-Nutzen-Analyse, wobei der Nutzen in Form von potentiell verhinderten Unfallopfern gemessen wird. Um eine monetäre Vergleichbarkeit von Investitionen und Unfallfolgen zu ermöglichen, muß ein Menschenleben in einen Geldbetrag umgerechnet werden. Diese rationale Vorgehensweise findet außerhalb von Großbritannien nur wenig Zuspruch.

Das Risikoakzeptanzkriterium GAMAB setzt voraus, daß das heute erreichte Sicherheitsniveau der Eisenbahntechnik öffentlich akzeptiert ist. Wenn nun die Einführung einer neuen Technik angedacht wird, muß diese auf globalem Niveau mindestens so sicher sein, wie die bisher eingesetzte Technik. Der Vorteil der Nicht-Festlegung eines absoluten Niveaus zeigt sich in der Offenheit des Verfahrens für technische Verbesserungen.

Das Kriterium der Minimalen Endogenen Mortalität geht zurück auf das Buch von A. Kuhlmann „Einführung in die Sicherheitswissenschaft“. Eine grundlegende Schwäche des MEM - Kriteriums ist, daß es ein fester Risikoakzeptanzwert vorgegeben wird. Gesellschaftlich kann sich aber die Risikoakzeptanz sehr rasch durch unterschiedlichste Einflüsse ändern, so daß sie eigentlich nicht als konstant angesehen werden darf. Die Herleitung enthält zwei Annahmen, die durchaus als

willkürlich gelten können, nämlich das für eine Technik zulässige Gesamtrisiko sowie dessen Aufteilung. Die Unterstellung, daß auf einen Menschen höchstens 20 Gefahrenquellen wirken, erscheint aus Sicht der Wahrscheinlichkeitstheorie auch fragwürdig, da hier von kombinierten Wahrscheinlichkeiten ausgegangen wird, d.h. manche Gruppen von Menschen benachteiligt sein könnten. Eine allgemeine mathematische Beschreibung findet sich u.a. in [Kre00].

Anhand von Fallbeispielen lassen sich Erfahrungswerte mit der Verwendung der CENELEC-konformen Risikoanalysen formulieren [Bra02], von denen hier einige wegen der Relevanz in der weiteren Bearbeitung erwähnt werden:

- es gibt bisher für die Eisenbahntechnik kein allgemeines, international anerkanntes Risikoakzeptanzkriterium
- Der Wert der Risikoanalyse besteht auch in dem Zwang, Entscheidungen bewußt zu treffen und sie nachvollziehbar zu dokumentieren.
- Der qualitative Teil der Analyse ist aufgrund der damit verbundenen intensiven Diskussion der wichtigste, hier sollten insbesondere alle Anwendungsexperten mit einbezogen werden.
- Der quantitative Teil der Analyse sollte nicht überschätzt werden, da er lediglich zur Bewertung der Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen sowie der Skalierung und Aufteilung der Sicherheitsanforderungen dient.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Die Eisenbahn gilt als verhältnismäßig sicherer Verkehrsträger [Sac03]. Diese in vielen Medien vertretene Meinung kann durch die Unfallstatistik u.a. auch für Österreich belegt werden, obwohl singulären Ereignissen in der medialen Berichterstattung oftmals verhältnismäßig viel Platz zugestanden wird. Der Vergleich zum Straßenverkehr zeigt, daß die Anzahl der pro Jahr Getöteten dort viel höher ausfällt, aber gesellschaftlich toleriert wird. Die subjektive Wahrnehmung Einzelereignisse mit vergleichsweise hoher Opferzahl stärker zu bewerten als laufende und geringe Opfer, spiegelt sich auch in dem Risikoakzeptanzkriterium MEM der EN 50126 [CEN99] wieder.

In der Sprache des Risikomanagements bedeutet dies, daß der gegenwärtige Zustand im Eisenbahnbetrieb unterhalb des tolerierten Grenzniveaus liegt, auch wenn damit nicht ausgeschlossen werden kann, daß Einzelereignisse auftreten können. Wenn nun Eingriffe in das System „Eisenbahn“ vorgenommen werden, die das Betriebsgeschehen sowohl auf technischer als

auch auf organisatorischer Ebene ändern, muß ein Vergleich zwischen dem heutigen Zustand und dem zukünftigen gezogen werden. Dieser Philosophie entspricht das in der CENELEC-Norm 50126 [CEN99] genannte Sicherheitskriterium GAMAB, durch dessen Anwendung sichergestellt werden soll, daß neue technische Systeme mindestens so sicher sind, wie ihr bisherigen. Die tatsächliche Sicherheitsberechnung nach diesem Kriterium erweist sich in der Praxis oftmals als nur minder tauglich, da Zahlenwerte zum Einsetzen in das Vergleichskriterium nur schwer zu erhalten sind.

4. LITERATUR

- [Abl02] Ablinger, P. *Methoden der Risikoanalyse*. Eisenbahningenieur (53), 7/02, S. 37-39, Tezloff Verlag, Hamburg, 2002
- [Bra02] Braband, J. *Erfahrungen mit Risikoanalysen in der Eisenbahnsicherungstechnik*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 51, (2002) Heft 9, S. 575-582, Hestra-Verlag, Hamburg, 2002
- [CEN99] CENELEC: *Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, erfügbarekeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)*, EN 50126, 1999
- [CEN00] CENELEC: *Bahnanwendungen – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik*, EN 50129, 2000
- [CEN02] CENELEC: *Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme*, EN 50128, 2002
- [Kre00] Krebs, H., Le Troung, B., El Kourssi, E.M., Firpo, P. *Minimale Endogene Mortalität – ein universelles Sicherheitskriterium*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 49 (2000) Heft 12, S. 816-821, Hestra-Verlag, Hamburg, 2000.
- [Oet98] Oettli, T.; Bohnenblust, H.; Hübner, P. *Risikoorientierte Sicherheitsnachweise im Eisenbahnbetrieb*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 47 (1998) Heft 8-9, S. 526-534, Hestra-Verlag, Hamburg, 1998.
- [Sac03] Sacher, H. *Risikoanalyse, Risikowahrnehmung und Risikoakzeptanz*. Eisenbahningenieur (54), 7/03, S. 24-28, Tezloff Verlag, Hamburg, 2003
- [Sch01] Schäbe, H.; *Neue Ansätze zur Systemsicherheit in der Bahntechnik*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 50 (2001) Heft 4, S. 185-191, Hestra-Verlag, Hamburg, 2001
- [Sch03] Schnieder, E. *Verläßlichkeit von Verkehrssystemen im Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm*. Signal + Draht, 95 (2003) Heft 10, S. 6-9, 2003